

ระบบการจัดการสถานะการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
ในระบบพลังงานทดแทน

STATE OF CHARGE MANAGEMENT SYSTEM FOR LEAD-ACID
BATTERY IN RENEWABLE ENERGY SYSTEM

อภิวัฒน์ อัสวเมธิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ระบบการจัดการสถานะการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
ในระบบพลังงานทดแทน

อภิวัฒน์ อัสวเมธิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบการจัดการสถานะการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรดในระบบพลังงานทดแทน
ชื่อ – นามสกุล	นายอภิวัฒน์ อัสวเมธิน
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการศึกษาและออกแบบสร้างระบบการจัดการสถานะการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทนแบบทันเวลาด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยประยุกต์หลักการนับประจุหรือคูลอมป์เคาท์ดิงในการหาค่าสถานะประจุแบบทันเวลา และทดสอบการจำลองการประมาณค่าสถานะประจุจากหลักการคูลอมป์เคาท์ดิงด้วยโปรแกรม MatLab/Simulink เพื่อใช้ในการพิสูจน์การคำนวณค่าสถานะประจุในทางทฤษฎี และทดสอบการหาค่าสถานะประจุจากเครื่อง Microprocessor Test for Battery (MTB) เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบค่าสถานะประจุที่ได้ว่ามีผลของการคำนวณค่า State of Charge (SOC) ไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่

เมื่อได้ค่า SOC ของแบตเตอรี่แล้วจะนำมาเป็นข้อมูลในระบบการจัดการสถานะการประจุแบตเตอรี่เพื่อควบคุมการทำงานไม่ให้แบตเตอรี่ทำงานในสถานะที่อันตราย คือ ช่วงการอัดและคายประจุและอุณหภูมิที่สูงเกินกำหนดโดยจะออกแบบระบบด้วยโปรแกรม LabVIEW ทำงานร่วมกับ NI cDAQ-9188 ซึ่งมีหน้าที่สื่อสารและรับส่งข้อมูลจากโมดูลต่าง ๆ ที่ใช้วัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าเพื่อนำมาคำนวณและกำหนดการทำงานตามเงื่อนไขในการควบคุม เพื่อช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพในการใช้งานและช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าการประมาณค่าสถานะการประจุด้วยโปรแกรม LabVIEW เปรียบเทียบกับโปรแกรม MatLab/Simulink มีค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 8 เปอร์เซ็นต์ และค่าสถานะประจุที่ได้จากเครื่อง MTB มีค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 11 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าสถานะการประจุที่ได้จากผลการทดลองทั้งหมดมีผลที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน และผลการทดลองระบบควบคุมการทำงานต่างๆ ระบบที่ออกแบบสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดอย่างถูกต้อง

คำสำคัญ : การจัดการระบบแบตเตอรี่ พลังงานทดแทน คูลอมป์เคาท์ดิง

Thesis Title	State of Charge Management System for Lead-Acid Battery in Renewable Energy System
Name - Surname	Mr. Apiwat Aussawamaykin
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Mr. Boonyang Plangklang, Dr.-Ing.
Academic Year	2012

ABSTRACT

This thesis presents a study and design of real time battery management unit as an integrated renewable energy system using application of coulomb counting method by LabVIEW to determine the state of charge (SOC). The coulomb counting method will be verified by simulation result of battery model using MatLab/Simulink program and testing experiment by Microprocessor Test for Battery (MTB). The results of the SOC are compared to investigate that whether they are the same direction.

The obtained SOC is integrated to the proposed Battery Management System which has a control unit to control the battery condition as Battery will not be damaged by the overcharge or deep of discharge as well as the high temperature impact. The control system is designed by using LabVIEW integrated with NI cDAQ-9188 connected to measurement and control module to measure all parameters for calculation the battery condition in order to control the battery management system for stability of the hybrid system and the long lifetime of the battery.

From the simulation and experiment results, the SOC estimation by LabVIEW compared with MatLab/Simulink has error 8 percent, and compared with MTB has error 11 percent. The SOC of all results is the same direction, the control system can work properly as the design. This can confirm that the proposed method is able to be used for battery management system.

Keywords: Battery management system, Renewable energy system, Coulomb counting method

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 4 ท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ประเมินรับรองต้นแบบชิ้นงานวิจัยและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบใจเพื่อนนักศึกษาระดับปริญญาโททุกคนที่ทำให้กำลังใจในการดำเนินกิจกรรมการวิจัยจนได้ความสมบูรณ์ของงาน ขอขอบคุณบุคลากรบัณฑิตวิทยาลัยทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

อภิวัฒน์ อัสวเมธิน

สารบัญ

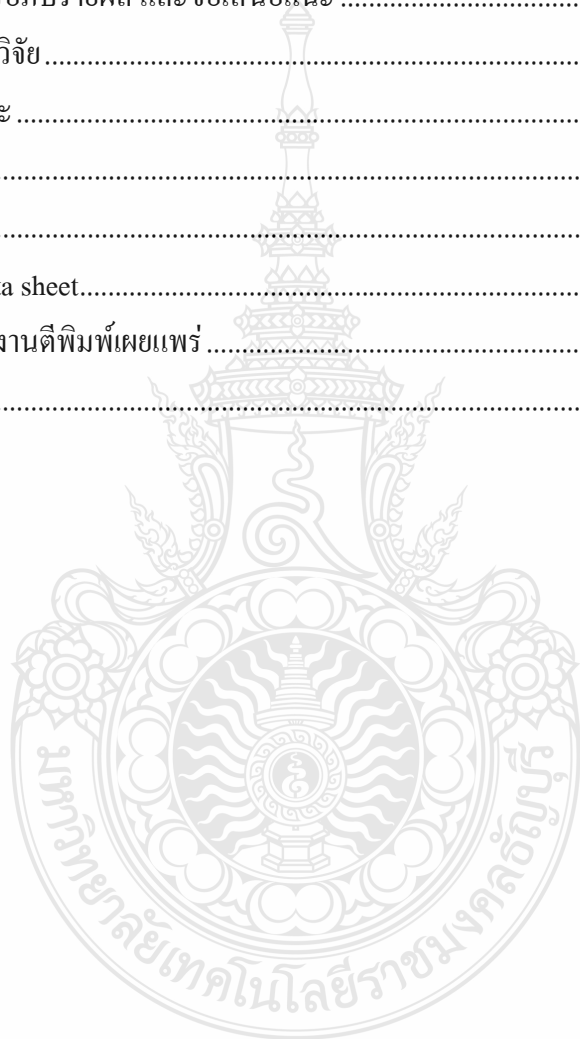
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	4
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System).....	6
2.2 ประเภทของพลังงานทดแทน.....	6
2.3 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System).....	7
2.4 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....	9
2.5 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด.....	11
2.6 นิยามและความหมายคุณสมบัติเชิงสมรรถนะของแบตเตอรี่.....	18
2.7 คุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....	25
2.8 ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ.....	26
2.9 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....	29
2.10 วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....	32
2.11 การหาค่าสถานะประจุ (State-of-Charge: SOC).....	36
2.12 วิธีการหาค่าสถานะประจุ.....	37
2.13 การออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทน.....	38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41
2.15 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
3 วิธีดำเนินงานการวิจัย	43
3.1 การจำลองสถานะการประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดด้วย MatLab/Simulink	44
3.2 สมการที่ใช้ในการจำลองแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ใน MatLab /Simulink	45
3.3 สมการการหาค่า SOC ที่ใช้ในแบตเตอรี่โมเดล	46
3.4 การตั้งค่าการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ใน MatLab /Simulink.....	47
3.5 การทดสอบสถานะประจุด้วยเครื่องควบคุมการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ (Microprocessor Test for Battery: MTB-Series).....	49
3.6 การออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ด้วย LabVIEW	51
3.7 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมระบบการจัดการแบตเตอรี่.....	57
3.8 ส่วนแสดงผลของระบบการจัดการแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	64
3.9 ระบบฮาร์ดแวร์ของระบบการจัดการแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	64
3.10 สรุปผลขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	66
4 ผลการทดลอง	67
4.1 ผลการจำลองสถานะการประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดด้วย MatLab/Simulink	67
4.2 ผลทดสอบการคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่โมเดลจากโปรแกรม MatLab/Simulink เปรียบเทียบกับระบบการจัดการสถานะการอัดประจุและคายประจุ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทนที่ใช้โปรแกรม LabVIEW	71
4.3 ผลการทดลองสถานะการประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ด้วยเครื่องควบคุมการอัดและ คายประจุแบตเตอรี่ (Microprocessor Test for Battery: MTB-Series)	77
4.4 ผลการทดสอบระบบการควบคุมการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม LabVIEW	79
4.5 ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม LabVIEW	82
4.6 ผลการทดสอบการควบคุมป้องกันการคายประจุเกินของแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม LabVIEW	

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.7 ผลการทดสอบการควบคุมป้องกันการอัดประจุเกินของแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม LabVIEW	87
4.8 สรุปผลการทดลอง.....	89
5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	91
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	91
5.2 ข้อเสนอแนะ	93
รายการอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก.....	96
ภาคผนวก ก Data sheet.....	97
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	119
ประวัติผู้เขียน.....	164



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ	18
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOD กับค่า SOC	23
2.3	เปรียบเทียบวิธีการหาค่า SOC ด้วยวิธีต่างๆ.....	37



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน.....	8
2.2	โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด.....	10
2.3	ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด	12
2.4	แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด แบบปิด (Valve Regulated Lead-Acid, VRLA)	14
2.5	โครงสร้างวาล์วระบายแก๊ส	15
2.6	เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่แบบ Flooded กับ VRLA.....	15
2.7	แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled Battery).....	16
2.8	แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM).....	17
2.9	วงจรเทียบเคียงการเกิดก๊าซซึ่ง	21
2.10	แบตเตอรี่เกิดการดีซาร์จด้วยตัวเอง เมื่อไม่มีแสงตกกระทบ	23
2.11	คุณลักษณะแรงดันและเวลาในการคายประจุ	25
2.12	ผลกระทบจากอุณหภูมิเทียบกับอายุการใช้งาน IEEE 1184.....	27
2.13	ผลกระทบจากแรงดันโพล์กับอายุการใช้งาน.....	28
2.14	ผลกระทบจากการคายประจุกับจำนวนรอบการใช้งาน.....	28
2.15	ปฏิกิริยาขณะคายประจุและประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....	29
2.16	กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....	30
2.17	กระบวนการเคมีของการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....	31
2.18	กระบวนการอัดประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	31
2.19	แบบจำลองพื้นฐานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	33
2.20	วงจรสมมูลแบบพลวัตแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	34
2.21	ช่วง Hysteresis ระหว่างการอัดประจุและคายประจุ	35
2.22	ระบบการจัดการแบตเตอรี่.....	39
2.23	ไดอะแกรมในการหาค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่	40
3.1	โพลีชาร์ตขั้นตอนการดำเนินงาน.....	43
3.2	แบบจำลองสถานะการคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	44
3.3	ไดอะแกรมการทำงานของแบตเตอรี่โมเดลใน MatLab /Simulink.....	45
3.4	คุณลักษณะของแบตเตอรี่โมเดลขณะคายประจุ.....	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

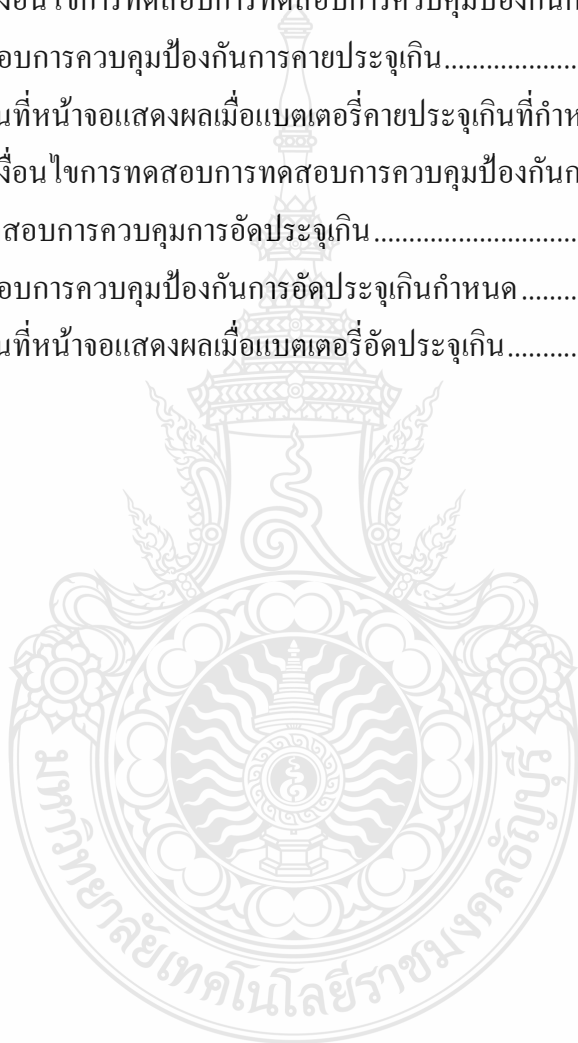
ภาพที่	หน้า
3.5 การตั้งค่าการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่	48
3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบค่าสถานะความจุด้วย MTB	49
3.7 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ MTB	50
3.8 โปรแกรมที่ใช้ควบคุมและเก็บข้อมูล.....	50
3.9 การทดสอบค่าสถานะประจุเปรียบเทียบ MTB กับ LabVIEW ในห้องปฏิบัติการ มทร. ธัญบุรี.....	51
3.10 โครงสร้างของระบบการจัดการแบตเตอรี่	52
3.11 NI cDAQ-9188 ใ้รับสัญญาณและส่งสัญญาณ	52
3.12 NI 9225 ใช้วัดระดับแรงดันไฟฟ้า	53
3.13 NI 9227 ใช้วัดระดับกระแสไฟฟ้า	53
3.14 NI 9211 ใช้วัดอุณหภูมิโดยรอบของแบตเตอรี่.....	54
3.15 NI 9401 TTL Digital Input/Output.....	54
3.16 เทอร์โมคัปเปิลชนิด T มีย่านการวัดระหว่าง -200 ถึง 250 องศาเซลเซียส	55
3.17 RTH34012 ของบริษัท Tyco Electronics	55
3.18 โฟลว์ชาร์ตเบื้องต้นในการเขียนโปรแกรม	58
3.19 Graphical Programming ของระบบการจัดการแบตเตอรี่.....	59
3.20 ฟังก์ชัน Write to Measurement File ของระบบการจัดการแบตเตอรี่.....	60
3.21 ฟังก์ชัน DAQ Assistance เพื่อควบคุมระบบไฟฟ้าของการจัดการแบตเตอรี่	61
3.22 ฟังก์ชัน DAQ Assistance เพื่อควบคุมระบบการจัดการอุณหภูมิ	62
3.23 ไดอะแกรมการคำนวณค่า SOC ของแบตเตอรี่ด้วยวิธีคูลอมป์เคาท์ติ้ง	62
3.24 โปรแกรมการคำนวณหาค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ด้วยวิธีคูลอมป์เคาท์ติ้ง	63
3.25 โปรแกรมการจัดการระบบความปลอดภัย.....	63
3.26 ส่วนแสดงผลของระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่น่าเสนอ.....	64
3.27 ไดอะแกรมระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบการจัดการ.....	65
3.28 ระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบการจัดการสถานะการอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทนโดยใช้โปรแกรม LabVIEW	66
4.1 แบบจำลองสถานะการคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.2	โพลีชาร์ตเงื่อนไขการทดสอบสถานะประจุและคายประจุ..... 68
4.3	คุณสมบัติการคายประจุเปรียบเทียบที่กระแส 1.1 แอมแปร์ กับ 1.667 แอมแปร์..... 69
4.4	คุณสมบัติการคายประจุและอัดประจุของแบตเตอรี่โมเดลในโปรแกรม MatLab/ Simulink 69
4.5	คุณสมบัติการคายประจุของแบตเตอรี่โมเดลที่โหลดคงที่ 20 วัตต์ 70
4.6	คุณสมบัติการอัดประจุของแบตเตอรี่โมเดลที่แรงดันคงที่ 17 โวลต์..... 71
4.7	ส่วนแสดงผลของระบบที่ใช้ในระบบการจัดการสถานะการอัดประจุและคายประจุ แบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทนที่ใช้โปรแกรม LabVIEW 72
4.8	ผลการทดสอบคุณลักษณะการคายประจุและอัดประจุของแบตเตอรี่จากโปรแกรม MatLab/Simulink เปรียบเทียบกับ LabVIEW 72
4.9	ผลการทดลองเปรียบเทียบการหาค่า SOC ของสองระบบ..... 73
4.10	ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะการคายประจุของสองระบบ..... 73
4.11	คุณสมบัติการอัดประจุของแบตเตอรี่ทั้งสองระบบ..... 74
4.12	ผลการทดลองการคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่เมื่อมีการปรับค่าความ ต้านทาน ภายในของแบตเตอรี่โมเดล 75
4.13	ผลการทดลองการคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่เมื่อมีการปรับค่าความ ความจุภายในของแบตเตอรี่โมเดล..... 76
4.14	โพลีชาร์ตเงื่อนไขการทดสอบการควบคุมการประจุจาก MTB 77
4.15	การทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณบุรี..... 78
4.16	ส่วนแสดงผลโปรแกรม Battery Charge/Discharge Data Processing Control System .. 78
4.17	การทดลองเปรียบเทียบการหาค่า SOC ของสองระบบ..... 79
4.18	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบในระบบ 79
4.19	โพลีชาร์ตเงื่อนไขการทดสอบการควบคุมการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ 80
4.20	วงจรการทดสอบการควบคุมการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์..... 80
4.21	ผลการทดสอบการควบคุมการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ 81
4.22	โพลีชาร์ตเงื่อนไขการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของระบบ..... 82
4.23	ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของระบบ..... 83

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.24 การแจ้งเตือนที่หน้าจอแสดงผลเมื่อพัดลมระบายอากาศทำงาน.....	83
4.25 การแจ้งเตือนที่หน้าจอแสดงผลเมื่อระบบมีอุณหภูมิใช้งานเกินกำหนด	84
4.26 วงจรการทดสอบการควบคุมการคายประจุเกิน	84
4.27 โฟลว์ชาร์ตเงื่อนไขการทดสอบการทดสอบการควบคุมป้องกันการคายประจุเกิน.....	85
4.28 ผลการทดสอบการควบคุมป้องกันการคายประจุเกิน.....	86
4.29 การแจ้งเตือนที่หน้าจอแสดงผลเมื่อแบตเตอรี่คายประจุเกินที่กำหนด	86
4.30 โฟลว์ชาร์ตเงื่อนไขการทดสอบการทดสอบการควบคุมป้องกันการอัดประจุเกิน	87
4.31 วงจรการทดสอบการควบคุมการอัดประจุเกิน.....	88
4.32 ผลการทดสอบการควบคุมป้องกันการอัดประจุเกินกำหนด	88
4.33 การแจ้งเตือนที่หน้าจอแสดงผลเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุเกิน.....	89



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวันและการพัฒนาประเทศ ส่วนใหญ่มนุษย์ใช้พลังงานที่มีแหล่งเชื้อเพลิงจากน้ำมันไม่ว่าจะเป็น การคมนาคมขนส่งหรือ โรงไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันมีราคาที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามความต้องการของตลาดโลกและคาดว่าจะหมดไปในระยะเวลาอันใกล้นี้ ประกอบกับในปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นทุกปีและเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าจะได้มาจากแหล่งเชื้อเพลิงคือ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมัน ซึ่งมีวิธีการและขั้นตอนการผลิตที่มากและก่อให้เกิดมลพิษ จากที่กล่าวมาข้างต้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน โดยยกตัวอย่างการใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงเรียกว่า โฟโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic Cell: PV Cell) และพลังงานลมซึ่งได้จากการรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลที่กักเก็บลมเพื่อนำไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวของกังหันลม เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เป็นต้น จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตด้วยพลังงานทดแทนที่กล่าวมาข้างต้นจะไม่ใช้เชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองในการผลิต ดังนั้นระบบพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกอีกทางสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อตอบสนองความต้องการของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและยังเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการผลิตต่ำ และในระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนนั้นจำเป็นต้องมีส่วนที่เก็บพลังงานไว้ใช้ในสถานะที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เช่น ตอนกลางคืน หรือ ขณะมีเมฆปกคลุมและช่วงที่ไม่มีลมที่ใช้ในการหมุนกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เพื่อช่วยในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ผู้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง

ส่วนที่เก็บพลังงานสำรองหรือแบตเตอรี่ เป็นส่วนที่จำเป็นสำหรับระบบพลังงานทดแทน เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพสามารถทำงานได้ต่อเนื่องและประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนมีลักษณะการออกแบบและใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าและสภาพภูมิอากาศในพื้นที่นั้นๆ

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ด้วยกัน 3 ชนิดคือ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Pb) แบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม (NiCd) และ แบตเตอรี่นิกเกิล-ไฮดรอกไซด์ (NiFe) ชนิดที่นิยมนำมาใช้กับระบบ

พลังงานทดแทนคือ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด แบบจ่ายประจุสูง (Deep Discharge Battery) ด้วยปัจจัยหลายๆ อย่างในเรื่องของราคา ประสิทธิภาพ อายุการใช้งาน เป็นต้น

จากการศึกษาแบบจำลองในการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน ส่วนที่ทำให้ระบบมีความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบมากที่สุดคือช่วงของการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งในสถานะของการประจุและคายประจุนี้จะเรียกว่าช่วง (Stage of Charge : SOC) คือ เมื่อมีการออกแบบให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ และใช้พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่จนถึงค่าต่ำสุดของความจุพลังงานไฟฟ้าที่กำหนด (Deep of Discharge : DOD) แล้วจะสั่งให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลทำงานทันที เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ผู้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและทำการเก็บประจุไฟฟ้าไปยังแบตเตอรี่ เพื่อสำรองพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้งานต่อไป และในช่วงการเก็บประจุนี้มีเงื่อนไขในการออกแบบคือ เมื่อเก็บประจุไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จนเต็มแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องหยุดทำงานทันทีเพื่อเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงในการผลิต แต่ในความเป็นจริงแล้วการออกแบบยังมีค่าความคลาดเคลื่อนของการทำงานในช่วงนี้อยู่มากอันเนื่องจากการออกแบบระบบการคำนวณค่า SOC ยังไม่แม่นยำเท่าที่ควร จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์สถานะ SOC ของแบตเตอรี่อย่างละเอียดต่อไป ในการศึกษาการทำงานของแบตเตอรี่ในช่วง SOC นั้นในเบื้องต้นจะสามารถวิเคราะห์การทำงานของสถานะนี้ได้ด้วยวิธีการวัดโดยตรงจากแบตเตอรี่ เช่นการวัดแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่และกระแสขณะประจุเพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า SOC กับข้อกำหนดของผู้ผลิต การวัดค่าความถ่วงจำเพาะของกรดโดยใช้ Hydrometer เป็นเครื่องมือวัด และปัจจุบันมีวิธีประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ด้วยสมการคณิตศาสตร์อยู่หลายวิธีเช่น

1) ประเภทที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เช่นระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) และตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic)

2) แบบจำลองคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ (Battery Model) [3]

วิธีที่กล่าวมามีข้อได้เปรียบเรื่องความแม่นยำแต่ยังต้องอาศัยอุปกรณ์คำนวณที่มีสมรรถภาพสูงและแบตเตอรี่โมเดลที่มีความแม่นยำสูงและการทำงานต้องอาศัยกระบวนการเรียนรู้ ซึ่งใช้เวลาต่อการประมวลผลสูงอาจส่งผลต่อการทำงานแบบต่อเนื่องในเรื่องของการส่งข้อมูลที่เป็นต้องขึ้นกับเวลา และมีอีกวิธีในการประมาณค่า SOC ของแบตเตอรี่คือ วิธีนับจำนวนประจุ วิธีนี้มีข้อดีคือเป็นวิธีที่ให้ความน่าเชื่อถือ เพราะทำการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ โดยตรงจากพฤติกรรมทางกายภาพอันได้แก่พฤติกรรมทางไฟฟ้า และมีข้อดีคือสามารถทำงานวัดแบบต่อเนื่องได้

ค่าตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์การทำงานของระบบเบตเตอรี่อีกตัวหนึ่งคือ อุณหภูมิ ซึ่งจะมองข้ามไม่ได้ในการศึกษา เพราะอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่สำคัญในการทำงานและกำหนดอายุการใช้งานของเบตเตอรี่ได้

สิ่งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การออกแบบระบบพลังงานทดแทนนั้นคุณสมบัติการทำงานของเบตเตอรี่นั้นสำคัญมากโดยเฉพาะช่วงสถานะ SOC จะมีความจำเป็นในเรื่องของเสถียรภาพการทำงานของระบบ เช่นเมื่อมีการออกแบบกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานในช่วงที่เบตเตอรี่ในช่วงคายประจุต่ำสุดที่ต้องการ SOCmin เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องทำงานเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้ผู้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและเก็บประจุเข้าเบตเตอรี่จนถึงในช่วง SOCmax จะสั่งให้เครื่องกำเนิดหยุดการทำงาน แต่เมื่อการกำหนดค่าในการคำนวณช่วงของการประจุที่ต่ำที่สุดนั้นมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องการประมาณค่าการคายประจุนั้นผิดเพี้ยนไป เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะทำงานไม่ตรงตามที่วัตถุประสงค์กำหนดไว้ จึงจำเป็นจะต้องมีระบบมาจัดการการทำงานในช่วงการคายประจุและอัดประจุของเบตเตอรี่เพื่อให้เบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบสามารถทำงานได้อย่างเต็มขีดความสามารถช่วยให้ระบบมีเสถียรภาพและช่วยยืดอายุการใช้งานของเบตเตอรี่ได้

โดยในงานวิจัยนี้จะนำเสนอการตรวจวัดและควบคุมการทำงานของเบตเตอรี่และอุปกรณ์ต่างๆ โดยประมวลผลและแสดงผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW 8.5 โดยใช้วิธีการประมาณสถานะความจุเบตเตอรี่ด้วยวิธีการนับประจุหรือหลักการคูณออมป์เคาท์ติ้ง จากการวัดค่าพารามิเตอร์ในสถานะการใช้งานจริงผ่านทางระบบตรวจวัดต่างๆ นำมาคำนวณซึ่งมีระบบแจ้งเตือนเมื่อระบบมีความผิดปกติและการจัดเก็บข้อมูลต่างๆ ของระบบที่ได้ นำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบต่อไปได้ เพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพการทำงานให้ระบบและช่วยยืดอายุการใช้งานของเบตเตอรี่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบพลังงานทดแทน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของเบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทน
- 1.2.3 เพื่อศึกษานำเทคนิคการประมาณสถานะ SOC แบบต่างๆ และนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบได้
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการออกแบบระบบแสดงผลตรวจวัดและควบคุมเบตเตอรี่ผ่านทางโปรแกรม LabVIEW ได้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ในระบบพลังงานทดแทน

1.3.2 สร้างแบบจำลองระบบการประมาณสถานะ SOC ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดผ่านทางโปรแกรม MatLab/Simulink

1.3.3 ออกแบบระบบแสดงผลตรวจวัดและควบคุมสถานะ SOC ของแบตเตอรี่ผ่านทางโปรแกรม LabVIEW

1.3.4 วิเคราะห์ผลการจำลองและผลการทดลองชุดควบคุมสถานะ SOC ของแบตเตอรี่

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษาการทำงานของระบบพลังงานทดแทนและปัญหาที่เกิดขึ้นของระบบเพื่อนำไปสู่การพัฒนาาระบบให้ดีขึ้น

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้น

3) ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบพลังงานทดแทน

4) ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบ

5) ศึกษาเทคนิคการประมาณสถานะ SOC แบบต่างๆ เพื่อนำมาออกแบบระบบได้

6) ศึกษาการสร้างแบบจำลองสถานะ SOC ด้วยโปรแกรม MatLab/Simulink

7) ศึกษาการออกแบบระบบแสดงผลตรวจวัดและควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม LabVIEW

1.4.3 การประมาณค่าสถานะ SOC

1) กำหนดสมการตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำงานช่วงสถานะ SOC ของแบตเตอรี่

2) ออกแบบสร้างจำลองด้วยโปรแกรม MatLab/ Simulink

3) ออกแบบสร้างการประมาณค่า SOC ด้วยโปรแกรม LabVIEW

4) ทดสอบการประมาณค่า SOC ด้วยเครื่องควบคุมการประจุและอัดประจุ

5) วิเคราะห์ผลการประมาณค่า SOC ที่ได้ของทั้งสามระบบ

1.4.4 ขั้นตอนการออกแบบและทดสอบระบบควบคุมและเตือนภัย

1) ออกแบบระบบการแสดงผลตรวจวัดและควบคุมผ่านทางโปรแกรม LabVIEW

2) ทดสอบการทำงานของระบบที่สถานะการต่างๆ ตามเงื่อนไขที่กำหนด

1.4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจหลักการทำงานเบื้องต้นในการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน

1.5.2 เข้าใจหลักการทำงานของแบตเตอรี่ ชนิดตะกั่ว-กรดที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทน

1.5.3 ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบตเตอรี่ในสถานะ SOC เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบได้

1.5.4 เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบโปรแกรมตรวจวัดและควบคุมแบตเตอรี่เพื่อใช้ในระบบพลังงานทดแทนเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการใช้งานแบตเตอรี่ยิ่งขึ้น



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์เรื่องระบบการจัดการสถานะการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทน ได้รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัยอันประกอบด้วยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งจะประกอบไปด้วย 1. ระบบพลังงานทดแทน 2. แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด 3. การประมาณค่าสถานะค่าประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 4. การออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทน และ 5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System) [1]

พลังงานทดแทนโดยทั่วไปหมายถึงพลังงานที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติและสามารถมีทดแทนได้อย่างไม่จำกัด (เมื่อเทียบกับพลังงานหลักในปัจจุบัน เช่น น้ำมันหรือถ่านหิน) ตัวอย่างพลังงานทดแทนที่สำคัญเช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ไบโอฟิล พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง พลังงานคลื่น และพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากกระบวนการชีวภาพเช่น บ่อก๊าซชีวภาพ เป็นต้น พลังงานลมมีอัตราเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 30 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี โดยพลังงานที่ได้ทั่วโลกอยู่ที่ประมาณ 157,900 เมกะวัตต์ (MW) ในปี 2552 พลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะศักยภาพ และสถานภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานทดแทน การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นการศึกษา ค้นคว้า ทดสอบ พัฒนา และสาธิต ตลอดจนส่งเสริมและเผยแพร่พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล และอื่นๆ เพื่อให้มีการผลิต และการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐกิจ และสังคม

2.2 ประเภทของพลังงานทดแทน

2.2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ ดวงอาทิตย์ให้พลังงานจำนวนมหาศาลแก่โลกของเรา พลังงานจากดวงอาทิตย์จัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญที่สุด เป็นพลังงานสะอาดไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ อันจะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ เซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ที่ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า เนื่องจากสามารถเปลี่ยนเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ส่วนใหญ่เซลล์

แสงอาทิตย์ทำมาจากสารกึ่งตัวนำพวกซิลิคอน มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 22 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร จึงได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ในเกณฑ์สูง พลังงานโดยเฉลี่ยซึ่งรับได้ทั่วประเทศประมาณ 4 ถึง 4.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ประกอบด้วยพลังงานจากรังสีตรง (Direct Radiation) ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นพลังงานรังสีกระจาย (Diffused Radiation) ซึ่งเกิดจากละอองน้ำในบรรยากาศ(เมฆ) ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าบริเวณที่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรออกไปทั้งแนวเหนือ-ใต้

2.2.2 พลังงานลม เป็นพลังงานธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 ที่ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ใช้แล้วไม่มีวันหมดสิ้นไปจากโลก ได้รับความสนใจนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์อย่างกว้างขวาง ในขณะเดียวกัน กังหันลมก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ โดยเฉพาะในการผลิตกระแสไฟฟ้า และในการสูบน้ำ ซึ่งได้ใช้งานกันมาแล้วอย่างแพร่หลาย พลังงานลมเกิดจากพลังงานจากดวงอาทิตย์ตกกระทบโลกทำให้อากาศร้อน และลอยตัวสูงขึ้น อากาศจากบริเวณอื่นซึ่งเย็นและหนาแน่นมากกว่าจึงเข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของอากาศเหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดลม และมีอิทธิพลต่อสภาพลมฟ้าอากาศในบางพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวฝั่งทะเลอันดามันและด้านทะเลจีน(อ่าวไทย) มีพลังงานลมที่อาจนำมาใช้ประโยชน์ในลักษณะพลังงานกล (กังหันสูบน้ำ กังหันผลิตไฟฟ้า) ศักยภาพของพลังงานลมที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สำหรับประเทศไทย มีความเร็ว อยู่ระหว่าง 3 - 5 เมตรต่อวินาที และความเข้มพลังงานลมที่ประเมินไว้ได้อยู่ระหว่าง 20 - 50 วัตต์ต่อตารางเมตร

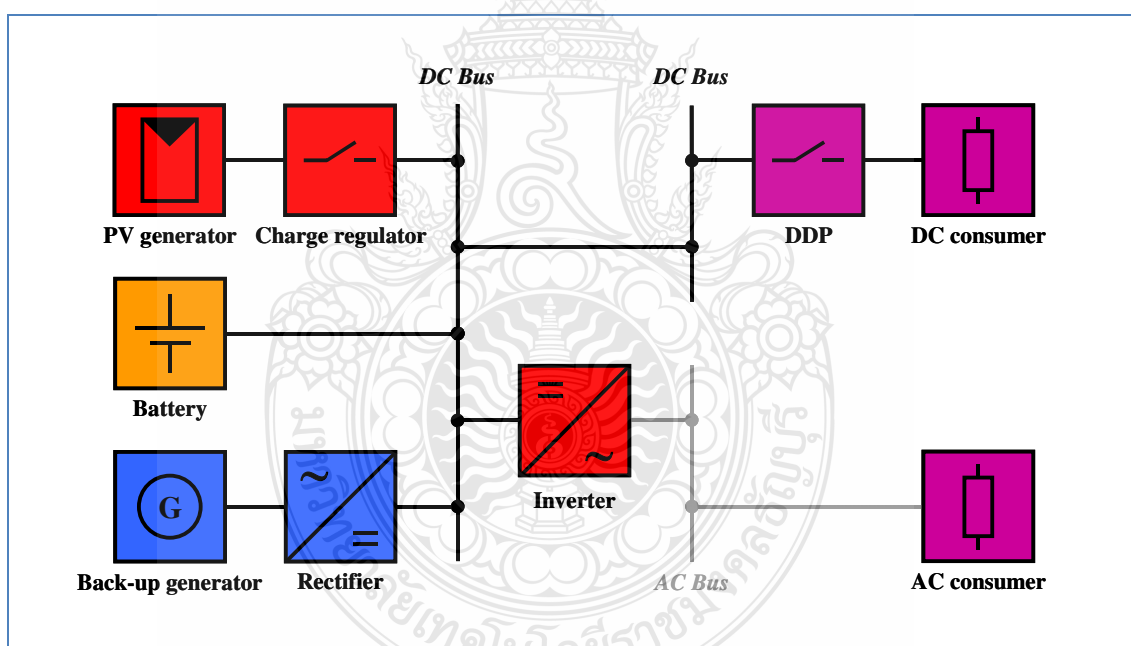
2.2.3 พลังงานน้ำ พื้นผิวโลกถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ปกคลุมด้วยน้ำ ซึ่งมีความสำคัญยิ่งต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย น้ำเหล่านี้มีการเปลี่ยนสถานะและหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา ระหว่างผิวโลกและบรรยากาศอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเรียกว่า วัฏจักรของน้ำ น้ำที่กำลังเคลื่อนที่มีพลังงานสะสมอยู่มาก และมนุษย์รู้จักนำพลังงานนี้มาใช้หลายร้อยปีแล้ว เช่น ใช้หมุนกังหันน้ำ ปัจจุบันมีการนำพลังงานน้ำไปหมุนกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า

2.3 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะเช่น การทำงานร่วมกันระหว่าง พลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตพลังงาน

ไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงเรียกว่าโฟโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic Cell: PV Cell) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเซลล์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าซึ่งในส่วนนี้จะพยายามออกแบบให้มีช่วงการทำงานที่น้อยที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ในระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบผสมผสานนั้นจำเป็นจะต้องมีส่วนที่เก็บพลังงานไว้ใช้ในสภาวะที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เช่น ตอนกลางคืนหรือขณะมีเมฆปกคลุม เพื่อลดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

ส่วนที่เก็บพลังงานสำรอง หรือ แบตเตอรี่ เป็นส่วนที่จำเป็นสำหรับระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพสามารถทำงานได้ต่อเนื่องและประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนแบบผสมผสานจะมีลักษณะการออกแบบและใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่นั้นๆ ดังแสดงตัวอย่างระบบในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [2]

2.4 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ปี ค.ศ. 1859 กาสตอง ปองเต (Gaston Plante: ค.ศ. 1834-1889) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ได้พัฒนาแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ (Secondary Cell) ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่สามารถนำมาประจุไฟฟ้าใหม่ได้และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งในปี ค.ศ. 1920 ได้มีการผลิตแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้านและต่อมาก็มีการพัฒนาให้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบันส่วนประกอบของแบตเตอรี่จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภท ชนิด และงานที่ใช้โดยขึ้นอยู่กับการออกแบบของบริษัทผู้ผลิต แต่จะมีส่วนประกอบหลักที่เหมือนกันดังนี้

2.4.1 วัสดุที่ทำปฏิกิริยา (Active Materials)

เซลล์ไฟฟ้าเคมีจะประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบซึ่งเป็นวัสดุต่างชนิดกันเป็นผลให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วไดออกไซด์ และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่วเป็นต้น

2.4.2 โครงแผ่นธาตุ (Support Grids)

โครงแผ่นธาตุทำจากตะกั่วผสมโลหะเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล โลหะที่นำมาผสมเช่น พลวง (Antimony) ดีบุก (Tin) แคลเซียม (Calcium) เป็นต้น โดยตะกั่วพลวงเป็นโลหะผสมที่ใช้กับแบตเตอรี่ชนิดแรกซึ่งมีผลดีคือ อายุการใช้งานของแผ่นธาตุยาวนานขึ้นเพิ่มความแข็งแรงเหมาะสมกับงานรถยนต์ไฟฟ้า แต่ผลเสียคือความต้านทานในเซลล์มีค่าสูงทำให้เกิดการคายประจุในตัวเอง (Self-discharge) เร็วขึ้นและอายุการใช้งานสั้น ภายหลังจึงเปลี่ยนเป็นตะกั่วแคลเซียมซึ่งมีข้อได้เปรียบคือการเพิ่มอายุการใช้งานของแผ่นธาตุซึ่งนิยมใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้ง

2.4.3 แผ่นกั้น (Separator)

แผ่นกั้นทำหน้าที่ป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงของขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง คุณสมบัติที่ดีของแผ่นกั้นจะต้องมีความต้านทานการไหลของไอออนในสารละลายต่ำ หมายความว่าแผ่นกั้นต้องมีความพรุนให้อิออนผ่านได้สะดวกและไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือแผ่นธาตุในระบบ ช่วงแรกแผ่นกั้นทำมาจากวัสดุจำพวกไม้โดยนำยางไม้ออกก่อน ภายหลังใช้ยางธรรมชาติซึ่งให้ความพรุนมากกว่า แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ยางสังเคราะห์เนื่องด้วยความสะดวกในการผลิตและต้นทุนต่ำกว่า

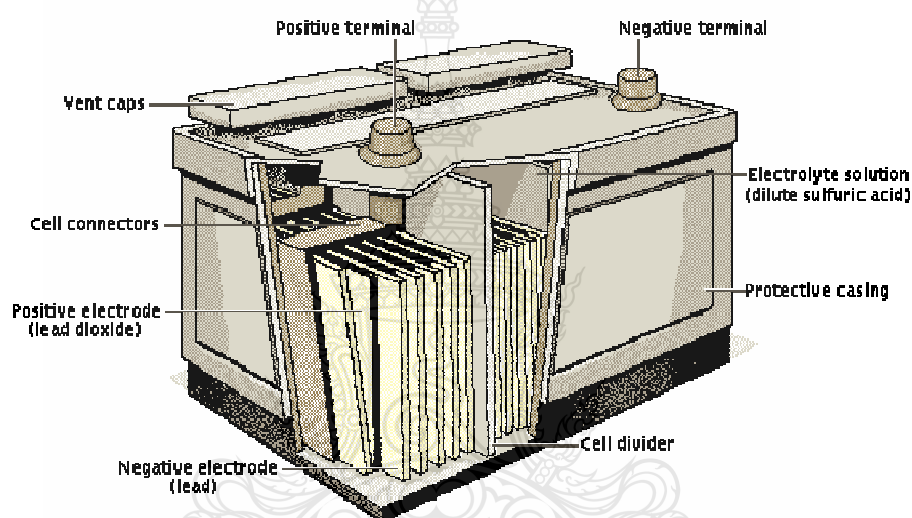
2.4.4 สารละลาย (Electrolyte)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นกรดซัลฟูริกซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะที่ใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่และสภาพภูมิอากาศถ้าใช้สารละลายที่มีความถ่วงจำเพาะมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียเช่น การคายประจุในตัวเองสูงและการฟุกร่อนของแผ่นธาตุ

เร็ว ในทางกลับกันจะมีประโยชน์สำหรับภูมิภาคประเทศเขตร้อน เนื่องจากจะทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายต่ำลง

2.4.5 หม้อแบตเตอรี่ (Container)

หม้อแบตเตอรี่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากไม้ แก้ว เซรามิก ปัจจุบันวัสดุที่นิยมใช้ทำมาจากพลาสติกพีวีซีหรือโพลีเอทิลีน โดยแบ่งออกเป็นช่องๆ ขึ้นอยู่กับการออกแบบโดยกำหนดให้หนึ่งช่องมีความต่างศักย์ประมาณ 2 โวลต์ต่ออนุกรมกัน ส่วนการเลือกวัสดุจะต้องเป็นวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและไม่มีผลต่อปฏิกิริยาในระบบ



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

ในการเลือกวัสดุนั้นจะต้องเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและไม่มีผลต่อปฏิกิริยาในระบบ ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้โลหะแต่สำหรับในแบตเตอรี่รถยนต์และรถยนต์จะใช้โลหะด้านนอกเพื่อความแข็งแรงแต่ด้านในจะเป็นพลาสติก แบตเตอรี่ต่างชนิดกันแม้จะมีความจุเท่ากันก็อาจมีขนาดตัวถังต่างกันเนื่องด้วยปริมาณสารละลายที่ต่างกัน

2.5 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด มีคุณสมบัติเฉพาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะจัดแบ่งเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1) แบตเตอรี่รถยนต์ (Starting Lighting and Ignition : SLI) เป็นแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาใช้กับงานลักษณะการคายประจุน้อย (Shallow Cycle) ใช้กับระบบรถยนต์เป็นส่วนใหญ่ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีแผ่นเพลทบางทั้งเพลทบวกและลบ ลักษณะการออกแบบแบบนี้เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำปฏิกิริยา การที่เพลทมีพื้นที่ทำปฏิกิริยามากต่อเซลล์ ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้จ่ายกระแสสูงๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ ถึงแม้ว่าไม่ได้รับการออกแบบให้มียุการใช้งานนานกับลักษณะการคายประจุแบบลึก (Deep Cycle) แบตเตอรี่แบบนี้ ก็ยังมีการนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศกำลังพัฒนา ที่มีอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่เพียงชนิดเดียว ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อนำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจใช้งานได้ถึงสองปี กับระบบอิสระขนาดเล็กที่มีการใช้งานไม่เกิน 10-20 เปอร์เซ็นต์ DOD ต่อวัน และจำกัดไว้มากที่สุด ไม่เกิน 40-60 เปอร์เซ็นต์ DOD

2) แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Motive Power or Traction Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้รับการออกแบบสำหรับการใช้งานที่มีการคายประจุมาก ส่วนใหญ่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า รถยกไฟฟ้า ในสนามกอล์ฟ แบตเตอรี่ชนิดนี้ จะมีจำนวนเพลทต่อเซลล์น้อยกว่าแบบที่ใช้กับรถยนต์ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะเพลทจะหนาและทนทานกว่าวัสดุที่นำมาทำกริดแบบนี้ในยุคแรกๆ จะใช้ ตะกั่ว-แอนติโมนี เพื่อให้สามารถคายประจุได้มาก แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันดีและมีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก (Deep Cycle) อายุการใช้งานนาน และออกแบบมาให้มีความทนทาน

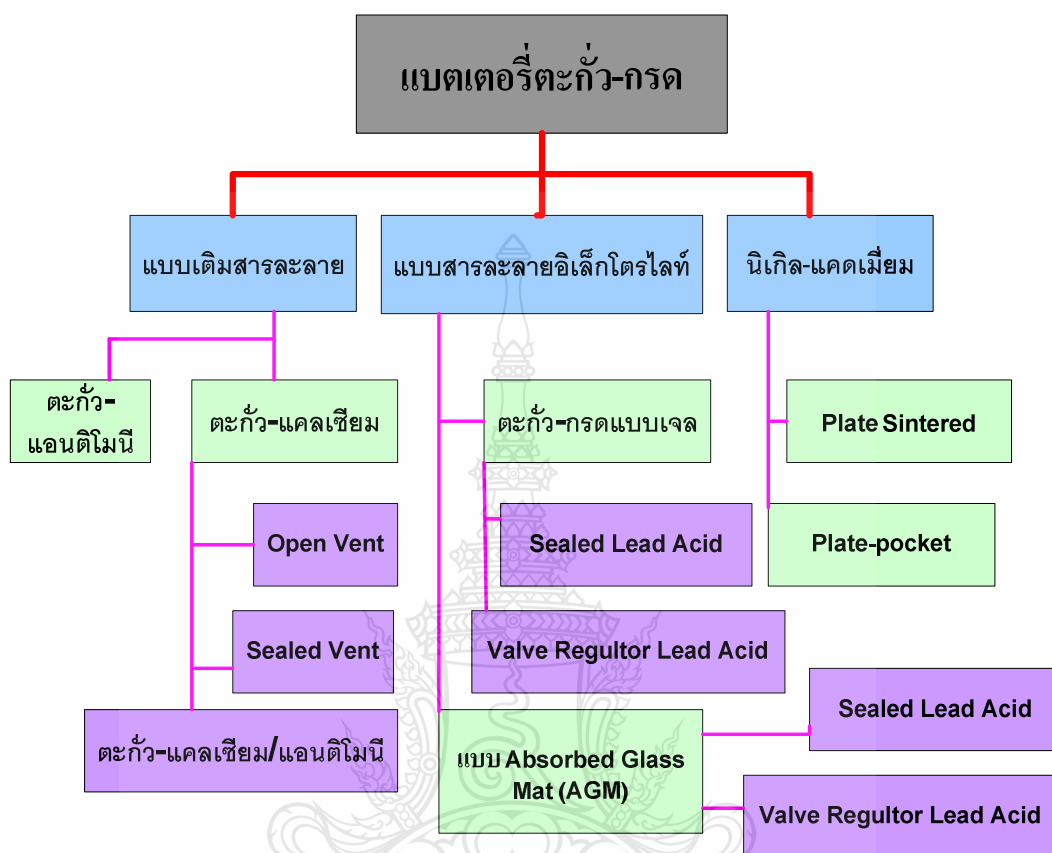
3) แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้า (Stationary Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS) เพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับระบบคอมพิวเตอร์ ระบบโทรศัพท์ และระบบไฟฟ้าอื่นๆ แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้ามีคุณลักษณะคล้ายกับทั้งแบตเตอรี่รถยนต์และแบตเตอรี่รถไฟฟ้า และจะออกแบบให้มีการคายประจุมาก

2.5.1 ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ปัจจุบันมีแบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลายหรือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ผลิออกมาจำหน่ายหลายชนิด ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นชนิดที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะมี 3 ชนิด คือ

- แบบเติมสารละลาย (Flooded Lead Acid Battery)
- แบบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (VRLA Battery)

- นิกเกิล-แคดเมียม



ภาพที่ 2.3 ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

1) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแอนติโมนี (Sb) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท การใช้สารแอนติโมนีผสมกับตะกั่วในเพลทมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดี คือการเพิ่มความแข็งแรงทนทานของแผ่นกริดเพลท ให้มากกว่าใช้ตะกั่วธรรมดา และทำให้สามารถใช้งานคายประจุมาก หรือที่เรียกว่า ประจुरुอบลึก และงานที่มีอัตราการคายประจุสูงได้เป็นอย่างดี กริดแบบตะกั่ว-แอนติโมนี ยังจำกัดการปลดปล่อยตัวของสารทำปฏิกิริยาทำให้มีอายุการใช้งานมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แคลเซียมเมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูง ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี คือการมีอัตราการคายประจุในตัวเองสูง และจากที่อัตราการประจुरुอบลึกน้อยทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยๆ ขึ้นกับอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการประจुरुอบ

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี ส่วนใหญ่แล้วเป็นแบบเติมสารละลายมีช่องระบายก๊าซ เป็นเกลียวเปิดสำหรับเปิดเติมน้ำแบตเตอรี่แบบนี้เหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก และความสามารถในการใช้ด้านอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดนี้ ต้องการการเติมน้ำเป็นระยะเวลาที่แน่นอน การลดความถี่ของการเติมน้ำอาจจะโดยการใช้ฝาปิดที่ดักจับน้ำที่ระเหยไปกลับ หรือการออกแบบแบตเตอรี่ที่มีการแลกเปลี่ยนสารละลายจากด้านบน การเช็คดูความผิดปกติของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำได้โดยการวัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี แบบเปลทหนาและการออกแบบที่แข็งแรง ส่วนใหญ่แล้วจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มแบตเตอรี่สำหรับรถไฟ เพราะเป็นลักษณะการใช้งานที่ต้องการลักษณะการคายประจุสูงและอายุการใช้งานนาน

2) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแคลเซียม (Ca) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท เหมือนแบบตะกั่ว-แอนติโมนี เช่นเดียวกันการใช้ส่วนผสมแคลเซียมในเพลทตะกั่วมีทั้งประโยชน์และข้อเสีย ส่วนที่เป็นข้อดี คือการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นกริดเพลท มีอัตราการคายประจุในตัวเองต่ำ และลดผลการเกิดก๊าซซึ่ง ทำให้มีการสูญเสียเล็กน้อยลง การบำรุงรักษาก็ลดลงด้วย ข้อเสียของการผสมแคลเซียม คือมีคุณสมบัติการประจุที่ไม่ดีในสภาวะที่คายประจุมากๆ และเมื่อนำไปใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูง หรือใช้งานคายประจุมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ DOD บ่อยๆ อายุการใช้งานจะสั้นลง แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม มีอยู่ 3 ชนิดคือ

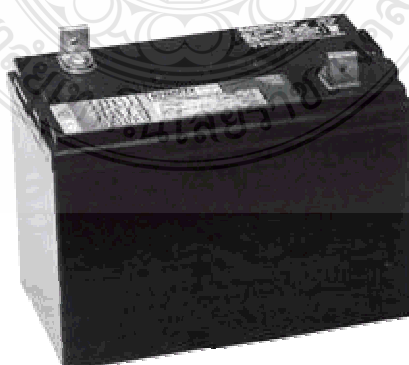
1. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent แบตเตอรี่ชนิดนี้ จัดอยู่ในชนิดใช้สำหรับระบบไฟฟ้า ส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาดลูกกลม 2 โวลต์ มีความจุหลายขนาดและมากถึง 1000 แอมแปร์-ชั่วโมง แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีข้อดีที่มีอัตราการคายประจุด้วยตัวเองต่ำและมีการสูญเสียเล็กน้อย และอาจมีอายุการใช้งานนานถึง 20 ปี ถ้าใช้ในโหมดไฟฟ้าสำรอง สำหรับการประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ยังมีประสิทธิภาพไม่มากนักเนื่องจากปัญหาเรื่องปรากฏการณ์ชั้นเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย (Stratification)

2. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Vent การพัฒนาแบตเตอรี่ ชนิดนี้เริ่มต้นใช้ชื่อ Maintenance Free ใช้กับรถยนต์มีความจุในช่วง 50 แอมแปร์-ชั่วโมง ถึง 200 แอมแปร์-ชั่วโมง ขนาด 12 โวลต์ และมีคุณสมบัติเหมือนกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียมธรรมดา คือทนต่อการประจุเกินสภาวะแวดล้อมอุณหภูมิสูงและการทำงานในลักษณะการคายประจุมาก ความหมายของการไม่มีการบำรุงรักษา คือ การไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นการออกแบบแบตเตอรี่จะมีการสำรองสารอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้ตลอดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้กับระบบโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก เช่นระบบที่ใช้ในบ้าน ระบบแสงสว่าง แต่ต้อง

ระมัดระวังในการประจุ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สูงสุดและอายุงานที่สุด ถึงแม้จะมีราคาถูก แต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ ได้รับการออกแบบสำหรับการคายประจุน้อย (Shallow Cycle) และจะมีอายุการใช้งานสั้นเมื่อนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

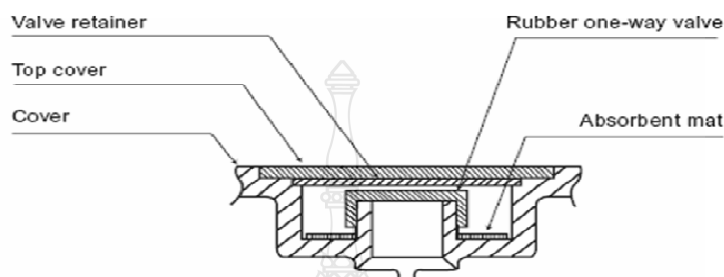
3) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี แคลเซียม ไฮบริด แบตเตอรี่ชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเติมน้ำกลั่น มีความจุถึง 200 แอมแปร์-ชั่วโมง ลักษณะการออกแบบที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือการใช้ตะกั่ว-แคลเซียม เป็นกริดแบบแท่งในขั้วบวกและใช้ตะกั่ว-แอนติโมนีในขั้วลบ การออกแบบนี้ได้รวมข้อดีของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิด คือมีประสิทธิภาพดีที่การคายประจุนาน มีการสูญเสียเล็กน้อยและอายุการใช้งานนาน ปัญหาปรากฏการณ์ซัลเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย ยังคงมีอยู่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบขนาดใหญ่

4) แบตเตอรี่ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA) ดังภาพที่ 2.4 เป็นแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด อีกชนิดหนึ่งโดยสารอิเล็กโทรไลต์จะถูกอิมโมบิลิซ (Immobilized) และปิดผนึกในภาชนะบรรจุ ถ้าเกิดสถานะประจุเกินช่องระบายอากาศจะเปิดโดยแรงดันอากาศภายใน ดังภาพที่ 2.5 แบตเตอรี่ส่วนใหญ่แล้วจะเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่า Valve Regulated Lead-Acid (VRLA) สารอิเล็กโทรไลต์จะไม่สามารถเติมได้ในแบตเตอรี่ชนิดนี้ ดังนั้นในการใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องไม่ทำการประจุเกิน แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกั้นห้ามผลิตไฟฟ้า เพราะได้รับการพิสูจน์ใช้งานแล้วและสะดวกต่อการขนส่ง และที่สำคัญคือไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งเป็นแบตเตอรี่ในอุดมคติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกั้นห้ามผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล แต่อย่างไรก็ตามสาเหตุที่จะทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้เกิดการเสียหายได้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือการประจุเกิน ทำให้สูญเสียสารอิเล็กโทรไลต์ซึ่งมักเกิดในสถานะอุณหภูมิสูง ดังนั้นสำหรับกรณีนี้ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ จะต้องตั้งจุดควบคุมไม่ให้มีสถานะประจุเกิน (Over Charging)

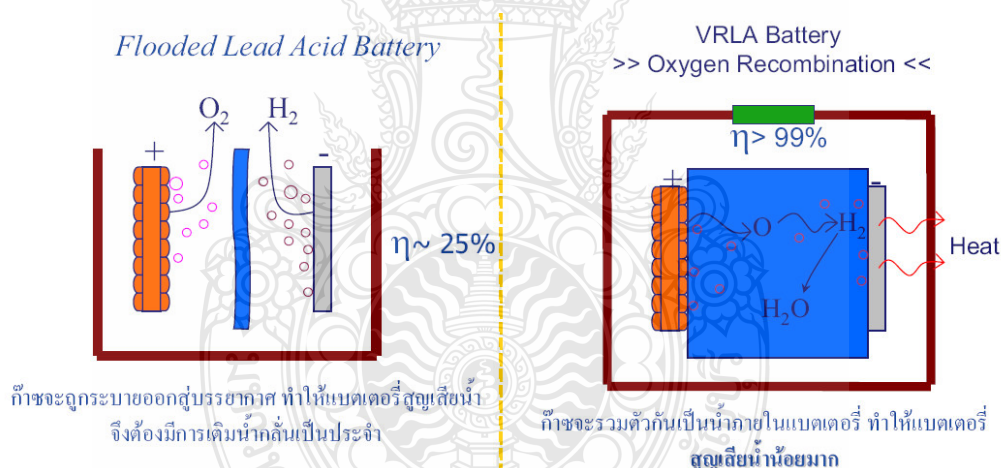


ภาพที่ 2.4 แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด แบบปิด (Valve Regulated Lead-Acid, VRLA) [2]

VRLA เป็นแบตเตอรี่ที่ปิดผนึกโดยรอบยกเว้นวาล์ว (วาล์วทางเดียว) ที่จะเปิดออกเองในบางครั้ง เพื่อลดความดันในแบตเตอรี่ในกรณีที่เกิดการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันที่เกินกว่าค่าที่แนะนำของบริษัทผู้ผลิต หรืออุณหภูมิที่ใช้งานสูงผิดปกติ โดยแก๊สที่ระบายออกมานั้นจะมีส่วนของไฮโดรเจน และออกซิเจน



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างวาล์วระบายแก๊ส [2]



ภาพที่ 2.6 เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่แบบ Flooded กับ VRLA [2]

จากภาพที่ 2.6 ได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะการทำงานภายในของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดเดิมสารละลาย (Flooded) กับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดแห้ง (VRLA) ขณะเกิดการสูญเสียน้ำภายในขณะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทางกายภาพ

เทคโนโลยีของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีผลกระทบเร็วมากต่อสถานะการประจุ โดยเฉพาะข้อจำกัดระดับแรงดันและอุณหภูมิ การประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิต

ถ้าไม่มีข้อมูล ไม่ควรประจุเกิน 14.2 โวลต์ ที่ 25 องศาเซลเซียส สำหรับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ข้อเสนอแนะสำหรับการประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือให้ทำการประจุที่ระดับแรงดันและอุณหภูมิคงที่เพื่อป้องกันการประจุเกิน ยังสามารถแบ่งรูปแบบของ VRLA แบตเตอรี่ได้อีก 2 ชนิด คือ

1. แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled Battery) ดังภาพที่ 2.7 แบตเตอรี่ชนิดนี้ ออกแบบสำหรับใช้ในงานเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ส่วนใหญ่ใช้กรดแบบตะกั่ว-แคลเซียมแบตเตอรี่ชนิดนี้มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์เข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์ก่อนที่จะทำให้เป็นเจลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารวมกันภายใน เพื่อลดการเกิดก๊าซและลดการสูญเสียน้ำ แบตเตอรี่แบบเจล บางชนิดมีการผสมกรดฟอสฟอริกในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพื่อปรับปรุงความสามารถในการคายประจุมากของแบตเตอรี่



ภาพที่ 2.7 แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled Battery) [2]

2. แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM) ดังภาพที่ 2.8 แบตเตอรี่ชนิดนี้แตกต่างจากแบบเจล คือสารอิเล็กโทรไลต์จะซับด้วย glass mats และวางเป็นชั้นๆ ระหว่างเพลทแต่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกับเจล การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำให้สามารถใช้งานในสภาวะประจุเกินและสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นข้อเสนอแนะในการประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดนี้จะกำหนดแรงดันคงที่สูงกว่าแบตเตอรี่แบบเจลได้



AGM



ภาพที่ 2.8 แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM) [2]

ลักษณะเด่นของแบตเตอรี่แบบ AGM คือปรากฏการณ์การรวมตัวของก๊าซภายใน เมื่อเราทำการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดใกล้ถึงสภาวะประจุเต็ม จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนจากปฏิกิริยาในขั้วบวกและลบ ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่นก๊าซที่เกิดขึ้นจะระบายออกมาภายนอก ทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นเข้าไปทดแทน แต่ใน AGM แบตเตอรี่โมเลกุลออกซิเจนที่เกิดขึ้นในเพลาทบวกสามารถเคลื่อนที่ไปรวมกับ โมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนที่เพลาทลบและรวมตัวกลับเป็นน้ำอีกครั้ง ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะปิดสนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำและก๊าซที่เกิดขึ้นภายใน

5) แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม เป็นแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ สามารถนำมาประจุใหม่ได้ และมีการนำไปใช้ประโยชน์ในวงกว้างมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ทำให้เป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บผลผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีอายุการใช้งานนาน บำรุงรักษาน้อย สามารถทนการประจุที่ผิดปกติได้ ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ไม่มีข้อจำกัดที่ต้องควบคุมแรงดันให้คงที่ขณะประจุ ข้อเสียคือราคาแพงและมีขนาดให้เล็กลงใช้งานน้อย

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery)	ราคา	คุณสมบัติการคายประจุแบบลึก (Deep cycle)	การบำรุงรักษา
แบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลาย (Flooded Lead-Acid)			
1. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี	ต่ำ	ดี	สูง
2. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent	ต่ำ	ไม่ดี	ปานกลาง
3. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Vent	ต่ำ	ไม่ดี	ต่ำ
4. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/แคลเซียม	ปานกลาง	ดี	ปานกลาง
แบตเตอรี่ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA)			
1. เจลแบตเตอรี่(Gelled)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
2. Absorbed Glass Mat(AGM)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
นิเกิล-แคดเมียม			
1. ชนิดเพลทแบบ Sintered	สูง	ดี	ไม่มี
2. ชนิดเพลทแบบ Pocket	สูง	ดี	ปานกลาง

ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิด สามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ด้วยเหตุผลนานาประการไม่ว่าจะเป็นราคาที่ถูกลงและหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด เป็นต้น

2.6 นิยามและความหมายคุณสมบัติเชิงสมรรถนะของแบตเตอรี่

1) แอมแปร์ชั่วโมง (Ah) เป็นหน่วยพื้นฐานในการวัดความจุของแบตเตอรี่ โดยใช้วิธีการคายประจุด้วยกระแสคงที่แล้วจับเวลาเป็นชั่วโมงจนแบตเตอรี่คายประจุหมด โดยความจุแอมแปร์ชั่วโมงจะได้จากการนำค่ากระแสคูณกับเวลาเป็นชั่วโมง ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ความจุ 80 แอมแปร์ชั่วโมง หมายความว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นสามารถจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 8 แอมแปร์ได้นาน 10 ชั่วโมง หรือ 4 แอมแปร์ได้นาน 20 ชั่วโมง

2) ความจุ (Capacity) ในทางปฏิบัติ การวัดความจุของแบตเตอรี่ยังขึ้นกับขนาดของกระแสที่คายประจุหรือระยะเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ ถ้ากระแสที่คายประจุเพิ่มขึ้นความจุแบตเตอรี่ที่ใช้

งานได้จริงจะลดลง ในการกำหนดคุณลักษณะการลดลงของความจุแบตเตอรี่แบบนี้ จะมีการเขียนกำกับความจุของแบตเตอรี่ด้วยอัตราส่วนของความจุต่อเวลาเช่น แบตเตอรี่ขนาดความจุ 30 แอมแปร์-ชั่วโมง ที่ C/10 หรือ C10 หมายถึงแบตเตอรี่สามารถคายประจุ 3 แอมแปร์ในเวลา 10 ชั่วโมงโดยที่ C/10 หรือ C10 หมายถึงขนาดของกระแสที่คายประจุในที่นี้คือ 30 หารด้วย 10 เท่ากับ 3 แอมแปร์ ในแบตเตอรี่ถูกเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนเป็น C/5 ความจุจะลดลงสาเหตุคือ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุด้วยกระแสต่ำจะมีความจุมากกว่ากระแสสูงเนื่องจากมีเวลาที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเพลทลึกลงกว่าทำให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากตามไปด้วย แต่การซึมของสารละลายเข้าไปในเพลทขี้เกลืออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ก็จะลดลง ดังนั้นอัตราการคายประจุจึงมีความสำคัญต่อทั้งความจุของแบตเตอรี่และอายุการใช้งานแบตเตอรี่ บางชนิดวัดความจุเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างความจุแอมแปร์-ชั่วโมงและแรงดันปกติของแบตเตอรี่หารด้วย 1000 เช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 100 แอมแปร์-ชั่วโมง มีความจุเท่ากับ $12 \text{ โวลต์} \times (100 \text{ แอมแปร์-ชั่วโมง} / 1000) = 1.2 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง}$

3) Cut Off Voltage เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ระบบแบตเตอรี่ยอมให้มิได้ขณะคายประจุ ถ้าต่ำกว่านี้จะมีการเสียหายถาวรไม่สามารถเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ต่อไปได้โดยค่านี้จะกำหนดเฉพาะเจาะจงที่อัตราการคายประจุต่างๆกันบริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดแรงดันต่ำสุดหรือแรงดันสุดท้ายของการคายประจุกับอัตราการคายประจุ ถ้าใช้แรงดันต่ำสุดดังกล่าวกับอัตราการคายประจุที่แตกต่างกันไปความจุแบตเตอรี่จะสูงกว่าสำหรับอัตราการคายประจุที่ต่ำกว่า

4) รอบการใช้งาน (Cycle) เมื่อประจุแบตเตอรี่จนเต็ม เมื่อนำไปใช้งานแล้วนำกลับมาประจุใหม่จนเต็มอีกครั้งหนึ่งจะเรียกว่า รอบการใช้งาน ในการใช้งานมีรอบการใช้งานสองลักษณะคือ งานที่มีการคายประจุน้อย (Shallow Cycle) และงานที่มีการคายประจุมาก (Deep Cycle) การจะใช้งานแบตเตอรี่แบบไหนนั้นขึ้นกับลักษณะของเซลล์และส่วนใหญ่จะไม่ให้แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ในการใช้งานที่มีการคายประจุมาก มักมีการคายประจุมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ต่อหนึ่งรอบการใช้งาน

5) การคายประจุ (Discharge) คือกระบวนการที่แบตเตอรี่คายประจุไฟฟ้าออกมา จะกำหนดในรูปของกระแสการคายประจุ หรืออัตราการคายประจุ

6) การอัดประจุ (Charge) คือกระบวนการที่แบตเตอรี่อัดประจุไฟฟ้ากลับไปใหม่ จะกำหนดในรูปของกระแสอัดประจุ หรืออัตราการประจุ

7) Negative (-) เป็นจุดที่มีความต่างศักย์ต่ำในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง หรือขั้วลบของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนไหลออกมาเมื่อมีการคายประจุ

8) Positive (+) เป็นจุดที่มีความต่างศักย์สูงในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วบวกของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนหรือกระแสไหลเมื่อมีการประจุ

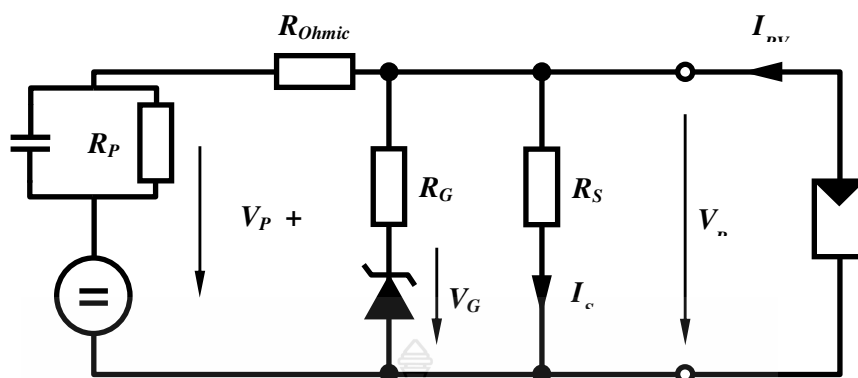
9) Open Circuit Voltage คือแรงดันที่แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะสมดุล ไม่มีการประจุ หรือไม่มีการคายประจุ แรงดันนี้จะขึ้นกับลักษณะการออกแบบแบตเตอรี่ ความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิ

10) อายุการใช้งานแบตเตอรี่ (Battery Lifetime) อายุการใช้งานแบตเตอรี่คือช่วงเวลาที่มีความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็มลดลงจากความจุเต็มของแบตเตอรี่ใหม่ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยการลดลงนั้นเกิดขึ้นทั้งจากจำนวนรอบการใช้งาน และอายุของเซลล์ในบางรอบการใช้งาน วัสดุทำปฏิกิริยาจะหลุดออกจากอิเล็กโทรด และจมลงด้านล่างของภาชนะบรรจุ เมื่อวัสดุแยกออกมาจากอิเล็กโทรดวัสดุนี้จะไม่สามารถคืนรูปเหมือนเดิมได้ส่งผลให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลงได้เช่นเดียวกัน จำนวนรอบของการใช้งานก่อนที่ความจุเต็มจะลดลงเหลือ 80 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่าอายุของเซลล์ (Cell Life) อายุของเซลล์นี้จะขึ้นกับลักษณะการคายประจุ ขนาดของกระแสที่คายประจุและอุณหภูมิในการใช้งานบางงานเซลล์ไม่ได้มีการใช้งานเป็นรอบบ่อยๆ เช่นในระบบไฟฟ้าฉุกเฉินแบตเตอรี่จะได้รับการประจุเต็มตลอดเวลา จนกระทั่งถึงเวลาฉุกเฉินจึงมีการคายประจุ ความจุเต็มของแบตเตอรี่ชนิดนี้จะลดลงตามอายุการใช้งาน ดังนั้นจึงเรียกอายุการใช้งานแบตเตอรี่แบบนี้เป็นอายุตามปฏิทิน (Calendar Life) หรืออายุสแตนด์บาย (Standby Life) โดยมีหน่วยเป็นปีอายุตามปฏิทินนี้ จะขึ้นกับอุณหภูมิและวิธีการเก็บรักษาแบตเตอรี่ในเซลล์บางชนิด แบตเตอรี่จะสามารถใช้งานได้ยาวนานเท่าอายุปฏิทินของแบตเตอรี่ก็ต่อเมื่อมีการใช้งานแบบที่มีการคายประจุน้อยเท่านั้น ดังนั้นจะไม่สามารถใช้ไฟฟ้าเท่ากับความจุของแบตเตอรี่ทั้งหมดได้ เวลาที่กล่าวถึงความจุแบตเตอรี่จึงมักกล่าวถึงความจุสองลักษณะคือ ความจุทั่วไป (Nominal Capacity) และความจุที่ใช้งานได้จริง (Usable Capacity)

11) Effects of Discharge Rates ความจุเต็มของแบตเตอรี่จะลดลง เมื่อมีการใช้งานแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุสูงขึ้น อัตราการคายประจุสูงนี้มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลดจะมีค่าต่ำกว่าการใช้อัตราการคายประจุต่ำกว่า บางครั้งอาจส่งผลถึงการเลือกจุดแรงดันต่ำสุดที่จะตัดภาระทางไฟฟ้าออก ในแรงดันแบตเตอรี่ค่าเดียวกัน

12) การเกิดแก๊สซิงและปฏิกิริยาเมื่อมีการประจุเกิน เซลล์ของแบตเตอรี่เมื่อได้รับการประจุเต็ม วัสดุทำปฏิกิริยาในอิเล็กโทรด เปลี่ยนรูปจากสภาวะการคายประจุเป็นสภาวะการประจุเต็มทั้งหมด ถ้ายังทำการประจุต่อไป จะเกิดปฏิกิริยาเคมีอื่นขึ้นแทนที่อิเล็กโทรด

ปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือปฏิกิริยาแยกน้ำทำให้เกิดแก๊ซ เรียกการเกิดแก๊ซซิงเนื่องจากมีฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรด โดยฟองออกซิเจนจะเกิดที่ผิวเพลทขั้วบวกและไฮโดรเจนเกิดที่ผิวเพลทขั้วลบ



ภาพที่ 2.9 วงจรเทียบเคียงการเกิดก๊าซซิง [2]

การเกิดแก๊สซิงแบบซ้าๆ ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ แต่การเคลื่อนที่ของฟองก๊าซแบบซ้าๆ กลับทำให้เกิดประโยชน์เนื่องจากฟองก๊าซจะทำให้เกิดการผสมกันของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไม่ให้เกิดการแยกชั้นความเข้มข้น (Stratification) ถ้ายังมีการเกิดแก๊สอย่างต่อเนื่องสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นและระดับของสารละลายจะลดลง ดังนั้นต้องเติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายลดลงต่ำกว่าตำแหน่งค่าสุดยังมีปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ ที่เกิดช่วงสภาวะการประจุเกินคือการแยกตัวของโครงสร้างอิเล็กโทรดปฏิกิริยานี้จะรุนแรงมากกว่าการเกิดก๊าซ เพราะวัสดุที่แยกตัวไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้

ดังนั้นในการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด จึงมีความต้องการระบบควบคุมการประจุ เพื่อป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้น บางครั้งการป้องกันการประจุเกินจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้วิธีออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีแรงดันพอดีกับการประจุแบตเตอรี่ในบางกรณีก็ใช้ระบบควบคุมการประจุเฉพาะ ระบบการควบคุมการประจุนั้นจะควบคุมทั้งการประจุเกิน และการดึงพลังงานออกไปใช้ไม่ให้มากเกินไปจนแบตเตอรี่ไม่สามารถประจุพลังงานกลับเข้าไปได้

2.6.1 คุณสมบัติในสภาวะการประจุแบตเตอรี่

วิธีการและขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่ มีหลายลักษณะ สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระวิธีการประจุแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการที่กำหนดมาโดยบริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่ การประจุแบบต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) Bulk หรือ Normal Charge เป็นการอัดประจุแบบปกติในช่วงเริ่มต้นของรอบการอัดประจุ โดยสามารถทำการประจุได้ที่อัตราต่างๆ กันที่ทำให้แรงดันของแบตเตอรี่ยังไม่ถึงแรงดันก๊าซ ซึ่งการอัดประจุแบบนี้ จะทำให้ความจุแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของความจุทั้งหมด

2) Float หรือ Finishing Charge เมื่อทำการอัดประจุแบตเตอรี่จนใกล้จะเต็มวัสดุทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบเริ่มต้นเกือบหมดแล้วหลังจากนั้น ต้องมีการควบคุม อาจจะเป็นกระแสหรือแรงดันที่จะทำการประจุต่อไปเพื่อป้องกันไม่ให้มีการประจุเกินเข้าแบตเตอรี่

3) Equalizing Charge บางครั้งเรียก Refreshing Charge เป็นการประจุด้วยกระแสคงที่ ที่แรงดันสูง เพื่อให้เซลล์แต่ละเซลล์ได้รับการประจุเท่าเทียมกัน ในขณะที่ทำการประจุแบบนี้ เซลล์ที่มีสถานะการประจุเต็มแล้วจะเกิดก๊าซ ในขณะที่เซลล์ที่ยังไม่เต็มจะได้รับการประจุให้เต็มการประจุแบบนี้ทำเพื่อบำรุงรักษาระบบเป็นช่วงเวลาที่แน่นอน สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานรายวันที่มีการคายประจุมาก ควรทำการประจุแบบ Equalizing Charge 1 ถึง 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

2.6.2 คุณสมบัติในสถานะการคายประจุและอัดประจุ

1) Depth of Discharge (DOD) คือเปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานออกไปหรือคายประจุออกไปเปรียบเทียบกับความจุทั้งหมดมีปริมาณ DOD สองปริมาณที่ใช้อธิบายในระบบแบตเตอรี่ คือ

1. Allowable DOD หรือ Maximum DOD เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของการคายความจุที่มากที่สุดที่ยอมให้มีการใช้งานได้ ถ้ามีการใช้งานเกินค่านี้แล้ว แบตเตอรี่ลูกนั้นจะไม่สามารถนำกลับมาประจุใช้งานได้อีกโดยทั่วไปจะกำหนดโดยแรงดันสุดท้ายในระบบแบตเตอรี่ พารามิเตอร์ที่สะท้อนค่า Maximum DOD คือค่าพิกัดแรงดันต่ำสุดแต่อย่างไรก็ตามค่า Maximum DOD นี้สามารถกำหนดตามอุณหภูมิแวดล้อม และลักษณะของการใช้ภาระทางไฟฟ้า

2. Average Daily DOD เป็นปริมาณพลังงานที่ยอมให้มีการจ่ายออกจากแบตเตอรี่ได้ภายใน 1 วันโดยกำหนดจากค่าเฉลี่ยรายวันของภาระทางไฟฟ้า ปริมาณนี้จะสัมพันธ์กับการออกแบบจำนวนวันที่ต้องการเก็บพลังงานไว้ใช้งาน

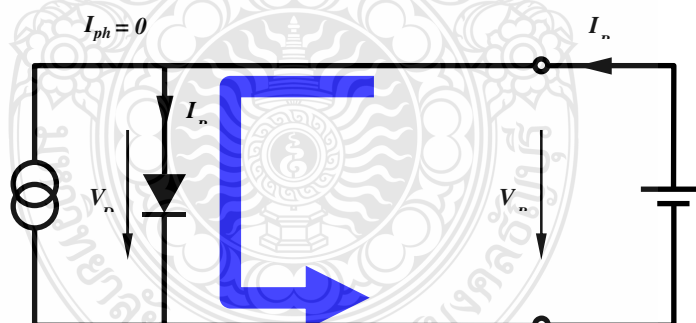
2) Stage of Charge (SOC) สถานะประจุ เป็นค่าที่บอกความจุของแบตเตอรี่ในแต่ละเวลาที่ใช้งาน มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุของแบตเตอรี่ในขณะนั้นต่อความจุที่กำหนดของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่มี SOC 100 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่าแบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็ม และถ้าแบตเตอรี่มีค่า SOC เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่ามีความจุเหลืออยู่ครึ่งหนึ่งของค่าความจุที่กำหนด ในตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์อย่างง่ายของค่า DOD และค่า SOC

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOD กับค่า SOC

เอสไอซี (% SOC)	ดีโอดี (% DOD)
100	0
75	25
50	50
25	75
0	100

อย่างไรก็ตามค่า DOD หรือ SOC จะใช้เพื่ออ้างอิงความจุปกติ (Nominal Capacity) ตัวอย่างเช่น ความจุที่อัตรา 10 ชั่วโมง (10 Hour Rate) การจ่ายกระแสต่ำจะให้ค่า DOD มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความหมายอย่างง่ายคือ แบตเตอรี่มีความจุในการทำงานได้มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออัตราการคายประจุต่ำกว่าอัตราการคายประจุปกติ

3) การคายประจุด้วยตัวเอง (Self Discharge Rate) เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม และปล่อยให้โดยไม่มีการทำงานแบตเตอรี่จะมีการคายประจุในตัวเอง อัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุทั้งหมดในช่วงเวลา 1 เดือนการคายประจุด้วยตัวเองจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น



ภาพที่ 2.10 แบตเตอรี่เกิดการคายประจุด้วยตัวเอง เมื่อไม่มีแสงตกกระทบ [2]

2.6.3 ค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่สามารถวัดได้ในหน่วย วัตต์-ชั่วโมง หรือกิโลวัตต์-ชั่วโมงคำนวณหาประสิทธิภาพของพลังงาน หรือ Energy Efficiency โดยใช้สมการที่ 2.1 ซึ่งแบตเตอรี่ทั่วไปมีค่าในช่วง 70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์

$$\text{ประสิทธิภาพของพลังงาน} = \frac{\text{พลังงานที่คายประจุ (วัตต์-ชั่วโมง)}}{\text{พลังงานที่ต้องใช้ในการอัดประจุเพิ่มเติมพิกัด}} \quad (2.1)$$

ค่าความจุของแบตเตอรี่สามารถวัดได้ในหน่วยของแอมแปร์-ชั่วโมงและประสิทธิภาพของการอัดประจุหรืออาจเรียกว่าประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมงหรือ Ah Efficiency คำนวณได้จากสมการที่ 2.2 ซึ่งในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะมีค่าประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์

แบตเตอรี่โดยทั่วไปจะมีค่าประสิทธิภาพของพลังงานน้อยกว่าประสิทธิภาพของการอัดประจุหรือประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง เนื่องจากการคายประจุของแบตเตอรี่ใช้แรงดันต่ำกว่าการอัดประจุ

$$\text{ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง} = \frac{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงของการคายประจุ}}{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงที่ต้องใช้ในการอัดประจุเพิ่มเติมพิกัด}} \quad (2.2)$$

ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมงจะมีค่าเข้าใกล้หนึ่งตั้งนั้นจึงทำให้สะดวกในการเลือกใช้ค่าแอมแปร์-ชั่วโมง เพื่อให้ทราบว่าการทำการอัดประจุเพื่อแทนที่จำนวนประจุที่คายออกมาในการใช้งานค่าประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง เมื่อทำการอัดประจุเต็มพิกัด พบว่าจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการอัดประจุหรือการอัดประจุเกินจะถูกนำไปใช้งานในความต้องการอื่นๆ เช่น ปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดขึ้นในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด และแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมนั้นจะเกิดก๊าซออกซิเจนจากการแตกตัวของน้ำที่ขั้วบวก รวมถึงในแบตเตอรี่แบบเปิดที่จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากการแตกตัวของน้ำที่ขั้วลบ

2.6.4 อัตราการคายประจุและการอัดประจุ

อัตราการคายประจุและการอัดประจุจะทำการเปรียบเทียบค่ากระแสที่ถูกใช้ในการประจุแบตเตอรี่และไม่ขึ้นกับค่าความจุของแบตเตอรี่ รวมถึงจะแสดงเป็นจำนวนชั่วโมงเช่นอัตรา 10

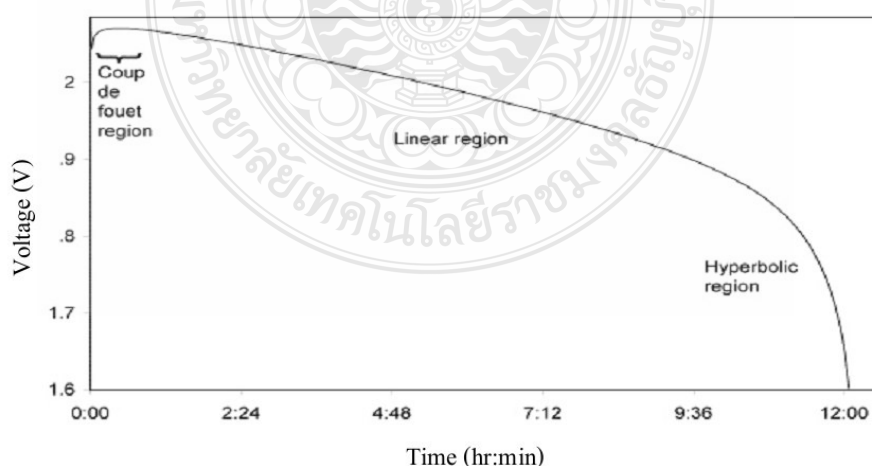
ชั่วโมง (10 Hour Rate) และอัตรา 240 ชั่วโมง (240 Hour Rate) เป็นต้น กระแสที่ใช้งานนี้คำนวณโดย ใช้สมการที่ 2.3 จากค่าความจุที่แบตเตอรี่สามารถคายประจุได้หารด้วยจำนวนชั่วโมง

$$\text{อัตรา} = \frac{\text{ค่าความจุ (แอมแปร์-ชั่วโมง)}}{\text{เวลา (ชั่วโมง)}} \quad (2.3)$$

ตัวอย่างเช่น C/10 หรืออัตรา 10 ชั่วโมง (10 hour rate) หมายถึง ค่ากระแสเทียบเท่าความจุของแบตเตอรี่ในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง หารด้วย 10

2.7 คุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

จากการศึกษาคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะสามารถแบ่งออกได้ 3 ช่วงด้วยกันคือ ช่วงที่ 1 คือช่วง Coup De Fouet Region เป็นช่วงที่แบตเตอรี่เริ่มคายประจุ แรงดันที่ขั้วจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่ที่ใช้ ในการคายประจุช่วงที่ 2 คือช่วง Linear Region เป็นช่วงการคายประจุที่แบบเชิงเส้นหรือเรียกว่าช่วงการทำงานของแบตเตอรี่ ก่อนถึงค่าแรงดันสุดท้ายที่กำหนด เพื่อไม่ให้แบตเตอรี่คายประจุมากเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายต่อแบตเตอรี่ได้จึงเป็นช่วงที่สำคัญในการศึกษาคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าประมาณของระยะเวลาการคายประจุได้ และช่วงที่ 3 คือช่วง Hyperbolic Region เป็นช่วงสุดท้ายของการคายประจุซึ่งแรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงอย่างรวดเร็ว [4] ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 2.11 คุณลักษณะแรงดันและเวลาในการคายประจุ

2.8 ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ [5]

การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ที่ใช้งานเป็นปัญหาของผู้ใช้งานและมักจะสงสัยกันว่าทำไมแบตเตอรี่จึงเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันสมควรแม้ว่าจะเลือกซื้อแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานที่นานก็ตาม เช่น แบตเตอรี่ที่ออกแบบให้มีอายุ 5 ปี แต่กลับใช้งานได้เพียง 3 ปีเท่านั้น หรือในบางครั้งเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีอายุ 10 ปี แต่ก็ยังพบว่าสามารถใช้งานได้เพียง 5-8 ปีเท่านั้น ในส่วนของผู้ใช้งานแล้ว จำเป็นต้องเข้าใจในการกำหนดอายุของแบตเตอรี่ว่าเป็น 5 ปี หรือ 10 ปี นั้นเป็นการกำหนดโดยการนำแบตเตอรี่ไปทดสอบในห้องทดลองที่มีการควบคุมให้มีอุณหภูมิสูงจนทำให้มีการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีภายในแบตเตอรี่ ส่งผลให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพโดยทำให้แผ่นธาตุมีสภาพผุกร่อนเร็วขึ้น (IEEE 535) แล้วนำสภาพการผุกร่อนของแผ่นธาตุที่ได้จากการทดสอบไปกำหนดอายุจึงเป็นที่มาอายุของแบตเตอรี่หรือพอจะกล่าวได้ว่าอายุแบตเตอรี่เป็นเพียงการแบ่งระดับแบตเตอรี่โดยใช้ข้อมูลจากห้องทดลองมาเป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้แบตเตอรี่ ในทางปฏิบัติแล้วพบว่าแบตเตอรี่ที่ใช้งานในระบบมีปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ด้วยหลายสาเหตุ ในที่นี้จะได้กล่าวถึงสาเหตุของการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ในเบื้องต้นและวิธีการป้องกันการเสื่อมสภาพ

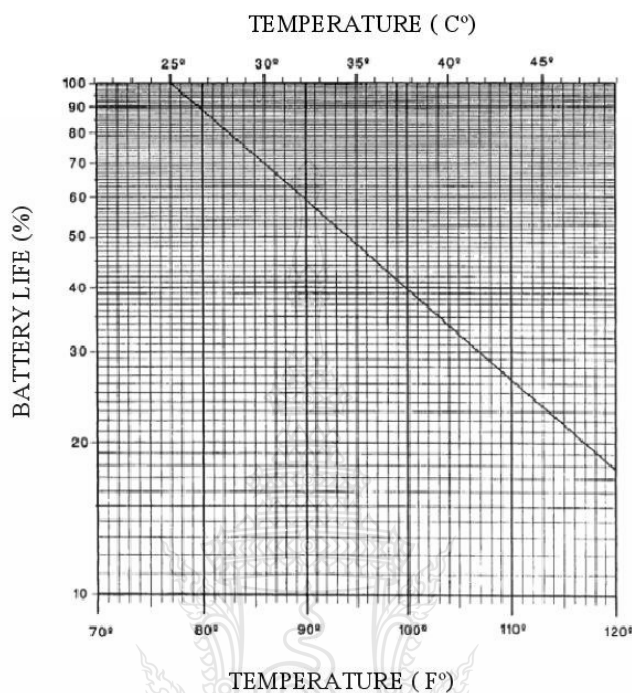
สาเหตุของการเสื่อมสภาพปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควรพอจะรวบรวมได้ดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิ (Ambient Temperature)
- แรงดัน (Float Charge Voltage)
- จำนวนครั้งในการคายประจุ (Discharge Cycle)

2.8.1 อุณหภูมิ (Ambient Temperature)

เนื่องจากแบตเตอรี่ที่เราใช้งานในระบบเป็นชนิด Valve Regulated Lead Acid: VRLA ที่มีแผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วไดออกไซด์ และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว โดยแช่ลงในน้ำกรดซัลฟูริกการที่แผ่นธาตุได้ถูกแช่อยู่ในน้ำกรดซัลฟูริกนั้น การผุกร่อนเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้โดยมีอุณหภูมิเป็นตัวเร่งการผุกร่อนของแผ่นธาตุ โดยอัตราการเสื่อมสภาพจะแปรผันตามอุณหภูมิโดยมีข้อกำหนดตาม IEEE 1184 ระบุว่า สำหรับแบตเตอรี่ใช้งานในลักษณะ Stand By แบตเตอรี่ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ (ในยุโรปจะกำหนดที่ 20 องศาเซลเซียส และ ในอเมริกาจะกำหนดไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส) จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงครึ่งหนึ่งด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องพยายามรักษาอุณหภูมิห้องให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ตามที่ผู้ผลิตแนะนำจะอยู่ในช่วงระหว่าง 20 หรือ 25 องศาเซลเซียส ติดตั้งให้แบตเตอรี่มี

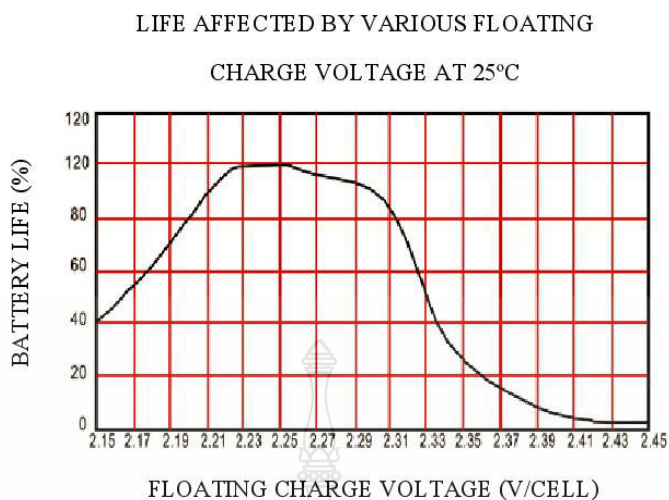
ระยะห่างพอสมควรประมาณ 1.5 ถึง 2 เซนติเมตร เพื่อให้มีการระบายอากาศที่ดี หลีกเลี่ยงไม่ให้แบตเตอรี่รับแสงแดดโดยตรงหรือแหล่งความร้อนโดยตรง เป็นต้น



ภาพที่ 2.12 ผลกระทบจากอุณหภูมิเทียบกับอายุการใช้งาน IEEE 1184

2.8.2 แรงดัน (Float Charge Voltage)

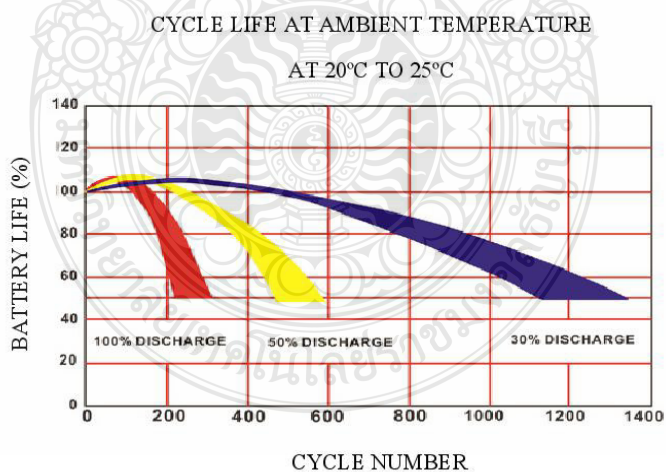
การประจุแบตเตอรี่ชนิด VRLA ที่แรงดันที่ 2.25 ± 0.01 โวลต์ต่อเซลล์โดยมีชื่อเรียกว่า Floating Voltage หรือ Charging Voltage ขึ้นอยู่กับสถานะของการประจุแบตเตอรี่กล่าวคือ ในขณะที่แบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วนั้นเราเรียกแรงดันในการประจุขณะนั้นว่า Float Voltage และ เมื่อมีการประจุแบตเตอรี่หลังจากการคายประจุเราเรียกว่า Charging Voltage จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่พบว่าแรงดันที่สูงหรือต่ำเกินกว่าขอบเขตที่กำหนดจะส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้ดังภาพที่ 2.13 ที่แรงดัน 2.25 โวลต์ต่อเซลล์เป็นแรงดันที่เหมาะสมและแบตเตอรี่มีอายุสูงสุด หรือ ระหว่าง 2.23 ถึง 2.3 โวลต์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และในช่วงแรงดัน float ต่ำก็จะมีผลทำให้เกิดประจุไม่เต็มจนทำให้เกิด Sulfating บนแผ่นธาตุทั้งบวกและลบ และถ้าแรงดัน Float เกินกว่า 2.3 โวลต์ต่อเซลล์ก็จะมีผลทำให้เกิด Over Charging โดยแบตเตอรี่จะสูญเสียน้ำจนทำให้เกิดเสื่อมสภาพในที่สุด



ภาพที่ 2.13 ผลกระทบจากแรงดันโพล์กับอายุการใช้งาน [6]

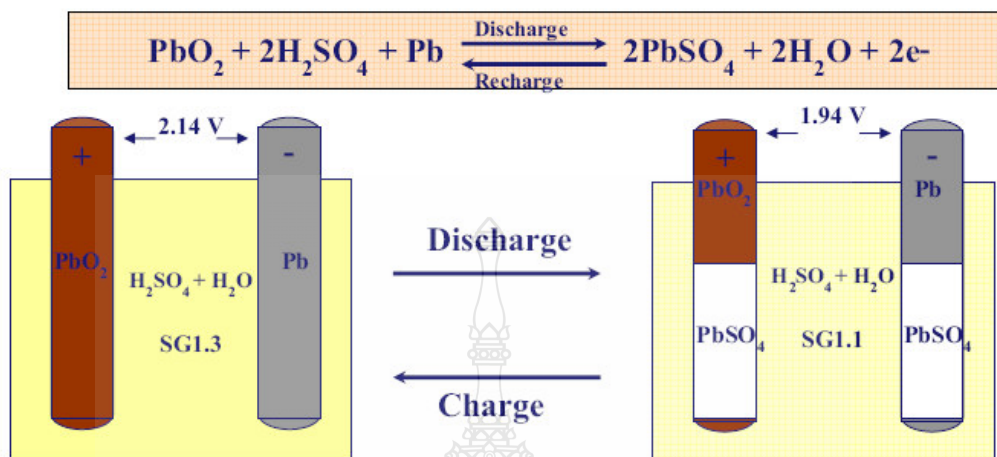
2.8.3 จำนวนครั้งในการคายประจุ (Discharge Cycle)

จำนวนครั้งในการคายประจุก็เป็นสาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ เพราะเมื่อแบตเตอรี่มีการคายประจุหรือประจุเข้าไปใหม่จะทำให้แผ่นธาตุเกิดการฟุกรอนจนทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพไปในที่สุด



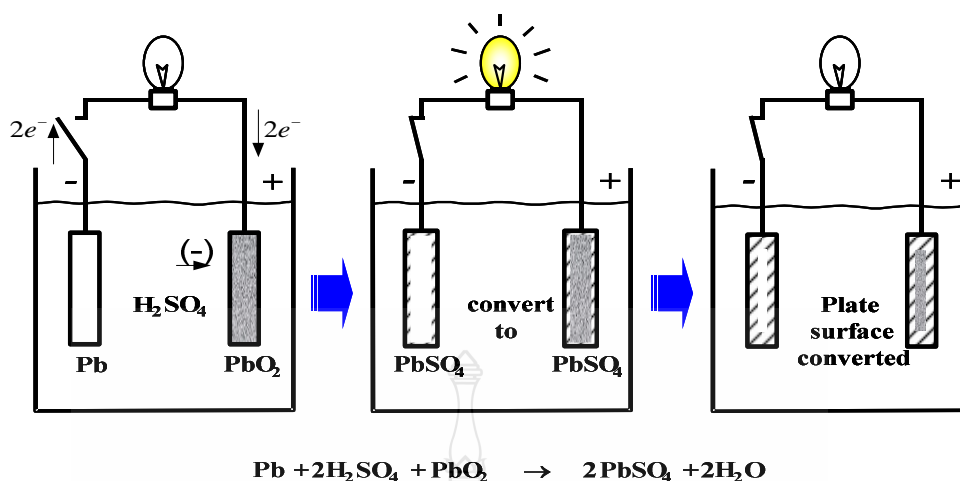
ภาพที่ 2.14 ผลกระทบจากการคายประจุกับจำนวนรอบการใช้งาน [6]

2.9 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



ภาพที่ 2.15 ปฏิกริยาขณะคายประจุและประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

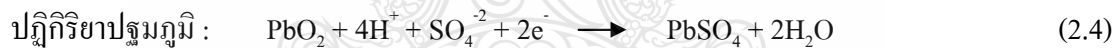
พลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมในแบตเตอรี่นั้นอยู่ในรูปของปฏิกิริยาทางเคมีโดยพลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมไว้จะถูกนำออกมาใช้เมื่อมีความต้องการ และสามารถประจุพลังงานเข้าไปใหม่ด้วยไฟฟ้า กระแสตรง แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่นิยมบรรจุไว้ในภาชนะที่ทำมาจาก Polypropylene เจือจางด้วยกรดซัลฟูริก (SO_4 -ion) ผ่านกระบวนการอิเล็กโทรไลต์ ภายในบรรจุขั้วไฟฟ้าลบและบวก ซึ่งเขวนยึดติดอยู่กับตัวถัง ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันดังนี้ สำหรับแผ่นบวก (Cathode) ที่มีลักษณะเป็นแบบตาข่ายแบบช่อง แบบท่อ ฯลฯ ซึ่งเติมตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ลงไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุน (ซึ่งจะทำให้ได้พื้นที่ผิวที่มากกว่า) ในระหว่างการประจุ แผ่นลบ (Anode) ทำให้มีลักษณะเป็นแผ่นตาข่ายมีไว้สำหรับรองรับการขยายตัวของพื้นผิว และส่วนที่เป็นตาข่ายนี้เติมตะกั่วบริสุทธิ์ในระหว่างการประจุ และระหว่างแผ่นทั้งสองจะมีกรดเป็นตัวป้องกันการลัดวงจรระหว่างแผ่นทั้งสอง และสามารถที่จะทำปฏิกิริยาได้ จากภาพที่ 2.16 อธิบายถึงกระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



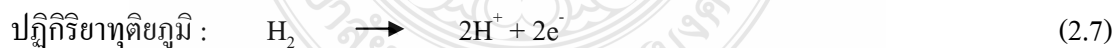
ภาพที่ 2.16 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [7]

ในระหว่างที่มีการคายประจุแผ่นวัสดุทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก โดยมีสมการในการทำปฏิกิริยา ดังนี้ [8]

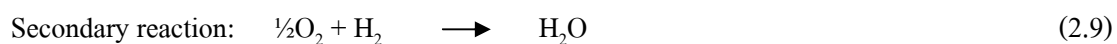
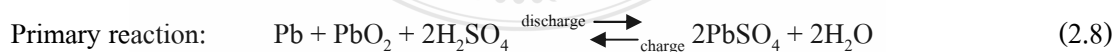
แผ่นบวก



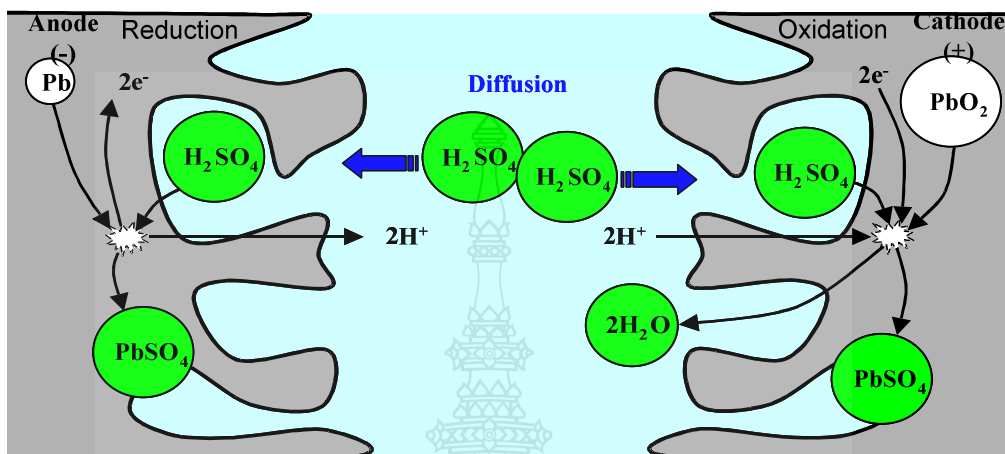
แผ่นลบ



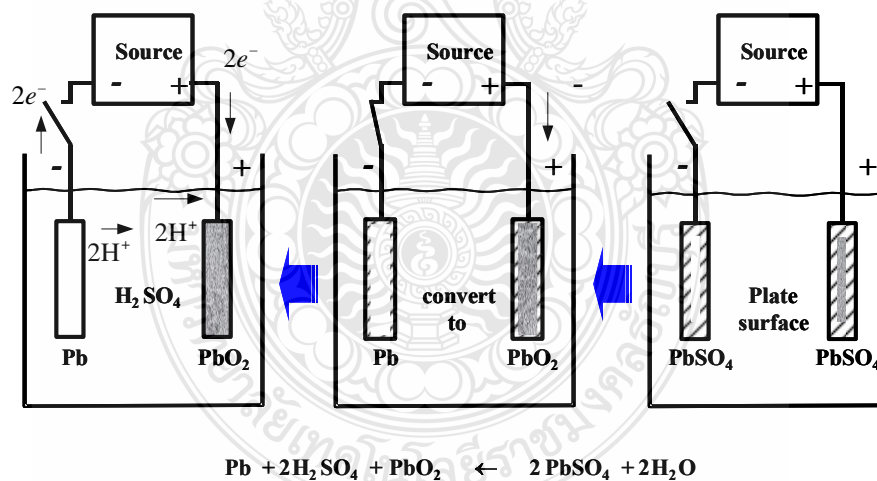
Cell:



ที่ด้านบวกตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก ($\text{SO}_4\text{-ion}$) เพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟต PbSO_4 ส่วนด้านลบตะกั่วทำปฏิกิริยากับกรดเพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟตและน้ำ 2 ส่วน ดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 กระบวนการเคมีของการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



ภาพที่ 2.18 กระบวนการอัดประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [7]

จากสมการที่ 2.8 กระบวนการประจุด้วยกระแสไฟฟ้า ดังภาพที่ 2.18 คือ ตะกั่วซัลเฟตถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นกรดซัลฟูริกและตะกั่วออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง

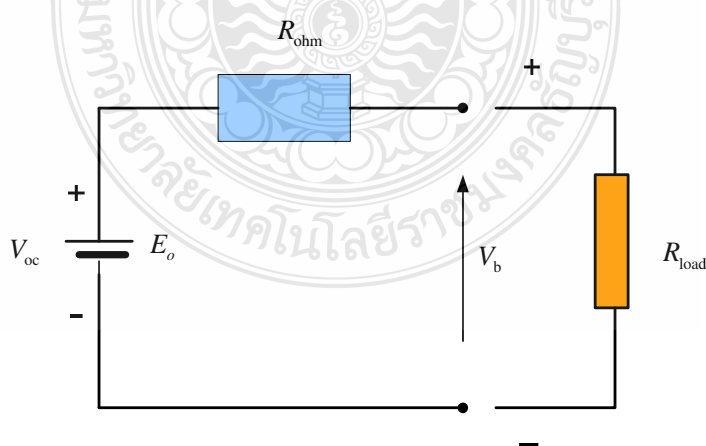
ส่วนเกินของการประจุหลังจากการประจุที่สมบูรณ์แล้ว ทำให้เกิดกระบวนการแยกน้ำเป็นออกซิเจนและไฮโดรเจน (Electrolysis) ซึ่งจะเกิดการออกซิเจน (O_2) ที่แยกแผ่นธาตุบวก และเกิดก๊าซออกซิเจน (H_2) ที่แผ่นธาตุลบ ก๊าซจะถูกปลดปล่อยออกจากแบตเตอรี่ ดังนั้นระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ก็จะลดลงด้วยผลดังกล่าว จึงจำเป็นต้องเติมน้ำลงในแบตเตอรี่

ออกซิเจน (O_2) ถูกทำให้เกิดขึ้นบนแผ่นธาตุบวก ทำปฏิกิริยาตะกั่วพูน (Pb) ของแผ่นธาตุลบและถูกเปลี่ยนรูปเป็น Lead Monoxide (PbO) ซึ่งตัว Lead Monoxide ทำปฏิกิริยากับ Sulphuric Acid (H_2SO_4) อีกรอบหนึ่งกลายเป็น Lead Sulphate ($PbSO_4$) เมื่อเกิดการคายประจุเกิดขึ้นหรืออีกนัยหนึ่ง ออกซิเจน (O_2) ของแผ่นธาตุบวกถูกดูดซับโดยแผ่นธาตุลบ โดยไม่มีการรั่วไหลของออกซิเจนออกมาภายนอก ผลก็คือแผ่นธาตุลบไม่ได้สร้างออกซิเจน (H_2) ก็คือน้ำที่ไม่ได้สูญเสียไปจากแบตเตอรี่

2.10 วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

2.10.1 วงจรไฟฟ้าพื้นฐานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบบจำลองของแหล่งจ่ายแรงดันกับแรงดันที่ตัวเซลล์ (V_{oc}) ที่ต่ออนุกรมกับความต้านทานภายใน (R_{ohm}) ดังภาพที่ 2.19 เป็นวงจรที่มีโครงสร้างง่าย ๆ สามารถอธิบายการทำงานได้เพราะมีค่าความสัมพันธ์ของ (V_{oc}) และ (R_{ohm}) แต่การทำงานของตัวแปรส่วนต่างๆ ของการประจุเมื่อถึงเวลาที่ต้องประจุ (State-of-Charge, SOC) อุณหภูมิความหนาแน่นของกระแส และธาตุของแบตเตอรี่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ควรพิจารณาด้วยเช่นกันตามทิศทางของอัตราการไหล



ภาพที่ 2.19 แบบจำลองพื้นฐานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [9]

การประจุของรูปแบบแบตเตอรี่ค่าความต้านทาน R_{Ohm} เป็นฟังก์ชัน ของอัตราการอัดประจุ มีรูปแบบดังภาพที่ 2.19 สามารถหาค่าความสัมพันธ์ของวงจรได้จากสมการดังนี้

$$V_b = V_{oc} - I_b R_{ohm} \quad (2.10)$$

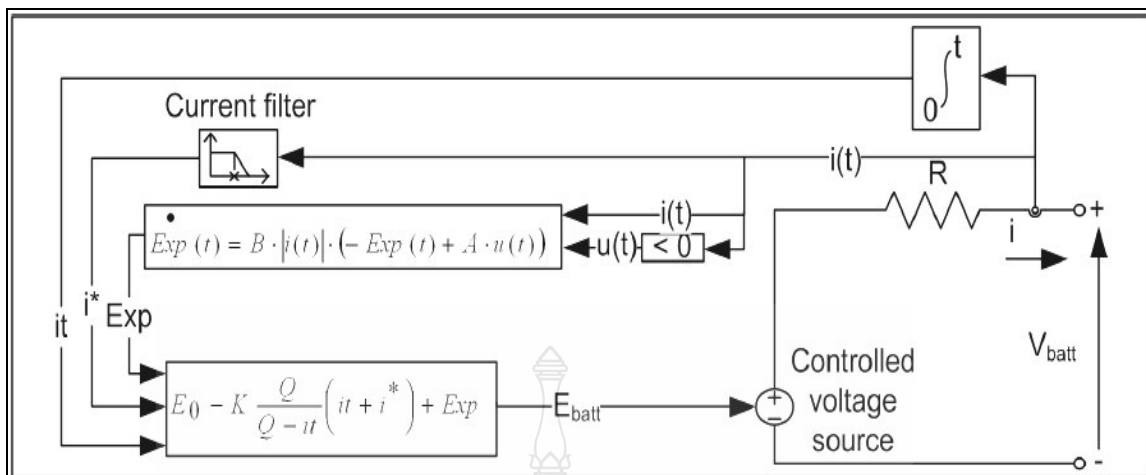
$$I_b = \frac{V_{oc}}{R_{ohm} + R_{load}} \quad (2.11)$$

$$R_{ohm} = \frac{R_o}{S^k} \quad (2.12)$$

- เมื่อ V_{OC} คือ แรงดันในสภาวะสมดุลของวงจร
 V_b คือ แรงดันขณะมีโหลด
 I_b คือ กระแสขณะมีโหลด
 R_{Ohm} คือ ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่
 R_o คือ ค่าความต้านทานในขณะที่แบตเตอรี่เต็ม
 R_{load} คือ ค่าความต้านทานขณะมีโหลด
 S^k คือ ปรับค่าระดับในการประจุ (0-1) เมื่อประจุเต็ม (0) คายออก (1)

2.10.2 วงจรสมมูลแบบพลวัตของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [10]

วงจรสมมูลแบบพลวัตดังภาพที่ 2.20 จะพิจารณาช่วงการทำงานของแบตเตอรี่ในช่วงพลวัต ลักษณะของสมการพัฒนามาจาก Shepherd Model [11] โดยจะพิจารณาช่วงแรงดัน Polarisation ของแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 หัวข้อคือ ช่วงการทำงานในสภาวะการคายประจุและการทำงานในช่วงการอัดประจุในสมการที่ 2.13 แสดงสมการการทำงานในช่วงการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



ภาพที่ 2.20 วงจรสมมูลแบบพลวัตแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [10]

$$V_{batt} = E_0 - R \times i - K \frac{Q}{Q - it} \times (it + i^*) + Exp(t) \quad (2.13)$$

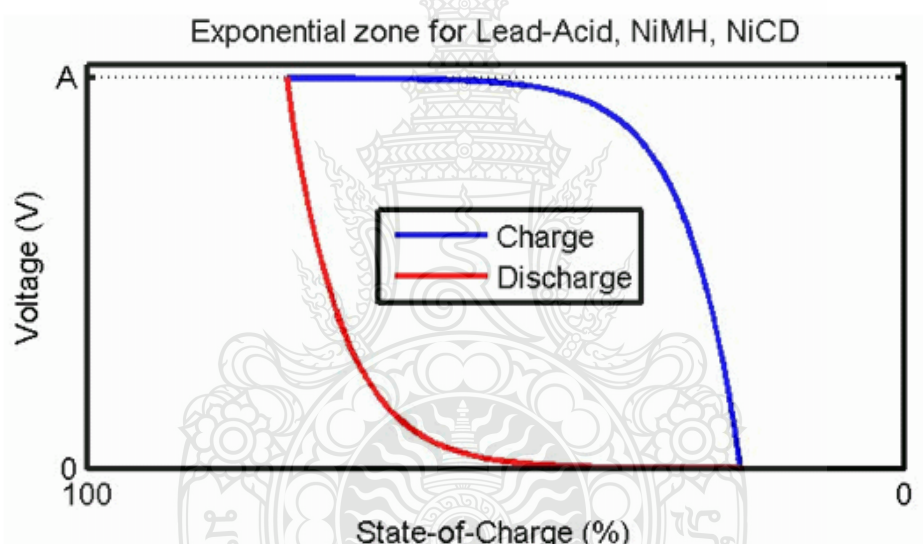
เมื่อ	V_{batt}	คือ แรงดันแบตเตอรี่ (V)
	E_0	คือ ค่าคงที่ของแรงดันแบตเตอรี่ (V)
	K	คือ ค่าคงที่ Polarisation (V/Ah) หรือ ความต้านทาน Polarisation (Ω)
	Q	คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่ (Ah)
	$it = \int idt$	คือ ค่าความจุถูกใช้งาน (Ah)
	A	คือ ค่าความกว้างของช่วง exponential zone (V)
	B	คือ ส่วนกลับช่วงเวลาคงที่ของช่วง exponential zone (Ah) ⁻¹
	R	คือ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ (Ω)
	i	คือ กระแสแบตเตอรี่ (A)
	i^*	คือ กระแส filtered (A)

ความพิเศษในสมการนี้คือการใช้การกรองกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานโพลาไรซ์ ในความเป็นจริงการจำลองแรงดันไฟฟ้าที่ทำงานในช่วงพลวัตมีการตอบสนองที่ช้า จึงต้องการกรองกระแสก่อนเพื่อเป็นการแก้ปัญหาการวนลูบสมการจากการจำลองใน Simulink

สมการในช่วง exponential zone ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะมีช่วง hysteresis ระหว่างการอัดประจุและคายประจุลักษณะการทำงานนี้เกิดขึ้นเฉพาะพื้นที่ดังแสดงในภาพที่ 2.21 ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถแสดงโดยระบบพลวัตแบบไม่เชิงเส้นดังแสดงในสมการที่ 2.14

$$Exp(t) = B \times |i(t)| \times (-Exp(t) + A \times u(t)) \quad (2.14)$$

- เมื่อ $Exp(t)$ คือ แรงดัน exponential zone (V)
 $i(t)$ คือ กระแสแบตเตอรี่ (A)
 $u(t)$ คือ ช่วงคายประจุ หรือ ช่วงการอัดประจุ



ภาพที่ 2.21 ช่วง Hysteresis ระหว่างการอัดประจุและคายประจุ [10]

การจำลองการทำงานในสภาวะอัดประจุของแบตเตอรี่จะพิจารณาจากพฤติกรรมกราดอัดประจุ โดยเฉพาะช่วงสุดท้ายของการอัดประจุ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะมีแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็ม ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะทำการจำลองด้วย เทอมของค่าความต้านทานโพลาไรซ์ ในช่วงการอัดประจุความต้านทานโพลาไรซ์จะเพิ่มขึ้นจนกว่าแบตเตอรี่จะถูกอัดประจุจนเต็ม ($i_t=0$)

จากสมการการคายประจุในสมการที่ 2.13 ความต้านทานโพลาไรซ์ (PoL.Resistance) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.15

$$\text{Pol.Resistance} = K \frac{Q}{it} \quad (2.15)$$

ในทางทฤษฎี เมื่อ it เท่ากับ 0 (สภาวะประจุเต็ม) ความต้านทานโพลาริซจะมีค่าอนันต์ ในทางปฏิบัติผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานโพลาริซจะเปลี่ยนโดยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของความจุแบตเตอรี่ ดังนั้นสมการที่ 2.15 สามารถเขียนได้ใหม่ดังสมการที่ 2.16

$$\text{Pol.Resistance} = K \frac{Q}{it - 0.1 \times Q} \quad (2.16)$$

จากที่กล่าวมาสมการการทำงานในช่วงการอัดประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.17

$$V_{batt} = E_0 - R \times i - K \frac{Q}{it - 0.1Q} \times i - K \frac{Q}{Q - it} \times it + \text{Exp}(t) \quad (2.17)$$

2.11 การหาค่าสถานะประจุ (State-of-Charge: SOC)

สถานะประจุของแบตเตอรี่ คือจำนวนประจุหรือพลังงานที่เหลือภายในแบตเตอรี่ ซึ่งแสดงออกมาในรูปของเปอร์เซ็นต์ของพิกัดความจุของแบตเตอรี่ ดังสมการที่ 2.16 เมื่อแบตเตอรี่เต็มค่าสถานะประจุจะมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์และเมื่อแบตเตอรี่หมดสถานะประจุจะมีค่าเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ จึงมีความสำคัญในงานระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน เพื่อให้ทราบถึงค่าสถานะของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบในช่วงเวลาการทำงานจากระบบ

$$SOC = 1 - \frac{Q_w}{C_R} \times 100\% \quad (2.18)$$

โดยที่

$$Q_w = \int_{t_0}^{t_0+t} i_{batt}(\tau) d\tau \quad (2.19)$$

เมื่อ SOC คือ สถานะประจุ (%)

Q_w คือ ค่าความจุที่ถูกใช้งานของแบตเตอรี่ (Ah)

C_R คือ ความจุที่กำหนดของแบตเตอรี่ (Ah)

i_{batt} คือ กระแสไหลผ่านแบตเตอรี่ (A)

ค่าสถานะประจุ นอกจากจะบ่งบอกถึงระดับพลังงานที่เหลืออยู่ยังทำให้ผู้ใช้สามารถกำหนดการอัดและคายประจุอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการคายประจุเกินควร (Deep of Discharge) หรืออัดประจุเกินควร (Over Charge) ช่วยยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ได้ อีกทั้งหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะใช้งานแบตเตอรี่ ตลอดจนสามารถออกแบบการบำรุงรักษาได้อย่างถูกต้อง ปัจจุบันวิธีประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ได้หลายวิธีดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบวิธีการหาค่า SOC ด้วยวิธีต่างๆ [12]

ชื่อ	ชนิดแบตเตอรี่	ข้อดี	ข้อเสีย
Discharge Test	แบตเตอรี่ทุกระบบ	ง่ายและแม่นยำ	ใช้ในระบอบออนไลน์ไม่ได้
Open Circuit Voltage	ลิเทียม ตะกั่ว	ง่าย	ใช้เวลานานในการรอให้แบตเตอรี่อยู่ในช่วงประจุคงที่ (กระแสเท่ากับ 0)
Coulomb Counting	แบตเตอรี่ทุกระบบ	สามารถออนไลน์ได้	มีความยุ่งยากในการกาค่าสถานะประจุเริ่มต้น
Kalman Filtering	แบตเตอรี่ทุกระบบ	ออนไลน์ในโหมดที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอได้	ต้องใช้แบตเตอรี่โมเดลที่เหมาะสมที่ใช้ในการคำนวณมีปัญหาในการหาค่าพารามิเตอร์เบื้องต้น

2.12 วิธีการหาค่าสถานะประจุ

2.12.1 วิธีวัดค่าแรงดันขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage Method)

แรงดันขณะเปิดวงจรของแบตเตอรี่แสดงถึงปริมาณความหนาแน่นของน้ำกรดบริเวณขั้วของแบตเตอรี่ สถานะประจุของแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับแรงดันขณะเปิดวงจร วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือเช่นเดียวกับวิธีวัดค่าความถ่วงจำเพาะและนิยมนำไปใช้ในการหาค่าสถานะประจุเริ่มต้น แต่ไม่สามารถทำการวัดขณะแบตเตอรี่ทำการจ่ายกระแสได้จึงจำเป็นต้องหยุดระบบเพื่อทำการวัดเช่นเดียวกับวิธีวัดค่าความถ่วงจำเพาะ

2.12.2 วิธีวัดค่าความถ่วงจำเพาะน้ำกรด (Measurement of The Specific Gravity Method)

ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในแบตเตอรี่แสดงถึงปริมาณความหนาแน่นของสารละลายกรดซัลฟริกภายในแบตเตอรี่ ขณะแบตเตอรี่คายประจุกรดซัลฟริกในสารละลายจะมีความหนาแน่นลดลง ด้วยเหตุนี้วิธีวัดค่าความถ่วงจำเพาะจึงบ่งบอกถึงระดับค่าสถานะประจุที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ได้ วิธีวัดค่าความถ่วงจำเพาะน้ำกรดเมื่อนำไปใช้งานกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบเปียก การ

วัดค่าความถ่วงจำเพาะจำเป็นต้องหยุดระบบเพื่อให้ น้ำกรดเข้าสู่สภาวะคงตัว จากนั้นทำการวัดโดยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ส่งผลให้ค่าสถานะประจุที่ได้มีความแม่นยำมากที่สุด จึงนิยมใช้เป็นวิธีอ้างอิงสำหรับตรวจสอบค่าสถานะประจุกับวิธีวัดค่าสถานะประจุอื่นๆ

2.12.3 วิธีนับจำนวนประจุ (Coulomb Counting Method)

วิธีนับค่าประจุทำงานโดยอาศัยผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าและออกจากแบตเตอรี่หารด้วยพิกัดความจุของแบตเตอรี่ทั้งหมดดังสมการที่ 2.20

$$SOC = SOC_0 - \frac{\int_{t_0}^{t_0+t} i_{batt}(\tau) d\tau}{C_R} \times 100 \quad (2.20)$$

- เมื่อ SOC คือ สถานะประจุ (%)
 SOC_0 คือ สถานะประจุเริ่มต้น (%)
 C_R คือ ความจุที่กำหนดของแบตเตอรี่ (Ah)
 i_{batt} คือ กระแสไหลผ่านแบตเตอรี่ (A)

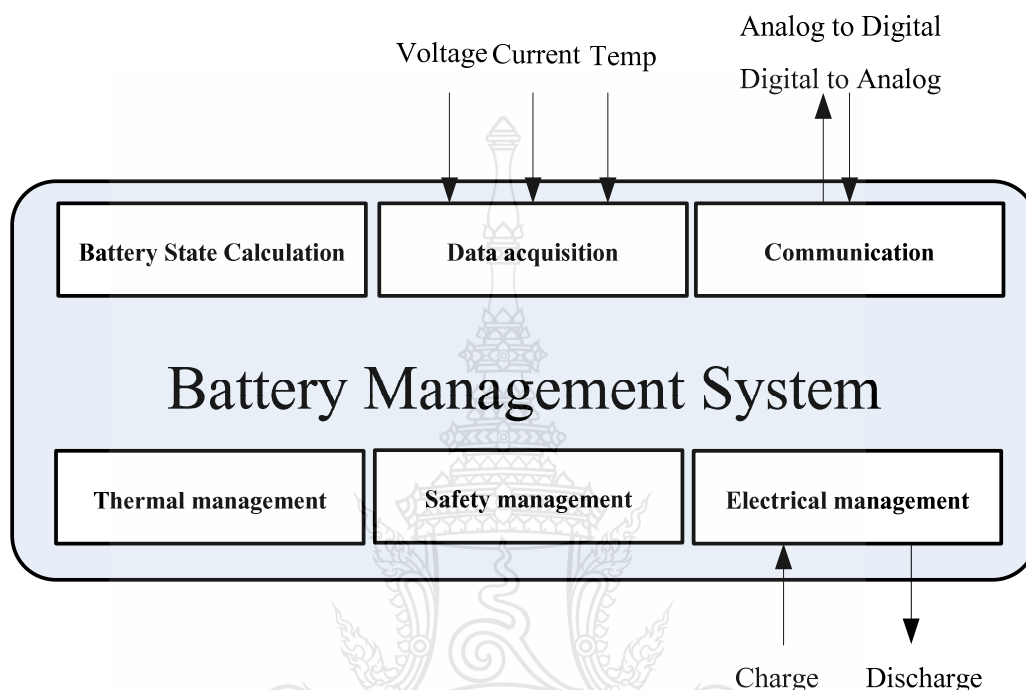
ข้อดีคือสามารถทำงานวัดแบบต่อเนื่องได้และเมื่อมีการชดเชยหรือการปรับจูนค่าแรงดันขั้วเริ่ม (Offset Voltage) จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเช่นอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิจะทำให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำ ซึ่งเหมาะที่จะมาประยุกต์ใช้ในระบบการจัดการแบตเตอรี่แบบทันเวลาได้

2.13 การออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทน [13]

จากการศึกษาชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบตัวแปรต่างๆของแบตเตอรี่ที่สำคัญและการประมาณค่าสถานะความจุของแบตเตอรี่แล้ว ในหัวข้อนี้จะแสดงส่วนประกอบในระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System :BMS) ซึ่งจะรวบรวมส่วนต่างๆ ที่สำคัญเข้าด้วยกันเป็นระบบโดยมีส่วนประกอบทั้งหมดของระบบดังแสดงในภาพที่ 2.19โดยมีส่วนประกอบทั้งหมดของระบบดังนี้

- การจัดเก็บข้อมูล
- การหาค่าสถานะแบตเตอรี่
- การจัดการระบบไฟฟ้า

- การจัดการอุณหภูมิ
- การจัดการระบบความปลอดภัย
- ระบบสื่อสาร



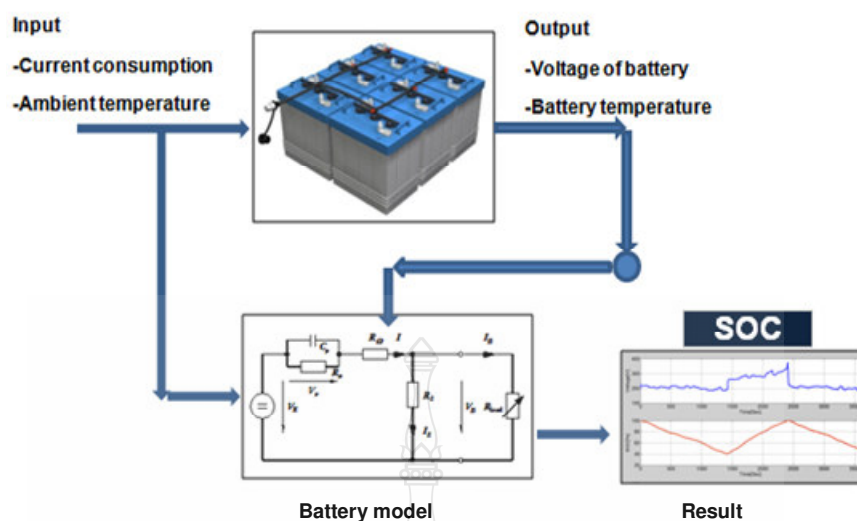
ภาพที่ 2.22 ระบบการจัดการแบตเตอรี่

2.13.1 การจัดเก็บข้อมูล (Data acquisition)

ในระบบ BMS จะต้องมีการจัดเก็บข้อมูลของระบบที่ได้มาเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณและวิเคราะห์ เพื่อควบคุมและแสดงผล ซึ่งในระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นจะทำการเก็บข้อมูลในส่วน of แรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่กระแสไฟฟ้าที่ไหลค่าสถานะประจุ และอุณหภูมิโดยรอบของแบตเตอรี่

2.13.2 การหาค่าสถานะแบตเตอรี่ (Battery state determination)

การหาค่าสถานะของแบตเตอรี่นั้นจะเป็นการหาค่าจากค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้นำไปคำนวณหาค่าสถานะของแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนแปลงตามสถานะการใช้งานและอุณหภูมิที่ใช้งานจริงในช่วงเวลาปัจจุบันเพื่อให้ได้ค่าสถานะของแบตเตอรี่ที่ได้แม่นยำมากยิ่งขึ้นเพื่อช่วยในการออกแบบระบบควบคุมและป้องกันให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 โปรแกรมในการหาค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่

2.13.3 การจัดการระบบไฟฟ้า (Electrical management)

การจัดการตัวแปรในระบบการจัดการแบตเตอรี่ เช่น กระแสไฟฟ้าที่โหลดแรงดันไฟฟ้า สถานะความจุของแบตเตอรี่เพื่อควบคุมการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่

2.13.4 การจัดการอุณหภูมิ (Thermal management)

การจัดการระบบควบคุมอุณหภูมิของระบบแบตเตอรี่ เพื่อให้แบตเตอรี่สามารถใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพตามที่กำหนดไว้โดยพิจารณาการออกแบบนี้ด้วยปัจจัยพื้นฐานคืออุณหภูมิใช้งานมีผลกับสมรรถนะและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้แบตเตอรี่มีความสามารถในการจ่ายประจุไฟฟ้าสูงขึ้นแต่จะทำให้อายุการใช้งานลดลงจึงต้องมีการจัดการอุณหภูมิให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

2.13.5 การจัดการระบบความปลอดภัย (Safety management)

การจัดการระบบเพื่อป้องกันแบตเตอรี่ไม่ให้ทำงานในสถานะที่อันตรายซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควร โดยไม่ให้ทำงานที่สถานะที่อันตรายดังนี้

- Deep discharge cycle
- Over temperature
- Over charge cycle

2.13.6 ระบบสื่อสาร (Communication)

เป็นส่วนที่เชื่อมต่อสื่อสารข้อมูลในแต่ละส่วนของระบบการจัดการแบตเตอรี่โดยจะใช้การเชื่อมต่อข้อมูลได้หลายวิธี เช่น

- Analogous signals
- USB interface
- Local Aerial Network : LAN

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Olivier.T และ Louis-A.D [10] บทความนี้นำเสนอแบตเตอรี่โมเดลเพื่อการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่แบบพลวัต โดยลักษณะของสมการพัฒนามาจาก Shepherd model ซึ่งจะเพิ่มในส่วนของการปรับปรุงในเรื่องของปัญหาการวนลูบของโปรแกรมด้วยการกรองกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานโพลาริซของแบตเตอรี่ โดยแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานโดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 หัวข้อคือ ช่วงการทำงานในสภาวะการคายประจุและการทำงานในช่วงการอัดประจุ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้สมการนี้ในการจำลองการทำงานในโปรแกรม Matlab/Simulink

Sabine.P Marion.P และ Andresa.J [12] บทความนี้นำเสนอวิธีการการประมาณค่า SOC ด้วยวิธีต่างๆ แสดงให้เห็นถึงข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธี วิธีที่นิยมใช้ที่สุดในตอนนี้คือวิธี Ah Counting หรือ Coloump counting เหตุผลเพราะวิธีนี้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานมีความแม่นยำในระดับหนึ่ง เมื่อมีการกำหนด SOC เริ่มต้นอยู่เสมอและการวัดค่ากระแสมีความผิดพลาดต่ำ ส่วนในวิธีการประมาณค่าในวิธีอื่นจะขึ้นอยู่กับการใช้งานของผู้ออกแบบตามความถนัดและเหมาะสม

A.Jossen [13] บทความนี้จะแสดงส่วนประกอบในระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System: BMS) ซึ่งจะรวบรวมส่วนต่างๆ ที่สำคัญเข้าด้วยกันเป็นระบบเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่โดยมีส่วนประกอบทั้งหมดของระบบดังนี้

- การจัดเก็บข้อมูล
- การหาค่าสถานะแบตเตอรี่
- การจัดการระบบไฟฟ้า
- การจัดการอุณหภูมิ
- การจัดการระบบความปลอดภัย
- ระบบสื่อสาร

พรชัย พรหุทัย และ บุญยัง ปลั่งกลาง [14] บทความนี้นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิโดยรอบที่ใช้งานของแบตเตอรี่ว่ามีผลกระทบต่ออัตราการอัดประจุและคายประจุอย่างไร เพื่อนำไปออกแบบระบบการจัดการในเรื่องของอุณหภูมิให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นได้ จากการศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิโดยรอบที่การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดพบว่า อุณหภูมิที่ทำให้การอัดประจุได้เร็วที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ทำให้ แบตเตอรี่คายประจุได้นานที่สุดก่อนจะถึงแรงดันสุดท้ายที่กำหนดคือ ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามการทำงานในสภาวะที่อุณหภูมิสูงๆ จะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วตามที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

Yousry atia Mohamed zahran และ Abdullah Al-Hossain [15] บทความนี้ต้องการนำเสนอ การออกแบบระบบการวัด สังเกตการณ์ และเก็บข้อมูลของแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้การตรวจวัดจาก เซนเซอร์ กับอุปกรณ์แปลงสัญญาณ อุปกรณ์ควบคุม และตัวอินเทอร์เฟซ ระบบการตรวจสอบที่ ออกแบบและสร้างขึ้นโดยใช้คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูลและสร้างรายงานในรูปแบบของตารางและกราฟ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งทำให้ผลการทดลองที่ได้มีความรวดเร็วและแม่นยำในการเก็บข้อมูล

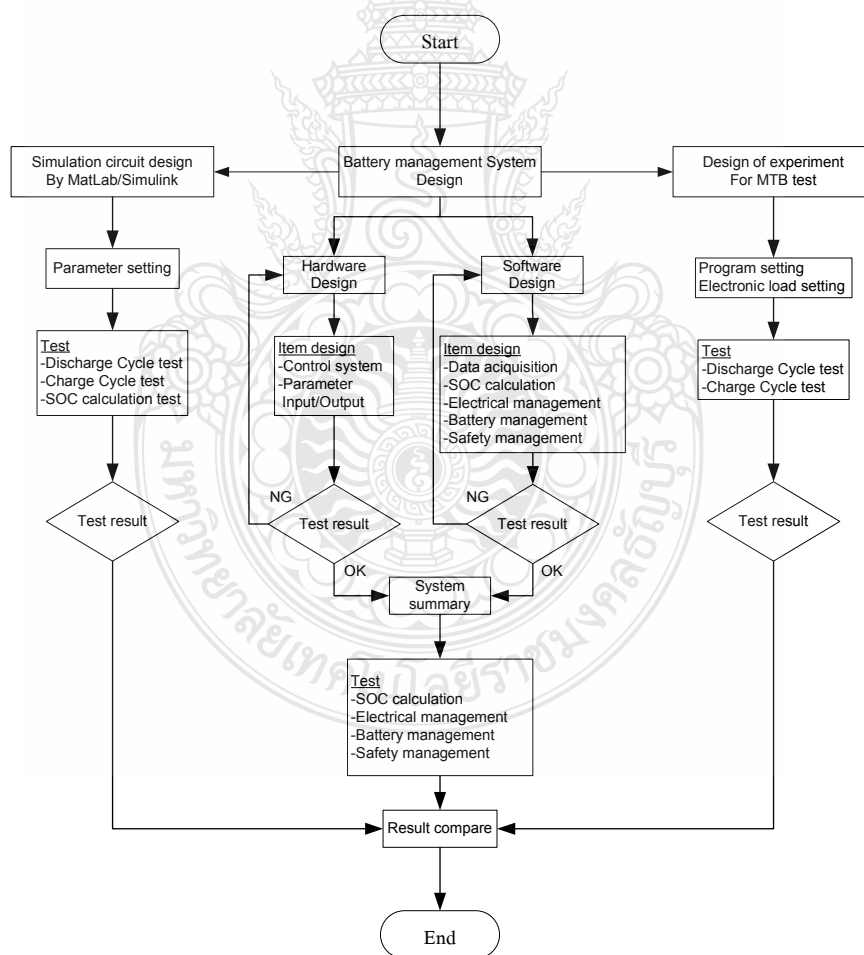
2.15 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษารวบรวมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ในพลังงานทดแทนพบว่าระบบจะมีเสถียรภาพและมีอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นจำเป็นต้องมีการจัดการ ระบบแบตเตอรี่ที่ดีสามารถตรวจวัดแสดงผลและควบคุมป้องกันได้อย่างแม่นยำและการที่จะ ออกแบบระบบจัดการแบตเตอรี่ที่ดีได้นั้น จำเป็นจะต้องรู้ถึงชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้รูปแบบการใช้งาน ในสภาวะต่างๆ ค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการออกแบบระบบ เทคนิคและวิธีการประมาณค่าสภาวะ ของแบตเตอรี่จากสมการทางคณิตศาสตร์ผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ เพื่อออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

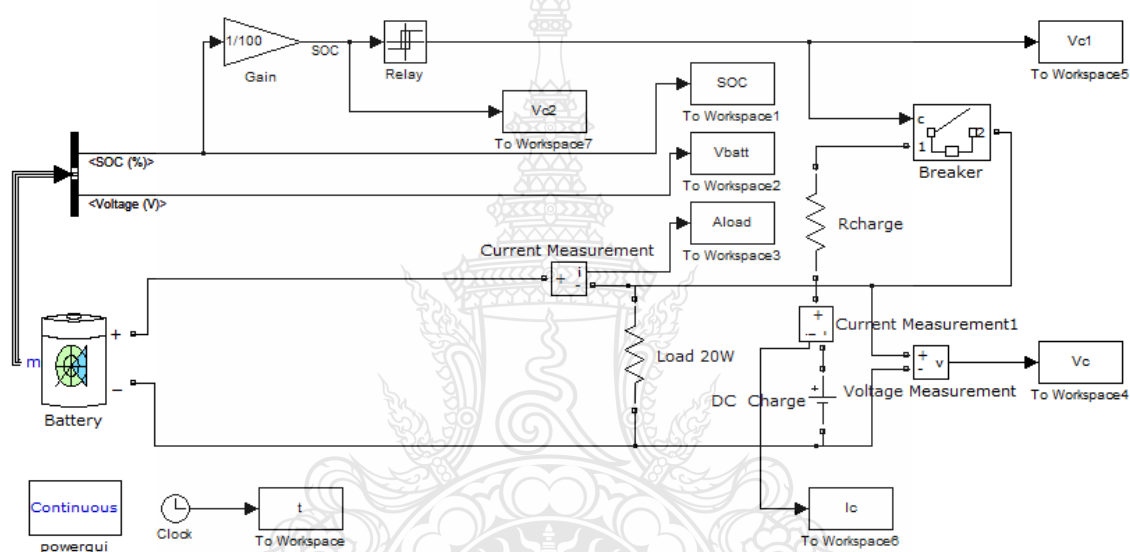
บทนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนและวิธีการดำเนินการในส่วนต่างๆ ภายในงานวิจัย ซึ่งจะประกอบด้วยวิธีการและขั้นตอนการจำลองสถานะประจุของแบตเตอรี่ผ่านทางโปรแกรม MatLab/Simulink และเครื่องควบคุมการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ (Microprocessor Test for Battery :MTB-series) เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับระบบการจัดการสถานะการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทนที่ใช้โปรแกรม LabVIEW และการออกแบบระบบการควบคุมเตือนภัย แสดงผล และเก็บข้อมูลสถานะของแบตเตอรี่ เพื่อนำไปใช้ในระบบพลังงานทดแทน ดังแสดงในโฟลว์ชาร์ตในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การจำลองสถานะการประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดด้วย MatLab/Simulink

ในการจำลองนี้จะใช้แบตเตอรี่โมเดลที่อยู่ในโปรแกรม MatLab/Simulink ซึ่งเป็นโปรแกรมที่น่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป เพื่อนำมาพิสูจน์ผลการทดสอบในทางทฤษฎีว่า ระบบจริงที่ออกแบบสามารถแสดงสถานะประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดได้หรือไม่ โดยจะทำการจำลองการจ่ายประจุและอัดประจุของแบตเตอรี่โมเดล เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับระบบจริงที่ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมและคำนวณ โดยจะใช้ไดอะแกรมระบบแบตเตอรี่ ในโปรแกรม MatLab/Simulink เพื่อทำการจำลองทดสอบดังภาพที่ 3.2

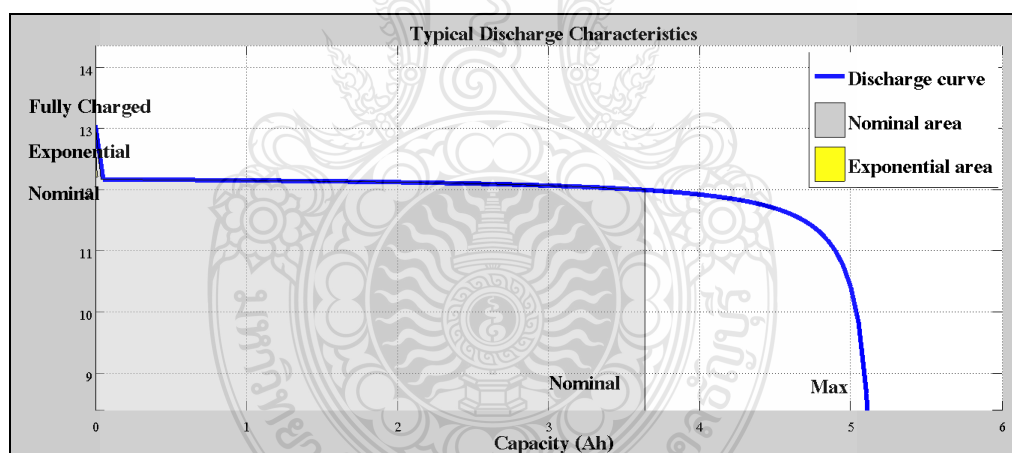


ภาพที่ 3.2 แบบจำลองสถานะการคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ในภาพที่ 3.2 แสดงแบบจำลองการทำงานของแบตเตอรี่ เพื่อใช้ทดสอบช่วงการคายประจุและอัดประจุในโปรแกรม MatLab/Simulink โดยจะทำการจำลองการทำงานและคำนวณค่า SOC แรงดันของแบตเตอรี่และกระแสที่ไหล โดยจะทำการตั้งค่าพารามิเตอร์แบตเตอรี่โมเดล อ้างอิงจากข้อมูลของผู้ผลิตแบตเตอรี่ และทำการทดลองที่สถานะการประจุแบตเตอรี่เริ่มต้นที่ 100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่จากโปรแกรม LabVIEW

เมื่อ	E_{batt}	คือ แรงดันภายในของแบตเตอรี่ (Nonlinear Voltage: V)
	E_0	คือ แรงดันคงที่ของแบตเตอรี่ (Constant Voltage: V)
	$Exp(s)$	คือ ช่วงการทำงาน Exponential Zone (Exponential Zone Dynamics: V)
	$Sel(s)$	คือ ช่วงการทำงานของแบตเตอรี่, $Sel(s)=0$ อยู่ในระหว่างคายประจุแบตเตอรี่ $Sel(s)=1$ อยู่ในระหว่างอัดประจุแบตเตอรี่
	K	คือ ความต้านทาน Polarization (Polarization Resistance: Ohm)
	i^*	คือ ช่วงกระแสความถี่ต่ำ (Low Frequency Current Dynamics: A)
	i	คือ กระแสแบตเตอรี่ (Battery Current: A)
	it	คือ ความจุของแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งาน (Extracted Capacity: Ah)
	Q	คือ ความจุสูงสุดของแบตเตอรี่ (Maximum Battery Capacity: Ah)

จากสมการที่ได้จะทำให้ได้ผลการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่ดังแสดงให้เห็นในกราฟ คุณลักษณะการทำงานในช่วงของการคายประจุดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 คุณลักษณะของแบตเตอรี่โมเดลขณะคายประจุ

3.3 สมการการหาค่า SOC ที่ใช้ในแบตเตอรี่โมเดล

จากหัวข้อที่ 2.12.3 นำเสนอสมการประมาณค่า SOC ด้วยวิธีการนับประจุแล้วในหัวข้อนี้ จะเป็นการประยุกต์สมการที่ 2.20 มาจำลองการทำงานในโปรแกรม Matlab/Simulink เพื่อเป็นการจำลองการประมาณค่า SOC ในระบบแบตเตอรี่ดังแสดงในสมการที่ 3.3

$$SOC = 100 \left(1 - \frac{1}{C_{R0}} \int_0^t i_{batt}(t) dt \right) \quad (3.3)$$

3.4 การตั้งค่าการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ใน MatLab /Simulink

ในภาพที่ 3.5 แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการจำลองเพื่อหาคุณลักษณะการคายประจุและการประจุของแบตเตอรี่ เพื่อนำผลการจำลองที่ได้ มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากระบบการจัดการแบตเตอรี่โดยใช้โปรแกรม LabVIEW โดยจะอธิบายความหมายของค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดได้ดังนี้

1) Battery type : เป็นการเลือกชนิดของแบตเตอรี่ ที่ใช้ทำการจำลองตามความต้องการ ซึ่งจะมีด้วยกันอยู่ 4 ชนิด

2) Nominal Voltage (V) : เป็นการเลือกระดับแรงดันปรกติของแบตเตอรี่

3) Rate Capacity (Ah) : เป็นการเลือกค่าความจุของแบตเตอรี่

4) Initial State Of Charge (%) : เป็นการเลือกค่า SOC เริ่มต้นของแบตเตอรี่

5) Use Parameters Based On Battery Type And Nominal Values : ใช้เลือกเมื่อต้องการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่เบื้องต้นแบบอัตโนมัติด้วยโปรแกรม MatLab/Simulink และเมื่อนำเครื่องหมายถูกออกจะเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ด้วยตัวเอง

6) Maximum Capacity (Ah) : ค่าความจุสูงสุดของตามทฤษฎีของแบตเตอรี่ (Q_{max}) เมื่อเกิดแรงดันไม่ต่อเนื่องในแบตเตอรี่ ค่านี้จะเท่ากับ 105 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความจุที่กำหนดของแบตเตอรี่

7) Fully Charged Voltage (V) : เป็นค่าที่ใช้สำหรับการกำหนดค่ากระแสคายประจุ ซึ่งไม่ใช่ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด

8) Nominal Discharge Current (A) : เป็นค่าการคายประจุแบบปรกติตัวอย่างเช่นเมื่อต้องการหาค่าการคายประจุแบบปรกติของแบตเตอรี่ 5.5 แอมแปร์-ชั่วโมง ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด โดยให้แบตเตอรี่ เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ของความจุที่กำหนดค่าที่ได้จะเท่ากับ 1.1 แอมแปร์ ตามตัวอย่างการหาค่าการคายประจุแบบปรกติด้านล่าง

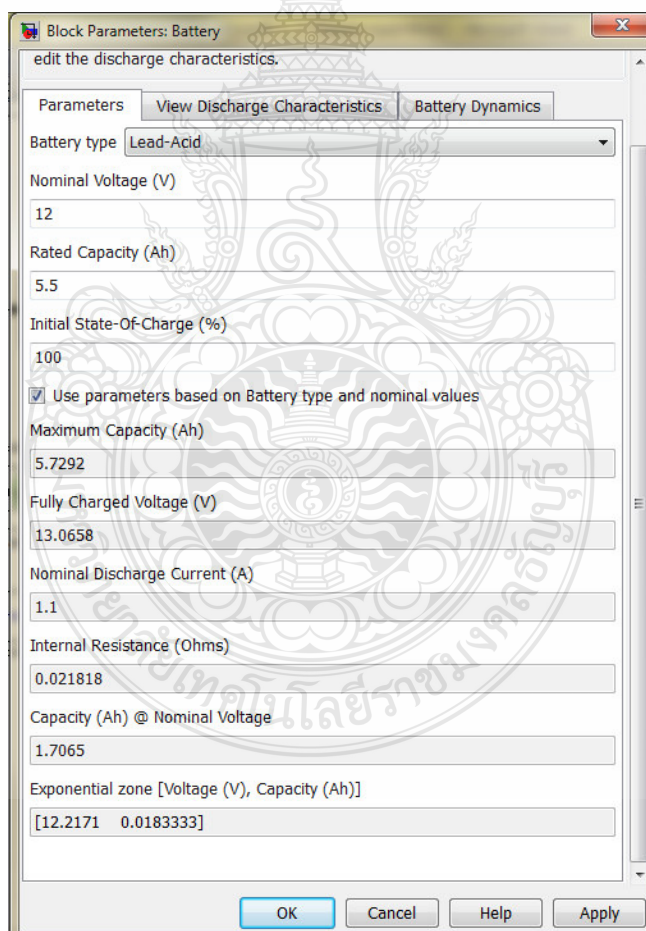
$$(0.2 \times 5.5 Ah) / 1h = 1.1 A$$

9) Internal Resistance (Ohm) : เป็นค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่โดยค่าที่ได้จะมาจาก 1 เปอร์เซ็นต์ ของค่ากำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยค่ากำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่หาได้จากสมการที่ 3.4

$$(\text{Nominal voltage} \times \text{rated capacity of the battery}) \times 0.1 \quad (3.4)$$

10) Capacity (Ah) @ Nominal Voltage (Q_{nom}): ได้จากสภาวะของแบตเตอรี่ก่อนถึงช่วงแรงดันตกที่แรงดันปรกติ ค่าที่ได้ต้องอยู่ในช่วงของค่า Q_{exp} กับค่า Q_{max}

11) Exponential Zone [Voltage (V), Capacity (Ah)] : ค่าแรงดัน V_{exp} และค่าความจุ Q_{exp} เป็นค่าอยู่ในช่วงสุดท้ายของ Exponential Zone ค่าแรงดันอยู่ในช่วง V_{nom} และ V_{full} และค่าความจุอยู่ในช่วงระหว่าง 0 และ Q_{nom}

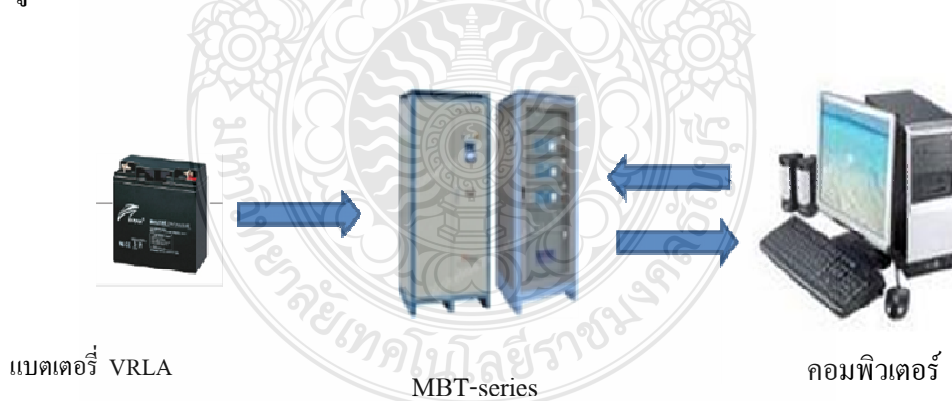


ภาพที่ 3.5 การตั้งค่าการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่

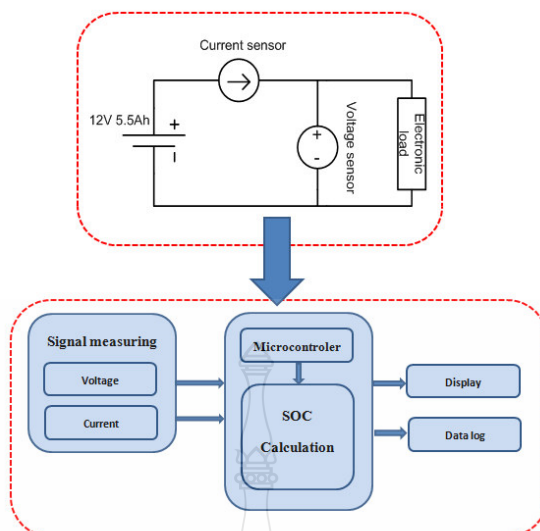
3.5 การทดสอบสถานะประจุด้วยเครื่องควบคุมการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ (Microprocessor Test for Battery: MTB-Series)

ในการทดสอบสถานะประจุด้วยเครื่องควบคุมการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นเชื้อเพลิงด้วยการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แบบทันทีเวลาเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ในระบบจริงที่ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมเพื่อเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือของระบบได้ โดยจะมีขั้นตอนการทดสอบตามเนื้อหาด้านล่าง

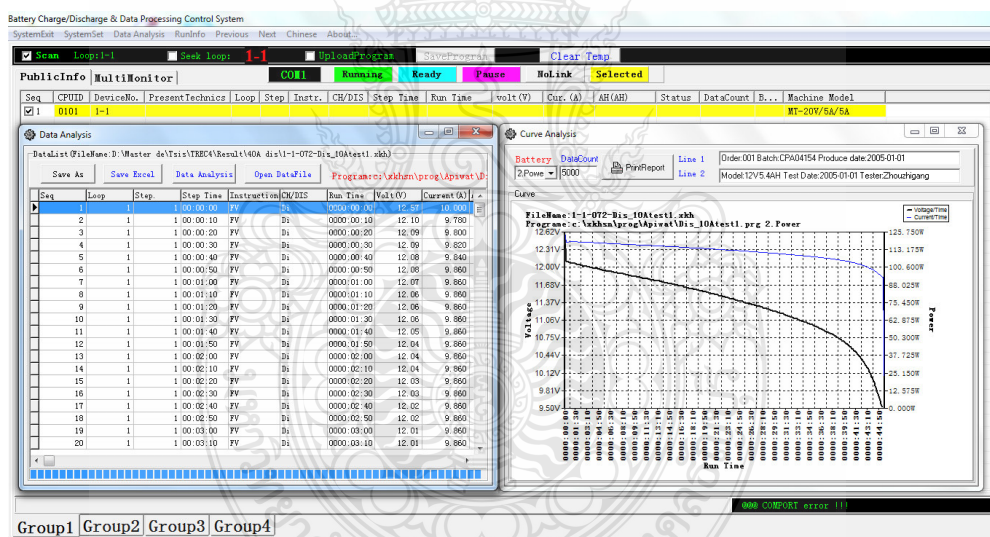
อุปกรณ์และการกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบ คือ เครื่องควบคุมการอัดและคายประจุแบตเตอรี่จะทำการทดสอบและเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการคายประจุของแบตเตอรี่ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระบบที่ออกแบบด้วย LabVIEW โดย MTB จะมีการควบคุมและเก็บข้อมูลผ่านทางโปรแกรม Battery Charge/Discharge Data Processing Control System Version : 2009-07-16/V1.3.2 ของบริษัท XINKEHUA โดยใช้แบตเตอรี่ขนาดความจุที่ 12 โวลต์ 5.5 แอมแปร์-ชั่วโมง ในการทดสอบ ดังภาพที่ 3.9 แสดงห้องปฏิบัติการและระบบการ ทดสอบการคายประจุโดยให้โหลดคงที่ 20 วัตต์ กระแสตรง กำหนดให้แบตเตอรี่คายประจุจนค่า SOC ลดลงมเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ และทำการอัดประจุกลับคืนให้แบตเตอรี่ที่กระแสอัดประจุคงที่ 2 แอมแปร์จนถึงค่า SOC เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และมีการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที โดยเก็บข้อมูลกระแสของแบตเตอรี่และค่าประจุที่ถูกใช้งานเพื่อนำมาคำนวณหาค่า SOC



ภาพที่ 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบค่าสถานะความจุด้วย MTB



ภาพที่ 3.7 บล็อกไคอะแกรมการทำงานของ MTB



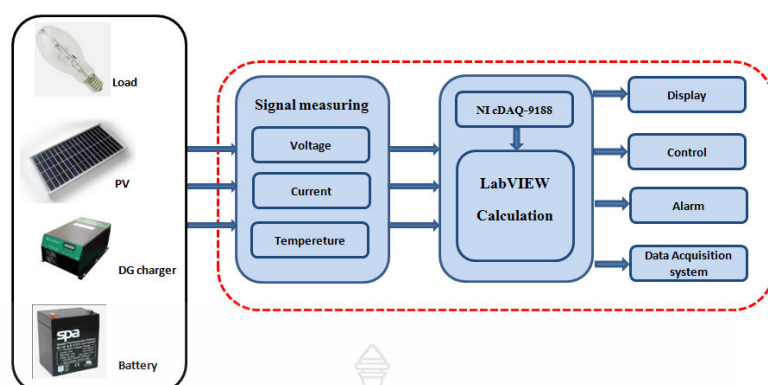
ภาพที่ 3.8 โปรแกรมที่ใช้ควบคุมและเก็บข้อมูล



ภาพที่ 3.9 การทดสอบค่าสภาวะประจุเปรียบเทียบ MTB กับ LabVIEW ในห้องปฏิบัติการ มทร. รัตนบุรี

3.6 การออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ด้วย LabVIEW

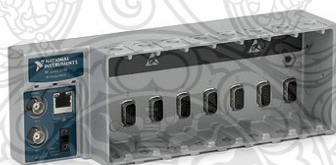
ในการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่จะสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อหลักๆ ได้ 6 หัวข้อตามที่กล่าวมาข้างต้นในบทที่ 2 ซึ่งการออกแบบระบบมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ใช้สามารถรู้ถึงสถานะประจุของแบตเตอรี่แบบทันเวลาได้ และมีระบบแสดงผลการทำงานของแบตเตอรี่ประกอบกับระบบการจัดการด้านความปลอดภัยต่างๆ เพื่อไม่ให้แบตเตอรี่ทำงานในสถานะที่อันตราย โดยควบคุมการจ่ายประจุ การอัดประจุและอุณหภูมิใช้งาน และบันทึกผลการทำงานของระบบเพื่อนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์การทำงานของแบตเตอรี่ได้ โดยการออกแบบระบบนี้จะใช้โปรแกรม LabVIEW 8.5 ในการเขียนโปรแกรมผ่านทางคอมพิวเตอร์โดยทำงานร่วมกับชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 โครงสร้างของระบบการจัดการแบตเตอรี่

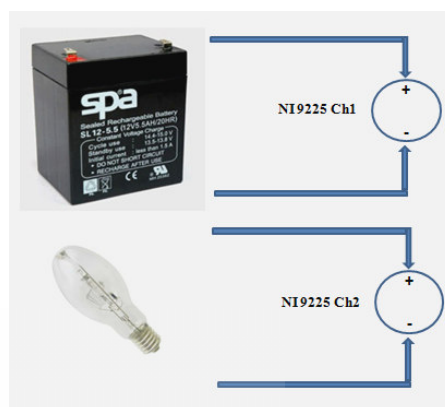
3.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการจัดการแบตเตอรี่

1) NI Compact DAQ 8-Slot Ethernet Chassis (NI cDAQ) : NI cDAQ-9188 มีหน้าที่สื่อสารและรับส่งข้อมูลจากโมดูลต่าง ๆ ที่ใช้ตรวจวัดและควบคุม มายังคอมพิวเตอร์โดยเชื่อมต่อผ่านทาง Local Aerial Network : LAN ซึ่งมีช่องสำหรับใส่โมดูลในรุ่นนี้อยู่ทั้งหมด 8 ช่อง



ภาพที่ 3.11 NI cDAQ-9188 ใช้รับสัญญาณและส่งสัญญาณ

2) 3-Channel, 300 Vrms Analog Input Module (NI 9225): NI 9225 เป็นโมดูลสำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งในรุ่นนี้มีอินพุตทั้งหมดอยู่ 3 ช่อง ความละเอียดในการรับสัญญาณ 24 บิต ความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดที่ 50 kS/s ในการวิจัยนี้จะใช้โมดูลนี้สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่และแรงดันตกคร่อมที่โหลด



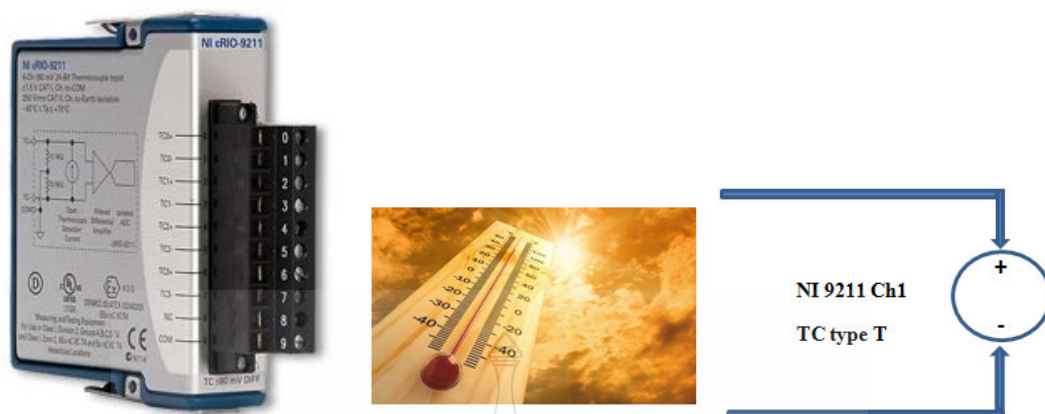
ภาพที่ 3.12 NI 9225 ใช้วัดระดับแรงดันไฟฟ้า

3) 4-Channel Current Input C Series Module (NI 9227): NI 9227 เป็นโมดูลสำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า ซึ่งในรุ่นนี้มีอินพุตทั้งหมดอยู่ 4 ช่อง ความละเอียดในการรับสัญญาณ 24 บิตความเร็วในการสุ่มข้อมูลสูงสุดที่ 50 kS/s ในการวิจัยนี้จะใช้โมดูลนี้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กระแสไฟฟ้าที่ไหลและกระแสไฟฟ้าจากเครื่องอัดประจุ



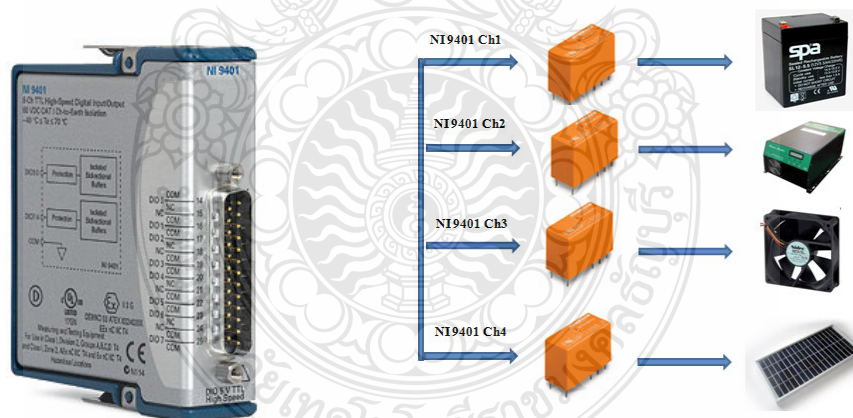
ภาพที่ 3.13 NI 9227 ใช้วัดระดับกระแสไฟฟ้า

4) 4-Channel, 14 S/s, 24-Bit, ± 80 mV Thermocouple Input Module (NI 9211) : NI 9211 เป็นโมดูลสำหรับวัดค่าอุณหภูมิ ซึ่งในรุ่นนี้มีอินพุตทั้งหมดอยู่ 4 ช่อง ความละเอียดในการรับสัญญาณ 24 บิตความเร็วในการสุ่มข้อมูลสูงสุดที่ 50 kS/s ย่านแรงดันในการวัด ± 80 มิลลิโวลต์ในการวิจัยนี้จะใช้โมดูลนี้สำหรับวัดค่าอุณหภูมิโดยรอบของแบตเตอรี่



ภาพที่ 3.14 NI 9211 ใช้วัดอุณหภูมิโดยรอบของแบตเตอรี่

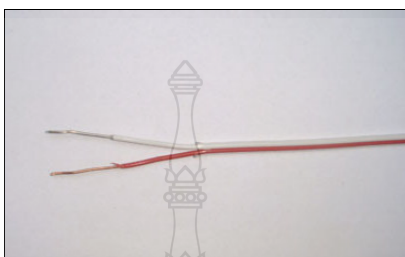
5) 8 Ch, 5 V/TTL High-Speed Bidirectional Digital I/O Module (NI 9401) : NI 9401 เป็นโมดูล TTL Digital Input/output ซึ่งในรุ่นนี้มีอินพุตทั้งหมดอยู่ 8 ช่อง แรงดันขาออกในด้านสูงเท่ากับ 5.25 โวลต์ ทางด้านต่ำเท่ากับ 0.1 โวลต์ การวิจัยนี้จะใช้โมดูลนี้สำหรับควบคุมการระบายอากาศของแบตเตอรี่และควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่และเครื่องอัดประจุ



ภาพที่ 3.15 NI 9401 TTL Digital Input/Output

6) เทอร์โมคัปเปิล (Thermo Couple) เทอร์โมคัปเปิล มีประวัติค่อนข้างเก่าแก่ทีเดียวคือ ถูกค้นพบในปี พ.ศ. 2364โดยนักฟิสิกส์ ชาวเยอรมันชื่อ โทมัส โจฮานน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) ได้ค้นพบว่า เมื่อต่อโลหะสองชนิดเข้าด้วยกัน ให้มีรอยต่อสองแห่งแล้วทำให้รอยต่อทั้ง

สองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ไหลภายในวงจรทำให้มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากมีความแตกต่างศักย์เกิดขึ้นที่รอยต่อแต่ละแห่งและมีขั้วตรงข้ามกัน โดยที่แรงดันขั้ว รอยต่อร้อนจะสูงกว่าแรงดันที่รอยต่อเย็น ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด T มีย่านการวัด ระหว่าง -200 ถึง 350 องศาเซลเซียส ในการควบคุมอุณหภูมิของระบบแบตเตอรี่



ภาพที่ 3.16 เทอร์โมคัปเปิลชนิด T มีย่านการวัดระหว่าง -200 ถึง 250 องศาเซลเซียส

7) รีเลย์ (Relay) ในงานวิจัยนี้จะใช้รีเลย์ชนิดอาร์เมเจอร์ หลักการทำงานเบื้องต้นของรีเลย์ จะทำงานเมื่อป้อนกระแสให้กับขดลวด (Coil) โดยทั่วไปจะเป็นขดลวดพันรอบแกนเหล็กทำให้เกิด สนามแม่เหล็กไปดูดเหล็กอ่อนที่เรียกว่าอาร์เมเจอร์ (Armature) ให้ต่ำลงมาที่ปลายของอาร์เมเจอร์ด้าน หนึ่งมักยึดติดกับสปริง (Spring) และปลายอีกด้านหนึ่งยึดติดกับหน้าสัมผัส (Contacts) การเคลื่อนที่ ของอาร์เมเจอร์ จึงเป็นการควบคุมการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัส เพื่อให้แยกจากหรือแตะกับหน้าสัมผัสอีก อันหนึ่ง ซึ่งยึดติดอยู่กับที่ เมื่อปิดสวิตช์ อาร์เมเจอร์ก็จะกลับสู่ตำแหน่งเดิม โดยสามารถนำหลักการนี้ ไปควบคุมโหลด การทำงานต่างๆ ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยจะใช้รีเลย์รุ่น RTH34012 ของบริษัท Tyco Electronics ขดลวดทำงาน 12 โวลต์กระแสตรง หน้าสัมผัสที่ 16 แอมป์ 250 โวลต์กระแสสลับ



ภาพที่ 3.17 RTH34012 ของบริษัท Tyco Electronics

3.6.2 การออกแบบส่วนควบคุมและแสดงผลของระบบการจัดการแบตเตอรี่

การพัฒนาโครงการหรือโครงการงานทางด้านการวัดและงานควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์นั้นอกจากปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำและเที่ยงตรงในการทำงานแล้ว การพัฒนาโปรแกรมการใช้งานผ่านคอมพิวเตอร์ (Application Program) ที่ใช้งานได้ง่าย สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพที่สวยงามน่าใช้ ในหลายๆโปรแกรมที่นิยมใช้งานอาจมีรูปแบบการใช้งานที่ไม่ค่อยจะดึงดูดใจผู้ใช้งานเท่าไรนัก เช่น โปรแกรมใช้งานที่มีการสั่งงานและการแสดงข้อมูลด้วยตัวอักษร (Text-Base Program) เป็นต้น จึงมีผู้พัฒนาซอฟต์แวร์โปรแกรมการใช้งาน ที่มีการแสดงผลเป็นรูปภาพที่สวยงามน่าใช้และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมในรูปแบบของรูปภาพ (Graphical Programming) ซึ่งเป็นจุดเด่นของซอฟต์แวร์ตัวนี้ พร้อมด้วยฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ที่มีไว้ให้เรียกใช้อย่างมากมาย รองรับการสร้างโปรแกรมเพื่อใช้งานกับเครื่องมือวัดและควบคุมที่หลากหลาย ซอฟต์แวร์ที่กล่าวนี้คือ LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะมีชื่อเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อ ๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัด LabVIEW จัดเป็นซอฟต์แวร์ประเภท Programming Language คล้ายกับ Visual Basic หรือ Visual C++ แต่แตกต่างกันตรงที่ LabVIEW เป็นการสร้างโปรแกรมโดยใช้ภาษารูปภาพ คือจะใช้บล็อกฟังก์ชันซึ่งแทนด้วยไอคอน (Icon) แทนการเขียนโปรแกรมย่อย (Subroutine) และใช้เส้นเชื่อมต่อระหว่างบล็อกฟังก์ชันแทนการไหลของข้อมูลระหว่างโปรแกรมย่อยนั้นๆ คล้ายกับการเขียนโฟลว์ชาร์ต (Flow Chart) หรือบล็อก ไดอะแกรม (Block Diagram) ของโปรแกรม ในขณะที่การเขียนโปรแกรมด้วยตัวอักษร (Text-Based Programming) จะต้องคำนึงถึง วายกสัมพันธ (Syntax) ของภาษา ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องระมัดระวังอยู่ตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การพัฒนาโปรแกรมด้วย LabVIEW ช่วยลดเวลาลงได้อย่างมาก เมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาที่ต้องใช้ตัวอักษรแบบเดิมๆ ประมาณ 4 ถึง 10 เท่า การทำงานของโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ยังสามารถวัดผลแสดงผลและบันทึกผลการทดลองโดยคอมพิวเตอร์ได้หลากหลายรูปแบบ เช่น แสดงผลในรูปแบบของกราฟที่สัมพันธ์กับเวลา แสดงผลการตัดต่อสัญญาณในรูปแบบของหลอดไฟมีสวิทช์เปิดปิดการทำงานเหมือนจริง ทำให้การทดลองมีความเที่ยงตรงแม่นยำมาก โปรแกรม VI ที่สร้างโดย LabVIEW จะเรียกส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ว่า Front Panel ซึ่งประกอบด้วยส่วนรับคำสั่งควบคุม เช่น การป้อนข้อมูล ปุ่มหมุน สวิตช์ และส่วนแสดงผลข้อมูล เช่น การแสดงผลด้วยตัวเลข มิเตอร์ บาร์สเกล จอแสดงผลในรูปแบบกราฟ เป็นต้น ส่วนต่างๆ เหล่านี้สามารถควบคุมการทำงานของโปรแกรมที่สร้างขึ้นผ่าน Front Panel นี้ เช่น การกดปุ่ม เลื่อนแถบ สไลด์หรือป้อนข้อมูลทางคีย์บอร์ด พร้อมดูผลข้อมูลได้อีก

ด้วยโดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ สิ่งที่ทำให้ LabVIEW ต่างจากซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาโปรแกรมอื่นทั่วไปอีกอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการพัฒนาโปรแกรมใช้งานทางด้านงานวัดและงานควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งถือเป็นเป้าหมายสำคัญของ LabVIEW โดยจะมีเครื่องมือและไลบรารี (Library) ที่สนับสนุนการใช้งานทางด้านนี้ไว้อย่างมากมาย ให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของเครื่องมือเสมือนจริง พื้นที่ส่วนที่เขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด

LabVIEW อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

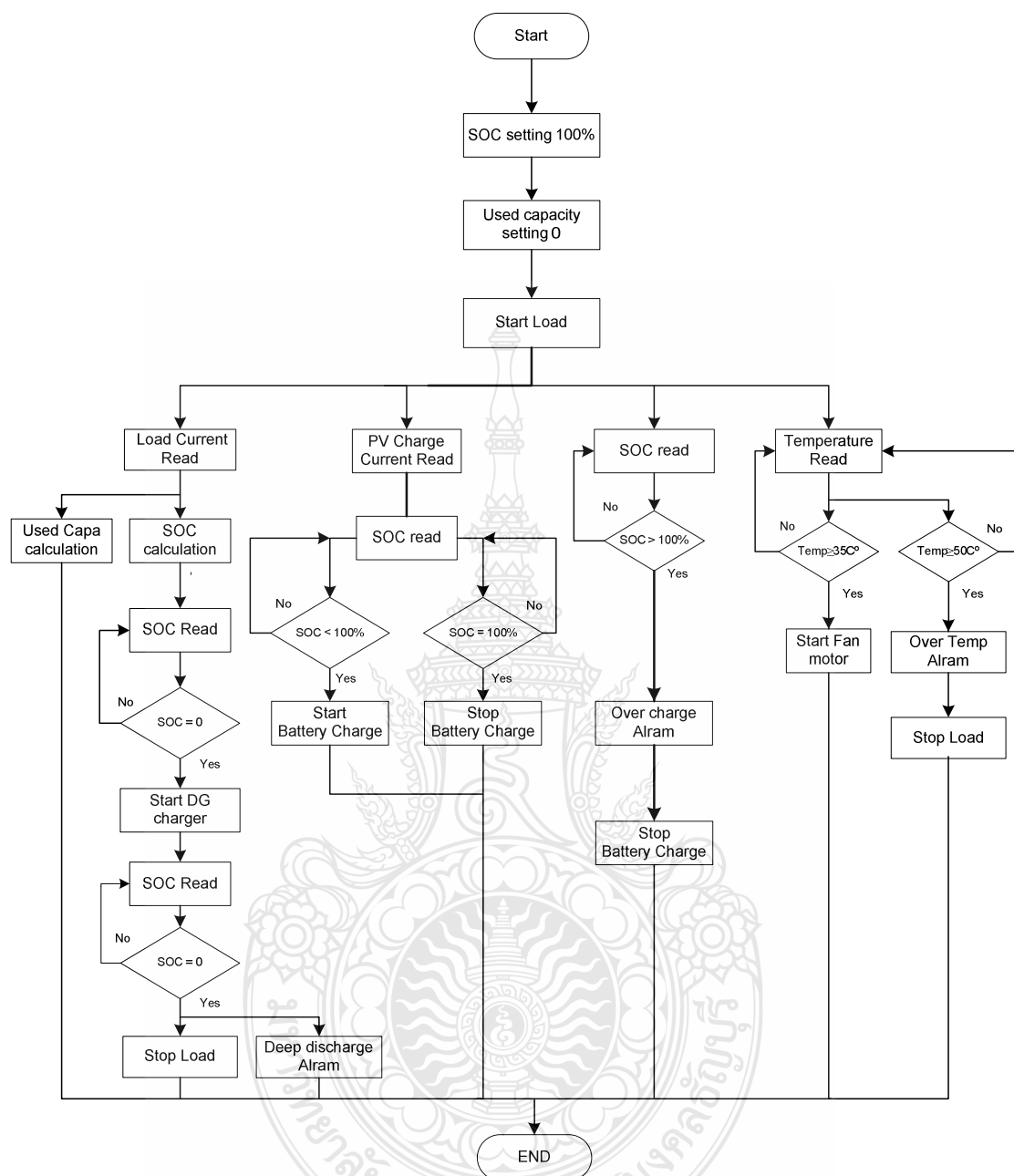
1) Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบในที่นี้คือคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบการจัดการแบบเดเตอร์นี้จะมาจาก การ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า)

2) Analysis หรือ วิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในภาพที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้ การทดลองในครั้งนี้การวิเคราะห์และคำนวณคำนวณที่สำคัญคือการคำนวณหาค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่

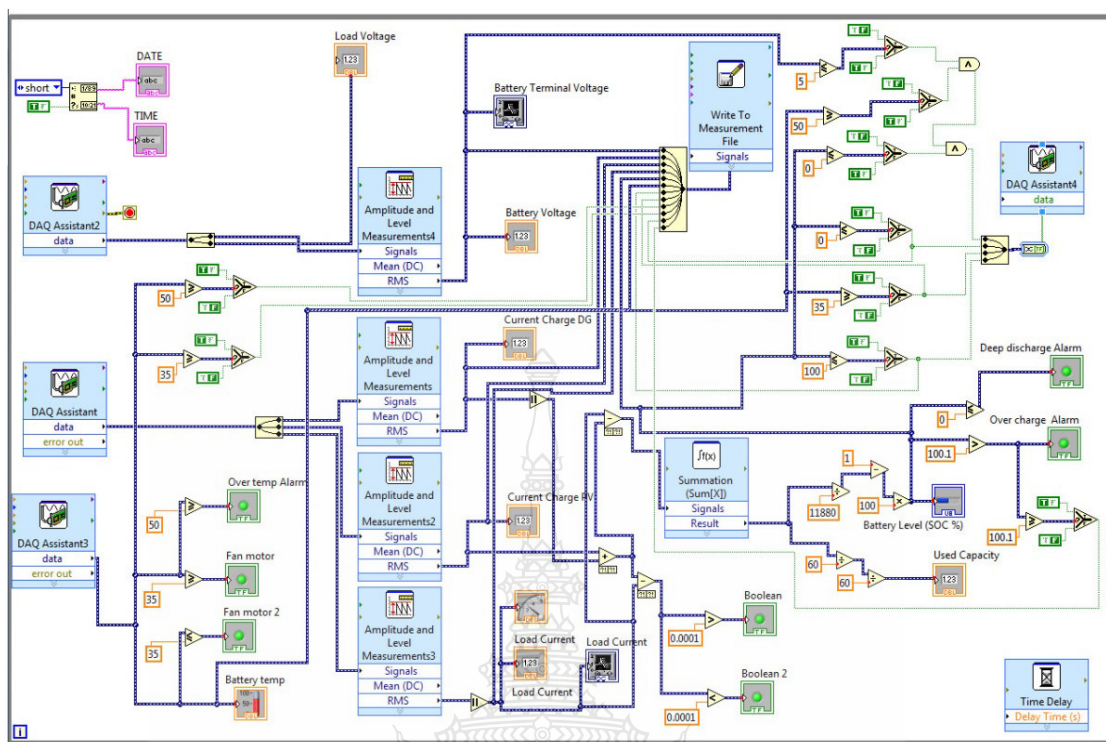
3) Display หรือการแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยจะแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

3.7 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมระบบการจัดการแบตเตอรี่

การเขียนโปรแกรมใน LabVIEW ดังที่กล่าวมาข้างต้นจะใช้การเขียนในรูปแบบ Graphic Block Diagram ซึ่งประกอบด้วยรูปไอคอนของบล็อกฟังก์ชันต่างๆ ที่ใช้แทนโปรแกรมย่อย โดยไม่ต้องกังวลเรื่องความสัมพันธ์ของภาษา เหมือนกับการเขียนโปรแกรมด้วยข้อความแบบเดิมๆ เพื่อระบุว่ามีการส่งข้อมูลจากบล็อกใดไปยังบล็อกใด ฟังก์ชันการทำงานของบล็อกต่างๆ ที่มีให้เลือกใช้มีตั้งแต่ฟังก์ชันการคำนวณธรรมดาไปจนถึงฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง รวมถึงฟังก์ชันการควบคุมอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต การปฏิบัติการที่เกี่ยวกับไฟล์ข้อมูลและอื่นๆ อีกมากมาย โดยการเขียนโปรแกรมเพื่อนำไปใช้ในระบบการจัดการแบตเตอรี่ในงานวิจัยนี้จะกำหนดเงื่อนไขการควบคุมตามโพลีชาร์ตด้านล่างดังภาพที่ 3.18 โดยจะอธิบายถึงหลักการกำหนดเงื่อนไขของระบบในส่วนต่างๆ ในหัวข้อต่อไป



ภาพที่ 3.18 โฟลว์ชาร์ตเงื่อนไขในการเขียนโปรแกรม

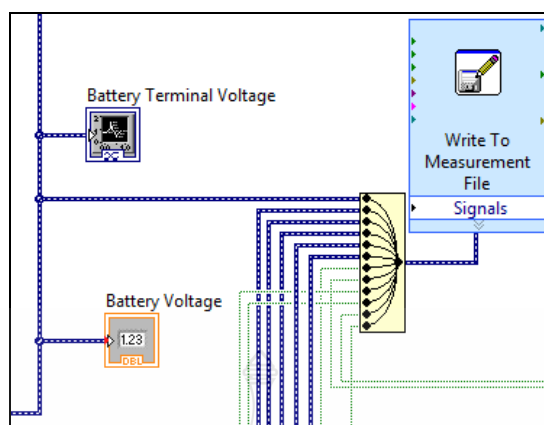


ภาพที่ 3.19 Graphical Programming ของระบบการจัดการแบตเตอรี่

ในการออกแบบโปรแกรมการเพื่อให้ได้ตามเงื่อนไขข้อกำหนดที่ต้องการและเพื่อให้ง่ายต่อการอธิบาย จึงแบ่งหลักการออกระบบในแต่ละส่วน ดังหัวข้อด้านล่างนี้ ซึ่งจะอธิบายการกำหนดค่าต่างๆ ในโปรแกรมการจัดการแบตเตอรี่อย่างละเอียดดังนี้

3.7.1 การกำหนดค่าการจัดการเก็บข้อมูลของระบบ (Data acquisition)

ในการจัดเก็บข้อมูลของระบบการจัดการแบตเตอรี่นี้จะใช้ ฟังก์ชัน Write to Measurement File ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันการเก็บข้อมูลจากค่าที่ได้ในระบบการตรวจวัดแสดงผลในรูปแบบ Technical Data Management: TDM : ซึ่งจะแสดงค่าอธิบายกำกับและสามารถแสดงผลในโปรแกรม Excel ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้เก็บข้อมูลของ แรงดันของแบตเตอรี่ กระแสที่ไหลค กระแสประจุของเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องอัดประจุจากไฟฟ้ากระแสสลับ SOC และค่าของอุณหภูมิของแบตเตอรี่โดยจะมีการเก็บค่าที่ได้ทุกๆ 1 วินาที



ภาพที่ 3.20 ฟังก์ชัน Write to Measurement File ของระบบการจัดการแบตเตอรี่

3.7.2 การกำหนดค่าการจัดการระบบไฟฟ้า (Electrical management)

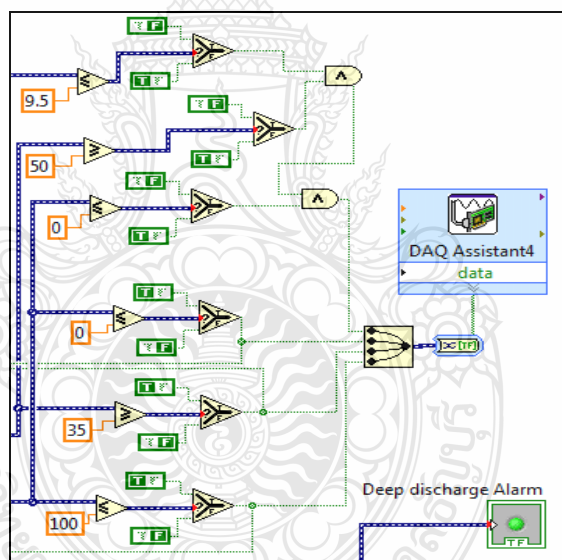
เป็นการกำหนดการจัดการค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในระบบการจัดการแบตเตอรี่ คือ กระแสไฟฟ้าที่โหลด แรงดันไฟฟ้า สถานะความจุของแบตเตอรี่ เพื่อควบคุมการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่โดยจะออกแบบให้ได้ตามเงื่อนไขคือ ในช่วงของการประจุโดยปรกติระบบจะมีการควบคุมการประจุให้มีการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนเสมอโดยให้มีการตรวจสอบกระแสประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อกระแสประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายกระแสอัดประจุให้แบตเตอรี่ได้จึงจะให้มีการอัดประจุจากเครื่องอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ แต่เครื่องอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อค่า SOC เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและใช้พลังงานทดแทนให้มากที่สุด และระบบจะมีการควบคุมไม่ให้ค่า SOC ของแบตเตอรี่ขณะประจุมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ถ้าค่า SOC ถึงระดับนี้โปรแกรมจะสั่งให้ตัดวงจรของการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ออก และในส่วนการคายประจุจะมีการควบคุมไม่ให้มีการคายประจุจนมีค่า SOC น้อยกว่า 0 เปอร์เซ็นต์จะต้องมีการอัดประจุใหม่ให้กับแบตเตอรี่แต่เมื่อไม่มีการอัดประจุใหม่ให้แบตเตอรี่ระบบจะมีการตัดการจ่ายโหลดของแบตเตอรี่ออกเพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่จ่ายประจุลึกลับเกินจนเกิดความเสียหายได้

โดยในการโปรแกรมจะใช้ฟังก์ชัน DAQ Assistance ซึ่งจะมีการกำหนดค่าต่างๆ ดังจะแสดงในหัวข้อด้านล่างให้สอดคล้องกับโมดูลที่ใช้ในการวัดคุม

โมดูลการควบคุมจะใช้โมดูล NI 9401 เป็นการส่งสัญญาณเพื่อนำไปควบคุมระบบโดยผ่านรีเลย์ต่างๆ โดยจะมีการกำหนดค่าเอาต์พุตในส่วนต่างๆ ในส่วนนี้จะมีค่าเอาต์พุตเป็นระดับแรงดันลอจิก 5 โวลต์จึงจำเป็นต้องใช้การขยายแรงดันก่อนเพื่อให้รีเลย์สามารถทำงานได้โดยจะเห็นการ

เขียนคำสั่งควบคุมดังภาพที่ 3.21 โดยกำหนดค่า DAQ Assistance ของ NI 9401 เป็น Line Output ซึ่งเป็นการควบคุมในแต่ละช่องว่าง เพื่อง่ายและอิสระต่อการเขียนคำสั่งควบคุม

ในการควบคุมนั้นจะนำค่าการตรวจวัดของพารามิเตอร์ของโมดูลต่างๆ เพื่อนำมากำหนดเงื่อนไขในการควบคุม โดยในงานวิจัยนี้ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ค่าของระดับแรงดัน กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิโดยเขียนโปรแกรมกำหนดค่าผ่านทาง DAQ Assistance ร่วมกับโมดูล NI 9225 NI9227 และ NI 9211 โดยการกำหนดค่า DAQ Assistance ของ NI 9225 จะตั้งค่าการวัดค่าแรงดันของระบบที่ระดับ 0 ถึง 25 โวลต์ เพื่อทำการวัดค่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่และแรงดันตกคร่อมที่โหลด และ NI 9227 จะตั้งค่าการวัดค่ากระแสของระบบที่ระดับ 0 ถึง 5 แอมแปร์ เพื่อทำการวัดค่าระดับกระแสของโหลด กระแสอัดประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ และ NI 9211 จะตั้งค่าการวัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ในระบบโดยเลือก เทอร์โมคัปเปิล ชนิด T ย่านการวัดที่ 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส

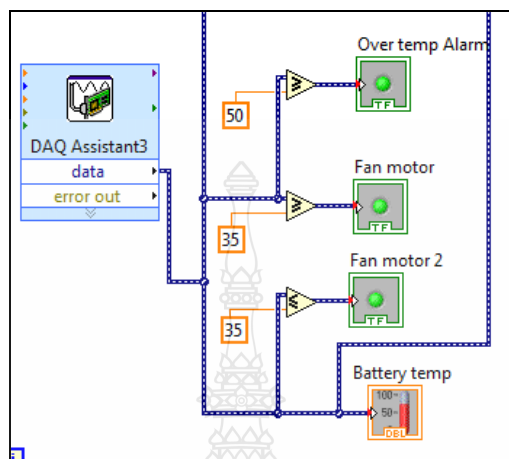


ภาพที่ 3.21 ฟังก์ชัน DAQ Assistance เพื่อควบคุมระบบไฟฟ้าของการจัดการแบตเตอรี่

3.7.3 การกำหนดค่าการจัดการอุณหภูมิ (Thermal management)

เป็นการกำหนดค่าการจัดการระบบควบคุมอุณหภูมิของระบบแบตเตอรี่ ในการใช้งานแบตเตอรี่ในประเทศไทยคงหลีกเลี่ยงการใช้งานที่อุณหภูมิโดยรอบที่สูงไม่ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะออกแบบให้มีการระบายความร้อนให้แบตเตอรี่เมื่ออุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และตัดการทำงานของแบตเตอรี่เมื่ออุณหภูมิเกิน 50 องศาเซลเซียสเพื่อช่วยในการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

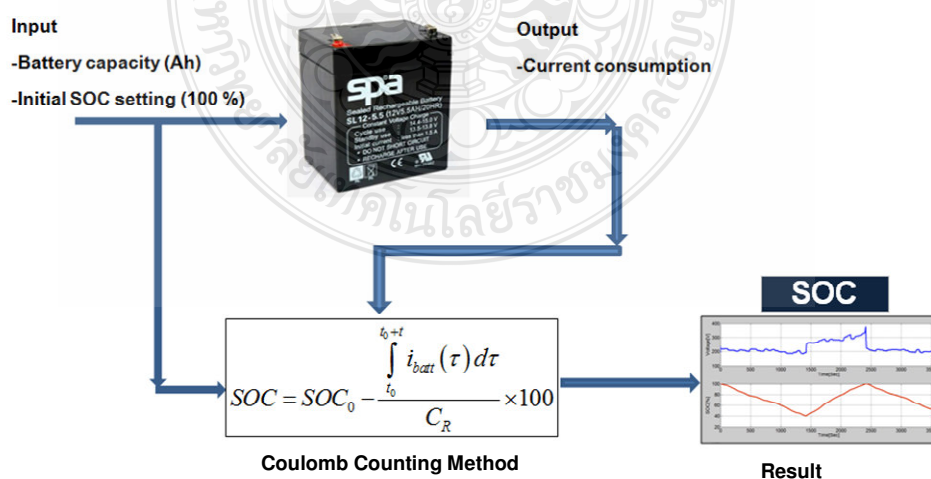
โดยในการโปรแกรมจะใช้ฟังก์ชัน DAQ Assistance ร่วมกับ โมดูล NI 9211 จะตั้งค่าการวัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ในระบบโดยเลือกเทอร์โมคัปเปิลชนิด T ย่านการวัดที่ 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส



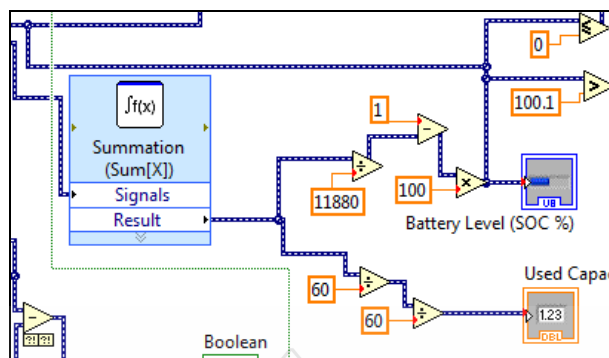
ภาพที่ 3.22 ฟังก์ชัน DAQ Assistance เพื่อควบคุมระบบการจัดการอุณหภูมิ

3.7.4 การกำหนดค่าการคำนวณค่าสถานะแบตเตอรี่ (Battery State Determination)

การหาค่าสถานะของแบตเตอรี่นั้นจะเป็นการหาค่าพารามิเตอร์ที่วัดแบบทันเวลา นำมาคำนวณด้วยวิธี คูลอมป์เคาท์ติ้ง โดยใช้สมการที่ 3.3 นำมาเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณหาค่า SOC เพื่อนำไปสู่การควบคุมและป้องกันระบบได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 3.23 โปรแกรมการคำนวณค่า SOC ของแบตเตอรี่ด้วยวิธีคูลอมป์เคาท์ติ้ง

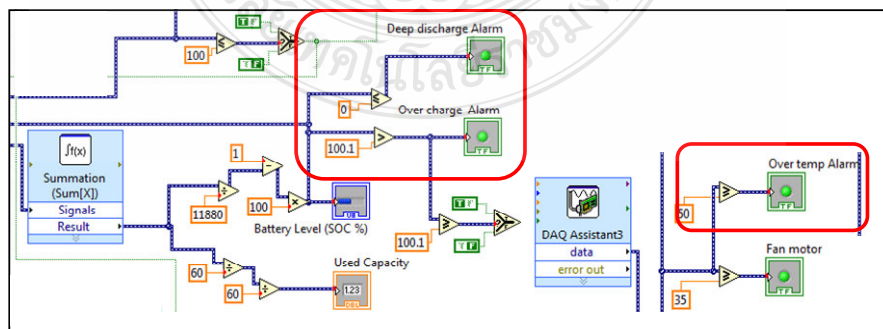


ภาพที่ 3.24 โปรแกรมการคำนวณหาค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ด้วยวิธีคูลอมป์เกาท์ตั้ง

3.7.5) การกำหนดค่าโปรแกรมการจัดการระบบความปลอดภัย (Safety Management)

เป็นการเขียนโปรแกรมจัดการระบบเพื่อป้องกันแบตเตอรี่ไม่ใหทำงานในสภาวะที่อันตราย โดยทำงานร่วมกับระบบควบคุมของระบบและมีกรแจ้งเตือนซึ่งจะเป็นการป้องกันในสภาวะดังนี้คือ

- 1) Deep of Discharge: เงื่อนไขจะกำหนดให้แบตเตอรี่ตัดการจ่ายโหลดเมื่ค่า SOC เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อไม่มีการอัดประจุจากระบบต่าง และมีระบบการแจ้งเตือนเพื่อให้ผู้ใช้งานง่ายต่อการสังเกต
- 2) Over Charging: เงื่อนไขจะกำหนดให้ควบคุมแรงดันขณะอัดประจุแบตเตอรี่มีการตัดวงจรการอัดประจุออกเมื่ค่า SOC เกิน 100 เปอร์เซ็นต์ และมีระบบการแจ้งเตือนเพื่อให้ผู้ใช้งานง่ายต่อการสังเกต
- 3) Over Temperature: เงื่อนไขจะกำหนดให้ควบคุมอุณหภูมิของระบบโดยจะสั่งให้แบตเตอรี่หยุดการจ่ายโหลดเพื่อระบายความร้อนเมื่ออุณหภูมิโดยรอบเท่ากับหรือมากกว่า 50 องศาเซลเซียสและมีระบบการแจ้งเตือนเพื่อให้ผู้ใช้งานง่ายต่อการสังเกต



ภาพที่ 3.25 โปรแกรมการจัดการระบบความปลอดภัย

3.8 ส่วนแสดงผลของระบบการจัดการแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

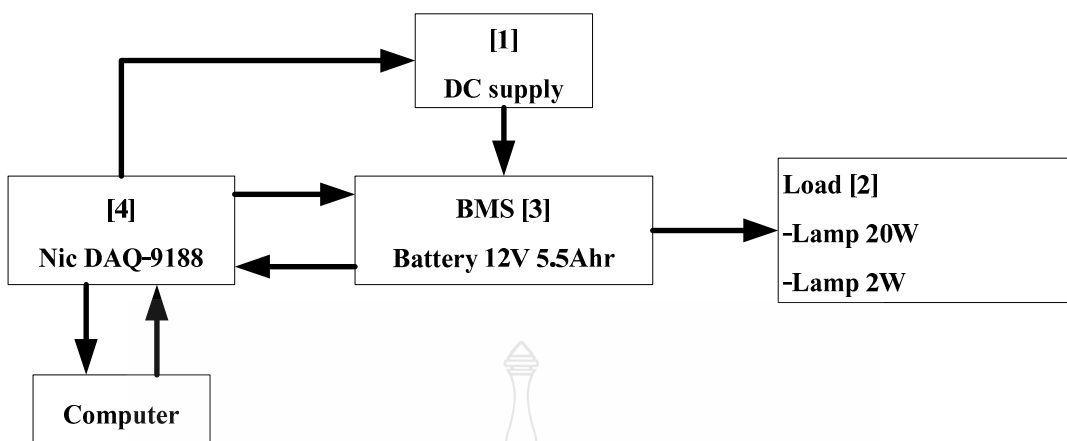
ในภาพที่ 3.26 จะแสดงส่วนแสดงผลของระบบการจัดการทั้งหมดซึ่งจะประกอบด้วยส่วนที่ 1 แสดงกราฟระดับแรงดันของแบตเตอรี่และกระแสที่ไหลเพื่อให้่ายต่อการสังเกตว่าระบบอยู่ในสถานะที่ปกติหรือไม่ ในส่วนที่ 2 เป็นการแสดงผลที่เป็นตัวเลขจะแสดงค่าแรงดันของแบตเตอรี่แรงดันตกคร่อมที่ไหล กระแสประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ในส่วนที่ 3 เป็นส่วนแสดงผลกราฟิกจะแสดงสถานะประจุของแบตเตอรี่และอุณหภูมิของระบบ และในส่วนที่ 4 แสดงระบบแจ้งเตือนต่าง ๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานง่ายต่อการมองเห็น



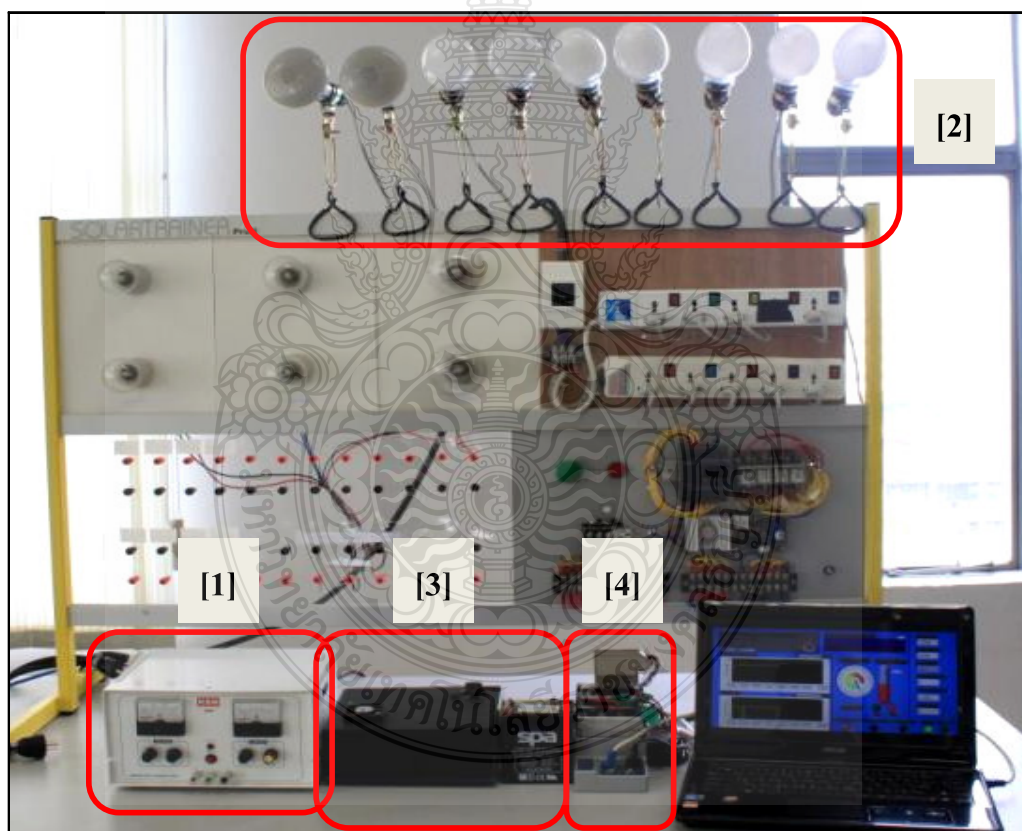
ภาพที่ 3.26 ส่วนแสดงผลของระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่นำเสนอ

3.9 ระบบฮาร์ดแวร์ของระบบการจัดการแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ในภาพที่ 3.27 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบฮาร์ดแวร์และภาพที่ 3.28 แสดงระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบการจัดการสถานะการอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่ใช้โปรแกรม LabVIEW ทดสอบ ประกอบไปด้วยส่วนที่ 1 คือแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง เพื่อทดสอบสถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่ ส่วนที่ 2 เป็นโหลดที่ใช้ในการทดสอบการคายประจุให้แบตเตอรี่ ส่วนที่ 3 เป็นระบบจัดการแบตเตอรี่ซึ่งจะประกอบไปด้วยแบตเตอรี่และระบบควบคุมและในส่วนที่ 4 เป็นส่วนสื่อสารควบคุมและตรวจวัดต่างๆ โดยใช้ระบบ Local Area Network : LAN ผ่านทาง Nic DAQ-9188 ทำงานร่วมกับ โมดูล NI9335 NI9227 NI 9211 และ NI9401



ภาพที่ 3.27 ไลออะแกรมระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบการจัดการ



ภาพที่ 3.28 ระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบการจัดการสภาวะการอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทนโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

3.10 สรุปผลขั้นตอนและวิธีการทดลอง

จากขั้นตอนการออกแบบระบบและวิธีการทดลองของเนื้อหาที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปเนื้อหาทั้งหมดได้ดังนี้ คือ ในส่วนที่ 1 จะเป็นการออกแบบการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่ ด้วยโปรแกรม MatLab/Simulink จากแบตเตอรี่โมเดลที่มีอยู่ในโปรแกรม โดยจะทำการจำลองค่าคุณสมบัติในช่วงการคายประจุและอัดประจุของแบตเตอรี่ เพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า SOC กับระบบจริงที่ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบเพื่อนำมาพิสูจน์ผลการทดสอบในทางทฤษฎีว่า ระบบจริงที่ออกแบบสามารถแสดงสถานะประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดได้หรือไม่ ในส่วนที่ 2 จะเป็นการออกแบบการทดลองเปรียบเทียบค่า SOC ในช่วงการประจุและอัดประจุใน เครื่อง MTB กับ ระบบจริงที่ใช้โปรแกรม LabVIEW และในที่สุดท้ายจะทำการออกแบบระบบการจัดการสถานะการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทนที่ใช้โปรแกรม LabVIEW โดยจะแบ่งเป็นหัวข้อในแต่ละส่วนได้ดังนี้

- 1) การกำหนดค่าการจัดการเก็บข้อมูลของระบบ (Data Acquisition)
- 2) การกำหนดค่าการจัดการระบบ ไฟฟ้า (Electrical Management)
- 3) การกำหนดค่าการจัดการอุณหภูมิ (Thermal Management)
- 4) การกำหนดค่าโปรแกรมการคำนวณค่าสถานะแบตเตอรี่ (Battery State Determination)
- 5) การกำหนดค่าโปรแกรมการจัดการระบบความปลอดภัย (Safety Management)

ดังที่กล่าวมาจะนำไปทดสอบการทำงานของระบบในแต่ละส่วน โดยจะแสดงผลการทดลองที่ได้ในบทต่อไป

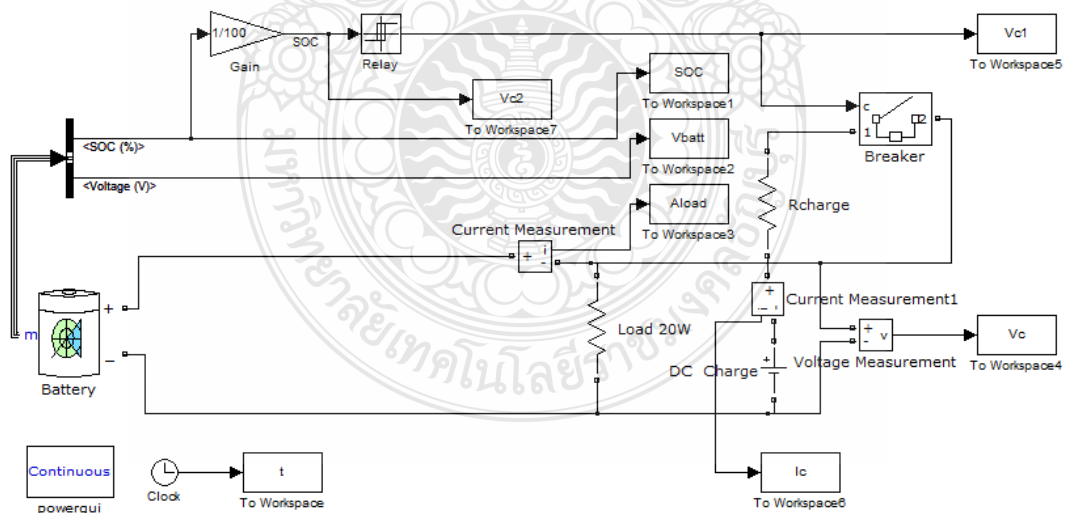
บทที่ 4

ผลการทดลอง

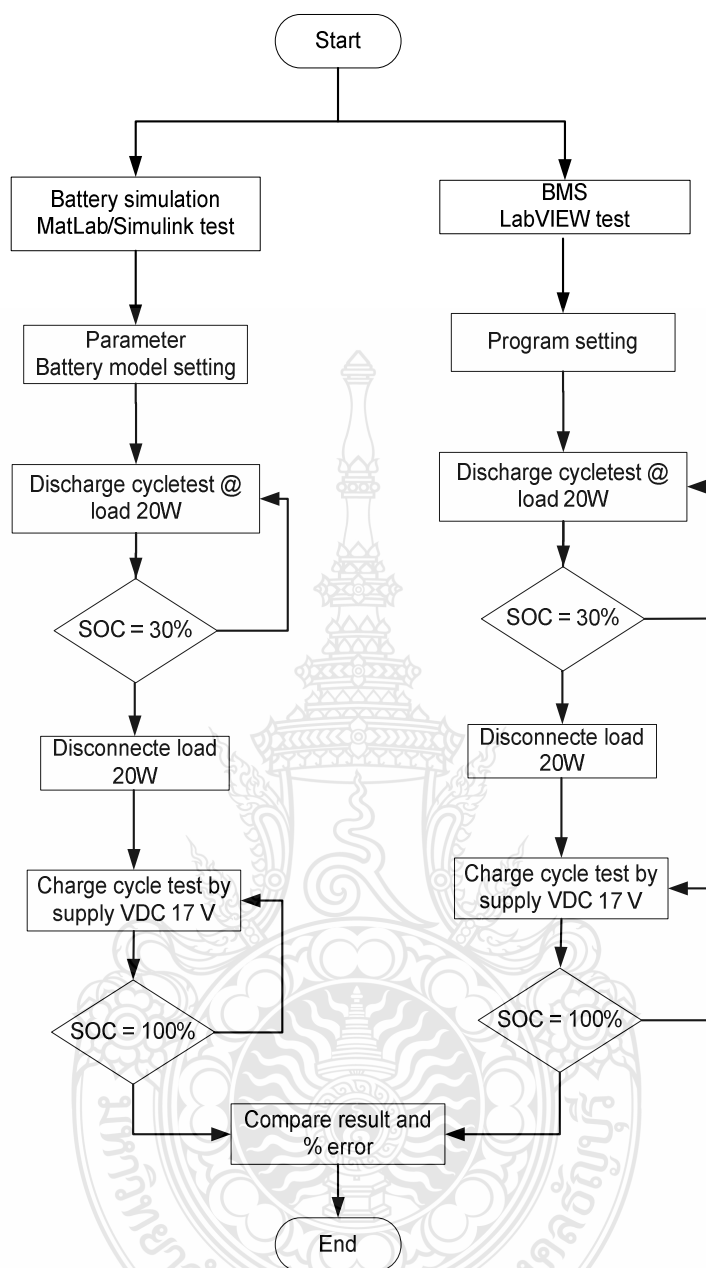
บทนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนการทดลองและผลการทดลองระบบในส่วนต่างๆ ประกอบด้วยการจำลองสถานะประจุของแบตเตอรี่ผ่านทางโปรแกรม MatLab/Simulink และเครื่องควบคุมการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ (Microprocessor Test for Battery :MTB-series) เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับความถูกต้องกับระบบการจัดการสถานะการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ที่ควบคุมในระบบพลังงานทดแทนที่ใช้โปรแกรม LabVIEW และทดสอบระบบการควบคุมเตือนภัยแสดงผล และเก็บข้อมูลสถานะของแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม LabVIEW

4.1 ผลการจำลองสถานะการประจุของแบตเตอรี่ที่ควบคุมด้วย MatLab/Simulink

การทดสอบการคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่โมเดลในโปรแกรม MatLab/Simulink เพื่อทดสอบคุณสมบัติในการคายประจุและประจุของแบตเตอรี่โมเดล เพื่อนำผลที่ได้มาประเมินเปรียบเทียบกับความถูกต้องกับระบบการจัดการแบตเตอรี่แบบทันทีโดยใช้ไลอองแกรมการจำลองดังภาพที่ 4.1 และทำการทดสอบตามเงื่อนไขการทำงานตามโพล์ชาร์ตในภาพที่ 4.2



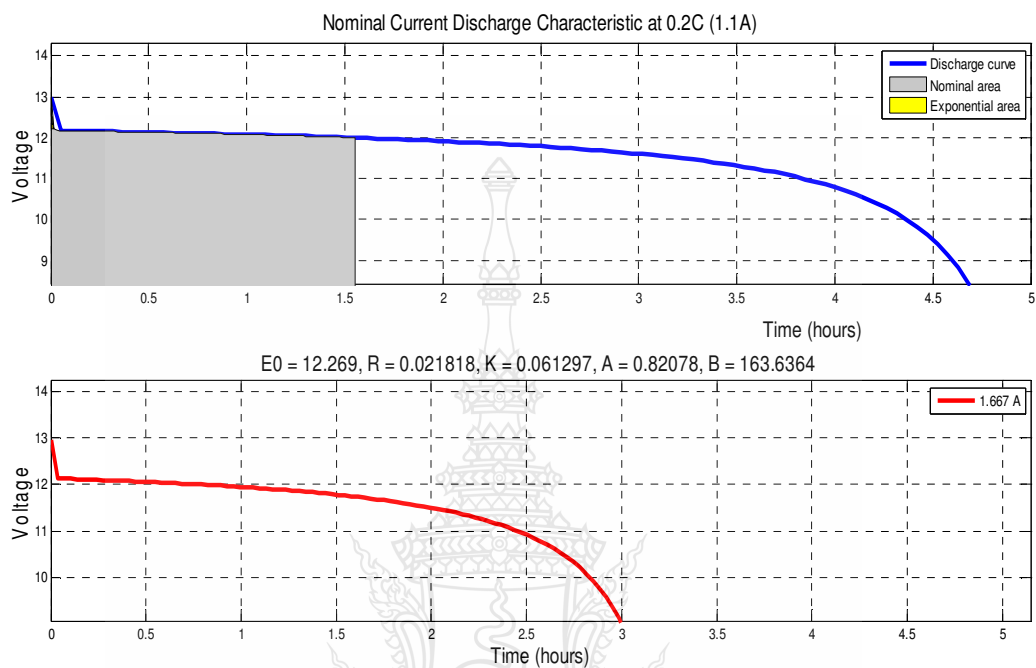
ภาพที่ 4.1 แบบจำลองสถานะการคายประจุแบตเตอรี่ที่ควบคุมด้วย



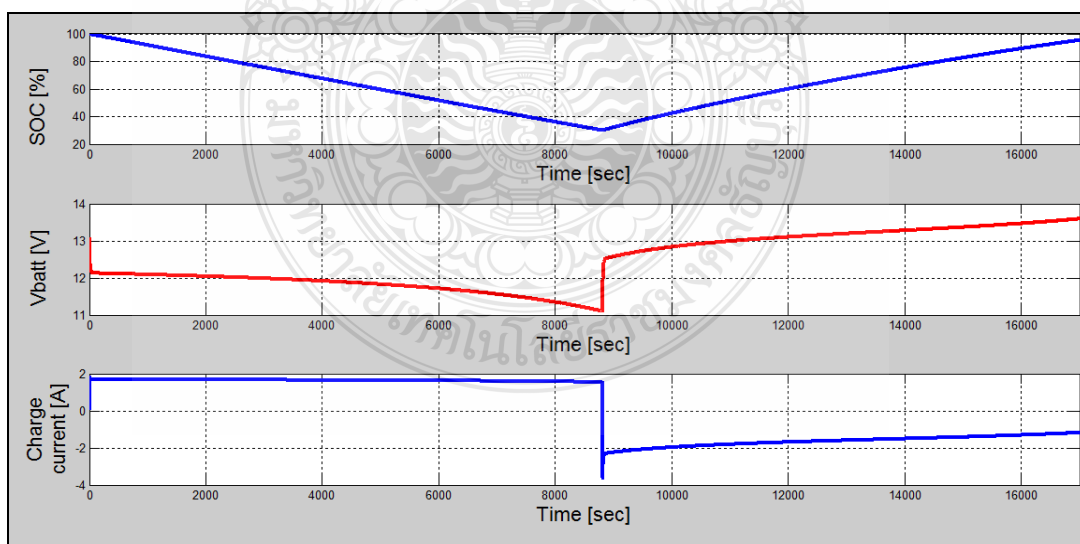
ภาพที่ 4.2 โฟลว์ชาร์ตเงื่อนไขการทดสอบสถานะประจุและคายประจุ

ผลการจำลองการคายประจุของแบตเตอรี่โมเดลในภาพที่ 4.3 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของแบตเตอรี่กับเวลาในการคายประจุที่กระแสการคายประจุแบบปรกติของแบตเตอรี่ในโปรแกรม MatLab/Simulink ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้การคายประจุที่ 0.2 C หรือ 1.1 แอมแปร์

เปรียบเทียบกับการคายประจุที่โหลดคงที่ 20 วัตต์ หรือ 1.667 แอมแปร์ซึ่งผลการทดสอบที่ได้นี้ จะทำให้เห็นถึงคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ในเบื้องต้นได้

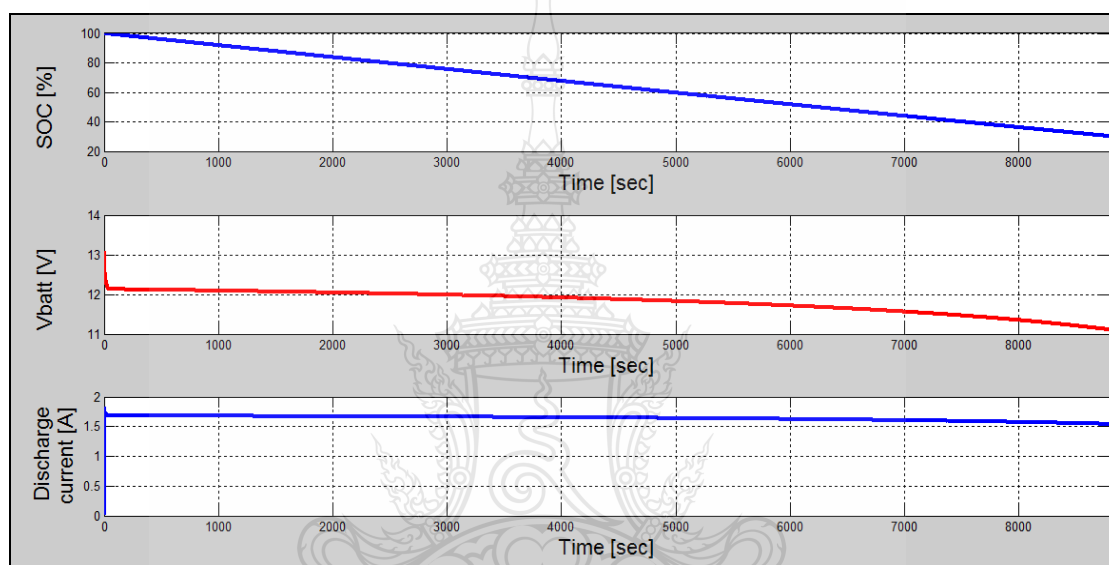


ภาพที่ 4.3 คุณสมบัติการคายประจุเปรียบเทียบที่กระแส 1.1 แอมแปร์ กับ 1.667 แอมแปร์



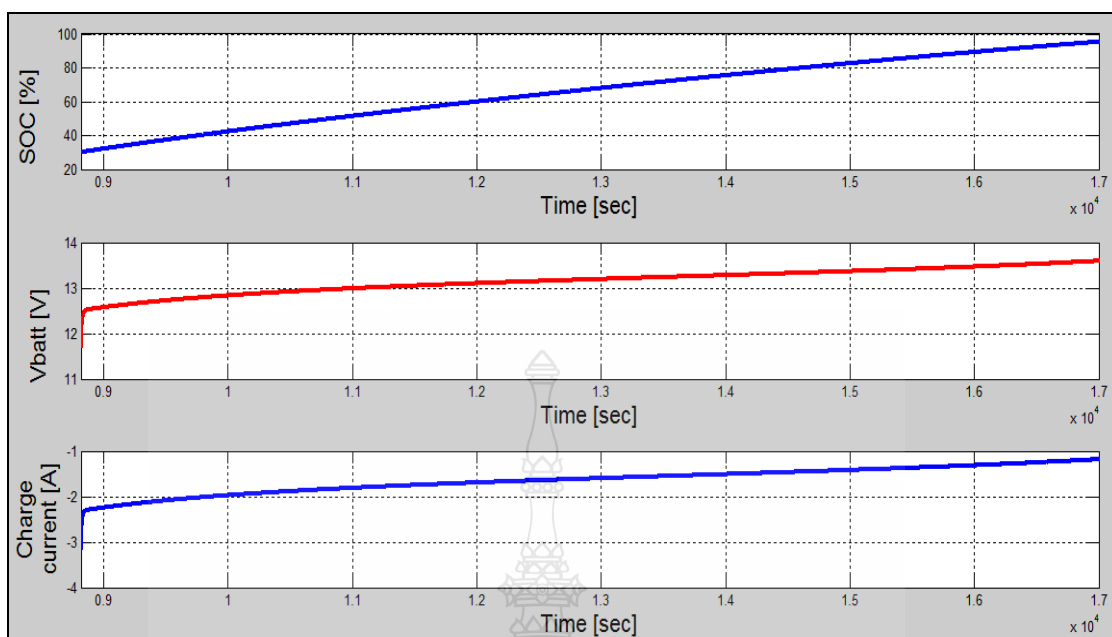
ภาพที่ 4.4 คุณสมบัติการคายประจุและอัดประจุของแบตเตอรี่โมเดลในโปรแกรม MatLab/Simulink

ผลการจำลองการคายประจุและประจุของแบตเตอรี่โมเดลในภาพที่ 4.4 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของแบตเตอรี่กับเวลาในการคายประจุในโปรแกรม MatLab/Simulink เปรียบเทียบกับค่า SOC กับเวลาที่กระแสการคายประจุที่ไหลคงที่ 20 วัตต์ ทดสอบการคายประจุจนถึงค่า SOC ที่ 30 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการการป้อนแรงดันการอัดประจุที่ 17 โวลต์ จนค่า SOC เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของแรงดันของแบตเตอรี่กับค่า SOC ในสภาวะการคายประจุและอัดประจุได้



ภาพที่ 4.5 คุณสมบัติการคายประจุของแบตเตอรี่โมเดลที่ไหลคงที่ 20 วัตต์

ผลการจำลองการคายประจุของแบตเตอรี่โมเดลในภาพที่ 4.5 เป็นส่วนขยายการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของแบตเตอรี่กับเวลาในการประจุในโปรแกรม MatLab/Simulink เปรียบเทียบกับค่า SOC กับเวลาที่กระแสการคายประจุที่ไหลคงที่ 20 วัตต์ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของแรงดันของแบตเตอรี่กับค่า SOC ในสภาวะการคายประจุได้



ภาพที่ 4.6 คุณสมบัติการอัดประจุของแบตเตอรี่โมเดลที่แรงดันคงที่ 17 โวลต์

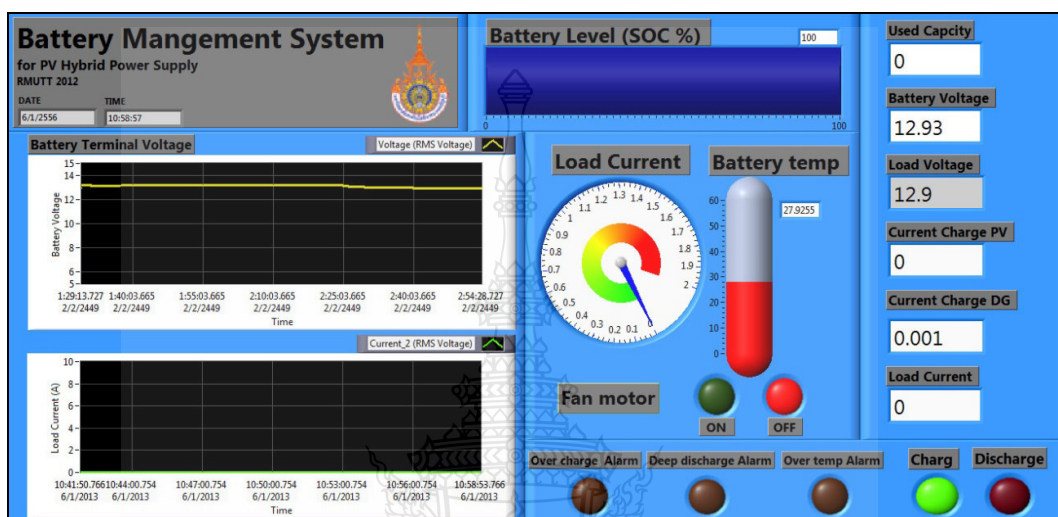
ผลการจำลองการอัดประจุของแบตเตอรี่โมเดลในภาพที่ 4.6 เป็นส่วนขยายการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของแบตเตอรี่กับเวลาในการอัดประจุในโปรแกรม MatLab/Simulink เปรียบเทียบกับค่า SOC กับเวลาที่กระแสการอัดประจุที่แรงดันคงที่ 17 โวลต์ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของแรงดันของแบตเตอรี่กับค่า SOC ในสภาวะการอัดประจุได้.

4.2 ผลทดสอบการคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่โมเดลจากโปรแกรม MatLab/Simulink เปรียบเทียบกับระบบการจัดการสภาวะการอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทนที่ใช้โปรแกรม LabVIEW

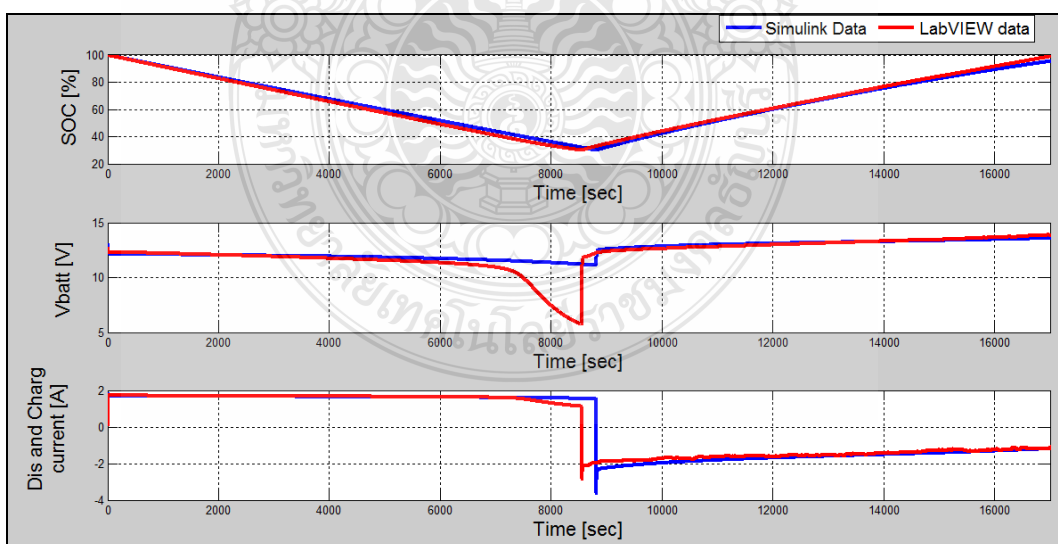
การทดสอบการคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่โมเดลจากโปรแกรม MatLab/Simulink เปรียบเทียบกับระบบการจัดการสภาวะการอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทนที่ใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อทดสอบคุณสมบัติในการคายประจุและอัดประจุของแบตเตอรี่ นำมาประเมินเปรียบเทียบความถูกต้องของระบบการจัดการแบตเตอรี่แบบทันที

ในภาพที่ 4.7 เป็นหน้าจอแสดงผลของระบบการจัดการสภาวะการอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทนที่ใช้โปรแกรม LabVIEW และในภาพที่ 4.8 เป็นผล

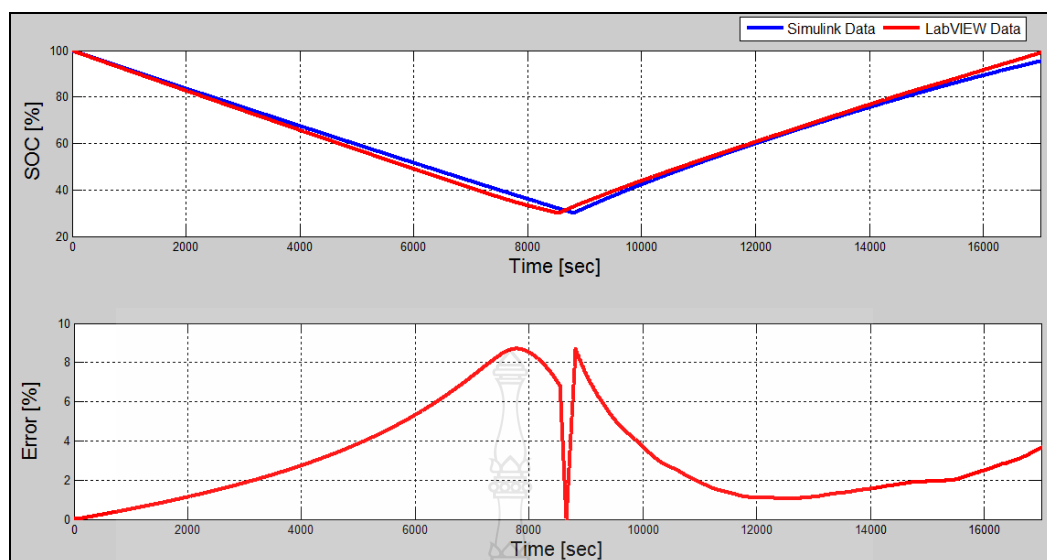
การทดสอบเปรียบเทียบของสองระบบ โดยให้ระบบทำการคายประจุที่โหลดคงที่ 20 วัตต์ จนค่า SOC ลดลงมาถึง 30 เปอร์เซ็นต์จากนั้นให้ระบบตัดโหลดที่จ่ายพร้อมทั้งจ่ายแรงดันอัดประจุกลับเข้าให้ แบตเตอรี่ที่ 17 โวลต์ คงที่จนถึงค่า SOC ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดสอบช่วงเวลาในการประจุและอัด ประจุของสองระบบเพื่อเปรียบเทียบยืนยันถึงความถูกต้อง



ภาพที่ 4.7 ส่วนแสดงผลของระบบที่ใช้ในระบบการจัดการสถานะการอัดประจุและคายประจุ แบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทนที่ใช้โปรแกรม LabVIEW

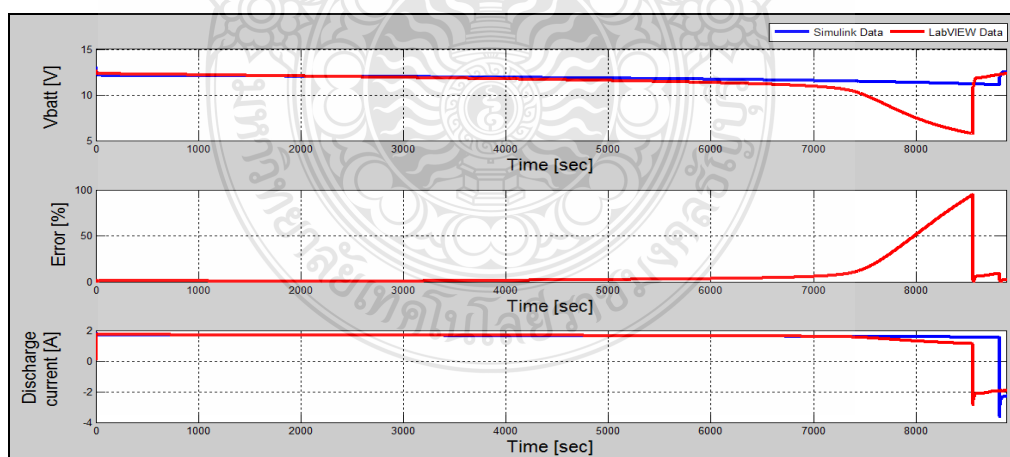


ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบคุณลักษณะการคายประจุและอัดประจุของแบตเตอรี่จาก โปรแกรม MatLab/Simulink เปรียบเทียบกับ LabVIEW



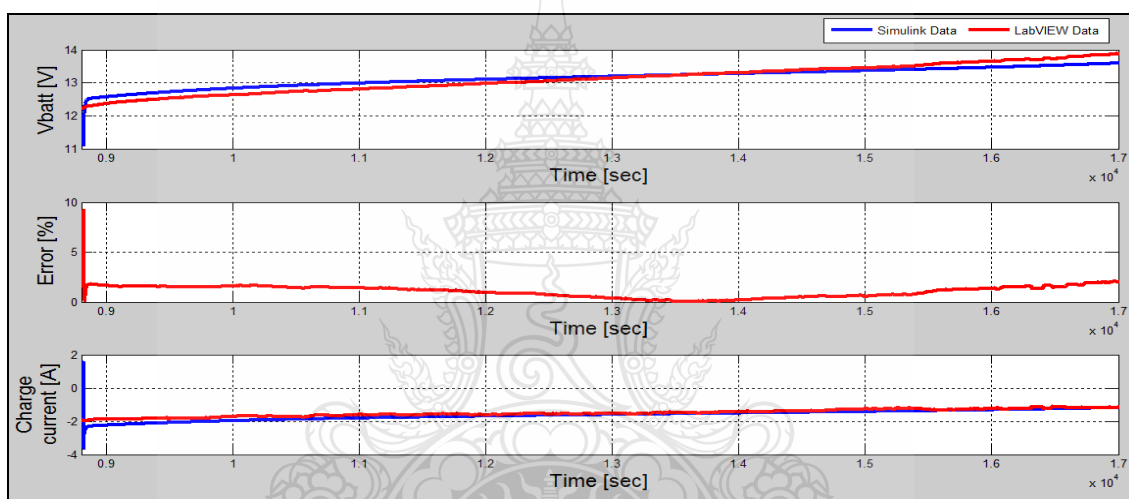
ภาพที่ 4.9 ผลการทดลองเปรียบเทียบการหาค่า SOC ของสองระบบ

ผลการทดสอบการหาค่า SOC ของแบตเตอรี่เปรียบเทียบกันทั้งสองระบบ ในภาพที่ 4.9 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SOC กับเวลาที่กระแสการคายประจุและอัดประจุตามเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์และค่าความผิดพลาดสูงสุดเปรียบเทียบกันของสองระบบโดยค่าความผิดพลาดสูงสุดจะอยู่ที่ 8 เปอร์เซ็นต์ ของการทดสอบค่า SOC



ภาพที่ 4.10 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะการคายประจุของสองระบบ

ผลการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่เปรียบเทียบกันทั้งสองระบบ ในภาพที่ 4.10 เป็นส่วนขยายการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของแบตเตอรี่กับเวลาในการคายประจุเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม MatLab/Simulink และค่าที่ได้จากระบบการจัดการแบตเตอรี่แบบทันเวลาด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่การคายประจุที่โหลดคงที่ 20 วัตต์ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์และค่าความผิดพลาดสูงสุดเปรียบเทียบกันของสองระบบ โดยค่าความผิดพลาดสูงสุดในช่วงการคายประจุที่แบบเชิงเส้นหรือช่วงทำงานของแบตเตอรี่จะอยู่ที่ 7 เปอร์เซ็นต์ และค่าความผิดพลาดสูงสุดในช่วงการคายประจุระยะสุดท้ายของแบตเตอรี่จะอยู่ที่ 94 เปอร์เซ็นต์

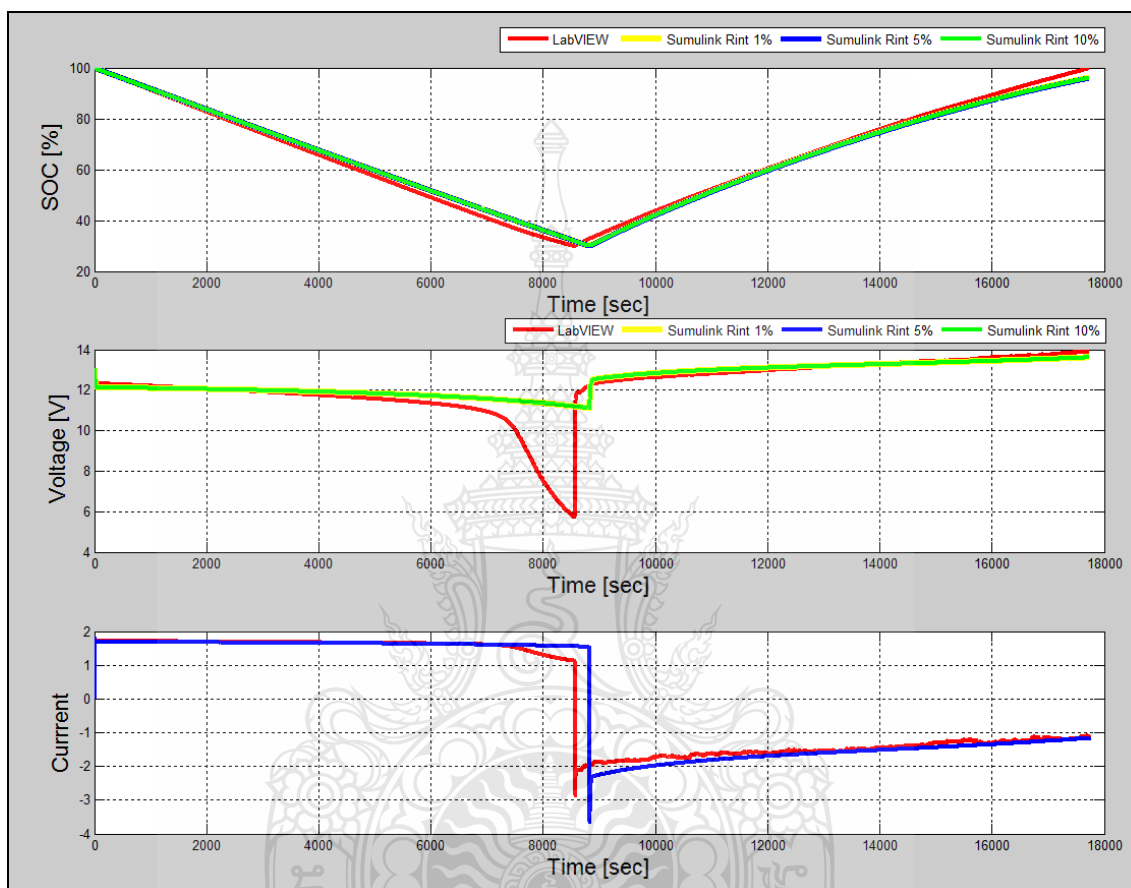


ภาพที่ 4.11 คุณสมบัติการอัดประจุของแบตเตอรี่ทั้งสองระบบ

ผลการจำลองการประจุของแบตเตอรี่เปรียบเทียบกันทั้งสองระบบในภาพที่ 4.11 เป็นส่วนขยายการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของแบตเตอรี่กับเวลาในการอัดประจุเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม MatLab/Simulink และค่าที่ได้จากระบบการจัดการแบตเตอรี่แบบทันเวลาด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยอัดประจุที่แรงดันคงที่ 17 โวลต์ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์และค่าความผิดพลาดสูงสุดเปรียบเทียบกันของสองระบบ โดยค่าความผิดพลาดสูงสุดในช่วงการอัดประจุจะอยู่ที่ 2 เปอร์เซ็นต์

4.2.1 ผลการทดลองการคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่โมเดลจากโปรแกรม MatLab/Simulink เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW เมื่อมีการปรับค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่โมเดล เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่า SOC และ แรงดัน กับเวลา

เมื่อมีการเปลี่ยนค่าความต้านทานภายในที่ 1 เปอร์เซ็นต์ 5 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าที่ได้มาจากการคำนวณตามสมการที่ 3.4 เพื่อนำผลที่ได้มาพิจารณาในการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อลดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของผลการทดลอง

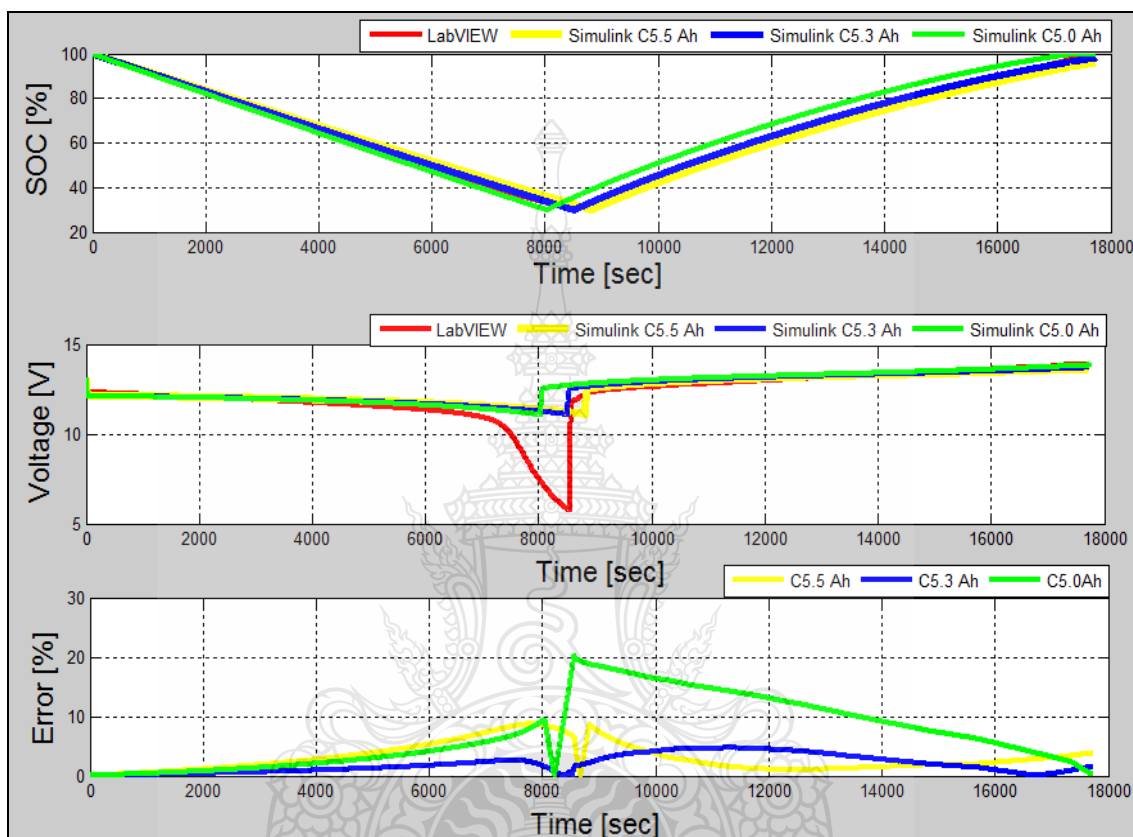


ภาพที่ 4.12 ผลการทดลองการคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่เมื่อมีการปรับค่าความต้านทาน ภายในของแบตเตอรี่โมเดล

ผลการจำลองการของแบตเตอรี่เปรียบเทียบกันทั้งสองระบบในภาพที่ 4.12 ที่ได้จะเห็นได้ว่าที่ค่าความต้านทานภายในที่ 1 เปอร์เซ็นต์ 5 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลต่อค่า SOC และแรงดันของแบตเตอรี่เพียงเล็กน้อยเท่านั้นจึงไม่ส่งผลต่อค่าความผิดพลาดของผลการทดลอง

4.2.2 ผลการทดลองการคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่โมเดลจากโปรแกรม MatLab/Simulink เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW เมื่อมีการปรับค่าความความจุของแบตเตอรี่โมเดล เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่า SOC และ แรงดัน กับเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนค่า

ความจุของแบตเตอรี่โมเดลที่ 5.5 แอมแปร์-ชั่วโมง 5.3 แอมแปร์-ชั่วโมง และ 5.0 แอมแปร์-ชั่วโมง เพื่อนำผลที่ได้มาพิจารณาในการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อลดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของผลการทดลองหรือนำมากำหนดเงื่อนไขในการควบคุมได้

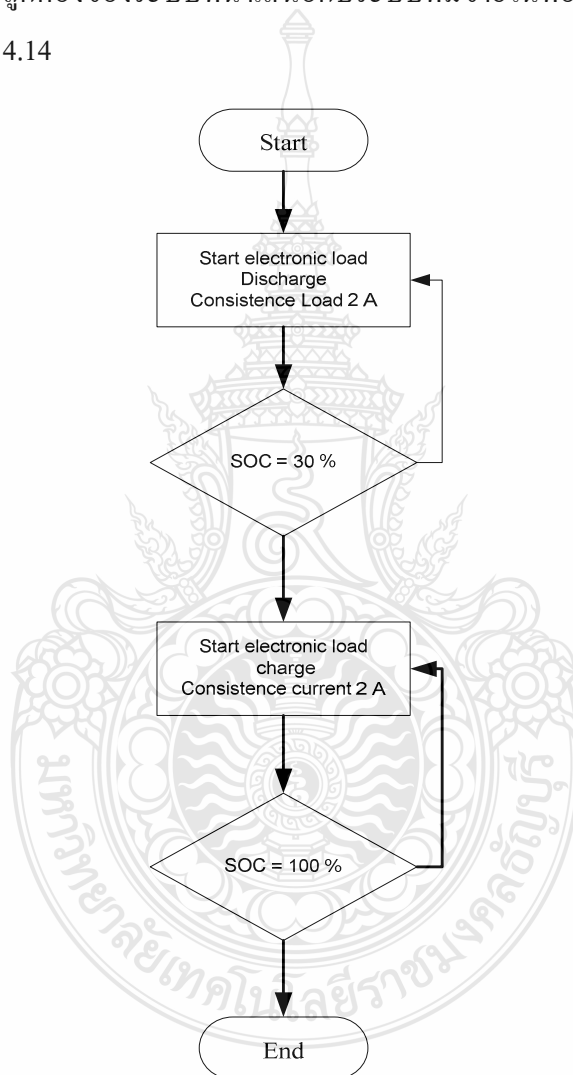


ภาพที่ 4.13 ผลการทดลองการคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่เมื่อมีการปรับค่าความจุภายในของแบตเตอรี่โมเดล

ผลการจำลองการของแบตเตอรี่เปรียบเทียบกันทั้งสองระบบในภาพที่ 4.13 ที่ได้จะเห็นได้ว่าค่าประจุที่ 5.3 แอมแปร์-ชั่วโมงมีค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุด จากผลการทดลองที่ได้นี้ทำให้เห็นค่าประจุของแบตเตอรี่จริงที่นำมาทดลองในระบบมีค่าความจุที่แท้จริงอยู่ประมาณ 5.3 แอมแปร์-ชั่วโมง ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้ไปกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมในเบื้องต้นได้

4.3 ผลการทดลองสถานะการประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ด้วยเครื่องควบคุมการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ (Microprocessor Test for Battery: MTB-Series)

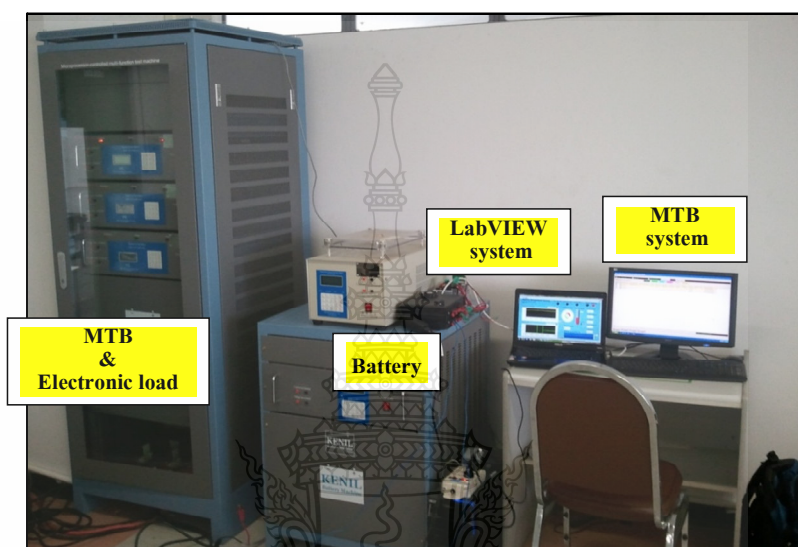
การทดสอบในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบการคายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่ด้วยเครื่องควบคุมการอัดและคายประจุที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบความถูกต้องค่า SOC กับระบบการจัดการที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบที่นำเสนอกับระบบที่มีขายในท้องตลาด โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองตามภาพที่ 4.14



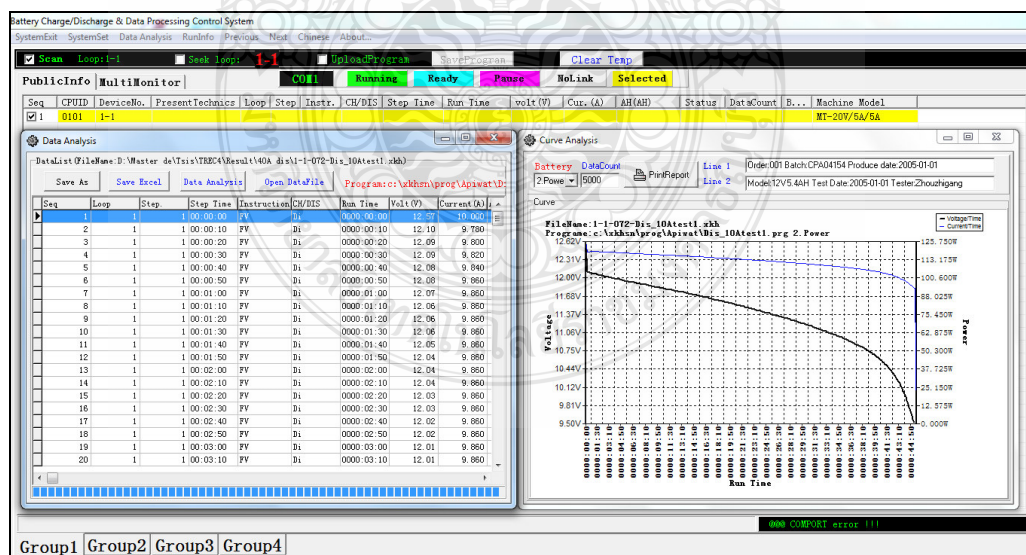
ภาพที่ 4.14 โฟลว์ชาร์ตเงื่อนไขการทดสอบการควบคุมการประจุจาก MTB

ทำการทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการ โดยใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 5.5 แอมแปร์-ชั่วโมง ตั้งแสดงดังภาพที่ 4.15 โดยจะทำการทดสอบและเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่า

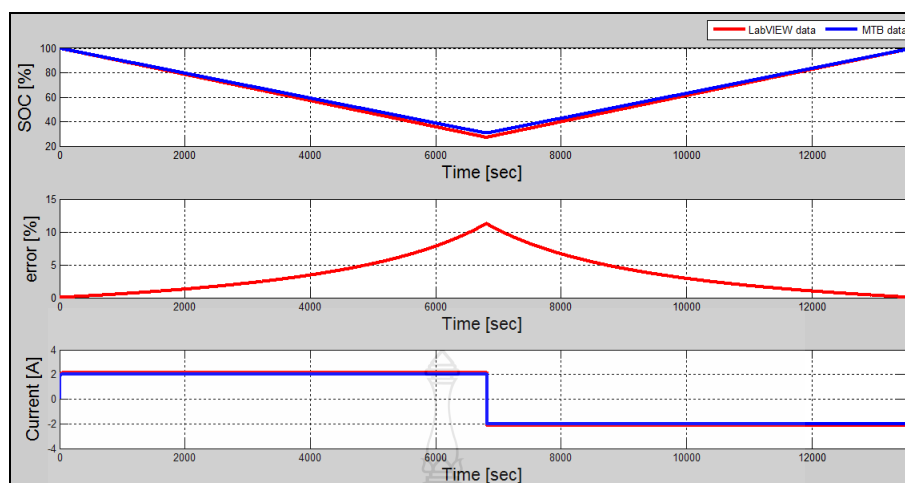
SOC ของแบตเตอรี่ที่สภาวะการคายประจุและการอัดประจุ ผ่านทางโปรแกรม Battery Charge/Discharge Data Processing Control System Version:2009-07-16/V1.3.2 ของบริษัท XINKEHUA ในภาพที่ 4.16 เป็นส่วนแสดงผลของโปรแกรม Battery Charge/Discharge Data Processing Control System ที่ใช้ในการทดสอบซึ่งสามารถแสดงผลและเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ข้อมูล โปรแกรม Excel ได้



ภาพที่ 4.15 การทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม



ภาพที่ 4.16 ส่วนแสดงผลโปรแกรม Battery Charge/Discharge Data Processing Control System

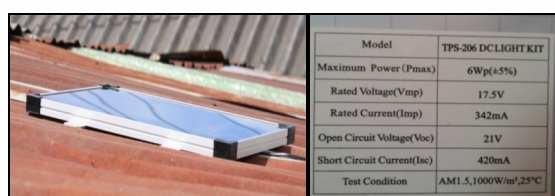


ภาพที่ 4.17 การทดลองเปรียบเทียบการหาค่า SOC ของสองระบบ

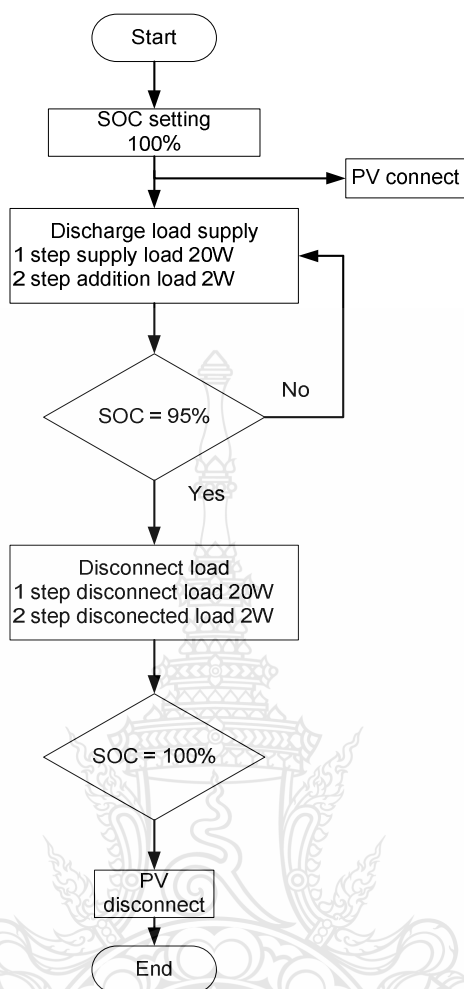
ภาพที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SOC กับเวลาที่กระแสการคายประจุและอัดประจุตามเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์และค่าความผิดพลาดสูงสุดเปรียบเทียบกันของสองระบบโดยค่าความผิดพลาดสูงสุดจะอยู่ที่ 11 เปอร์เซ็นต์ของการทดสอบค่า SOC

4.4 ผลการทดสอบระบบการควบคุมการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม LabVIEW

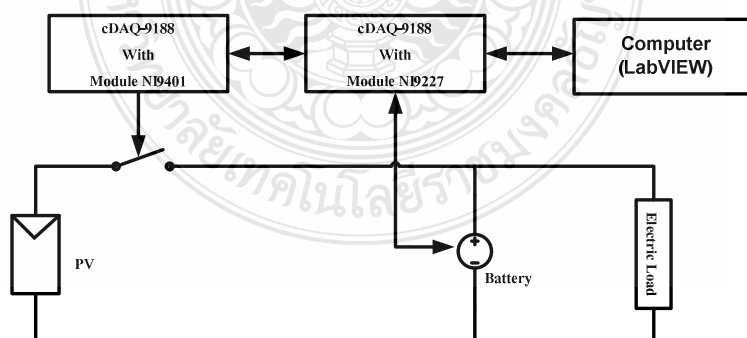
การทดสอบการควบคุมการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการทดสอบการทำงานของระบบการจัดการการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ เมื่อทำงานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทดสอบสถานการณ์การทำงานของแบตเตอรี่ในช่วงการคายประจุและอัดประจุขณะต่อร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานตามที่กำหนดในโพลีชาร์ตการทำงานในภาพที่ 3.18 หรือไม่ โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์การทดสอบซึ่งจะใช้แผงเซลล์ รุ่น TPS-206 DCLIGHT KIT ในการทดสอบซึ่งสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.25 แอมแปร์ที่สภาพท้องฟ้าไม่มีเมฆบังโดยลำดับขั้นการทดสอบจะแสดงให้เห็นดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.18 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบในระบบ

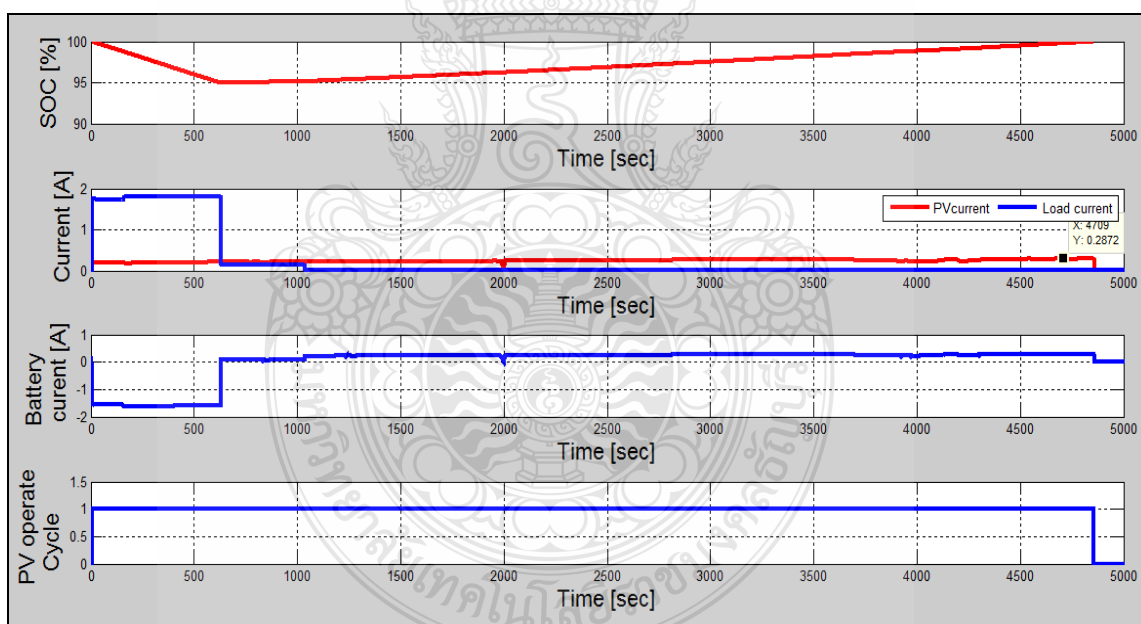


ภาพที่ 4.19 โฟลว์ชาร์ตเงื่อนไขการทดสอบการควบคุมการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 4.20 วงจรการทดสอบการควบคุมการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์

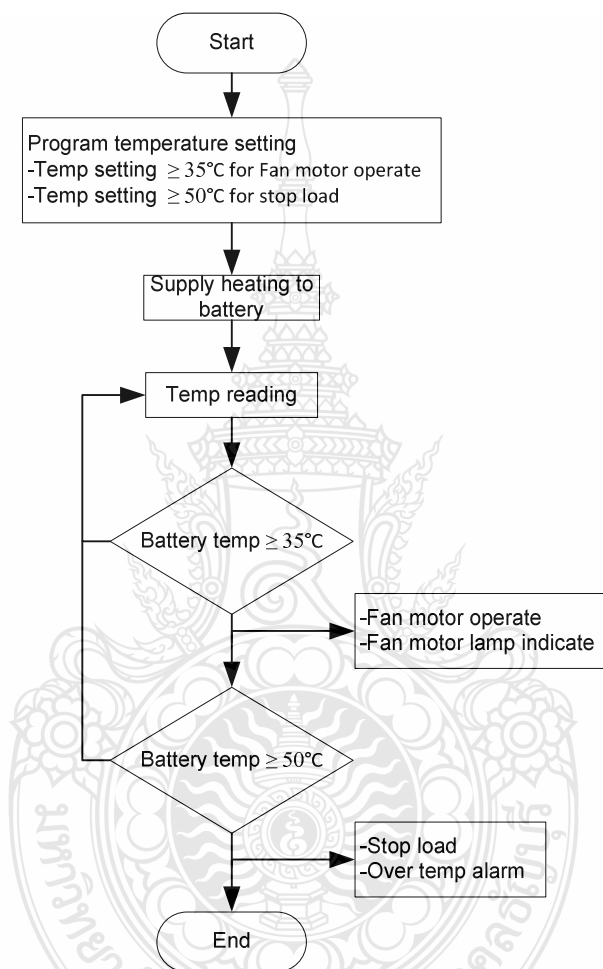
ผลการจำลองการควบคุมการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์จะเห็นได้ว่าระบบทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ จากผลการทดสอบในภาพที่ 4.21 เมื่อเริ่มคายประจุที่โหลด 20 วัตต์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มจ่ายกระแสจะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่จะคายประจุเพื่อจ่ายกระแสให้กับโหลด ทำให้ค่าของ SOC จาก 100 เปอร์เซ็นต์ลดลงเรื่อยๆ เพราะค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลดมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นทำการเพิ่มโหลดอีก 2 วัตต์เข้าไปทำให้ค่ากระแสที่โหลดมากขึ้น จะเห็นว่าค่า SOC ลดลงเร็วกว่าเดิมเล็กน้อยและเมื่อค่า SOC ลดลงมาถึง 95 เปอร์เซ็นต์ จะเริ่มทำการหยุดการจ่ายโหลด 20 วัตต์ออกจากระบบเหลือเพียงโหลดขนาด 2 วัตต์ เพื่อให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลดมากกว่ากระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเล็กน้อยจึงทำให้ค่า SOC ลดลงอย่างช้าๆ เพื่อคุณลักษณะการจ่ายโหลดของแบตเตอรี่และเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นทำการหยุดการจ่ายโหลดทั้งหมดเพื่อคุณสมบัตการอัดประจุคืนกลับให้แบตเตอรี่ของเซลล์แสงอาทิตย์และเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์อัดประจุให้แบตเตอรี่จนถึงค่า SOC ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ระบบควบคุมจะหยุดการอัดประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เสียหายเนื่องจากการอัดประจุเกิน



ภาพที่ 4.21 ผลการทดสอบการควบคุมการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์

4.5 ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม LabVIEW

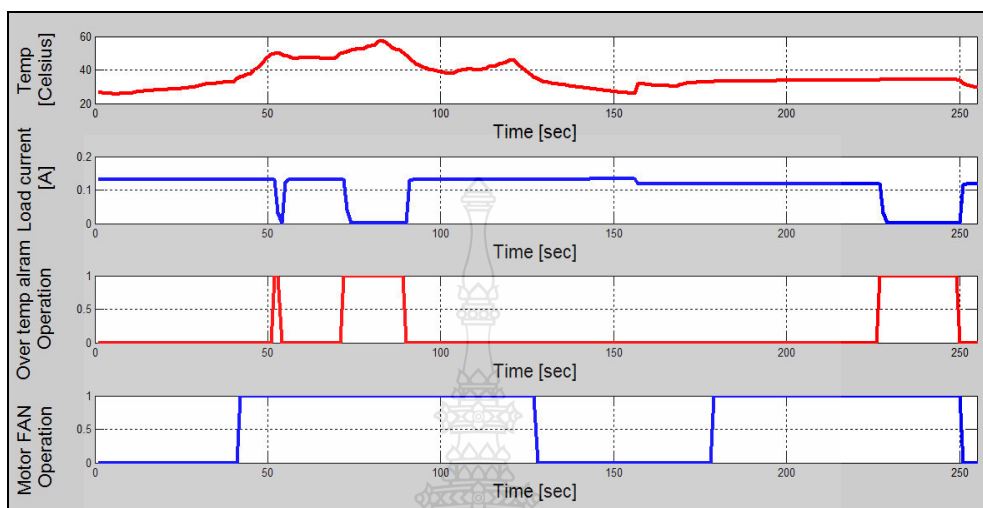
การทดสอบการควบคุมอุณหภูมิ เป็นการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ว่าเป็นไปตามที่กำหนดตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 หรือไม่ เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ทำงานในภาวะที่อันตราย เพื่อยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ได้ โดยจะทำการทดสอบระบบตามโฟลว์ชาร์ตในภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 โฟลว์ชาร์ตเงื่อนไขการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของระบบ

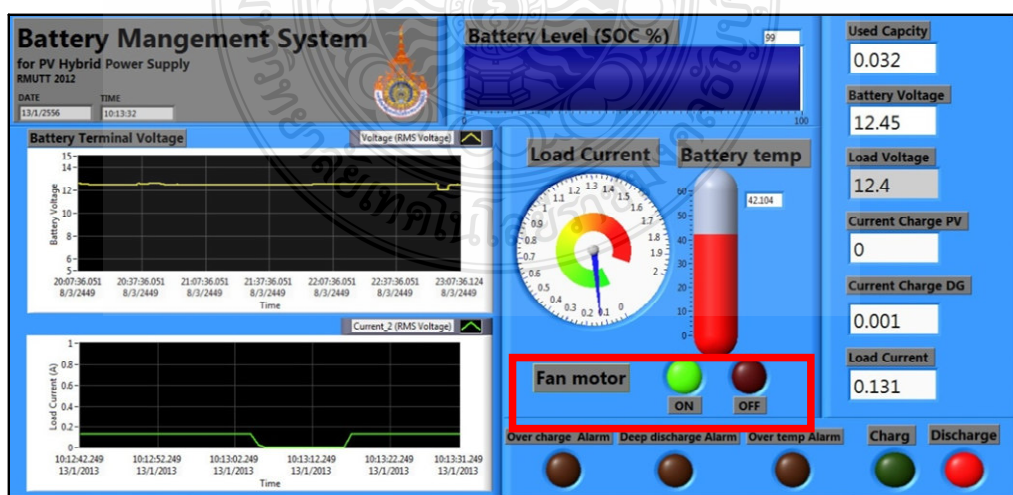
ผลการทดสอบการจัดการอุณหภูมิของระบบจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่มากกว่า 35 องศาเซลเซียส พัดลมระบายอากาศจะทำงานและแจ้งเตือนเพื่อระบายอากาศให้ระบบแบตเตอรี่เรื่อยๆ จนกว่าอุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียสและระบบป้องกันอุณหภูมิจะทำการหยุดการจ่ายกระแสให้กับโหลดและแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียสเพื่อป้องกัน

ไม่ให้แบตเตอรี่เสี่ยงต่อการทำงานในสภาวะที่อันตราย ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปตามเงื่อนไขตามที่กำหนดไว้ได้ดังแสดงในภาพที่ 4.23

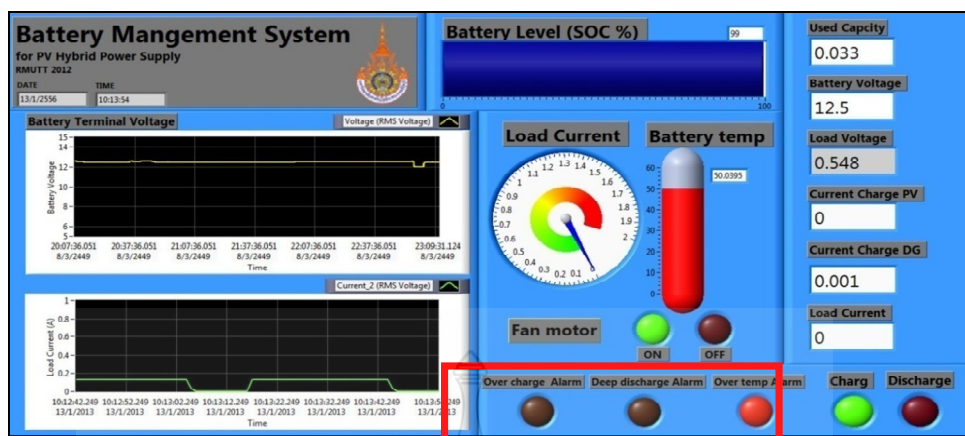


ภาพที่ 4.23 ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของระบบ

ในภาพที่ 4.24 แสดงหน้าจอแสดงผลการแจ้งเตือนเมื่อพัดลมระบายอากาศทำงานเพื่อให้ผู้ควบคุมง่ายต่อการสังเกตและในภาพที่ 4.25 แสดงหน้าจอแสดงผลการแจ้งเตือนเมื่อแบตเตอรี่มีอุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียสซึ่งเกินกว่าค่าที่กำหนดในการใช้งาน เพื่อให้ผู้ควบคุมง่ายต่อการสังเกตและหาวิธีแก้ไข ได้อย่างทันเวลา



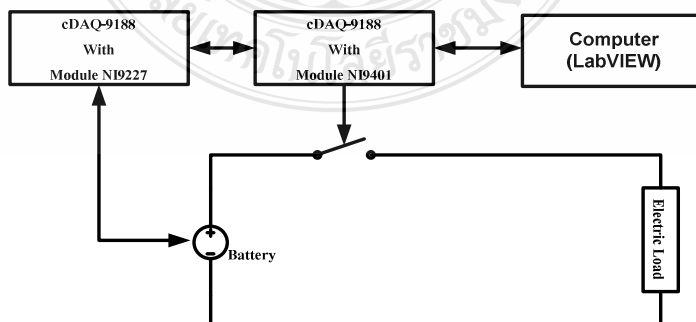
ภาพที่ 4.24 การแจ้งเตือนที่หน้าจอแสดงผลเมื่อพัดลมระบายอากาศทำงาน



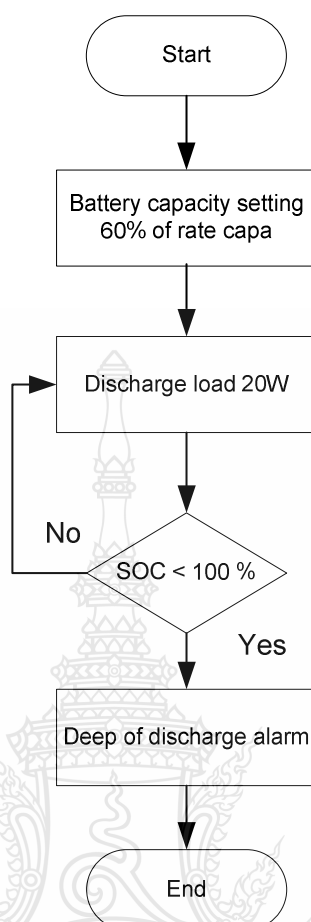
ภาพที่ 4.25 การแจ้งเตือนที่หน้าจอแสดงผลเมื่อระบบมีอุณหภูมิใช้งานเกินกำหนด

4.6 ผลการทดสอบการควบคุมป้องกันการคายประจุเกินของแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม LabVIEW

การทดสอบการควบคุมป้องกันการคายประจุเกิน เป็นการทดสอบการควบคุมการคายประจุของแบตเตอรี่ว่าเป็นไปตามที่กำหนดตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้หรือไม่ เพื่อป้องกันไม่ให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง โดยจะทำการทดสอบตามโพลีกราฟในภาพที่ 4.27 จากเงื่อนไขการทดลองจะเห็นได้ว่าการตั้งค่าความจุของระบบใหม่ เหตุผลที่ต้องค่าความจุใหม่สามารถอธิบายได้ดังนี้ จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 พบว่าแบตเตอรี่ที่นำมาทำการทดสอบสามารถจ่ายประจุให้กับโหลด 20 วัตต์ ได้ประมาณ 60 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ แรงดันที่แบตเตอรี่ก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงแรงดัน Cut Off หรืออยู่ในช่วงการคายประจุระยะสุดท้าย ในช่วงนี้แบตเตอรี่จะไม่สามารถจ่ายกระแสให้โหลดทำงานได้เต็มประสิทธิภาพได้ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องทำการตั้งค่าให้แบตเตอรี่ทำงานที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ของความจุที่กำหนดเพื่อป้องกันไม่ให้อายุการใช้งานสั้นลง

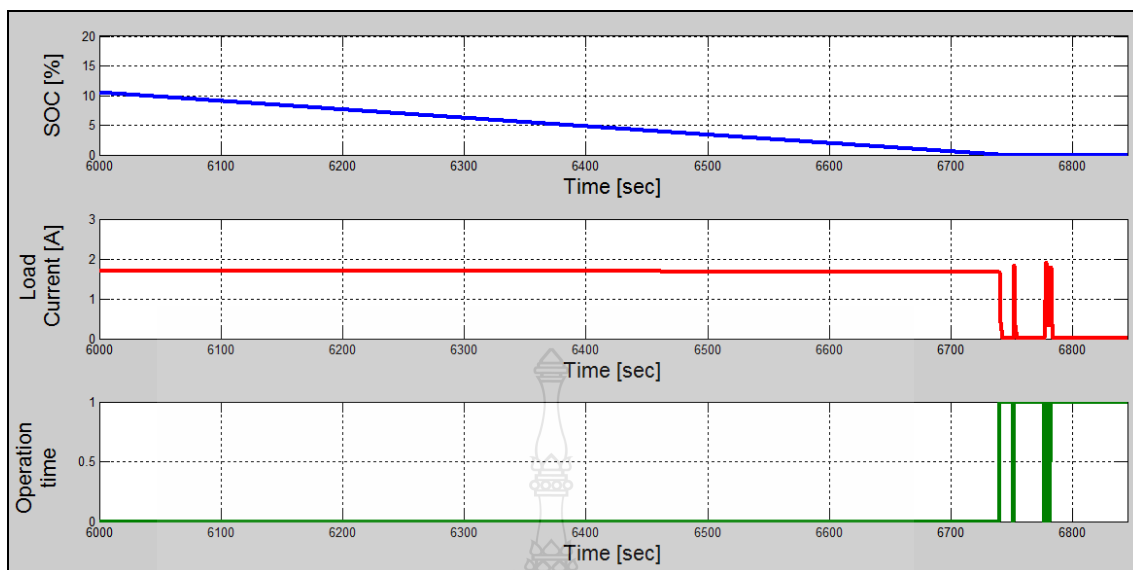


ภาพที่ 4.26 วงจรการทดสอบการควบคุมการคายประจุเกิน

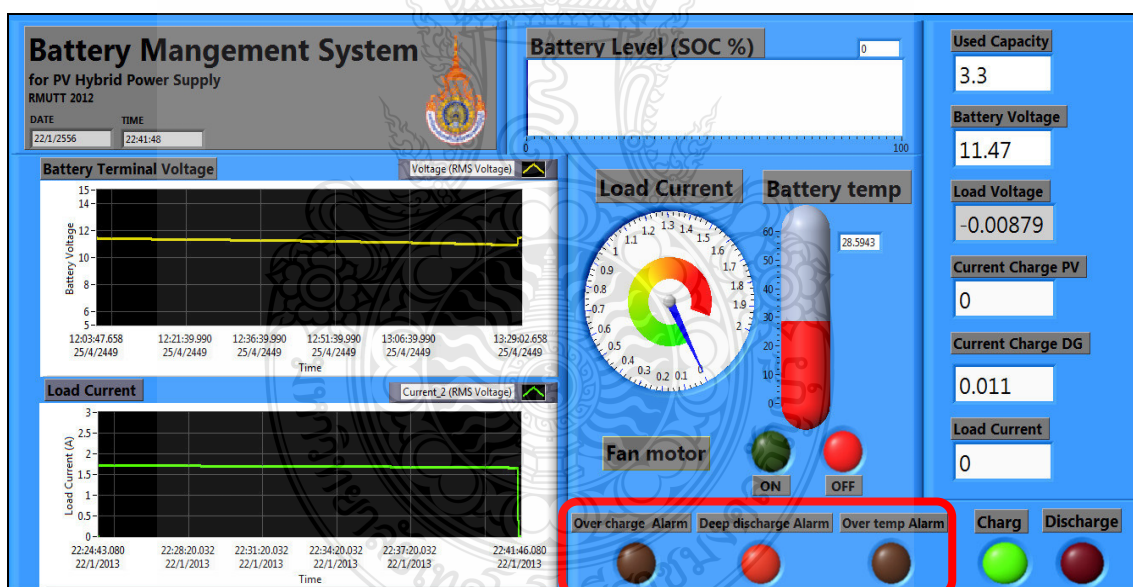


ภาพที่ 4.27 โฟลว์ชาร์ตเงื่อนไขการทดสอบการทดสอบการควบคุมป้องกันการคายประจุเกิน

ผลการทดสอบการจัดการการควบคุมป้องกันการคายประจุเกินเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยจะเห็นได้จากกราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.28 เมื่อแบตเตอรี่คายประจุจนถึงค่า SOC เท่ากับ 0 เปอร์เซนต์ ระบบจะหยุดการจ่ายโหลดทันทีและแจ้งเตือนเพื่อให้ผู้ใช้งานรับรู้และทำการแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว



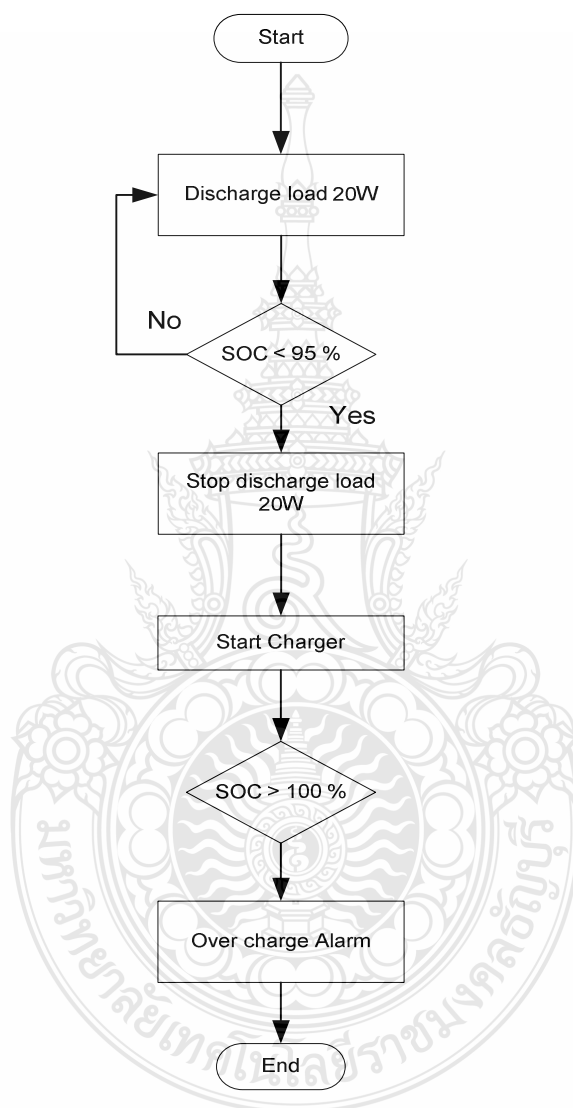
ภาพที่ 4.28 ผลการทดสอบการควบคุมป้องกันการคายประจุเกิน



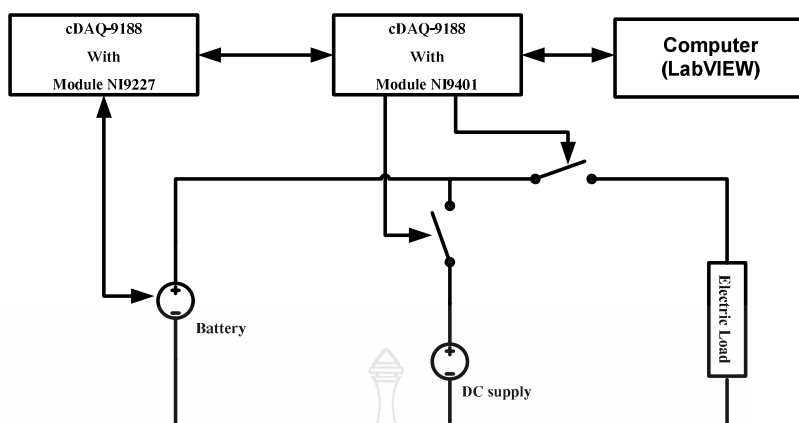
ภาพที่ 4.29 การแจ้งเตือนที่หน้าจอแสดงผลเมื่อแบตเตอรี่คายประจุเกินที่กำหนด

4.7 ผลการทดสอบการควบคุมป้องกันการอัดประจุเกินของแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม LabVIEW

การทดสอบการควบคุมป้องกันการอัดประจุเกิน เป็นการทดสอบการควบคุมการคายประจุของแบตเตอรี่ว่าเป็นไปตามที่กำหนดตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้หรือไม่ เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ทำงานในภาวะที่อันตราย โดยจะทำการทดสอบตามโฟลว์ชาร์ตในภาพที่ 4.30

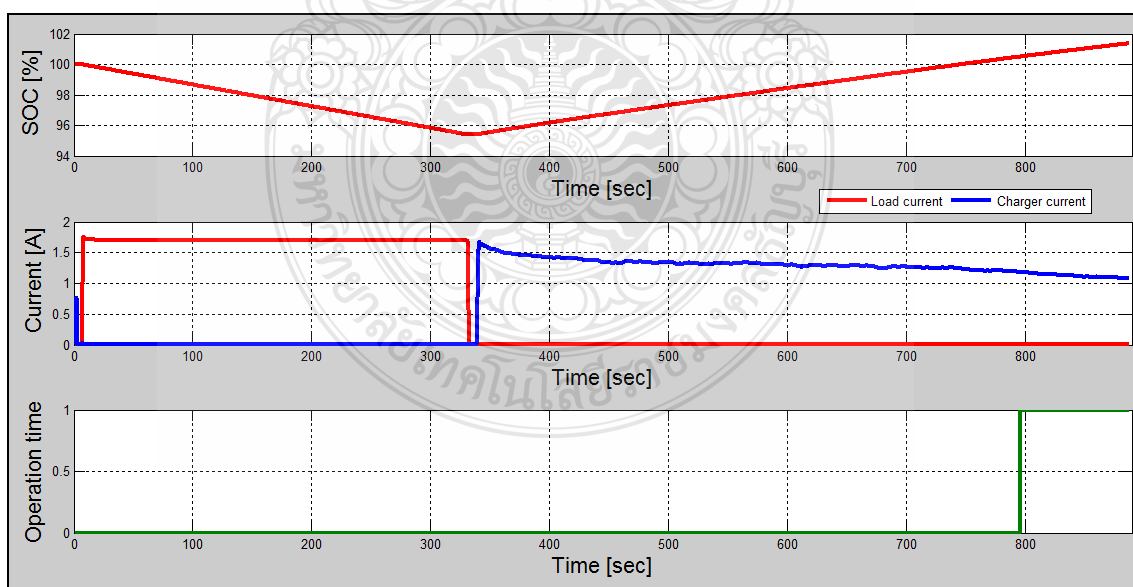


ภาพที่ 4.30 โฟลว์ชาร์ตเงื่อนไขการทดสอบการทดสอบการควบคุมป้องกันการอัดประจุเกิน

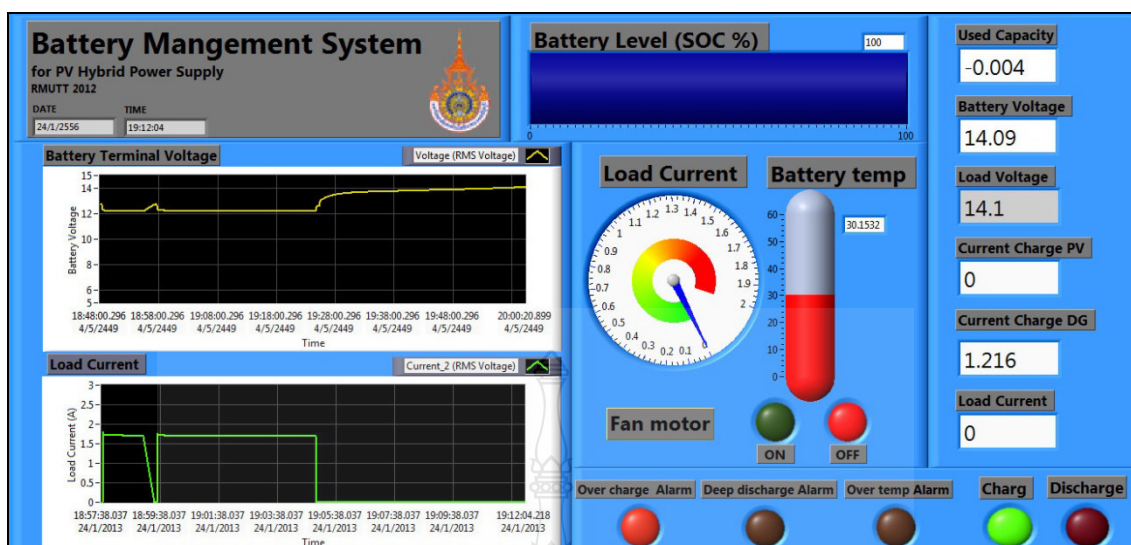


ภาพที่ 4.31 วงจรการทดสอบการควบคุมการอัดประจุเกิน

ผลการทดสอบการจัดการควบคุมป้องกันการคายอัดประจุเกินเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยจะเห็นได้จากกราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.32 เมื่อแบตเตอรี่อัดประจุจนถึงค่า SOC มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ระบบจะแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานรับรู้และทำการแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีที่ระบบการควบคุมการอัดประจุไม่สามารถตัดการทำงานของเครื่องอัดประจุและเซลล์แสงอาทิตย์ออกจากระบบได้



ภาพที่ 4.32 ผลการทดสอบการควบคุมป้องกันการอัดประจุเกินกำหนด



ภาพที่ 4.33 การแจ้งเตือนที่หน้าจอแสดงผลเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุเกิน

4.8 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ในบทนี้จะสามารถสรุปโดยแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

4.8.1 การทดสอบเพื่อหาค่าสภาวะประจุของแบตเตอรี่ ในหัวข้อที่ 4.1 เป็นผลการจำลองสภาวะประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ด้วยโปรแกรม MatLab/Simulink โดยใช้แบตเตอรี่โมเดลในโปรแกรมเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับสภาวะประจุที่คำนวณด้วยโปรแกรม LabVIEW จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสูงสุดของค่า SOC อยู่ที่ 8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดจากค่าประจุเริ่มต้นของแบตเตอรี่จริงที่นำมาทดลองในระบบมีค่าความจุที่แท้จริงอยู่ประมาณ 5.3 แอมแปร์-ชั่วโมง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าจำลองด้วยแบตเตอรี่โมเดลที่ความจุ 5.5 แอมแปร์-ชั่วโมง จึงทำให้เกิดความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการคำนวณค่า SOC ด้วยสมการในทฤษฎีโดยใช้หลักการคูณปริมาตรที่ดั่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า SOC ที่ได้จากการวัดค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วนำมาคำนวณด้วยสมการคูณปริมาตรที่ดั่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า SOC โดยใช้โปรแกรม LabVIEW และในหัวข้อที่ 4.2 เป็นผลการจำลองสภาวะประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ด้วยเครื่องควบคุมการอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่ เพื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับสภาวะประจุที่คำนวณด้วยโปรแกรม LabVIEW ผลการทดลองที่ได้พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสูงสุดของค่า SOC อยู่ที่ 11 เปอร์เซ็นต์ อันเนื่องมาจากค่ากระแสจากการวัดไม่เท่ากันจึงทำให้ค่าผิดพลาดสูง

4.8.2 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุม เตือนภัย และแสดงผล เป็นการทดสอบการทำงานของระบบว่าเป็นไปตามเงื่อนไขการออกแบบหรือไม่ จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าระบบสามารถทำงานตามเงื่อนไขต่างๆ ได้อย่างถูกต้องตามหัวข้อการทดสอบดังนี้

- 1) การทดสอบการควบคุมการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) การทดสอบการควบคุมอุณหภูมิ
- 3) การทดสอบการควบคุมป้องกันการคายประจุเกิน
- 4) การทดสอบการควบคุมป้องกันการอัดประจุเกิน

จากผลการทดลองดังที่กล่าวมาพบว่าระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่ออกแบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทนได้



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบระบบการจัดการสถานะประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทน โดยประยุกต์หลักการการนับประจุหรือคูลอมป์เคาท์ตั้งในการหาค่าสถานะประจุแบบทันเวลา และทำการจำลองการประมาณค่าสถานะประจุจากหลักการคูลอมป์เคาท์ตั้งด้วยโปรแกรม MatLab/Simulink ด้วยแบตเตอรี่โมเดลแบบพลวัต เพื่อเป็นการพิสูจน์การคำนวณค่าสถานะประจุในทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับการคำนวณการหาค่าสถานะประจุที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้แบบทันเวลาด้วยโปรแกรม LabVIEW และทดสอบการหาค่าสถานะประจุจากเครื่องควบคุมการอัดและคายประจุ MTB เปรียบเทียบกับการคำนวณการหาค่าสถานะประจุที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้แบบทันเวลาด้วยโปรแกรม LabVIEW เพื่อเป็นการพิสูจน์การคำนวณค่าสถานะประจุกับระบบที่มีใช้อยู่ในท้องตลาด ว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้หลักการนี้เพื่อการออกแบบระบบการจัดการสถานะประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทนได้หรือไม่

จากปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเห็นได้ว่าจำเป็นต้องมีการควบคุม แสดงผลและเก็บข้อมูลการทำงานในสถานะการอัดประจุ การคายประจุ และอุณหภูมิใช้งานของแบตเตอรี่เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ โดยระบบการควบคุมทั้งหมดจะออกแบบด้วยโปรแกรม LabVIEW ทำงานร่วมกับโมดูลในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าสถานะประจุและควบคุมการทำงานในส่วนต่าง ๆ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองในส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลการจำลองค่าSOCด้วยหลักการคูลอมป์เคาท์ตั้งในโปรแกรมMatLab/Simulink ผลการจำลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของแบตเตอรี่โมเดลตามทฤษฎี ช่วยให้สามารถวิเคราะห์การทำงานในช่วงของการคายประจุและประจุในเบื้องต้นได้ จากนั้นจะนำผลของการจำลองค่า SOC ในโปรแกรม MatLab/Simulink มาเปรียบเทียบกับค่า SOC จากการคำนวณด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งผลการจำลองพบว่าในช่วงของการคายประจุแบตเตอรี่โมเดลใน MatLab/Simulink สามารถคายประจุได้นานกว่าแบตเตอรี่จากการทดลองแบตเตอรี่ในระบบจริงจากโปรแกรม LabVIEW ก่อนถึงค่า SOC สุกท้ายที่กำหนดโดยค่าความผิดพลาดสูงสุดจะอยู่ที่ 8 เปอร์เซ็นต์

5.1.2 สรุปผลการจำลองค่า SOC ด้วยหลักการคลุมปีเคาทิ้งของเครื่องควบคุมการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ผลการจำลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงผลการคำนวณค่า SOC แบบทันทีที่มีข้อมูลในท้องตลาดเปรียบเทียบความถูกต้องกับค่า SOC จากการคำนวณด้วยโปรแกรม LabVIEW ด้วยหลักการคลุมปีเคาทิ้ง ซึ่งผลการทดสอบที่ได้มีค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 11 เปอร์เซ็นต์ อันเนื่องมาจากการวัดค่ากระแสของทั้งสองระบบมีความคลาดเคลื่อน

จากผลการทดสอบเปรียบเทียบค่า SOC ของทั้งสามระบบพบว่าผลการทดลองทั้งหมดมีผลที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันจึงสามารถนำวิธีการนับประจุ หรือ คลุมปีเคาทิ้ง ไปออกแบบประยุกต์ใช้ในระบบการจัดการสถานะการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทนแบบทันทีด้วยโปรแกรม LabVIEW ได้

5.1.3 สรุปผลการทดสอบระบบควบคุมและป้องกัน ในส่วนการควบคุมและป้องกันจะแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วนคือ

1) การควบคุมการอัดและคายประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการทดลองที่ได้ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ คือเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่จ่ายโวลต์อยู่ตลอดเพื่อเป็นการใช้พลังงานทดแทนให้ได้มากที่สุดและทำการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ และเมื่อถึงสภาวะที่แบตเตอรี่ประจุเต็มแล้วก็จะตัดวงจรการอัดประจุออกจากแบตเตอรี่เพื่อป้องกันการประจุเกิน

2) การควบคุมอุณหภูมิ ผลการทดลองที่ได้ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ คือเมื่อแบตเตอรี่มีอุณหภูมิโดยรอบสูงถึง 35 องศาเซลเซียสพัดลมระบายอากาศสามารถทำงานได้ตามที่กำหนด และเมื่ออุณหภูมียังคงสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องระบบมีการตัดการจ่ายโวลต์และแจ้งเตือนผู้ใช้งานในทันที ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เพื่อป้องกันการทำงานในสภาวะอันตรายของแบตเตอรี่

3) การป้องกันการคายประจุเกินกำหนด ผลการทดลองที่ได้ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ คือเมื่อแบตเตอรี่มีการคายประจุต่ำกว่าความจุที่กำหนด หรือมีค่า SOC เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ (โดยกำหนดค่าความจุไว้ที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของความจุที่กำหนดโดยผู้ผลิต) ระบบมีการตัดการจ่ายโวลต์และแจ้งเตือนผู้ใช้งานในทันที ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เพื่อป้องกันการทำงานในสภาวะอันตรายของแบตเตอรี่

4) การป้องกันการอัดประจุเกินกำหนด ผลการทดลองที่ได้ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ คือเมื่อแบตเตอรี่มีการอัดประจุมากกว่าความจุที่กำหนด หรือมีค่า SOC เกิน 100 เปอร์เซ็นต์ ระบบมีการตัดการจ่ายโวลต์และแจ้งเตือนผู้ใช้งานในทันที ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เพื่อป้องกันการทำงานในสภาวะอันตรายของแบตเตอรี่

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการกำหนดค่า SOC เริ่มต้นต้องมีความแม่นยำ จึงจะทำให้ระบบคำนวณค่า SOC เพื่อนำไปสู่การป้องกันและควบคุมได้อย่างถูกต้อง

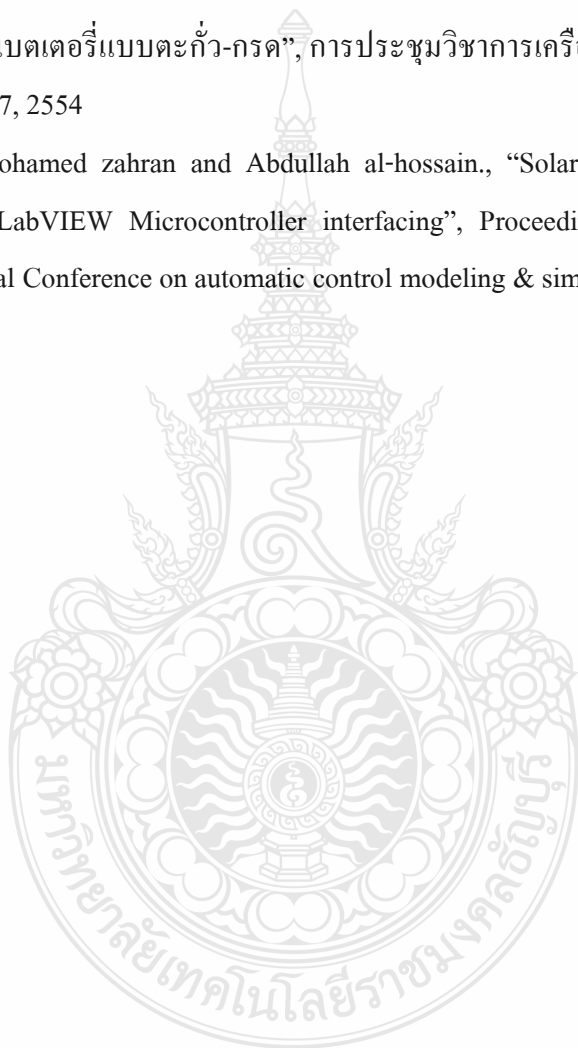
5.2.2 ระบบฮาร์ดแวร์ของชุดควบคุมควรออกแบบให้มีความยืดหยุ่นสามารถนำไปใช้กับแบตเตอรี่ขนาดได้ก็ได้



รายการอ้างอิง


- [1] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี.,“พลังงานทดแทน” (Online),2556 Available :
<http://th.wikipedia.org/wiki/พลังงานทดแทน> (6 มีนาคม 2556)
- [2] บุญยัง ปลั่งกลาง, “เอกสารประกอบการสอนรายวิชา Energy Technology,” ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2551.
- [3] Shalini Rodrigues , N. Munichandraiah , A.K. Shukla. “A review of state-of-charge indication of batteries by means of a.c. impedance measurements”, Journal of power Sources 87 (2000)
- [4] Phillip E. Pascoe, Member, IEEE, and Adnan H. Anbuky. “VRLA Battery Discharge Reserve Time Estimation”, IEEE transaction on power electronic, vol. 19, no. 6, November 2004.
- [5] เกษียร สุจิตโมกษ์ “ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ”, บริษัท ฟิอัสเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด, พ.ศ.2552.
- [6] Foshan sanshui enertech battery co.,ltd. “Battery life (Online),2009 Available :
<http://www.enertechbattery.com/en/Cycle-life/> (30 Jan 2013)
- [7] Ladener, H.: Solare Stromversorgung: Grundlagen, Planung, Anwendung; Freiburg: ökobuch Verlag, 1996. pg. 79-103.
- [8] Garche, J., Harnisch, P.: Batterien in PV-Anlagen. In: Schmid, J. : Photovol-taik: Strom aus der Sonne; Technologie, Wirtschaftlichkeit und Marktentwick-lung; Heiderberg: Müller, 1999. Pp. 143-174.
- [9] Matthias Durr., “Dynamic model of a lead acid battery for use in a domestic fuel cell system” ,Journal of Power Sources 161 (2006) 1400–1411.
- [10] Olivier.T,Louis-A.D., “Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications”EVS24 International Battery,Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, Stavanger Norway,2009,
- [11] C. M. Shepherd, “Design of Primary and Secondary Cells - Part 2.An equation describing battery discharge,” Journal of Electrochemical Society, Volume 112, Jul. 1965 Page(s): 657-664.

- [12] Sabine.P, Marion.P and Andresa.J., “Method for state of charge determination and their Application” Journal of Power Sources, 2001, Pg 113-120.
- [13] A.Jossen “Battery Management Systems (BMS) for Increasing Battery Life Time” Center for Solar Energy and Hydrogen Research (ZSW Ulm), Helmholtzstr. 8, 89081 Ulm, Germany, 1999
- [14] พรชัย พรหฤทัย “การทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด”, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7, 2554
- [15] Yousry atia., Mohamed zahran and Abdullah al-hossain., “Solar cell curves measurement based on LabVIEW Microcontroller interfacing”, Proceedings of the 12th WSEAS International Conference on automatic control modeling & simulation.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

Data sheet

(NI cDAQ-9188, NI 9211, NI 9225, NI 9227, NI 9401)

n.1 Data sheet NI cDAQ-9188

Introduction

This user guide describes how to use the National Instruments CompactDAQ 9188 chassis and lists specifications.

The NI cDAQ-9188 Ethernet chassis are designed for use with C Series I/O modules. The NI cDAQ-9188 chassis is capable of measuring a broad range of analog and digital I/O signals and sensors using an Ethernet interface. For module specifications, refer to the documentation included with your C Series I/O module(s) or go to ni.com/manuals.

Figure 1 shows the NI cDAQ-9188 chassis.

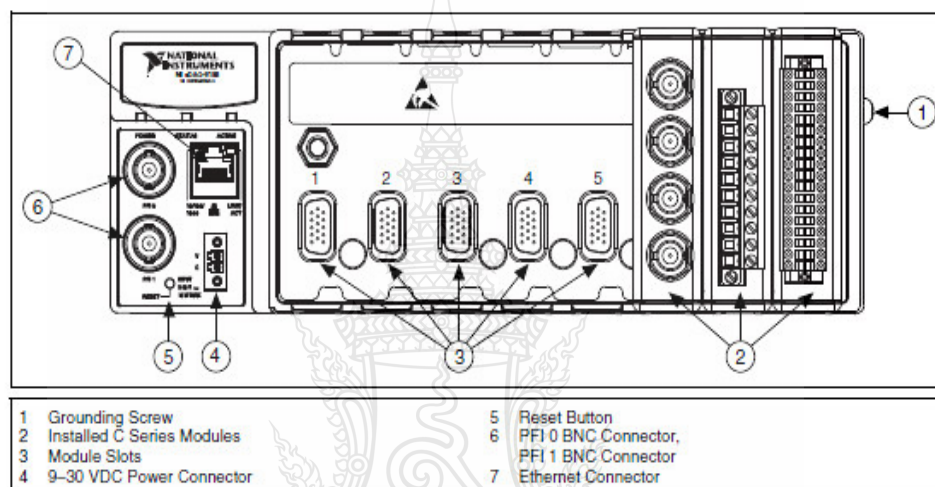


Figure 1. NI cDAQ-9188 Chassis

Safety Guidelines

Operate the NI cDAQ-9188 chassis only as described in this user guide.



Note Because some C Series I/O modules may have more stringent certification standards than the NI cDAQ-9188 chassis, the combined system may be limited by individual component restrictions. Refer to the *NI cDAQ-9188 Chassis Interface* section of this document for more details.



Caution The NI cDAQ-9188 chassis is *not* certified for use in hazardous locations.



Hot Surface This icon denotes that the component may be hot. Touching this component may result in bodily injury.

Safety Guidelines for Hazardous Voltages

If *hazardous voltages* are connected to the module, take the following precautions. A hazardous voltage is a voltage greater than 42.4 V_{pk} or 60 VDC to earth ground.



Caution Ensure that hazardous voltage wiring is performed only by qualified personnel adhering to local electrical standards.



Caution Do *not* mix hazardous voltage circuits and human-accessible circuits on the same module.

Specifications

These specifications are for the NI cDAQ-9188 chassis only. These specifications are typical at 25 °C unless otherwise noted. For the C Series I/O module specifications, refer to the documentation for the C Series I/O modules you are using.

Analog Input

Input FIFO size	127 samples per slot
Sample rate ¹	
Maximum	Determined by the C Series I/O modules
Timing accuracy ²	50 ppm of sample rate
Timing resolution ²	12.5 ns
Number of channels supported	Determined by the C Series I/O modules

Analog Output

Numbers of channels supported	
In hardware-timed task using onboard regeneration	16
In hardware-timed task not using onboard regeneration	Determined by the C Series I/O modules
In non-hardware-timed task	Determined by the C Series I/O modules
Maximum update rate	
Regeneration	1.6 MS/s (multi-channel, aggregate)
Non-regeneration	Determined by the C Series I/O modules
Timing accuracy	50 ppm of sample rate
Timing resolution	12.5 ns
Output FIFO size	
Onboard regeneration	8,191 samples shared among channels used
Non-regeneration	127 samples per slot
AO waveform modes	Non-periodic waveform, periodic waveform regeneration mode from onboard memory, periodic waveform regeneration from host buffer including dynamic update

Digital Waveform Characteristics

Waveform acquisition (DI) FIFO	127 samples per slot
Waveform generation (DO) FIFO	



Note If modules are installed in slots 1–4, FIFO is 2047 samples per slot for all slots. If any module is installed in slots 5–8, FIFO is 1023 samples per slot for all eight slots.

Slots 1–4	2,047 samples
Slots 5–8	1,023 samples

¹ Performance dependent on type of installed C Series I/O modules and number of channels in the task.

² Does not include group delay. Refer to C Series I/O module documentation for more information.

Digital input sample clock frequency	
Streaming to application memory	System-dependent
Finite	0 to 10 MHz
Digital output sample clock frequency	
Streaming from application memory	System-dependent
Regeneration from FIFO	0 to 10 MHz
Finite	0 to 10 MHz
Digital output or digital input sample clock source	Any PFI, analog sample or convert clock, analog output sample clock, Ctr <i>n</i> Internal Output, and many other sources

General-Purpose Counter/Timers

Number of counter/timers	4
Resolution	32 bits
Counter measurements	Edge counting, pulse, semi-period, period, two-edge separation, pulse width
Position measurements	X1, X2, X4 quadrature encoding with Channel Z reloading; two-pulse encoding
Output applications	Pulse, pulse train with dynamic updates, frequency division, equivalent time sampling
Internal base clocks	80 MHz, 20 MHz, 100 kHz
External base clock frequency	0 to 20 MHz
Base clock accuracy	50 ppm
Output frequency	0 to 20 MHz
Inputs	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down
Routing options for inputs	Any PFI, analog trigger, many internal signals
FIFO	Dedicated 127-sample FIFO

Frequency Generator

Number of channels	1
Base clocks	10 MHz, 20 MHz, 100 kHz
Divisors	1 to 16 (integers)
Base clock accuracy	50 ppm
Output is available on any PFI terminal.	

Module PFI Characteristics

Functionality	Static digital input, static digital output, timing input, and timing output
Timing output sources.....	Many analog input, analog output, counter, digital input, and digital output timing signals
Timing input frequency.....	0 to 20 MHz
Timing output frequency.....	0 to 20 MHz

Chassis PFI Characteristics

Max input or output frequency	1 MHz
-------------------------------------	-------

	Minimum	Maximum
Positive Going Threshold Voltage	1.43	2.28
Negative Going Threshold Voltage	0.86	1.53
Hysteresis	0.48	0.87

Maximum input voltage.....	25 V
Minimum input voltage.....	-20 V
Cable length	3 m (10 ft.)
Cable impedance.....	50 Ω
Connector.....	BNC
Output voltage	
High	5.25 V maximum
Sourcing 100 μ A	4.65 V minimum
Sourcing 2 mA.....	3.60 V minimum
Low	
Sinking 100 μ A	0.10 V maximum
Sinking 2 mA.....	0.64 V maximum
Power-on state	High impedance

External Digital Triggers

Source	Any PFI terminal or chassis PFI terminal
Polarity.....	Software-selectable for most signals
Analog input function	Start Trigger, Reference Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Sample Clock Timebase
Analog output function	Start Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Sample Clock Timebase
Counter/timer functions	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down

USER GUIDE AND SPECIFICATIONS

NI USB-9211/9211A

4-Channel, 24-Bit Thermocouple Input Devices

このドキュメントの日本語版については、ni.com/manualsを参照してください。(For a Japanese language version, go to ni.com/manuals.)

This user guide describes how to use the National Instruments USB-9211/9211A devices and lists the specifications.

Introduction

The NI USB-9211/9211A data acquisition device provides a USB interface for four channels of 24-bit thermocouple inputs with integrated signal conditioning.

The NI USB-9211 consists of two components: an NI 9211 module and an NI USB-9161 carrier, as shown in Figure 1. The NI USB-9211A consists of two components: an NI 9211 module and an NI USB-9162 carrier, as shown in Figure 1.

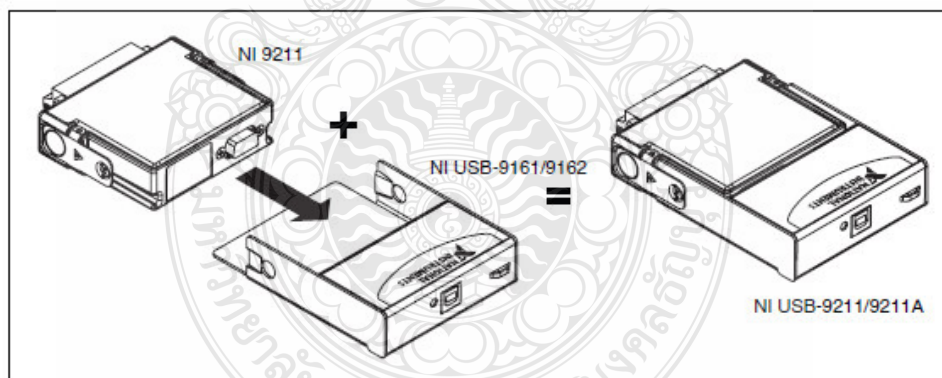


Figure 1. NI USB-9211/9211A Components

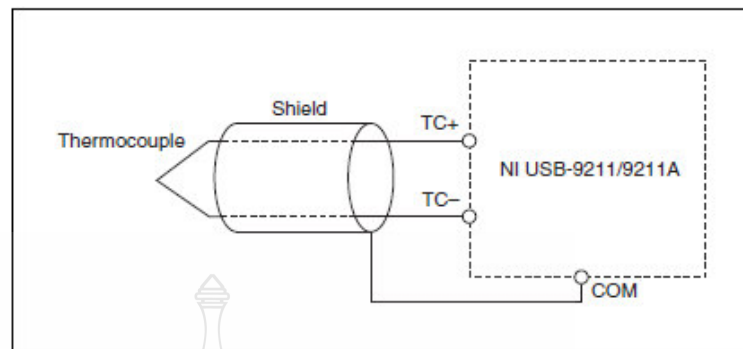


Figure 6. Connecting a Thermocouple Input Signal to the NI USB-9211/9211A

Refer to Table 3 for the terminal assignments for each channel.

Table 3. Terminal Assignments

Module	Terminal	Signal
	0	TC0+
	1	TC0-
	2	TC1+
	3	TC1-
	4	TC2+
	5	TC2-
	6	TC3+
	7	TC3-
	8	No connection
	9	Common (COM)

NI USB-9211/9211A Circuitry

The NI USB-9211/9211A channels share a common ground that is isolated from the chassis and the host computer. Each channel has an impedance between the TC+ and COM terminals and between the TC- and COM terminals. Each channel is filtered and then sampled by a 24-bit analog-to-digital converter (ADC). There is a current source between the TC+ and TC- terminals. If an open thermocouple is connected to the channel, the current source forces a full-scale voltage across the terminals.

Effects of Source Impedance on Voltage Measurement Accuracy

The resistors shown in Figure 9 produce an input impedance at the terminals of the NI USB-9211/9211A.

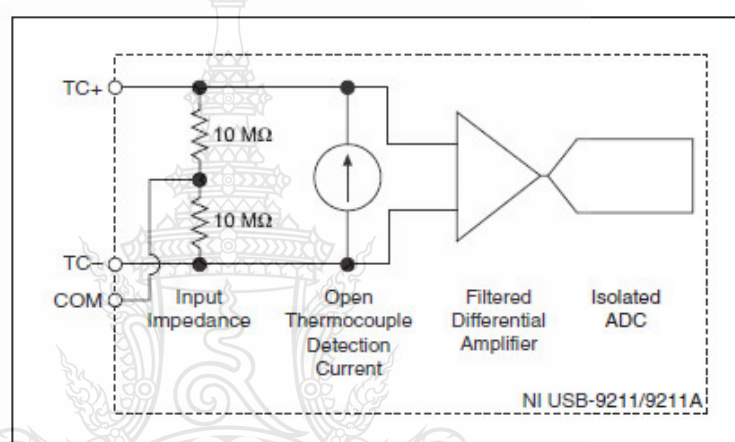


Figure 9. Input Circuitry for One Channel

If thermocouples are connected to the NI USB-9211/9211A, the gain and offset errors resulting from the source impedance of the thermocouples are negligible for most applications. Other voltage sources with a higher source impedance can introduce more significant errors. For more information about errors resulting from source impedance, refer to the [Specifications](#) section.

Determining Temperature Measurement Accuracy and Minimizing Errors

Temperature measurement errors depend in part on the thermocouple type, the temperature being measured, the accuracy of the thermocouple, and the cold-junction temperature.

Specifications

The following specifications are typical at 25 °C, unless otherwise noted. All voltages are relative to COM unless otherwise noted.

Input Characteristics

Number of channels	4 thermocouple channels, 1 internal autozero channel, 1 internal cold-junction compensation channel
ADC resolution	24 bits
Type of ADC.....	Delta-sigma
Input range	±80 mV (not software selectable)
Common-mode range	
Channel-to-COM	±1.5 V
Common-to-earth ground	±250 V
Common-mode rejection ratio (0 to 60 Hz)	
Channel-to-common	95 dB
Common-to-earth ground	>170 dB
Temperature measurement ranges	Works over temperature ranges defined by NIST (J, K, R, S, T, N, E, and B thermocouple types)
Cold-junction compensation sensor accuracy	
0 to 60 °C	0.6 °C (1.1 °F) typ, 1.3 °C (2.3 °F) max
Conversion time	70 ms per channel; 420 ms total for all channels including the autozero and cold-junction channels

ก.3 Data sheet NI 9225

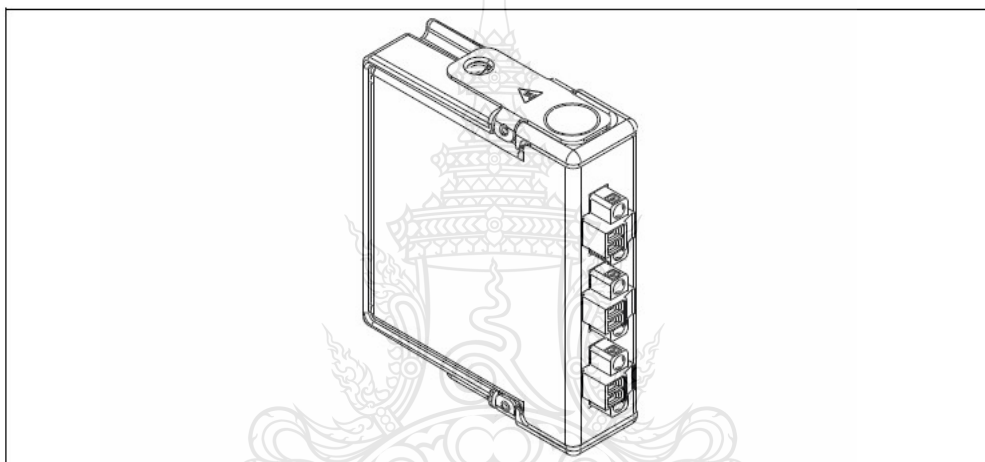
OPERATING INSTRUCTIONS AND SPECIFICATIONS

NI 9225

**3-Channel, 300 V_{rms}, 24-Bit, Simultaneous,
Channel-to-Channel Isolated Analog Input Module**

Français Deutsch 日本語 한국어 简体中文

ni.com/manuals



 **NATIONAL
INSTRUMENTS™**

Connecting the NI 9225

The NI 9225 has three 2-terminal detachable screw-terminal connectors that provide connections for three simultaneously sampled, isolated analog input channels.

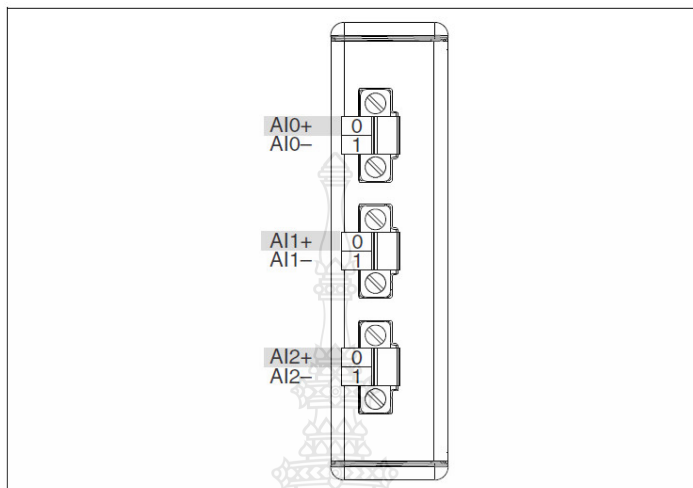


Figure 2. NI 9225 Terminal Assignments

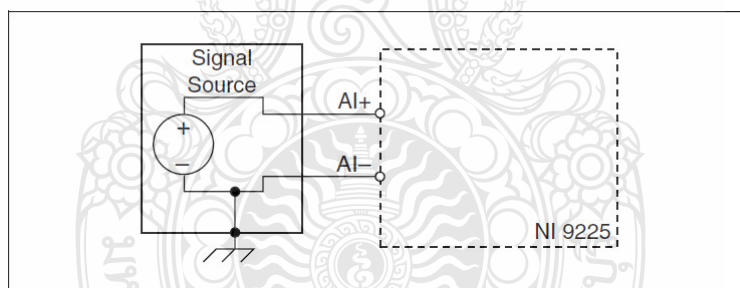


Figure 3. Connecting a Grounded Signal Source to the NI 9225

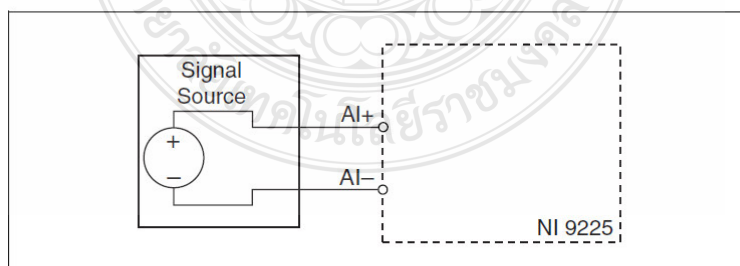


Figure 4. Connecting a Floating Signal Source to the NI 9225

The NI 9225 analog input channels are floating with respect to earth ground and each other. The incoming analog signal on each channel is conditioned, buffered, and then sampled by a 24-bit Delta-Sigma ADC.

Each channel provides an independent signal path and ADC, enabling you to sample all three channels simultaneously. Refer to Figure 5 for an illustration of the circuitry for one channel of the NI 9225.

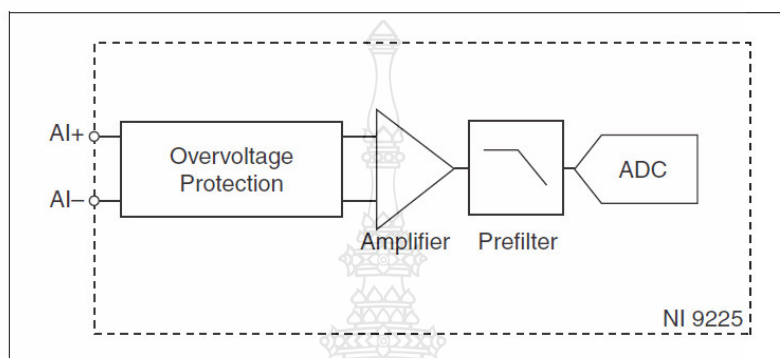


Figure 5. Input Circuitry for One Channel of the NI 9225

Specifications

The following specifications are typical for the range -40 to 70 °C unless otherwise noted. All voltages are relative to the AI– signal on each channel unless otherwise noted.

Input Characteristics

Number of channels.....	3 analog input channels
ADC resolution.....	24 bits
Type of ADC.....	Delta-Sigma (with analog prefiltering)
Sampling mode.....	Simultaneous
Internal master timebase (f_M)	
Frequency.....	12.8 MHz
Accuracy.....	± 100 ppm max
Data rate range (f_s) using internal master timebase	
Minimum.....	1.613 kS/s
Maximum.....	50 kS/s

Data rate range (f_s) using external master timebase

Minimum..... 390.6 S/s

Maximum 51.2 kS/s

Data rates¹ (f_s) $\frac{f_M \div 256}{n}$, $n = 1, 2, \dots, 31$

Operating voltage ranges²

Minimum..... 294 V_{rms}

Typical 300 V_{rms}

Typical scaling coefficient 50.66 μ V/LSB

Overvoltage protection \pm 450 VDC

Input coupling DC

Input impedance (AI+ to AI-) 1 M Ω

¹ The data rate must remain within the appropriate data rate range. Refer to the [Understanding NI 9225 Data Rates](#) section for more information.

² Refer to the [Safety Guidelines](#) section for more information about safe operating voltages.

Accuracy

Measurement Conditions	Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range* (Offset Error)
Calibrated max (–40 to 70 °C)	\pm 0.23%	\pm 0.05%
Calibrated typ (25 °C, \pm 5 °C)	\pm 0.05%	\pm 0.008%
Calibrated max (25 °C, \pm 15 °C)	\pm 0.084%	\pm 0.016%
Uncalibrated max (–40 to 70 °C)	\pm 1.6%	\pm 0.66%
Uncalibrated typ (25 °C, \pm 5 °C)	\pm 0.4%	\pm 0.09%
* Range equals 425 V.		

Input noise 2 mV_{rms}

Stability

Gain drift \pm 10 ppm/°C

Offset drift \pm 970 μ V/°C

Post calibration gain match

(ch-to-ch, 20 kHz)..... \pm 0.25 dB max

0.4 Data sheet NI 9227

OPERATING INSTRUCTIONS AND SPECIFICATIONS

NI 9227

**4-Channel, 5 A_{rms}, 24-Bit, Simultaneous,
Channel-to-Channel Isolated Analog Input Module**

Français Deutsch 日本語 한국어 简体中文

ni.com/manuals



 **NATIONAL
INSTRUMENTS™**

Connecting the NI 9227

The NI 9227 has four 2-terminal detachable screw-terminal connectors that provide connections for four simultaneously sampled, isolated analog input channels.

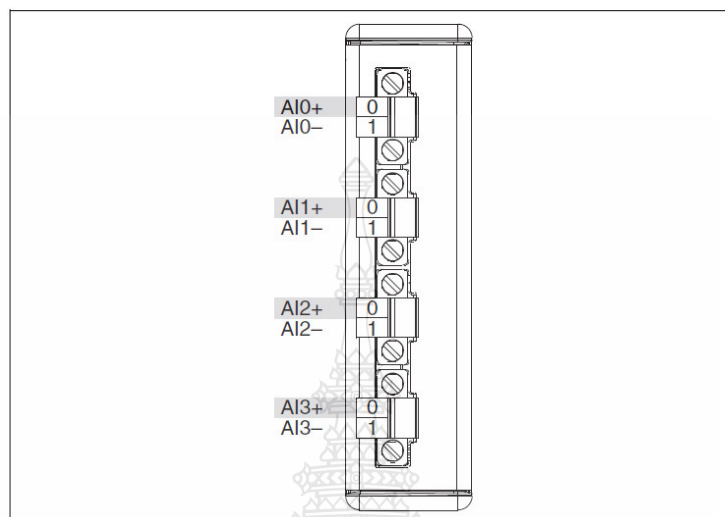


Figure 2. NI 9227 Terminal Assignments

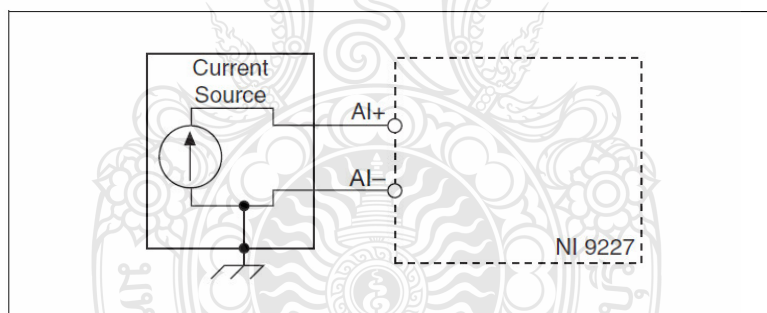


Figure 3. Connecting a Grounded Current Source to the NI 9227

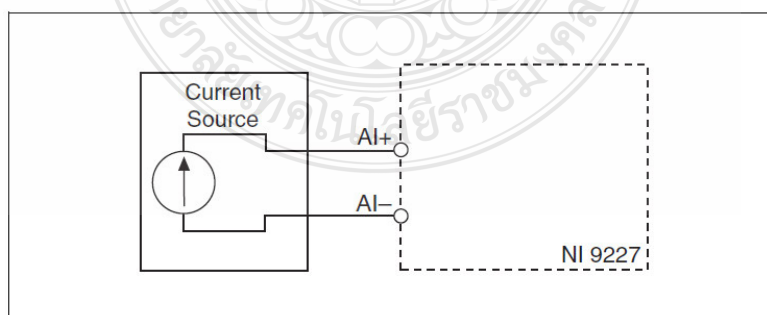


Figure 4. Connecting a Floating Current Source to the NI 9227

The NI 9227 analog input channels are floating with respect to earth ground and each other. The incoming analog signal on each channel is conditioned, buffered, and then sampled by a 24-bit Delta-Sigma ADC.

Each channel provides an independent signal path and ADC, enabling you to sample all four channels simultaneously. Refer to Figure 5 for an illustration of the circuitry for one channel of the NI 9227.

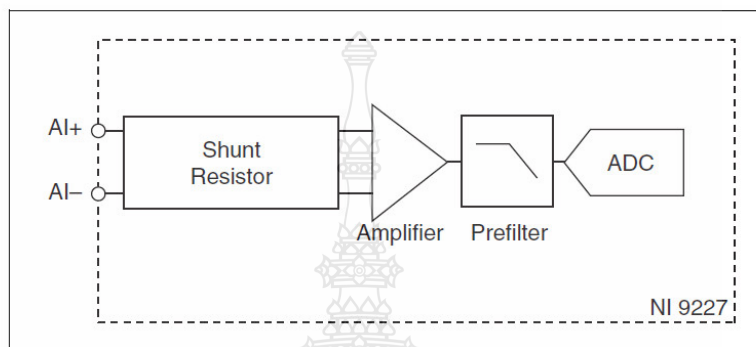


Figure 5. Input Circuitry for One Channel of the NI 9227

Specifications

The following specifications are typical for the range -40 to 70 °C unless otherwise noted. All voltages are relative to the AI- signal on each channel unless otherwise noted.



Caution The input terminals of this device are not protected for electromagnetic interference. As a result, this device may experience reduced measurement accuracy or other temporary performance degradation when connected cables are routed in an environment with radiated or conducted radio frequency electromagnetic interference. To limit radiated emissions and to ensure that this device functions within specifications in its operational electromagnetic environment, take precautions when designing, selecting, and installing measurement probes and cables.

Input Characteristics

Number of channels.....	4 analog input channels
ADC resolution.....	24 bits
Type of ADC.....	Delta-Sigma (with analog prefiltering)

Sampling mode	Simultaneous
Internal master timebase (f_M)	
Frequency	12.8 MHz
Accuracy	± 100 ppm max
Data rate range (f_s) using internal master timebase	
Minimum	1.613 kS/s
Maximum	50 kS/s
Data rate range (f_s) using external master timebase	
Minimum	390.625 S/s
Maximum	51.2 kS/s
Data rates ¹ (f_s)	$\frac{f_M \div 256}{n}$, $n = 1, 2, \dots, 31$

¹ The data rate must remain within the appropriate data rate range. Refer to the [Understanding NI 9227 Data Rates](#) section for more information.

NI 9227 Operating Instructions and Specifications 16

ni.com

Safe operating input range ^{1, 2}	5 A _{rms}
Overcurrent handling ³	10 A _{rms} for 1 s max with 19 s minimum cool down time at 5 A _{rms}
Instantaneous measuring range ⁴	
Minimum	14.051 A peak
Typical	14.977 A peak, at 23 \pm 5 °C
Typical scaling coefficient	1.785397 μ A/LSB
Input coupling	DC
Input impedance (AI+ to AI-)	12 m Ω
Input noise ($f_s = 50$ kS/s)	400 μ A _{rms}

¹ Refer to the [Safety Guidelines](#) section for more information about safe operating voltages.

² The maximum recommended continuous RMS current value applied simultaneously on all 4 channels to keep the power dissipation inside the module within safe operating limits.

³ Overcurrent conditions to keep the module operating within specified limits.

⁴ The maximum DC current that produces a non-saturated reading.

Accuracy at safe operating range of 5 A_{rms}

Measurement Conditions	Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range* (Offset Error)
Calibrated max (–40 to 70 °C)	±0.37%	±0.18%
Calibrated typ (23 °C, ±5 °C)	±0.1%	±0.05%
Uncalibrated max (–40 to 70 °C)	±5.0%	±2.4%
Uncalibrated typ (23 °C, ±5 °C)	±2.5%	±1.0%
* Range equals 7.07 A peak (5 A _{rms}).		

Accuracy at operating range of 10 A_{rms}

Measurement Conditions	Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range* (Offset Error)
Calibrated max (–40 to 70 °C)	±0.38%	±0.19%
* Range equals 7.07 A peak (5 A _{rms}).		

Stability

Gain drift ±21 ppm/°C

Offset drift ±51 µA/°C

Post calibration gain match

(channel-to-channel, $f_{in} = 20$ kHz)..... ±130 mdB max

Crosstalk

 $(f_{in} = 1$ kHz) –90 dB $(f_{in} = 50$ Hz) –115 dB

Phase match

Channel-to-channel, max 0.1°/kHz

Module-to-module, max 0.1°/kHz + 360° · f_{in}/f_M Phase linearity ($f_s = 50$ kS/s) 0.1° maxInput delay 38.4/ f_s + 3.2 µs

Passband

Frequency 0.453 · f_s Flatness ($f_s = 50$ kS/s) ±100 mdB max

n.5 Data sheet NI 9401

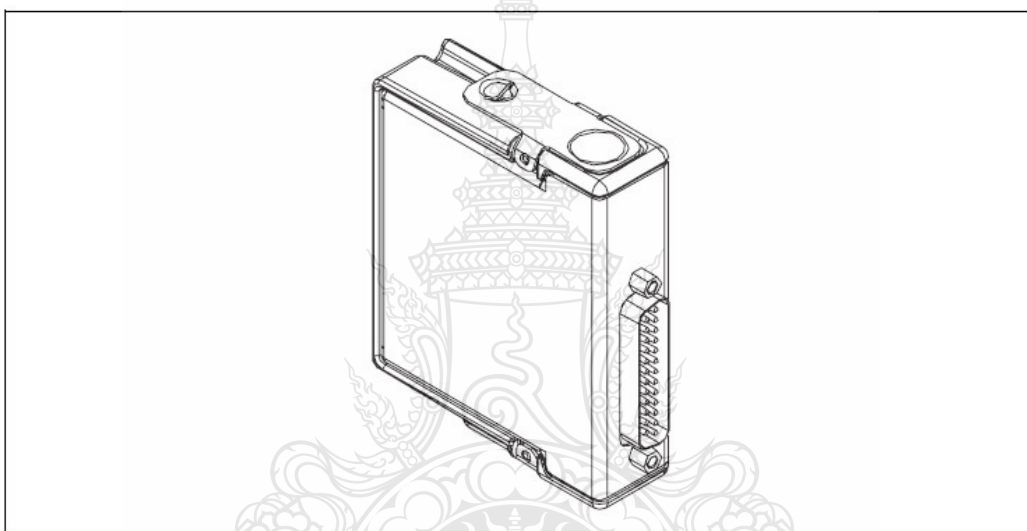
OPERATING INSTRUCTIONS AND SPECIFICATIONS

NI 9401

8-Channel, TTL Digital Input/Output Module

Français Deutsch 日本語 한국어 简体中文

ni.com/manuals



 **NATIONAL
INSTRUMENTS™**

Connecting the NI 9401

The NI 9401 has a 25-pin DSUB connector that provides connections for eight digital input/output channels.

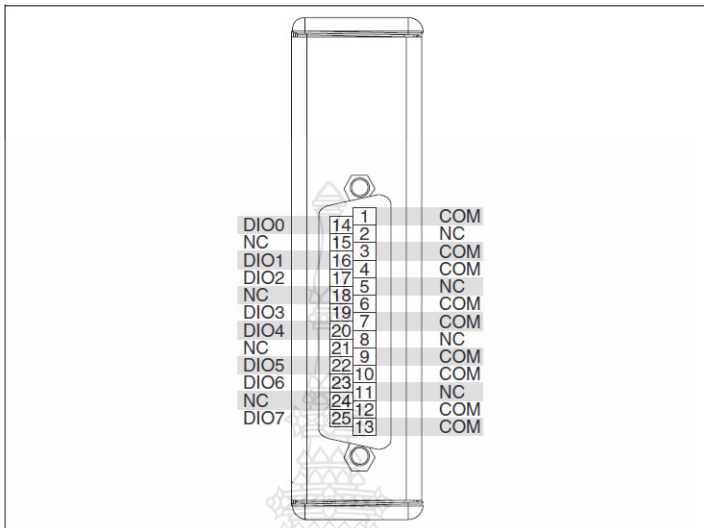


Figure 1. NI 9401 Pin Assignments

Figure 2 illustrates how to connect an SPI device to the NI 9401. In this example, the three channels assigned to output signals are on one port and the channel assigned to an input signal is on the other port.

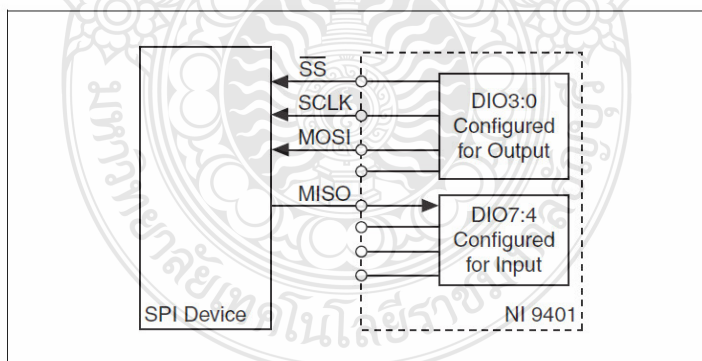


Figure 2. Connecting an SPI Device to the NI 9401

Figure 3 illustrates how to connect several types of digital devices to the NI 9401.

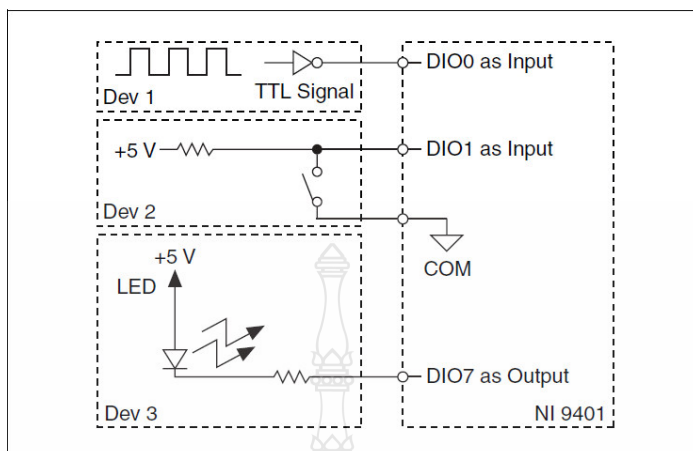


Figure 3. Connecting Digital Devices to the NI 9401

Specifications

The following specifications are typical for the range -40 to 70 °C unless otherwise noted. All voltages are relative to COM unless otherwise noted.

Input/Output Characteristics

Number of channels.....	8 DIO channels
Default power-on line direction.....	Input
Input/output type.....	TTL, single-ended

Digital logic levels

Input

Voltage	5.25 V max
High, V_{IH}	2 V min
Low, V_{IL}	0.8 V max

Output

High, V_{OH}	5.25 V max
Sourcing 100 μ A	4.7 V min
Sourcing 2 mA.....	4.3 V min
Low, V_{OL}	
Sinking 100 μ A	0.1 V max
Sinking 2 mA.....	0.4 V max

Maximum input signal switching frequency by number of input channels, per channel

8 input channels.....	9 MHz
4 input channels.....	16 MHz
2 input channels.....	30 MHz

Maximum output signal switching frequency by number of output channels with an output load of 1 mA, 50 pF, per channel

8 output channels.....	5 MHz
4 output channels.....	10 MHz
2 output channels.....	20 MHz

I/O propagation delay 100 ns max

I/O pulse width distortion 10 ns typ

Input current ($0 \text{ V} \leq V_{in} \leq 4.5 \text{ V}$)..... $\pm 250 \mu\text{A}$ typ

Input capacitance 30 pF typ

Input rise/fall time..... 500 ns max

Overvoltage protection,

channel-to-COM..... $\pm 30 \text{ V}$ max on one channel at a time; however, continued use at this level will degrade the life of the module.



ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์

- ข.1 บทความวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ระดับชาติ การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทน
 ผู้ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4 28 - 30 พฤศจิกายน 2554 มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง


โครงการการสัมมนาเชิงวิชาการครั้งที่ ๔
“รูปแบบพลังงานทดแทนผู้ชุมชนแห่งประเทศไทย”
4 th Thailand Renewable Energy Community Configuration Congress
๒๘ - ๓๐ พฤศจิกายน ๒๕๕๔
 กลุ่มของผลงาน
 กลุ่มที่ ๑ เทคโนโลยีพลังงานชุมชน
 กลุ่มที่ ๒ การจัดการพลังงานชุมชน
 กลุ่มที่ ๓ ธุรกิจพลังงานชุมชน
 กลุ่มที่ ๔ วิสาหกิจชุมชน
 40 ปี เกื้อหนุนที่ก้าวไกล...
 มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง
ณ อาคารโอพาร์ โรจน์ ธีระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง



มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
www.lpru.ac.th

รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ ครั้งที่ ๕
“รูปแบบพลังงานทดแทนของชุมชนแห่งประเทศไทย” ประจำปี ๒๕๕๔

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบัน
ศ.ดร. ทนงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. วัฒนพงศ์	วิเศษวิเชียร	มหาวิทยาลัยพะเยา
รศ.ดร. ศิริชัย	เทพา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. นริส	ประทีนทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. ศุภวิทย์	ลวดเสถียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร. สมชาย	มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผศ.ดร. ศิรินุช	จินดาวิเศษ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผศ.ดร. นิพนธ์	เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผศ.ดร. ดิถะ	บุญนาค	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผศ.ดร. นุภาพ	แย้มไตรพัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ดร. บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร. วีรชัย	โรยรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร. อชิตพล	ศศิธรานุวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
รศ.ดร. วิลาศ	พุ่มพิมล	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผศ.ดร. อภิรักษ์	ชัยเสนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ดร. หฤทัย	ไทยสุชาติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ดร. นงลักษณ์	สายเทพ	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ดร. สิริพิศ	พิศชวนชม	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ดร. พิสิษฐ์	มณีโชติ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ดร. จันทนา	กาญจนาวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร. อ่ำพล	อ่าววรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร. วิทยา	พวงลมปิติ	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร. วรุต	วีระชัย	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร. กิตติศักดิ์	สมุทรธาร์ภัก	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผศ.ดร. ประสงค์	อัฒพูน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผศ.ดร. บุญล้ำ	สุนทร	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผศ.ดร. วารุณี	อริยวิริยะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ. ผ่องศรี	ศิวราศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร. สโรชา	เจริญวัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร. สถาพร	ทองวิค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ ครั้งที่ ๔
“รูปแบบพลังงานทดแทนของชุมชนแห่งประเทศไทย” ประจำปี ๒๕๕๔

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบัน
ดร. จักรี	ศรีเนห์จันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร. ณรงค์ชัย	โอเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร. กฤษณ์ชนม์	ภูมิภคพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร. สุมณมาลย์	เนียมกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร. วิฑูภูมิ	พรหมณะ	มหาวิทยาลัยพะเยา
Ph.D. Larry	Kreiser	Cleveland State University.
รศ.ดร. มนตรี	พิริยะกุล	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร. บัณฑิต	ผ่องนิรันดร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
รศ.ดร. บุญทวรรณ	วิงวอน	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
รศ.ดร. อารวรรณ์	โอกาสพัฒนกิจ	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
รศ.ดร. ถวิล	นิลโบ	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผศ.ดร. พรชนก	ทองลาด	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผศ. กาญจนา	คума	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผศ. สุวรรณี	โพธิศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ดร. เค็รวัลย์	วงษ์ใหญ่บุญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ดร. ไพฑูรย์	อินติะวัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ดร. ธนกร	น้อยทองเล็ก	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผศ.ดร. ปองปรารถน์	สุนทรเกล้าช	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารบัญ

บทความ	หน้า
Oral Presentation Session	
กลุ่มที่ 1 เทคโนโลยีพลังงานชุมชน (ET)	
ET001 ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก ที่ห้วยคำปี บ้านคำน่วยใต้ ตำบลแม่พลู อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ทวีศักดิ์ วรจักร์ อนุชา วิกากรณ์ และ คณะร่วมวิจัย.....	1
ET003 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับ ระบบไฮโดรโปนิกส์ จิราพร ตั้งใจ สหฤทยา ทองลา ศรายุทธ ้วยวุฒิ สมชาย เจียจิตต์ลวลต์.....	11
ET004 การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนสำหรับลดอุณหภูมิ ก๊าซชีววมวล ศศิธร เลิศมณีพงศ์ สหฤทยา ทองลา สุชกดี สุขใจ สมชาย เจียจิตต์ลวลต์.....	19
ET005 การศึกษาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากแหล่งเชื้อเพลิงจากขยะ RDF-5 ผลสมถิติเซอร์ ของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลภายใต้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ชนะสิทธิ์ แก้วในศวรรย์ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์.....	27
ET006 แผลงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink แบบทันเวลา เดชนิตติช อัมปวิศา วันชัย ทวีพิงษ์.....	37
ET007 การประมาณระยะเวลาคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ใช้ในระบบ พลังงานทดแทนแบบผสมผสาน อภิวัฒน์ อัครเมฆิน บุญยัง ปลั่งกลาง.....	45
ET008 การหาตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจำหน่ายด้วยวิธีการเคลื่อนตัวของ กลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด วีระชัย พ่วงพรพิทักษ์ และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์.....	53
ET009 การวิเคราะห์และออกแบบคอนเวอร์เตอร์อัตราขยายแรงดันสูงสำหรับระบบผลิต กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ วีระชาติ ชัดมัน วันชัย ทวีพิงษ์.....	61
ET011 การศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการประยุกต์ใช้น้ำมันไพโรไลซิสในกิจกรรม เพาะเห็ด บ้านปางยางคก จังหวัดลำปาง ปฐมพงษ์ ยะพะง่า วุฒิกร กาจาร์ นวัตกรรม กิจไพศาลกุล รวิภา ยงประยูร.....	67

การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4
28 - 30 พฤศจิกายน 2554 มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง

การประมาณระยะเวลาคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ใช้ในระบบพลังงาน ทดแทนแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

Discharge Time Estimation for Lead-Acid Battery in PV-Hybrid Power Supply

อภิวัฒน์ อัครเมทิน, บุญยัง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3420, 080-006-7104 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: apiwat4321@hotmail.com

ET007

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประมาณระยะเวลาของการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทนแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมการทำงานของระบบพลังงานทดแทนแสงอาทิตย์แบบผสมผสานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จากการศึกษาแบบจำลองในการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน ส่วนที่ทำให้ระบบมีความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบมากที่สุดคือช่วงระยะเวลาของการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ โดยการศึกษาเพื่อทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าประมาณระยะเวลาการคายประจุจะเริ่มจากการทดลองการคายประจุของแบตเตอรี่ที่สภาวะการคายประจุที่โหลดต่างกัน ที่อุณหภูมิปกติเพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อทำการประมาณระยะเวลาของการคายประจุของแบตเตอรี่โดยใช้สมการความสัมพันธ์เพื่อช่วยในการออกแบบการควบคุมของระบบให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นได้ โดยที่สมการที่ได้จากการทดลองที่กระแสคายประจุคงที่ 40A จะมีค่าความคลาดเคลื่อนในช่วงการคายประจุในระยสุดท้ายน้อยที่สุดประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์และสมการที่ได้จากการคายประจุที่กระแสคงที่ 20A, 10A และ 5A จะมีค่าความคลาดเคลื่อนในช่วงสุดท้ายของการคายประจุจะมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณคือ 11 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์และในช่วงของช่วงระยะเวลาการคายประจุที่เป็นเชิงเส้นนั้นจะมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 4 สมการที่อุณหภูมิปกติที่ 25 องศาเซลเซียสได้ที่แบตเตอรี่ขนาดความจุที่ 12V 20AH

คำสำคัญ: ระยะเวลาคายประจุ, แบตเตอรี่ตะกั่วกรด, ระบบพลังงานทดแทนแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

1. บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวันและการพัฒนาประเทศ ส่วนใหญ่มนุษย์ใช้พลังงานที่มีแหล่งเชื้อเพลิงจากน้ำมัน ไม่ว่าจะเป็นการคมนาคมขนส่งหรือโรงไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันมีราคาที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามความต้องการของโลกและคาดว่าจะหมดไปในระยะเวลาอันใกล้นี้ ประกอบกับในปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นทุกปีและเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าจะได้อาจมาจากแหล่งเชื้อเพลิงคือ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมัน ซึ่งมีวิธีการและขั้นตอนการผลิตที่มากและก่อให้เกิดมลพิษ จากที่กล่าวมาข้างต้นพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน โดยใช้การทำงานร่วมกันระหว่าง พลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงเรียกว่าโฟโตโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic cell: PV cell) พลังงานลมซึ่งได้จากการรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลที่กังหันลมเพื่อนำไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวของกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเซลล์โซลาร์ที่มีน้ำมันดีเซลล์เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าซึ่งในส่วนนี้จะพยายามออกแบบให้มีช่วงการทำงานที่น้อยที่สุดเพื่อเป็นการประหยัด

เชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานจึงเป็นทางเลือกอีกทางสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและยังเป็นพลังงานที่สะอาดสิ่งแวดล้อมเชื้อเพลิงในการผลิตต่ำ และในระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบผสมผสานนั้นจำเป็นจะต้องมีส่วนที่เก็บพลังงานไว้ใช้ในสภาวะที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เช่น ตอนกลางคืน หรือ ขณะมีเมฆปกคลุม และช่วงที่ไม่มีลมที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เพื่อลดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

ส่วนที่เก็บพลังงานสำรอง หรือ แบตเตอรี่ เป็นส่วนที่จำเป็นสำหรับระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพสามารถทำงานได้ต่อเนื่องและประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนแบบผสมผสานจะมีลักษณะการออกแบบและใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่นั้น ๆ

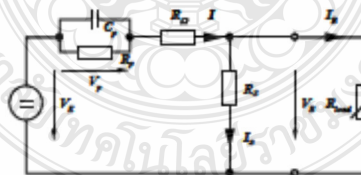
เพื่อให้การทำงานของแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพและช่วยเพิ่มระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ให้คงทนมากขึ้นจึงจำเป็นต้องศึกษาการทำงานของแบตเตอรี่ในส่วนต่างๆ ซึ่งในบทความนี้จะเน้นไปที่สภาวะการคายประจุซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจที่จะนำมาศึกษาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้าที่โหลดแตกต่างกันกับระยะเวลาที่แบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ เพื่อนำมาวิเคราะห์ออกแบบระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานในเบื้องต้นได้

2. แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน

ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบพลังงานทดแทนได้ จากการศึกษาชนิดของแบตเตอรี่ที่นิยมนำมาใช้ในระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานจากการเปรียบเทียบกันของแบตเตอรี่ 3 ชนิดคือ ชนิดตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม และ แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เหล็ก [1] ชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด คือ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery) แบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) ด้วยปัจจัยหลาย ๆ อย่างเช่นในเรื่องของราคา ประสิทธิภาพ และอายุการใช้งาน

2.1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีอยู่หลายแบบด้วยกัน แต่ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับระบบพลังงานทดแทนมากที่สุดคือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานปริมาณเล็กน้อยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ โดยไม่เกิดความเสียหายและสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% ของความจุแบตเตอรี่ โดยที่แบตเตอรี่จะไม่ได้รับความเสียหาย [2] หลักการทำงานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญเป็น แผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบจมอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุโมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่ว และปล่อยอิเล็กตรอนออกมามากมาย เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และพลังไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ให้แรงดัน 2 โวลต์ต่อเซลล์ แบตเตอรี่ 12 โวลต์จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรม เซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้

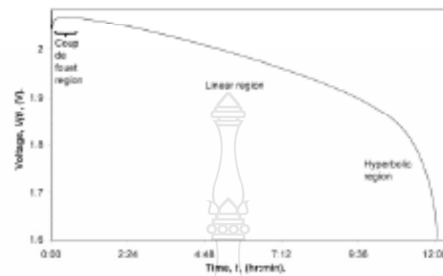


รูปที่ 1 วงจรสมมูลย์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [1]

3. คุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

จากการศึกษาคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะสามารถแบ่งออกได้ 3 ช่วงด้วยกันคือ ช่วงที่ 1 คือช่วง coup de fouet region เป็นช่วงที่แบตเตอรี่เริ่มคายประจุแรงดันที่ขั้วจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาหนึ่งที่ใช้ในการ

คายประจุ ช่วงที่2 คือช่วง linear region เป็นช่วงการคายประจุคงที่แบบเชิงเส้นจนก่อนจะถึงค่าแรงดันสุดท้ายที่กำหนดเพื่อไม่ให้แบตเตอรี่คายประจุมากเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายต่อแบตเตอรี่ได้จึงเป็นช่วงที่สำคัญในการศึกษาคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าประมาณของระยะเวลาของการคายประจุได้ และช่วงที่3 คือช่วง hyperbolic region เป็นช่วงสุดท้ายของการคายประจุซึ่งแรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงอย่างรวดเร็ว [3]



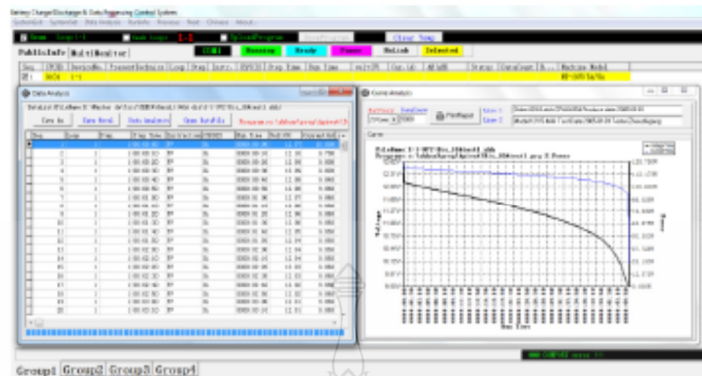
รูปที่ 2 กราฟคุณลักษณะแรงดันและเวลาในการคายประจุ

4. การดำเนินการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่

การดำเนินการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาสมการความสัมพันธ์จะเริ่มต้นจากศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดในช่วงการคายประจุและดำเนินการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่โดยจะทำการทดสอบและควบคุมการคายประจุด้วยระบบคอมพิวเตอร์ทำงานร่วมกับเครื่องควบคุมการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ (Microprocessor Test for Battery (MTB-series) โดยจะทำการทดสอบและเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการคายประจุของแบตเตอรี่ที่สภาวะการคายประจุที่โหลดต่างกัน ผ่านทางโปรแกรม Battery charge/discharge data processing control system version:2009-07-16/V1.3.2 ของบริษัท XINKEHUA โดยใช้แบตเตอรี่ขนาดความจุที่ 12V 20AH ทำการคายประจุที่ โหลด 40A, 20A, 10A และ 5A โดยกำหนดให้แรงดันสุดท้ายเท่ากับ 9.6V ตามมาตรฐาน IEC



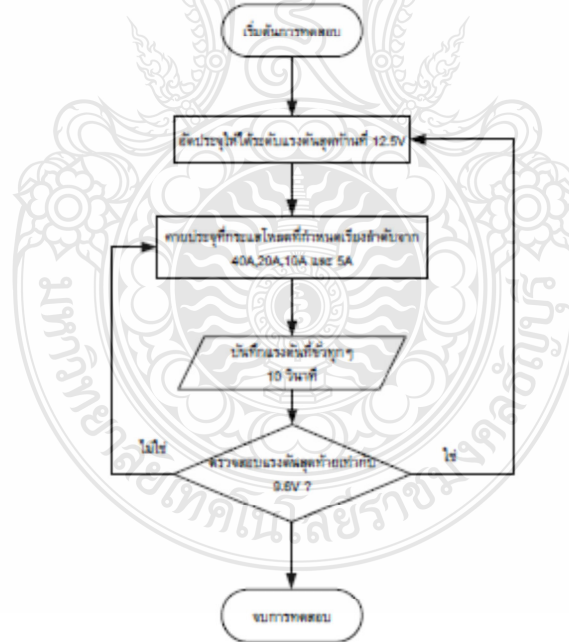
รูปที่ 3 รูปแสดงระบบควบคุมการทดสอบและเก็บข้อมูล



รูปที่ 4 รูปแสดงโปรแกรมที่ใช้ควบคุมและเก็บข้อมูล

4.1 ขั้นตอนการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่

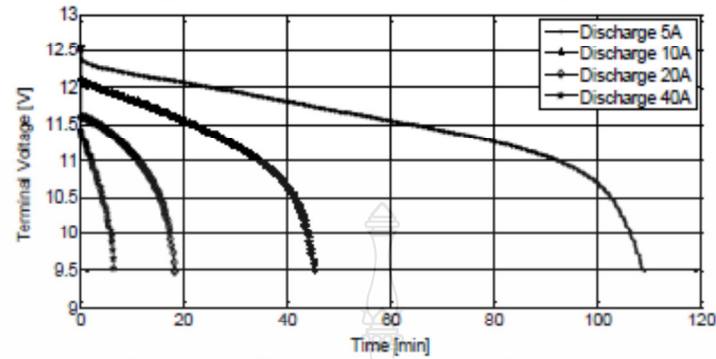
การทดสอบการคายประจุจะเริ่มทดสอบจากการคายประจุที่แรงดันที่ซึ่งเริ่มต้นที่ 12.5 V และทำการคายประจุที่โหลดต่างๆ โดยจะเริ่มต้นที่ โหลดการคายประจุที่ 40A จะทำการคายประจุจนถึงค่าแรงดันสุดท้ายที่ 9.6V ตามมาตรฐาน IEC60896-21 ที่ $C_{0.25}$ แรงดันสุดท้ายจะเท่ากับ 1.60V_{oc} [4] หลังจากนั้นทำการอัดประจุด้วยกระแสอัดประจุที่ 6A ตามค่ากระแสอัดประจุสูงสุด อ้างอิงตามมาตรฐานของผู้ผลิตด้วยเวลาหนึ่งชั่วโมงจากนั้นทำการคายประจุที่ขนาดของโหลดค่าต่อไปเพื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าสมการความสัมพันธ์



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทดสอบการคายประจุ

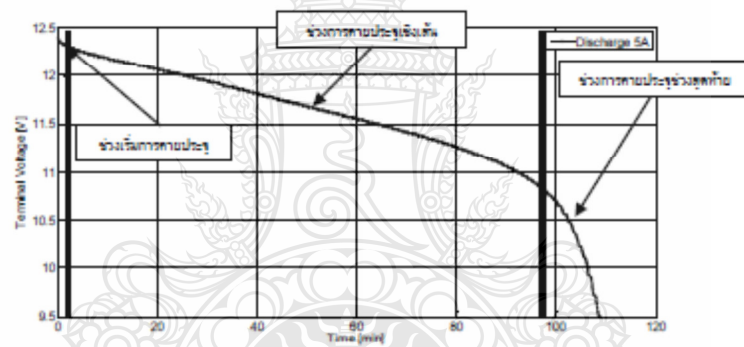
5. ผลการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่

จากการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่ที่โหลดค่าต่าง ๆ จะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ที่คายประจุเทียบกับระยะเวลาการคายประจุที่โหลดต่าง ๆ จะเห็นได้จากกราฟการทดลองในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าแรงดันที่ขั้วและระยะเวลาการคายประจุที่กระแสโหลดต่าง ๆ

จากกราฟการทดลองในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าช่วงของแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่เทียบกับเวลาการคายประจุนั้นเมื่อนำมาเทียบกับลักษณะการคายประจุจากทฤษฎีทำให้สามารถหาสมการความสัมพันธ์ของการทำงานของแบตเตอรี่ในช่วงการคายประจุที่เป็นเชิงเส้นได้



รูปที่ 7 กราฟแสดงช่วงคุณลักษณะการคายประจุจากการทดลอง

จากกราฟในรูปที่ 7 แสดงคุณลักษณะการคายประจุจากการทดลองจะเห็นได้ว่าช่วงการคายประจุในช่วงเชิงเส้นจะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของแรงดันที่ขั้วกับระยะเวลาการคายประจุได้จากการสร้างสมการเชิงเส้นซึ่งจะสามารถนำสมการที่ได้จากการทดลองนี้ไปทำการประมาณค่าระยะเวลาของการคายประจุได้ดังสมการที่ (1) ถึง (4) โดยที่ V คือแรงดันที่ขั้วและ t คือเวลาในการคายประจุ สมการที่ได้จากการทดลองจะเป็นสมการการคายประจุที่กระแสโหลด 40A, 20A, 10A และ 5A ตามลำดับ

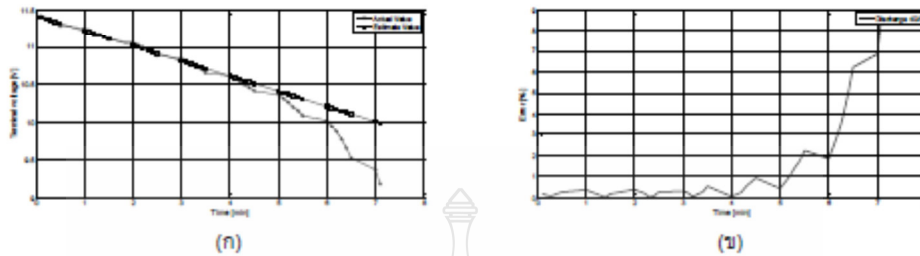
$$V_{40A} = -0.201t + 11.42 \quad (1)$$

$$V_{20A} = -0.083t + 11.70 \quad (2)$$

$$V_{10A} = -0.032t + 12.15 \quad (3)$$

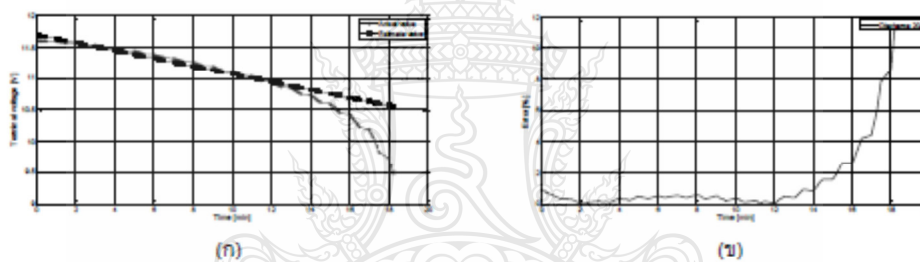
$$V_{5A} = -0.017t + 12.46 \quad (4)$$

จากสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองในข้างต้นจะสามารถหาค่าประมาณของระยะเวลาการคายประจุที่กระแสไหลลดต่าง ๆ ได้ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 8 ถึง 11



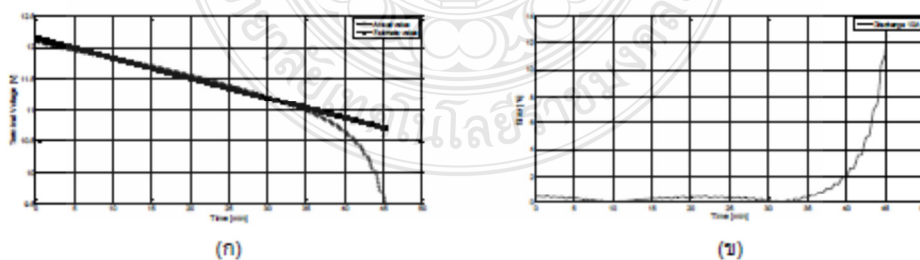
รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์การคายประจุที่กระแส 40A

จากกราฟในรูปที่ 8 (ก) จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วเทียบกับเวลาในการคายประจุที่ได้จากการทดลองเทียบกับการประมาณจากสมการที่ (1) ที่กระแสคายประจุที่ 40A จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดจะมีค่าน้อยเพราะลักษณะการคายประจุที่ไหลลด 40A นั้นแรงดันที่ขั้วจะลดลงอย่างรวดเร็วเป็นลักษณะเชิงเส้น โดยจะเห็นได้จากกราฟค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดจากการทดลองเทียบกับการประมาณในรูปที่ 8 (ข)



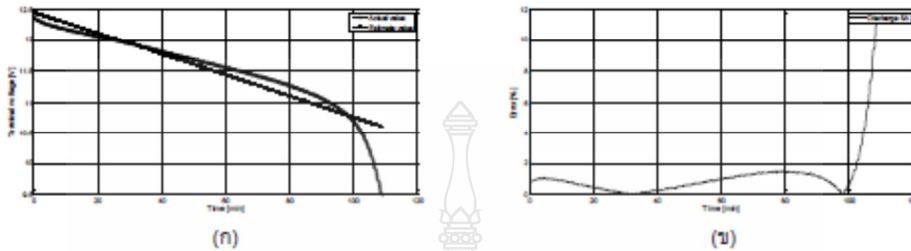
รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์การคายประจุที่กระแส 20A

จากกราฟในรูปที่ 9 (ก) จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วเทียบกับเวลาในการคายประจุที่ได้จากการทดลองเทียบกับการประมาณจากสมการที่ (2) ที่กระแสคายประจุที่ 20A จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับกระแสคายประจุที่ 40A โดยจะเห็นได้จากกราฟค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดจากการทดลองเทียบกับการประมาณในรูปที่ 9 (ข)



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์การคายประจุที่กระแส 10A

จากกราฟในรูปที่ 10 (ก) จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วเทียบกับเวลาในการคายประจุที่ได้จากการทดลอง เทียบกับการประมาณจากสมการที่ (3) ที่กระแสคายประจุที่ 10A จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดจะมีค่าใกล้เคียงเมื่อเทียบกับ กระแสคายประจุที่ 20A โดยจะเห็นได้จากกราฟค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดจากการทดลองเทียบกับการประมาณใน รูปที่ 10 (ข)



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์การคายประจุที่กระแส 5A

จากกราฟในรูปที่ 11 (ก) จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วเทียบกับเวลาในการคายประจุที่ได้จากการทดลอง เทียบกับการประมาณจากสมการที่ (4) ที่กระแสคายประจุที่ 5A จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดจะมีค่าใกล้เคียงเมื่อเทียบกับ กระแสคายประจุที่ 20A และ 10A โดยจะเห็นได้จากกราฟค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดจากการทดลองเทียบกับการ ประมาณในรูปที่ 11 (ข)

6. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการคายประจุที่โหลดต่างๆ เพื่อหาค่าการประมาณระยะเวลาคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ใช้ใน ระบบพลังงานทดแทนในช่วงของการคายประจุที่เป็นเชิงเส้น จากกราฟความสัมพันธ์เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับ ค่าที่ได้จากการประมาณจะเห็นได้ว่าในช่วงของการคายประจุที่กระแสต่าง ๆ จะมีค่าความผิดพลาดในช่วงการทำงานของ แบตเตอรี่ที่เป็นเชิงเส้นจะมีค่าไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ที่กระแสคายประจุที่ค่าเดียวกับกระแสที่ใช้ในการทดลอง อันเนื่องมาจากค่าที่ ได้จากการประมาณสร้างขึ้นมาจากพื้นฐานของสมการเชิงเส้นในการคายประจุที่ค่าของกระแสโหลดในช่วงการคายประจุที่อยู่ ในช่วงการทำงานที่เป็นเชิงเส้น (linear region) จึงมีค่าความผิดพลาดต่ำ และจากกราฟความสัมพันธ์เปรียบเทียบค่าที่ได้จาก การทดลองกับค่าที่ได้จากการประมาณค่าของความผิดพลาดจะมีค่าที่สูงขึ้นในช่วงการทำงานที่อยู่ในช่วงสุดท้ายคือช่วงการคาย ประจุช่วงสุดท้าย (hyperbolic region) ค่าของแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วโดยไม่เป็นเชิงเส้นจึงทำให้ การประมาณมีค่าความผิดพลาดมากขึ้นประมาณจากเดิมประมาณ 6 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์

จากสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองทั้ง 4 สมการนั้น สมการที่มีค่าความผิดพลาดในช่วงการคายประจุระยะ สุดท้ายต่ำที่สุดคือ สมการที่ได้จากการคายประจุที่ 40A เนื่องมาจากการคายประจุที่กระแสสูง นั้นจะทำให้แรงดันที่ขั้วลดลง อย่างรวดเร็วโดยช่วงการคายประจุที่เป็นเชิงเส้นจะใกล้เคียงกับช่วงการคายประจุช่วงสุดท้ายในเวลาอันรวดเร็วจึงทำให้สมการ ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนในช่วงการคายประจุที่เป็นเชิงเส้นต่ำประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์และสมการที่เหลือทั้ง 3 สมการที่ 20A, 10A และ 5A จะมีค่าความคลาดเคลื่อนในช่วงสุดท้ายของการคายประจุจะมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 11 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์และใน ส่วนของช่วงเวลาการคายประจุที่เป็นเชิงเส้นนั้นจะมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 4 สมการ

จึงสรุปได้ว่าสมการความสัมพันธ์ของการคายประจุของแบตเตอรี่ที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาประมาณค่าของ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่และเวลาในการคายประจุในช่วงการคายประจุเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับค่ากระแสของโหลดที่ทำการทดลอง ในอุณหภูมิปกติที่ 25 องศาเซลเซียสได้ที่แบตเตอรี่ขนาดความจุที่ 12V 20AH เพื่อนำไปออกแบบระบบในเบื้องต้นได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญยัง ปลั่งกลาง "Photovoltaic system technology" มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ชัยบุรี พ.ศ. 2553
- [2] เส้นทางสู่พลังงานสีเขียวตอนแบตเตอรี่ 2011 ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก: <http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/greenway14.php>.
- [3] Phillip E. Pascoe, Member, IEEE, and Adnan H. Anbuky., " VRLA Battery Discharge Reserve Time Estimation," IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 19, NO. 6, NOVEMBER 2004
- [4] INTERNATIONAL STANDARD, IEC60896-21, " Stationary lead-acid batteries valve regulated types methods of test," First edition, 2004-02



ข.2 บทความวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ระดับชาติ การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4

Electrical Engineering Network 2012

of Rajamangala University of Technology (EENET 2012)



CONFERENCE TOPICS

GROUP 1 (PE)

Power Electronics, Electric Machines, Motor Control and Drive, Measurement, Control and Robotics.

GROUP 2 (PW)

Power System, Transmission and Distribution, High Voltage and Electrical Energy, Generating Systems.

GROUP 3 (RE)

Renewable Energy, Energy Saving Technologies, Industry Specific Energy Conversion and Conditioning Technologies, Materials for Energy and Environment.

GROUP 4 (TE)

Telecommunication, Electronics, Information and Communication Technologies, Antennas, Microwave Theory and Techniques.

GROUP 5 (CP)

Computer Technologies and Network, Computer Graphics, Machine Learning and Human-Computer Interaction.

GROUP 6 (GN)

Education in Electrical Engineering, Simulation Software and Design tools, Related Topics in Electrical Engineering.



GRAND PARADISE HOTEL
Nong Khai, THAILAND
April 3-5, 2012

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

รายชื่อผู้พิจารณาบทความการประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4

รศ. ดร.วิระเชษฐ ชันเงิน

รศ. ดร.วิจิตร กิจเรศ

รศ. ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

รศ. ดร.เวทิน ปิยะรัตน์

รศ. ดร.เดชา พวงดาวเรือง

รศ. ดร.วิบูลย์ ชื่นแจก

รศ. ดร.เสถียร ธัญญศวีรัตน์

ผศ. ดร.เนบบุญ หุนเจริญ

ผศ. ดร.อภิวัฒน์ อูร์โสภณ

ผศ. ดร.รววัฒน์ เสี่ยมวิบูล

ผศ. ดร.อาทิตย์ ไสตร์โยม

ผศ. ดร.เผด็จ เผ่าละออ

ผศ. ดร.ทองพล อารีรักษ์

ดร.ยุทธนา ชำสุวรรณ์

ดร.นิวัฒน์ อังควศิษฐพันธ์

รศ.ดร. โกลล โอหารไพโรจน์

ดร.อุเทน คำนำน

นายณรงค์ นันทกุล

ผศ.กฤษดา ยิ่งขยัน

นายเอกทัศน์ พงษ์วรมณ

ดร.จัตตุฤทธิ์ ทองปรอน

ผศ.ชาญชัย เคชรรวมรงค์

ดร.จักรกฤษณ์ เคลือบวัง

นายสมนึก เครือสอน

นายทัศนะ ถมทอง

นายณรงค์ฤทธิ์ ทิมพ์คำวงศ์

ผศ.อภิศักดิ์ ชันแก้วหล้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

ผศ.สุรสิทธิ์ แสนทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
นายเอกสิทธิ์ สุมนพันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
นายปรีชา มหาไม้	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
นายก่อเกียรติ อื้อคทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
รศ.ดร.รัช เกิดขึ้น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ดร.พินิจ ศรีสร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ผศ.ประเสริฐ เตือนหมื่นไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ผศ.พันธ์พงศ์ อภิชาติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ผศ.สุทธินันท์ คั่นโพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ผศ.ศิริชัย ลาภาสระน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ผศ.กฤตวิทย์ บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ผศ.วุฒิชัย ส่งงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
นายกิตติวุฒิ จินนะบุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
นายรุ่งเพชร ก่อจนอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
นายเอกจิต คุ้มวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
นางอุษา คงเมือง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
นายชิตติสรรค์ วิจิโต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
นายบุญช่วย เจริญผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพจ.กรุงเทพฯ
นายวุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพจ.กรุงเทพฯ
นายชูศักดิ์ กมลขันดิสร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพจ.กรุงเทพฯ
นายวินัย เมธาวีทิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพจ.กรุงเทพฯ
นายชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพจ.กรุงเทพฯ
นายประหยัด กองสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.จันทบุรี
นายภัทรพงศ์ อัญชันภาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.จันทบุรี
นายสมพล โคศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.จันทบุรี
นายทัศนพันธ์ สุวรรณทัต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.จันทบุรี
นายจตุรงค์ จตุรเชิดชัยสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายพูนศรี วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ดร.ณัฐพงศ์ พันธนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายนิติพันธ์ คุณประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายธนารัตน์ ตันมณีประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายทอง ลานธารทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายสมเกียรติ ทองแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ศศ.พิชญ์ ดาราพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายมนัส บุญเกียรติทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายพนา คูสิศากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ศศ.กิจจา สักขณ์อำนวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ศศ.โกศล นิธิโสภာ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ศศ.จรินทร์ จุลวานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายนิลमित นิลาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายเกรียงไกร เหลืองอำพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายฉัตรชัย วัชรวิทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายฉัตรชัย วัชรวิทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ศศ.ศรีศักดิ์ น้อยไร่ภูมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ศศ.ดร.ประมุข อุณหเลขกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
นางสาวพัชรนันท์ ศรีธนาอุทัยกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
ศศ.สรายุช ทองกุลภัทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
ศศ.วราวุฒิ ศรีสงคราม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
ดร.ยุทธนา กันทะพะเยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
ศศ.เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
ศศ.กระจำจ พัทธวงษ์ศิริวิทยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
ดร.ศรีสุตา ไชยทองสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
รศ.นภัทร วัฒนเทพินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
รศ.สมพันธ์ อำหาวัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา
ดร.ชูวงศ์ วัฒนศักดิ์ภูบาล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา
ศศ.วิสุทธิ์ พงศ์พฤษชาตุ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา
ดร.สุริยา แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน วิทยาเขตสกลนคร

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

ดร.นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.เมธา ทศิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.วิชัย ครอบกิจศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายเอกวิทย์ หายกวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายวิระ รัตนภิรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายรัก สกุลพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายณครินทร์ ศรีปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายกฤตยา สมสัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายจงเจริญ คุ้มบุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายกฤษฏา บุญมีวิเศษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายจิระพงศ์ ศรีวิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายวิระชัย จรบูรมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายปฏิวัติ บุญมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.สุพรรณบุรี
นายเจเลียว เกตุแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.สุพรรณบุรี
ผศ.ดร.ปรีชา สาณะรังค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.สุพรรณบุรี
ดร.ภัทรวัฒน์ จันทร์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.สุพรรณบุรี
นายไพบูลย์ เกียรติสุขเกษม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.สุพรรณบุรี
รศ.พันธ์ พิริยะวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ประวิช เปรียบเหมือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ประยงค์ เสาร์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.จักรวัฒน์ บุตรบุญชู	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สุระ ตันติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ณรงค์ สีหาจ้อง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.สมชัย ทิรัญวโรดม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.วันชัย ททรัพย์สิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.วิชัย ผดุงศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ศิริชัย แดงแอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ณัฐวุฒิ โสมเกษตรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

ดร.ฉัตรชัย	ศุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.บุญยงค์	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สุรินทร์	แท่งมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิศักดิ์พชัญญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ณัฐภัทร	พันธ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายพินิจ	จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายสมชาย	เบียนสูงเนิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายพร้อมศักดิ์	อภิวรติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายนิติพงศ์	ปานกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายธีระพล	เหมือนขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายณัฐพล	หาอุปละ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศศ.จินตนา	นาคะสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศศ.ปราชญ์	ดาบบัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.จักรี	ศวินนทร์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.อำนาจ	เรืองอำนาจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ไพฑูรย์	รักเหลือ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายวิโรจน์	พิราจนนชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายพงษ์ศักดิ์	อังกา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายบุญยงค์	นบนอบ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายอภิรดา	นามแสง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สุทินัน	พรอนุรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.วินัย	วิชัยพาณิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.กิตติวัฒน์	นัมเกิดผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศศ.อิฐอาร์ชญ์	ปีติมล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายฉัตรดิพงษ์	อุทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

RE10	การพัฒนาเครื่องมือวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับนำไปประเมินค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ	353
RE11	การศึกษาการเสื่อมสภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ	357
RE12	การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ผลสำหรับเครื่องมือวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับนำไปประเมินค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ	361
RE13	ผลกระทบของฝุ่นต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	365
RE14	การทดลองของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่	369
RE15	ระบบการจัดการพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีไอเซนท์-เบสสำหรับไมโครกริด	373
RE16	หลักการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	377
RE17	โคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ หลอด LED	381
RE18	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าระหว่างก๊าซชีวภาพกับน้ำมันเบนซิน	385
RE19	การศึกษาความเป็นไปได้ของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์เพื่อชาร์จโทรศัพท์มือถือโดยใช้ความร้อนจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์	389
RE20	รถสามล้อไฟฟ้าสำหรับคนพิการและผู้สูงอายุ	393
RE21	แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink แบบพื้นที่เวลา	397
RE22	การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟ (ERU)	401
RE23	ผลของไฟฟ้ากระแสตรงต่อสมบัติเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติ	405
RE24	โปรแกรมวัดความเข้มแสงจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กด้วยโปรแกรม Lab View	409
RE25	การพยากรณ์แนวโน้มของการผลิตกำลังไฟฟ้าจากไฟโตโวลตาอิกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	413
RE26	การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานของพัดลมท้อทำความเย็นโดยการติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน	417
RE27	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบปรับมุมรับแสงอัตโนมัติสำหรับการผลิตสินค้า OTOP	421

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

หลักการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน Concept Strategies Design of Battery Management System for PV-Hybrid Power Supply

อภิวัฒน์ รัชมนพิน และบุญอัฐ ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3420, 080-006-7104 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: apiwat4321@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวคิดหลักการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเพื่อแนวคิดที่ได้ไปออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน เพื่อช่วยให้ระบบมีเสถียรภาพและช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ โดยแบ่งหัวข้อหลักได้สามหัวข้อคือ ส่วนที่หนึ่งแสดงการวิเคราะห์ชนิดและองค์ประกอบพื้นฐานของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในระบบและค่าพารามิเตอร์ภายในแบตเตอรี่ ส่วนที่สองแสดงให้เห็นค่าความจุที่ใช้งาน ช่วงการคายประจุและเก็บประจุ ระยะเวลาใช้งาน และช่วงของอุณหภูมิที่สามารถใช้งานได้โดยที่แบตเตอรี่ไม่เสียหายเทคนิคในการประมาณสถานะความจุของแบตเตอรี่ และในส่วนสุดท้ายคือส่วนประกอบทั้งหมดของระบบการจัดการแบตเตอรี่ซึ่งจะมีการตรวจวัดและควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ โดยประมวลผลและแสดงผลผ่านทางคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีการประมวลผลภาวะจากแบตเตอรี่ไม่เคลือบเปรียบเทียบกับสถานะที่ใช้งานจริงผ่านทางระบบตรวจวัดต่าง ๆ ในช่วงเวลาจริงและแจ้งเตือนเมื่อระบบมีความผิดปกติเพื่อนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบ เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ได้

คำสำคัญ: การจัดการแบตเตอรี่, พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

Abstract

This paper presents a design concept in battery management systems for PV-Hybrid power supply as an integrated renewable energy system. To make the system more stable and to extend the lifetime of the battery, the design concept is divided into three main stages. Firstly, analysis of the basic components and parameters of a battery used in the system is considered. Secondly, Capacity and duration of discharge and charge as well as the temperature range that battery can be activated are identified and technique of state of charge estimation. Finally, Overall of battery management system include a measurement and control of the battery by computer program are constructed. The control system displays real-time information via a computer program by using the

method of estimating the state of the battery model with the actual state through various measurements. The operating conditions of the system will alert when the system is in malfunctions the operator can analyze and react to the system on time to make the system more stable and to extend the lifetime of the battery

Keywords: Battery management system, PV hybrid power supply

1. บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวันและการพัฒนาประเทศ ส่วนใหญ่มนุษย์ใช้พลังงานที่มีแหล่งเชื้อเพลิงจากน้ำมัน ไม่ว่าจะเป็นการคมนาคมขนส่งหรือ โรงไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันมีราคาที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจากความต้องการของโลกและคาดว่า จะหมดไปในเวลาอันใกล้นี้ ประกอบกับในปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นทุกปีและเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าจะได้อาจมาจากแหล่งเชื้อเพลิงคือ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมัน ซึ่งมีวิธีการและขั้นตอนการผลิตที่มากและก่อให้เกิดมลพิษ จากที่กล่าวมาข้างต้นพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน โดยใช้การทำงานร่วมกันระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงเรียกว่าโฟลโตโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic cell: PV cell) พลังงานลมซึ่งได้จากการรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลที่กังหันลมเพื่อนำไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวของกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่ใช้ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าซึ่งในส่วนนี้จะพยายามออกแบบให้มีช่วงการทำงานที่น้อยที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานจึงเป็นทางเลือกอีกทางสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและยังเป็นพลังงานที่สะอาดสิ่งแวดล้อมเชื้อเพลิงในการผลิตค่า และในระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบผสมผสานนั้นจำเป็นต้องมีส่วนที่เก็บพลังงานไว้ใช้ในสถานะที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้า

ได้ เช่น ตอนกลางคืน หรือ ขณะมีเมฆปกคลุม และช่วงที่ไม่มีลมที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เพื่อลดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

ส่วนที่เก็บพลังงานสำรอง หรือ แบตเตอรี่ เป็นส่วนที่จำเป็นสำหรับระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพสามารถทำงานได้ต่อเนื่องและประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนแบบผสมผสานจะมีลักษณะการออกแบบและใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่นั้น ๆ

เพื่อให้การทำงานของแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพและช่วยเพิ่มระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ให้คงทนมากยิ่งขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่เพื่อช่วยให้ระบบมีเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพและช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้

2.แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน

ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบพลังงานทดแทนได้ จากการศึกษาชนิดของแบตเตอรี่ที่นิยมนำมาใช้ในระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานจากการเปรียบเทียบกันของแบตเตอรี่ 3 ชนิดคือ ชนิดตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม และ แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เหล็ก (1) ชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด คือ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery) แบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) ด้วยปัจจัยหลาย ๆ อย่างเช่นในเรื่องของราคา ประสิทธิภาพและอายุการใช้งานซึ่งแสดงให้เห็นตารางที่ 1

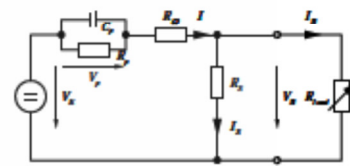
Type	Cycle life until 80% DOD	Investment cost [€/kWh]	Specific kWh cost [€/kWh]	η [%]	Self-discharge [%/month]	Temp. range [°C]
Pb	500...1500	85...350	0.17...0.30	> 80	3...4	-15°...+50°
NiCd	1500...3500	650...1500	0.30...1.00	71	6...20	40°...+45°
NiFe	3000	1000	0.33	55	40	0°...+40°

ตารางที่ 1. ตารางเปรียบเทียบกันของแบตเตอรี่ 3 ชนิด

2.1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีอยู่หลายแบบด้วยกัน แต่ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับระบบพลังงานทดแทนมากที่สุดคือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานปริมาณเล็กน้อยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความเสียหายและสามารถใช้งานไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% ของความจุแบตเตอรี่ โดยที่แบตเตอรี่จะไม่ได้รับความเสียหาย หลักการทำงานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญเป็น แผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและลบขั้วอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุโมเลกุลของ

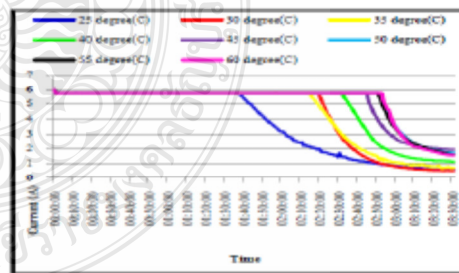
ซัลเฟอร์จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่ว และปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเรื่อยๆ เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และพลังไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ให้แรงดัน 2 โวลต์ต่อเซลล์ แบตเตอรี่ 12 โวลต์จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรม เซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้



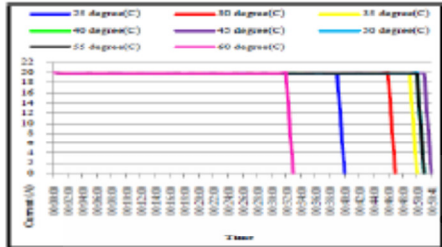
รูปที่ 1. วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (1)

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโดยรอบต่อการอัดและคายประจุ (2)

ในการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่จำเป็นจะต้องศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโดยรอบที่ใช้งานของแบตเตอรี่ว่ามีผลกระทบต่ออัตราการประจุและคายประจุอย่างไรเพื่อนำไปออกแบบระบบการจัดการให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นได้ จากการศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิโดยรอบที่การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดพบว่า อุณหภูมิที่ทำให้การอัดประจุได้เร็วที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 25° C และอุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่คายประจุได้มากที่สุดก่อนจะถึงแรงดันสุดท้ายที่กำหนดคือ ที่อุณหภูมิ 45° คัมพัสในรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 2. ค่ากระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 จากห้องปฏิบัติการ มทร.ธัญบุรี



รูปที่ 3. ค่ากระแสไฟฟ้าขณะจ่ายประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 จากห้องปฏิบัติการ มทร.ธัญบุรี

3.การประมาณค่าสถานะความจุของแบตเตอรี่

สถานะความจุของแบตเตอรี่(State Of Charge :SOC) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุของแบตเตอรี่ในขณะนั้นต่อความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่มี SOC 100 % หมายความว่าแบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็ม แบตเตอรี่มี SOC 50 % หมายความว่ามีความจุเหลืออยู่ 50 % ในระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นการประมาณค่าสถานะของอีกจุดคือจากทำไดโนนั้นจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ การควบคุมและป้องกันเพื่อให้แบตเตอรี่ใช้งานได้นานยิ่งขึ้น เพราะ โหลดที่ใช้งานในแต่ละวันของระบบพลังแสงอาทิตย์แบบผสมผสานจะไม่เท่ากันซึ่งทำให้ยากต่อการประเมินสถานะความจุของแบตเตอรี่ได้จึงจำเป็นต้องทำการประมาณค่าก่อนเพื่อนำไปออกแบบระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือได้ จากการศึกษารายงานเทคนิคการประมาณค่าของ SOC นั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีซึ่งจะแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานตามตารางที่ 2

ชื่อ	ชนิดแบตเตอรี่	ข้อดี	ข้อด้อย
Discharge test	แบตเตอรี่ทุกระบบ	ง่ายและแม่นยำ	ใช้ในระบบออนไลน์ไม่ได้
Voltage Based Estimation	ชนิดพิเศษทั่วไป	ง่าย	ใช้ระบบออนไลน์ไม่ได้
Coulomb Counting	แบตเตอรี่ทุกระบบ	สามารถออนไลน์ได้	อีกความถูกต้องต่ำ
Kalman Filtering	แบตเตอรี่ทุกระบบ	ออนไลน์แบบเรียลไทม์ที่แม่นยำและเปลี่ยนแปลงผู้ควบคุมได้	ต้องใช้แบตเตอรี่ที่โหลดมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงน้อย
Neural Network	แบตเตอรี่ทุกระบบ	ออนไลน์ได้	ต้องการข้อมูลการทดลองของแบตเตอรี่จริงและใช้เพื่อทำนายค่าความ

ตารางที่ 2.ตารางเปรียบเทียบเทคนิคการประมาณค่า [3]

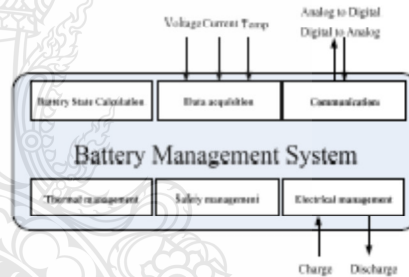
จากการเปรียบเทียบเทคนิคการประมาณค่าจะเห็นได้ว่าการประมาณค่าสถานะความจุของแบตเตอรี่ด้วยตัวกรองคาร์ลมาน (Kalman Filter) เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบระบบจัดการแบตเตอรี่พลังงาน

แสงอาทิตย์แบบผสมผสานได้ดีที่สุดด้วยคุณสมบัติที่สามารถออนไลน์ได้ ที่สภาวะโหลดเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและใช้การคำนวณสถานะจากแบตเตอรี่โมเดลของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบ

4.ส่วนประกอบในการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System :BMS)

จากการศึกษาชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบตัวแปรต่างๆ ของแบตเตอรี่ที่สำคัญและการประมาณค่าสถานะความจุของแบตเตอรี่แล้ว ในหัวข้อนี้จะแสดงส่วนประกอบในระบบการจัดการแบตเตอรี่ซึ่งจะรวบรวมส่วนต่างๆ ที่สำคัญเข้าด้วยกันเป็นระบบโดยมีส่วนประกอบของระบบดังนี้

- การจัดเก็บข้อมูล (Data acquisition)
- การหาค่าสถานะแบตเตอรี่ (Battery state determination)
- การจัดการระบบไฟฟ้า (Electrical management)
- การจัดการอุณหภูมิ (Thermal management)
- การจัดการระบบความปลอดภัย (Safety management)
- ระบบสื่อสาร (Communication)



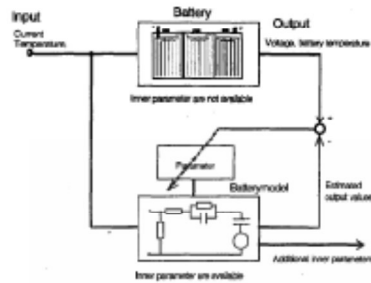
รูปที่ 4. ระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่นำเสนอ

4.1 การจัดเก็บข้อมูล (Data acquisition)

ในระบบ BMS จะต้องมีการจัดเก็บข้อมูลของระบบที่ได้มาเพื่อข้อมูลที่ได้นั้นจำนวนจะนำมาวิเคราะห์เพื่อควบคุมและแสดงผลผ่านทางระบบซึ่งในระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นจะทำการเก็บข้อมูลในส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่กระแสไฟฟ้าที่โหลดและอุณหภูมิโดยรอบ.

4.2 การหาค่าสถานะแบตเตอรี่ (Battery state determination)

การหาค่าสถานะของแบตเตอรี่นั้นจะเป็นการหาจากค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้เทียบกับแบตเตอรี่โมเดล ของระบบเพื่อนำไปสู่การควบคุมและป้องกันระบบจะเห็นได้จากรูปที่ 5



รูปที่ 5. ระบบการหาค่าสถานะของแบตเตอรี่ [4]

4.3 การจัดการระบบไฟฟ้า (Electrical management)

คือการจัดการตัวแปรในระบบการจัดการแบตเตอรี่ เช่น กระแสไฟฟ้าที่ไหลค urrent แรงดันไฟฟ้า สถานะความจุของแบตเตอรี่เพื่อควบคุมการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่

4.4 การจัดการอุณหภูมิ (Thermal management)

คือการจัดการระบบควบคุมอุณหภูมิของระบบแบตเตอรี่ เพื่อให้แบตเตอรี่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่กำหนดไว้

4.5 การจัดการระบบความปลอดภัย (Safety management)

คือการจัดการระบบเพื่อป้องกันแบตเตอรี่ไม่ให้ทำงานในสถานะที่อันตรายเช่น

- Deep discharge cycle
- Over temperature
- Over charge cycle

4.6 ระบบสื่อสาร (Communication)

เป็นส่วนที่เชื่อมต่อและรับข้อมูลในส่วนประกอบของระบบต่างๆ ให้เป็นระบบการจัดการแบตเตอรี่โดยจะเชื่อมต่อและรับข้อมูลได้หลายแบบเช่น

- Analog-to-digital converter (ADC)
- Pulse wide modulation signals
- Serial interface

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอแนวคิดการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบจัดการแบตเตอรี่อย่างง่ายเพื่อนำมาวิเคราะห์ออกแบบในระบบจริงได้ โดยทำการรวบรวมเนื้อหาของส่วนต่างๆ ที่จะนำมาใช้ประกอบเป็นระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่สมบูรณ์ได้

ในส่วนที่หนึ่งแสดงการเลือกใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานพร้อมทั้งแสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ

ของแบตเตอรี่ที่จำเป็นในการออกแบบระบบจะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ในระบบนี้คือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ด้วยปัจจัยหลาย ๆ อย่างเช่นในเรื่องของราคา ประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน

ส่วนที่สองแสดงให้เห็นถึงค่าความจุที่ใช้งาน ช่วงการคายประจุและเก็บประจุ ระยะเวลาใช้งานและช่วงของอุณหภูมิที่สามารถใช้งานได้โดยที่แบตเตอรี่ไม่เสียหายและเทคนิคการตรวจสอบสภาวะการเก็บประจุของแบตเตอรี่แบบต่างๆ จะเห็นได้ว่าเทคนิคที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ในการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่คือเทคนิคการประมาณค่าสถานะความจุของแบตเตอรี่ด้วยตัวกรองการถ่วงน้ำหนัก (Kalman Filter) ด้วยคุณสมบัติที่สามารถออนไลน์ได้ที่สามารถจะไหลและสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและโดยใช้การคำนวณสภาวะจากแบตเตอรี่โมเดลของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบเปรียบเทียบกับสภาวะที่ใช้งานจริง

ในส่วนสุดท้ายคือส่วนที่แสดงส่วนประกอบของการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ทั้งหมดโดยจะรวมส่วนประกอบทั้งหมดเพื่อนำมาออกแบบระบบให้มีการป้องกัน ควบคุม แสดงผลและเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ระบบเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพและช่วยในการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้


6. เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญชัย ปลั่งกลาง "Photovoltaic system technology" มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี พ.ศ. 2553
- [2] พรชัย พรหมฤทธิ์ "การทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด", การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7, 2554
- [3] Zhibang Chen "Battery State of Charge Estimation Based on a Combined Model of Extended Kalman Filter and Neural Networks", Proceedings of international Joint Conference on Neural Networks, San Jose, California, USA, 2011
- [4] A.Jossen "Battery Management Systems (BMS) for Increasing Battery Life Time" Center for Solar Energy and Hydrogen Research (ZSW Ulm), Helmholtzstr. 8,89081 Ulm, Germany, 1999

ข.3 บทความวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ระดับชาติ การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8



8 ผู้แต่ง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8
The 8th Conference on Energy Network of Thailand; E-NETT 8



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พลังงานและนวัตกรรมสีเขียวเพื่ออนาคตอาเซียน
Green Energy and Innovations for ASEAN's Future



วันที่ 2-4 พฤษภาคม 2555 โรงแรมตึกสีลา จังหวัดนครราชสีมา



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รศ.ดร. กุลเชษฐี เพ็ชรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร. ฐานิตย์ เมธิยานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รศ.ดร. ณัฐฐิ์ กาศยปนนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร. นรินทร์ วัฒนกุล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร. มานะ อมรกิจปารุง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร. สมเกียรติ ปรัชญาวารการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร. อติศักดิ์ นาถกรณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร. สัมพันธ์ ฤทธิเดช	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร. สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร. เสริม จันทร์ฉาย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร. กิตติ สถาพรประสาธน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร. จุฬารภรณ์ เบญจปิยะพร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร. ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. ธนรัฐ ศรีวีระกุล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. ย่าไพศักดิ์ ทีบุญมา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผศ.ดร. นริส ประทีนทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. ปรีชา เต็มสุขสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. จีรวรรณ เตียรณสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. ธนิต สวัสดิ์เสรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. สมบูรณ์ เวชกามา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. วันชัย ฉิมฉวี	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผศ.ดร. ตักศิระวี วัชรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.ดร. ศิริ ดวงพร	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผศ.ดร. สมชาย มณีเวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร. นิพนธ์ เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร. จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. เจริญพร เลิศสถิตธนากร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. บพิท บุปผโชติ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. ธีรพล ภูมิสะอาด	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ(ต่อ)

ผศ.ดร. ทรงชัย วิริยะฮาไพวงศ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. มณีรัตน์ องค์กรวรรณดี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. วรวิทย์ เสี่ยมวิบูล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. อติศักดิ์ ปัตติยะ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. อนุสรณ์ แสงประจักษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. อภินันท์ อรุโสภาณ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร. กันย์ วงศ์เกษม	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ดร. ดาเรศน์ กิตติโยภาส	กรมส่งเสริมการเกษตร และสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
อ.ดร. ชลิตา เนียมมัญญ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร. ชัยยันต์ จันทร์ศิริ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.ดร. ณรงค์ อึ้งกิมบัววน	มหาวิทยาลัยบูรพา
อ.ดร. เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. จักรมาส เลหาทนิช	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. ณัฐภูมิ สุวรรณหา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. นเรศ มีโส	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. นุชิตา สุวแพทย์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. พลภุชณ์ จิตต์โต	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. ละมุล วิเศษ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. สุนันทา เลาว์ณยศศิริ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. สุพรรณ ยั่งยืน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. อรอุมา ลาสุนนท์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ. ปรีชา ศรีประกาศาร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ. ศิริลักษณ์ วงศ์เกษม	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. วาทีญญ รอดประพัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อ.ดร. กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อ.ดร. ระวี พรหมหลวงศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี



การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8
วันที่ 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 จังหวัดมหาสารคาม

สารบัญ

รหัสบทความ	ชื่อบทความ
RE	Renewable Energy
RE01	การศึกษาสมรรถนะของเครื่องกลั่นน้ำทะเลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแผ่นสะท้อนรังสี <u>บัญญัติ นิยมवास</u>
RE02	การออกแบบระบบเชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สู่ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ ประหยัด <u>สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ และ เลิศพันธ์ เพียรสร้างสรร</u>
RE03	การคำนวณการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์โดยไอโซนในบรรยากาศของประเทศไทย <u>สายันต์ โพธิ์เกตุ</u>
RE04	การพยากรณ์แนวโน้มของการผลิตกำลังไฟฟ้าจากโฟโตโวลตาอิกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม <u>บ็องเจ็ด ปานห้วม, สมชัย หิรัญวโรดม และ วันชัย ทรรศย์สิงห์</u>
RE05	เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ <u>พุทธพร เศรษฐกุลานนท์ และ วิจิตร กิณเวศ</u>
RE06	หลักการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน <u>อภิวัฒน์ อัครเมฆิน และ บุญยัง ปลั่งกลาง</u>
RE07	การทดสอบระบบติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์สำหรับอุปกรณ์สะสมความร้อนแบบรวมรังสีชนิดวาง พาราโบลา <u>ประภาพรทัย บุญท้าว, นุชิตา สุวแพทย์, สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ และอนุสรณ์ แสงประจักษ์</u>
RE09	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทันเวลา <u>เดชนิตติช อิมปรีดา และ วันชัย ทรรศย์สิงห์</u>
RE10	การศึกษาการวัดความเร็วลม ด้วยพัดลมระบายความร้อน <u>ณัฐพล แจ่มจงค์ และ วันชัย ทรรศย์สิงห์</u>
RE11	การออกแบบเครื่องให้อาหารสัตว์เลี้ยงแบบอัตโนมัติระบบพลังงานแสงอาทิตย์ <u>พลวุฒิ อังกาภิชัย ชัยยุทธ ทรรศย์ประเสริฐ อนุอาจ แคลดใหม่ และ สมชัย หิรัญวโรดม</u>
RE12	การออกแบบและทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรสำหรับกังหันน้ำระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานน้ำขนาดเล็ก <u>ฉัตรชัย งามสม, ชรัสศักดิ์ สมศักดิ์, วรจักร เมืองใจ, วัชรวิ เพ็งภิบาล, เอกอภิญญา กระจำรัชมาพร และ บวรศักดิ์ เพ็ชรานนท์</u>
RE13	แบบจำลองสำหรับประมาณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์จากอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสำหรับประเทศ ไทย <u>เสริม จันทรินาย และเพ็ญพร นิ่มนวล</u>
RE14	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพกังหันลมขนาด 1 กิโลวัตต์ เพื่อการสูบน้ำ <u>ศิลปชัย เพิ่มพูล และ วิรัช ไรยนรินทร์</u>



การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8
วันที่ 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 จังหวัดมหาสารคาม

หลักการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน Concept Strategies Design of Battery Management System for PV-Hybrid Power Supply

อภิวัฒน์ อัครเมธิน และ บุญยัง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี
สำนักงานธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3420, 080-006-7104 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: apiwat4321@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวคิดการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเพื่อนำแนวคิดที่ได้ไปออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพและช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ โดยแบ่งหัวข้อของการวิเคราะห์หลักได้สามหัวข้อคือ ส่วนที่หนึ่งคือการวิเคราะห์ชนิดและองค์ประกอบพื้นฐานของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในระบบค่าพารามิเตอร์ภายในของแบตเตอรี่ ส่วนที่สองแสดงค่าความจุที่ใช้งานช่วงการคายประจุและเก็บประจุ ระยะเวลาใช้งานและช่วงของอุณหภูมิที่สามารถใช้งานได้โดยที่แบตเตอรี่ไม่เสียหายและการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่ผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณหาอุปกรณ์ในระบบเบื้องต้นได้และส่วนที่สามคือการตรวจวัดและควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่โดยประมวลผลและแสดงผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีการประมาณการสภาวะจากแบตเตอรี่ไม่เต็มเปรียบเทียบกับสภาวะที่ใช้งานจริงผ่านทางระบบตรวจวัดต่าง ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบได้และแสดงสภาวะการทำงานของระบบและแจ้งเตือนเมื่อระบบมีความผิดปกติ เพื่อนำมาวิเคราะห์ออกแบบระบบจริงได้

คำหลัก: การจัดการแบตเตอรี่, พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน, แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

Abstract

This paper presents a design concept in battery management systems for PV-Hybrid power supply as an integrated renewable energy system. To make the system more stable and to extend the lifetime of the battery, the design concept is divided into three main stages. Firstly, analysis of the basic components and parameters of a battery used in the system is considered. Secondly, Capacity and duration of discharge and charge as well as the temperature range that battery can be activated are identified and battery system simulation. Finally, measurement and control of the battery by computer program are constructed. The control system displays real-time information via a computer program by using the method of estimating the state of the battery model with the actual state through various measurements. The operating conditions of the system will alert when the system is in malfunctions the operator can analyze and react to the system on time.

Keywords: Battery management, PV hybrid power supply, Lead-Acid battery



1. บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวันและการพัฒนาประเทศ ส่วนใหญ่มนุษย์ใช้พลังงานที่มีแหล่งเชื้อเพลิงจากน้ำมัน ไม่ว่าจะเป็นการผลิตความร้อนหรือโรงไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันมีราคาแพงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามความต้องการของตลาดโลกและคาดว่าจะหมดไปในระยะเวลาอันใกล้นี้ ประกอบกับในปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นทุกปีและเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าจะได้อาจมาจากแหล่งเชื้อเพลิงคือ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมัน ซึ่งมีวิธีการและขั้นตอนการผลิตที่มากและก่อให้เกิดมลพิษ จากที่กล่าวมาข้างต้นพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน โดยใช้การทำงานร่วมกันระหว่าง พลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงเรียกว่าโฟโตโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic cell: PV cell) พลังงานลมซึ่งได้จากการรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลที่กังหันลมเพื่อนำไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวของกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าซึ่งในส่วนนี้จะพยายามออกแบบให้มีช่วงเวลาการทำงานให้น้อยที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานจึงเป็นทางเลือกอีกทางสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและยังเป็นพลังงานที่สะอาดสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการผลิตต่ำ และในระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบผสมผสานนั้นจำเป็นจะต้องมีส่วนที่เก็บพลังงานไว้ใช้ในสภาวะที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เช่น ตอนกลางคืนหรือ ขณะมีเมฆปกคลุม และช่วงที่ไม่มีลมที่ใช้ในการ

ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เพื่อลดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

ส่วนที่เก็บพลังงานสำรอง หรือ แบตเตอรี่เป็นส่วนที่จำเป็นสำหรับระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพสามารถทำงานได้ต่อเนื่องและประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนแบบผสมผสานจะมีลักษณะการออกแบบและใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่นั้น ๆ

เพื่อให้การทำงานของแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพและช่วยเพิ่มระยะเวลาการใช้งาน แบตเตอรี่ให้คงทนมากยิ่งขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่เพื่อช่วยให้ระบบมีเสถียรภาพและช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้

2. แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน

ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบพลังงานทดแทนได้ จากการศึกษาชนิดของแบตเตอรี่ที่นิยมนำมาใช้ในระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานจากการเปรียบเทียบกันของแบตเตอรี่ 3 ชนิดคือ ชนิดตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม และ แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เหล็ก [1] ชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด คือ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery) แบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) ด้วยปัจจัยหลาย ๆ อย่างเช่นในเรื่องของราคา ประสิทธิภาพและอายุการใช้งานดังแสดงให้เห็นตามตารางที่ 1

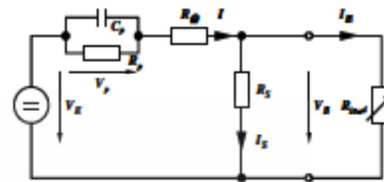
Type	Cycle life @ 80% DOD	Investment cost [€/kWh]	Specific kWh cost [€/kWh]	η [%]	Self-discharge [%/month]	Temp. range [°C]
Pb	500..1500	85..350	0.17..0.30	> 80	3..4	-15°..+50°
NiCd	1500..3500	650..1500	0.30..1.00	71	6..20	-40°..+45°
NiFe	3000	1000	0.33	55	40	0°..+40°

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ทั้ง 3 ชนิด



2.1 ทฤษฎีของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

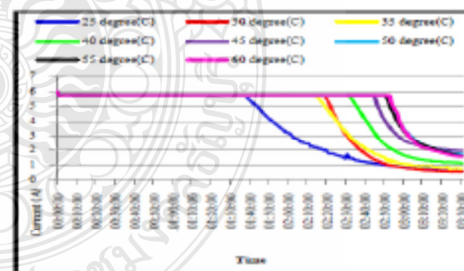
แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีอยู่หลายแบบด้วยกัน แต่ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับระบบพลังงานทดแทนมากที่สุดคือแบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานปริมาณเล็กน้อยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความเสียหายและสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% ของความจุแบตเตอรี่ โดยที่แบตเตอรี่จะไม่ได้รับความเสียหาย หลักการทำงานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญเป็น แผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและลบจุ่มอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุโมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเรื่อยๆ เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และพลังไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ให้แรงดัน 2 V ต่อเซลล์ แบตเตอรี่ 12 V จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรม เซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้ และในรูปที่ 1 จะแสดงวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ที่เกิดกระบวนการไดนามิกส์และกึ่งสแตติก โดยพิจารณากระบวนการไดนามิกส์จะถูกกำหนดด้วยปฏิกิริยาทางเคมีของกระบวนการแพร่ของไอออนในอิเล็กโทรไลต์จึงเกิดเป็นแรงดันโพลาริเซชัน (V_p) โดยจะมีค่าความจุโพลาริเซชัน (C_p) และความต้านทานโพลาริเซชัน (R_p) และค่าความต้านทานภายในกรดและอิเล็กโทรไลต์ (R_D) ต่ออยู่ และในช่วงกระบวนการกึ่งสแตติกค่า C_p จะหายไปเหลือเพียงความต้านทาน R_p และในวงจรสมมูลจะมีค่าการสูญเสียเพิ่มเติมคือ การคายประจุด้วยตัวเองซึ่งแสดงเป็นค่าความต้านทานการคายประจุด้วยตัวเอง (R_s) ต่ออยู่ในระบบ



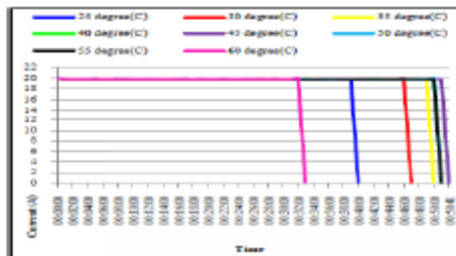
รูปที่ 1 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [1]

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโดยรอบต่ออายุการใช้งานแบตเตอรี่ [2]

ในการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่จำเป็นจะต้องศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโดยรอบที่ใช้งานของแบตเตอรี่ว่ามีผลกระทบต่ออายุการใช้งานอย่างไรเพื่อนำไปออกแบบระบบการจัดการให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นได้ จากการศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิโดยรอบที่การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดพบว่า อุณหภูมิที่ทำให้การอัดประจุได้เร็วที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 25°C และอุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่คายประจุได้นานที่สุดก่อนจะถึงแรงดันสุดท้ายที่กำหนดคือ ที่อุณหภูมิ 45°C ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 จากห้องปฏิบัติการ มทร.ธัญบุรี

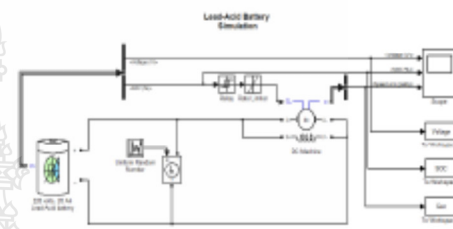


รูปที่ 3 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่VRLA รุ่น RT 12200 จากห้องปฏิบัติการ มทร.ธัญบุรี

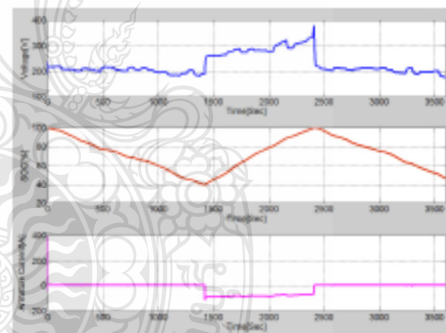
3. แบบจำลองการทำงานของระบบแบตเตอรี่

สถานะความจุของแบตเตอรี่(State Of Charge :SOC) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุของแบตเตอรี่ในขณะนั้นต่อความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่มี SOC 100 % หมายความว่าแบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็มและแบตเตอรี่มี SOC 50% หมายความว่ามีความจุเหลืออยู่ในแบตเตอรี่ครึ่งหนึ่ง ในระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นการประมาณค่าสถานะยังถูกต้องมากเท่าใดนั้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ การควบคุมและป้องกันเพื่อให้แบตเตอรี่ใช้งานได้นานยิ่งขึ้นเพราะโพลต์ที่ใช้งานในแต่ละวันของระบบพลังแสงอาทิตย์แบบผสมผสานจะไม่เท่ากันซึ่งทำให้ยากต่อการประเมินสถานะความจุของแบตเตอรี่ได้จึงจำเป็นต้องทำการประมาณค่าก่อนเพื่อนำไปออกนอกระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือได้โดยจะยกตัวอย่างการจำลองสถานะการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ผ่านทางโปรแกรม Matlab/Simulink ดังแสดงในรูปที่ 4 เพื่อให้เห็นถึงการทำงานของแบตเตอรี่ในช่วงการคายประจุให้โพลต์ไม่คงที่ระหว่าง 10A ถึง 50A ในเวลา 1 ชั่วโมงโดยระบบนี้แบตเตอรี่จะทำงานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อทำการจ่ายโพลต์และอัดประจุกลับให้แบตเตอรี่เมื่อถึงสถานะที่แบตเตอรี่คายประจุลดลงจนถึง SOC ที่ 40% และหยุดทำงานเมื่ออัดประจุให้

แบตเตอรี่ที่ SOC 100% โดยจะเห็นผลการจำลองของระบบดังรูปที่ 5 แสดงให้เห็นแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่สถานะประจุของแบตเตอรี่และการทำงานของเครื่องกำเนิดซึ่งสามารถนำผลการจำลองนี้ไปช่วยในการออกแบบระบบเพื่อคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบในเบื้องต้นได้



รูปที่ 4 วงจรการจำลองสถานะประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จาก Matlab/Simulink



รูปที่ 5 ผลการจำลองสถานะประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จาก Matlab/Simulink

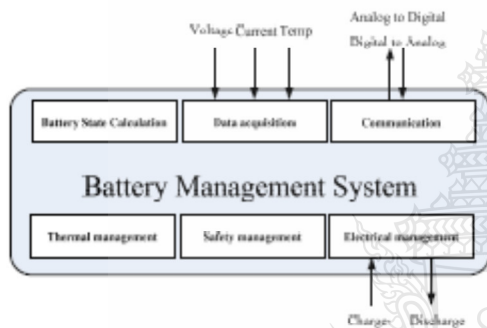
4. รูปแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System :BMS)

จากการศึกษาชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบตัวแปรต่างๆของแบตเตอรี่ที่สำคัญและการประมาณค่าสถานะความจุของแบตเตอรี่แล้ว ในหัวข้อนี้จะแสดงส่วนประกอบในระบบการจัดการแบตเตอรี่ซึ่งจะรวบรวมส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญเข้าด้วยกันเป็นระบบดัง



แสดงในรูปที่ 6 โดยมีส่วนประกอบทั้งหมดของระบบ ดังนี้

- การจัดเก็บข้อมูล
- การหาค่าสถานะแบตเตอรี่
- การจัดการระบบไฟฟ้า
- การจัดการอุณหภูมิ
- การจัดการระบบความปลอดภัย
- ระบบสื่อสาร



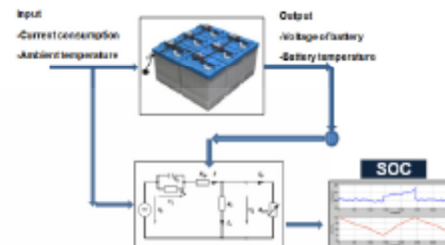
รูปที่ 6 ระบบการจัดการแบตเตอรี่ [3]

4.1 การจัดเก็บข้อมูล (Data acquisition)

ในระบบ BMS จะต้องมีการจัดเก็บข้อมูลของระบบที่ได้มาเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณจะนำมาวิเคราะห์เพื่อควบคุมและแสดงผลผ่านทางระบบซึ่งในระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นจะทำการเก็บข้อมูลในส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่กระแสไฟฟ้าที่ไหลลงและอุณหภูมิโดยรอบ

4.2 การหาค่าสถานะแบตเตอรี่ (Battery state determination)

การหาค่าสถานะของแบตเตอรี่นั้นจะเป็นการหาค่าจากค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้เทียบกับแบตเตอรี่โมเดลและนำไปคำนวณหาค่าสถานะของแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนแปลงตามสถานะการใช้งานและอุณหภูมิที่ใช้งานจริง ณ ช่วงเวลาปัจจุบันเพื่อให้ได้ค่าสถานะของแบตเตอรี่ที่ได้แม่นยำมากยิ่งขึ้นเพื่อช่วยในการออกแบบระบบควบคุมและป้องกันให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ระบบการหาค่าสถานะของแบตเตอรี่

4.3 การจัดการระบบไฟฟ้า (Electrical management)

การจัดการตัวแปรในระบบการจัดการแบตเตอรี่ เช่น กระแสไฟฟ้าที่ไหลลง แรงดันไฟฟ้าสถานะความจุของแบตเตอรี่เพื่อควบคุมการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่

4.4 การจัดการอุณหภูมิ (Thermal management)

การจัดการระบบควบคุมอุณหภูมิของระบบแบตเตอรี่เพื่อให้แบตเตอรี่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่กำหนดไว้โดยพิจารณาการออกแบบนี้ด้วยปัจจัยพื้นฐานคืออุณหภูมิใช้งานมีผลกับสมรรถนะและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้แบตเตอรี่มีความสามารถในการจ่ายประจุไฟฟ้าสูงขึ้นแต่จะทำให้อายุการใช้งานลดลงจึงต้องมีการจัดการอุณหภูมิให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมต่อการใช้งาน [4]

4.5 การจัดการระบบความปลอดภัย (Safety management)

การจัดการระบบเพื่อป้องกันแบตเตอรี่ไม่ให้งานในสถานะที่อันตรายซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควรโดยไม่ให้งานที่สถานะที่อันตรายดังนี้ [5]

- Deep discharge cycle
- Over temperature
- Over charge cycle



4.6 ระบบสื่อสาร (Communication)

เป็นส่วนที่เชื่อมต่อข้อมูลในส่วนประกอบของระบบต่างๆ ให้เป็นระบบการจัดการแบตเตอรี่โดยจะเชื่อมต่อข้อมูลได้หลายแบบเช่น

-Analogous signals

-Serial interface

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอแนวคิดการออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานโดยแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบจัดการแบตเตอรี่อย่างง่ายเพื่อนำมาวิเคราะห์ออกแบบในระบบจริงได้ โดยทำการรวบรวมเนื้อหาของส่วนต่างๆที่จะนำมาใช้ประกอบเป็นระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่สมบูรณ์ได้

ในส่วนที่หนึ่งแสดงการเลือกใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน พร้อมทั้งแสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการออกแบบระบบ

ส่วนที่สองแสดงค่าความจุที่ใช้งานช่วงการคายประจุและเก็บประจุ ระยะเวลาใช้งานและช่วงของอุณหภูมิที่สามารถใช้งานได้โดยที่แบตเตอรี่ไม่เสียหาย และการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่ผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณหาอุปกรณ์ในระบบเบื้องต้นได้

ส่วนสุดท้ายคือส่วนที่แสดงส่วนประกอบทั้งหมดที่ใช้แสดงผลควบคุมและป้องกันระบบในระบบการจัดการแบตเตอรี่ซึ่งจะช่วยให้การออกแบบระบบจริงง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] บุญยัง ปลั่งกลาง "Photovoltaic system technology" มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี (2553)

[2] พรชัย พรฤทธิ์ "การทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด", การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่7, (2554)

[3] A.Jossen "Battery Management Systems (BMS) for Increasing Battery Life Time" Center for Solar Energy and Hydrogen Research (ZSW Ulm), Helmholtzstr. 8,89081 Ulm, Germany.(1999)

[4] โฆษิต วงศ์ปิ่นแก้ว "หลักการทํางานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด", งานสัมมนา เทคโนโลยีการประยุกต์ใช้แบตเตอรี่เพื่อการสำรองไฟฟ้า, โรงแรมดิเอ็มเมอรัล กรุงเทพฯ, 2552

[5] เกษียร สุชีโมกข์ "ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ", บริษัท พีอีซีเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด (2552)



ข.4 บทความวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ระดับนานาชาติ 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium

10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium








Energy Technology, Environmental and Social Impact, Nanotechnology and Material Technology, Energy Economic and Management, Nuclear Technology, New Technology and Other topics related to energy field.

On December 5-8, 2012
Sunee grand hotel,
Ubon-ratchathani

Organized by

Co-organized by

KEYNOTE SPEAKER

INVITED SPEAKER : IN

ENERGY TECHNOLOGY : ET

ENVIRONMENTAL AND SOCIAL IMPACT : ES

NANOTECHNOLOGY AND MATERIAL TECHNOLOGY : NM

ENERGY ECONOMIC AND MANAGEMENT : EM

NEW ENERGY TECHNOLOGY : NT

10th EMSES 2012**International Scientific Advisory Committee:****General Chair:**

Assoc.Prof.Dr. Namyoot SONGTHANAPITAK RMUTT, Thailand

General Co-Chair:

Prof. Dr. Kiyoshi YOSHIKAWA Kyoto Uni., Japan

Asst.Prof.Dr. Panpetch CHININTORN RMUTT, Thailand

Organizing Chair:

Asst. Prof. Dr.Somma PIVSA-ART RMUTT, Thailand

Prof. Dr. Takeshi YAO Kyoto Uni., Japan

Organizing Co-Chair:

Prof. Dr. Hideaki OHGAKI Kyoto Uni., Japan

International Scientific Committees:

Prof. Dr. Susumu YOSHIKAWA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr. Phadungsak RATTANADECHO TU, Thailand

Prof. Dr. Shiro SAKA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr. Hitomi OHARA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr.-Ing. Habil Ingo STADLER FH Koeln, Germany

Prof. Dr. Young S. CHAI Korea

Prof. Dr. Nipon TANGTHAM KU, Thailand

Prof. Dr. Masayoshi OKUBO Osaka Uni, Japan

Prof. Dr. Somchai WONGWISES KMUTT, Thailand

Prof. Dr. Nadarajah MITHULANANTHAN UQ, Australia

Prof. Dr. Yukio OGATA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr. Yuichi ANADA Hokkaido Info. Uni., Japan

Prof.Dr. Narongrit SOMBATSOMPOP KMUTT, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Bandit FUNGTAMMASAN KMUTT, Thailand

Assoc. Prof. Dr. K. Srinivas REDDY IIT-Madras, India

Assoc. Prof. Dr. David Jan COWAN IUPUI, USA

Assoc. Prof. Dr. Per B ZETTERLUND Australia

Assoc. Prof. Dr. Vijit KINNARES KMUTT, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Yoshikazu SUZUKI Japan

Assoc. Prof. Dr. Thawatch KERDCHEUN RMUTI, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Wakin PIYARAT SWU, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Seiichi KAWAHARA Nakaoga Uni., Japan

Assoc.Prof.Dr. Kawee SRIKULKIT CU, Thailand

Asst. Prof. Dr. Somchai HIRANVAROMDOM RMUTT, Thailand

Asst. Prof. Dr. Wanchai SUBSINGHA RMUTT, Thailand

Asst. Prof. Dr. Thanapong SUWANNASRI KMUTNB, Thailand

Asst. Prof. Dr. Napapom PHUANGPORNPIITAK KU, Thailand

Asst. Prof. Dr.Boonrit PRASARTKAEW RMUTT, Thailand

Asst.Prof.Dr.Supakit SUTTIRUENGWONGSU, Thailand

Asst. Prof. Dr Vallop PHUPA RMUTP, Thailand

Asst.Prof.Dr.Pramook UNAHALEKHAKA RMUTSB, Thailand

10th EMSES 2012

Dr.Arthit Sode-Yome	EGAT, Thailand
Dr. Sei-ichi AIBA	Japan
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Dr. Yuttana KAMSUWAN	RMUTT, Thailand
Dr. Jakkree SRINONCHAT	RMUTT, Thailand
Dr. Chatchai SOPPAPITAKSAKUL	RMUTT, Thailand
Dr. Pinit SRITHORN	RMUTI, Thailand
Dr. Uthen KAMNAN	RMUTL, Thailand
Dr. Cattariya SUWANNASRI	KMUTNB, Thailand
ASEAN Committee:	
Prof. Dr. YoyokWahyuSubroto	UGM,Indonesia
Prof. Dr. WegaTRISUNAYANTI	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Tumiran	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Jun LI	NYU, Singapore
Prof. Dr. INTHAN	ITB, Indonesia
Prof. Dr. Khamphone NANTHAVONG	NOL, Laos
Prof. Dr. Kampui SOUTHISOMBHAT	NOL, Laos
Prof. Dr. Yew Wei LEONG	NYU, Singapore
Prof. Dr. Nguyen Minh TAN	HU, Vietnam
General Secretary:	
Asst.Prof.Dr.Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Dr. Sumonman NIAMLANG	RMUTT, Thailand
Technical Program Chair:	
Asst.Prof.Dr.Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Area: Energy Technology(ET)	
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr.Boonrit PRASARTKAEW	RMUTT, Thailand
Dr. Sathapron THONGWIK	RMUTT, Thailand
Dr. Nathabhat PHANKONG	RMUTT, Thailand
Area: Environmental and Social Impact(ES)	
Dr. Nithiwat CHOOSAKUL	RMUTT, Thailand
Area: Nanotechnology and Materials Science(NM)	
Dr. Sorapong PAVASUPREE	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Kitipong KIMAPONG	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Sirichai TORSAKUL	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Warunee ARIYAWIRIYANANT	RMUTT, Thailand
Area: Energy Economic and Management(EM)	
Assoc.Prof.Dr. Natha KUPTHASTHIEN	RMUTT, Thailand
Dr. Surin NGAEMNGAM	RMUTT, Thailand
Dr. Pinnapat IEMSOMBOON	RMUTT, Thailand
Area: New Energy Technology(NT)	
Dr. Boonyang PLANGKLANG	RMUTT, Thailand
Area: Nuclear Technology(NU)	
Asst.Prof.Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand

10th EMSES 2012

Exhibition Chair:

Dr. Amnoiy REUNGWAREE RMUTT, Thailand

Dr. Winai CHANPENG RMUTT, Thailand

Local Arrangement Chair

Dr. Sorapong PAVASUPREE RMUTT, Thailand

Dr. Natee SRISAWAT RMUTT, Thailand

Registration and Finance Chair

Dr. Sumonman NIAMLANG RMUTT, Thailand

Dr. Supapom THOMSORN RMUTT, Thailand

Weerapom PIVSA-ART RMUTT, Thailand

Publicity Chair

Asst.Prof.Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH RMUTT, Thailand

Dr. Sumonman NIAMLANG RMUTT, Thailand

Dr. Montip LASURIYONTA RMUTT, Thailand

Somchai BIANSOONGNERN RMUTT, Thailand

Publication Chair:

Prof. Dr. Preecha P.YUPAPIN KMITL, Thailand

Assoc.Prof.Dr.Takashi SAGAWA Kyoto Uni., Japan

Dr. Boonyang PLANGKLANG RMUTT, Thailand

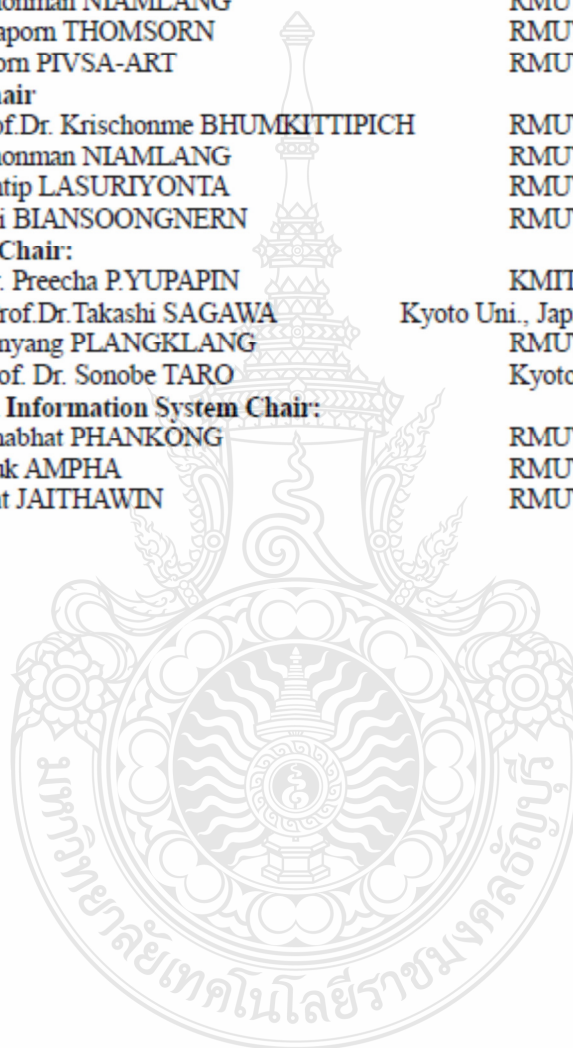
Asst. Prof. Dr. Sonobe TARO Kyoto Uni., Japan

Website and Information System Chair:

Dr. Nathabhat PHANKONG RMUTT, Thailand

Phongsuk AMPHA RMUTT, Thailand

Deachrat JAITHAWIN RMUTT, Thailand



CONTENT

ET32	Monitoring of 120 kWp PV Microgrid System <i>Wasivirod Netisak and Nipon Ketjoy</i>	217
ET33	Design of Real Time Management Unit for Power Battery in PV-Hybrid Power Supplies by Application of Coulomb Counting Method <i>A. Aussawamaykin and B. Plangklang</i>	220
ET34	A Technique of Heat Pipe Filling with R-134a <i>Thanaphol Sukchana, Naris Pratinthong</i>	225
ET35	Effect of Filling Ratios and Adiabatic Length on Thermal Efficiency of Long Heat Pipe Filled with R-134a <i>Thanaphol Sukchana, Chaiyui Jaiboonma</i>	229
ET36	Optimal Distributed Generation Placement and Sizing for Power Loss Reduction Using Particle Swarm Optimization <i>W. Phuangpornpitak and K. Bhunkittipich</i>	234
ET37	A Computer Program for Evaluating the Risk of Lightning and Designing Installation of Lightning Rod for Photovoltaic System <i>S. Ittarat S. Hiranvarodom and B. Plangklang</i>	239
ET38	Speed and Power Control a Slip Energy Recovery Drive Using Voltage-Source PWM Converter with Current Controlled Technique <i>S. Tunyasriut and V. Kimares</i>	243
ET39	Study of Energy Saving from Elevator Energy Regenerative Unit (EERU) Case Study: RMUTT, Thailand <i>Thanit Phanprayool and Boonyang Plangklang</i>	249
ET41	Experimental Investigation of the Effect of Adiabatic Length on the Efficiency of Thermosyphon Heat Pipe Filled with R-134a <i>Thanaphol Sukchana and Naris Pratinthong</i>	253
ET42	Voltage Control by DQ Frame Technique of SVPWM AC-DC Converter <i>N. Mounghum and W. Subsingha</i>	258

Design of Real Time Management Unit for Power Battery in PV-Hybrid Power Supply by Application of Coulomb Counting Method

A. Aussawamaykin and B. Plangkidang

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110
E-mail: boonayang.en.rmutt.ac.th, apiwat4321@hotmail.com

Abstract— This paper presents a design of real time battery management unit as an integrated renewable energy system for PV-Hybrid power supply using application of coulomb counting method. To make the hybrid system more stable and to extend the lifetime of the battery, the battery management is therefore compulsory. The battery management unit is divided into three main stages. Firstly, analysis of the basic components of a battery type used in the system is considered. Secondly, State of charge (SOC) estimation method and deterioration factor of battery are analyzed. Finally, overall of battery management system including a measurement and control unit by computer program is constructed. The control system displays real-time information via a LabVIEW 8.5 using the method of estimating the state of charge with the actual state through various measurements. The operating conditions of the system will alert when the system detects malfunctions, the operator can analyze and react to the system on time to make the system more stable and to extend the battery lifetime.

Keywords— Battery management system, PV hybrid power supply.

1. INTRODUCTION

The current situation, electrical energy demand is increasing every year and the most fuels which are used to produce electrical energy, come from coal, natural gas and petroleum and these types of fuel commonly produce more pollution effecting to environment. Therefore the above mention of electrical energy from hybrid renewable energy is becoming one of the best choices for supply electrical energy.

Hybrid renewable energy systems (HRES) are becoming popular for remote area power generation applications due to advances in renewable technologies and subsequent rise in prices of petroleum products. A hybrid energy system usually consists of two or more renewable energy sources used together to provide increased system efficiency as well as greater balance in energy supply. The most used type of HRES is a photovoltaic (PV) array coupled with a generator. Hybrid energy systems oftentimes yield greater economic and environmental returns than photovoltaic stand-alone systems. For stability of HRES the system need to storage energy system for supply load in conditions where PV cannot generate electricity, such as at night or when there is cloud covering to reduce operation of a generator.

The HRES storage system unit is normally a Battery system. Thus batteries have to be considered to increase performance, battery life time as well as durability. Therefore in this application, a battery management system (BMS) for control working condition of battery to allow the system to keep the system stable and help extend the useful life of the battery is needed.

2. BASIC ELEMENTS OF A BATTERY IN SOLAR ENERGY SYSTEM

2.1 TYPE OF BATTERY

In a practice, all kinds of battery can be use in renewable energy system. The various types of batteries commonly used in Hybrid system. For comparison, three battery types including Lead-acid, Nickel-cadmium, and Nickel-iron are considered. It found that the most

common battery used in renewable energy system is Lead-acid battery which is the deep discharge type because of several factors such as the price, performance and battery life time as show in table 1.

Table 1. Comparisons of battery 3 type [1]

Type	Cycle life until 90% DOD	Investment cost [฿/kWh]	Specific kWh cost [฿/kWh _c]	η [%]	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°
NaFe	3000	1000	0.33	55	40	0°...+40°

2.2 THEORY OF LEAD-ACID BATTERY [2]

The lead-acid battery is still used today in automobiles and other applications where weight is not a concerned factor. In the 1970s the valve regulated lead acid battery (often called "sealed") was developed that used a gel electrolyte instead of a liquid, allowing the battery to be used in different positions without leakage.

In the discharged state, both the positive and negative plates become lead sulfate ($PbSO_4$) and the electrolyte loses much of its dissolved sulfuric acid and becomes primarily water. The discharge process is driven by the conduction of electrons from the negative plate back into the cell at the positive plate in the external circuit. In the charged state, each cell contains negative plates of elemental lead (Pb) and positive plates of lead oxide (PbO_2) in an electrolyte of sulfuric acid (H_2SO_4).

The charging process is driven by the forcible removal of electrons from the positive plate and the forcible introduction of them to the negative plate by the charging source. Lead-acid batteries there are several types. The suitable type for use with renewable energy systems is deep discharge type cause is this type design for long time small amounts of power continuously without battery damage and can be use electrical energy maximum 80 percent of battery capacity.

2.3 STATE OF CHARGE ESTIMATION METHOD

State of charge (SOC) is the equivalent of a fuel gauge for the battery pack. The units of SOC are percentage points, 0 percent is empty, 100 percent is full. An alternate form of the same measure is the depth of discharge (DOD), the inverse of SOC 100 percent is empty, 0 percent is full. SOC is normally used when discussing the current state of a battery in use, while DOD is most often seen when discussing the lifetime of the battery after repeated use.

In battery management system state estimation must be accurate. It will effect to the performance of the battery including control and protection for extending the life time of battery. In practical application, to estimate the SOC is very difficult become load of hybrid system is not smoothly stable.

It is therefore necessary to calculation state of charge estimation of battery system for apply to battery management system (BMS) designed for increasing performance and reliability of system.

State of charge estimation has many methods according to usage. In table 2 is comparisons method for SOC estimation.

Table 2. Example of Technique method for SOC estimation [3]

Technique	Battery type	Advantages	Drawbacks
Discharge test	All battery system	Easy and accurate	Offline, low intensity loss of energy
Voltage Based Estimation	Lead, Li-Ion, Zn	Easy	Long rest time, offline
Coulomb Counting	All battery system	Online, easy	Needs re-calibration point
Kalman Filtering	All battery system	Online, Dynamic	Computationally intensive, Needs a suitable battery model
Neural Network	All battery system	Online	Need training data of similar battery

From a comparisons of technique SOC estimation, this paper presents Coulomb counting method for applying in battery management system for PV-hybrid power supply because this method can be real-time monitoring at unstable load consumption condition and easy to calculation.

2.4 SOC ESTIMATION BY COULOMB COUNTING

The estimation method for determining the state of charge condition calculates the SOC by measuring the battery current and then integrating it on time. Since no measurement can be perfect, this method suffers from long-term drift and lack of a reference point. Therefore,

the SOC must be re-calibrated on a regular basis, such as by resetting the SOC to 100 percent when a charger determines that the battery is fully charged.

For real time estimation, this method will be calculates equation (1) with real time parameter from sensor and setting SOC initial to 100 percent.

$$SOC(t) = SOC_{init} - \int_0^t \frac{i(t)}{C_n} dt \quad (1)$$

Where $SOC(t)$ = State of charge real time
 SOC_{init} = Initial state of charge
 $i(t)$ = Discharge current real time
 C_n = Capacity of battery

2.5 DETERIORATION FACTOR OF BATTERY [4]

Ambient temperature effects, as the battery are used in system the positive plate is lead oxide and the negative plate is lead. Both plates dip in sulfuric acid the corrosion is inevitable by the temperature is acceleration the corrosion of the plate and rate of deterioration varies with temperature requirements by IEEE1184 [5].

Float charge voltage, over charge voltage or under charge voltage will effect to deterioration rate of battery when floating charge voltage is under rate, battery will have sulfating at positive plate and negative plate if floating charge voltage is over, rate battery will lose of water effecting to battery deterioration.

Discharge cycle, number of discharge cycle is a one of causes to battery deterioration for the battery used both in discharge cycle or charge cycle. Battery plate will have corrosion effect to battery deterioration.

3. PROPOSED BATTERY MANGEMENT SYSTEM

This topic presents basic theory of lead-acid battery, techniques method for state of charge estimation, and determination deteriorate of battery is presented. A complement of battery management system by summary all sections for building battery management system for PV-hybrid power supply as show in figure 1,2.

Figure 1 shows program for control and calculation. Figure 2 shows monitoring display section of battery management system. It comprises of 4 sections. Section 1 will show voltage graph of battery and load current for monitoring system. Section 2 will show digital value of battery voltage, PV voltage, PV charge current, and DC generator charge current. Section 3 will show graphic display of SOC battery. Finally, Section 4 will show alert system if system is detects malfunctions the operator can analyze and react to the system on time.

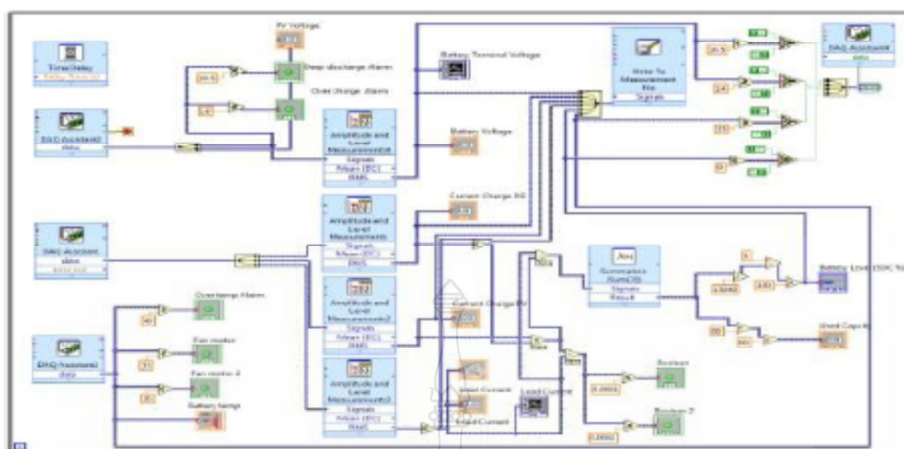


Fig.1. Program control of BMS

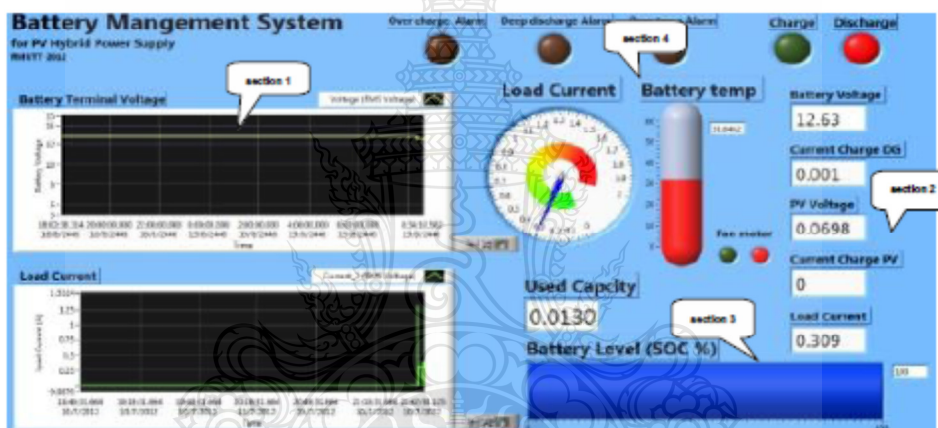


Fig.2. Display monitoring of BMS

3.1 DATA ACQUISITION

All algorithm of the BMS use to measure and calculate data as input information. Therefore the accuracy, the sampling rate and the characterization of front end filtering are very important and depend on type of application.

The communication between the BMS and other onboard and off board devices is another important task of the BMS. Depending on the application different interface system for data exchange, this paper used Local Area Network : LAN by NicDAQ-9188 and module NI9225,NI9227,NI9211 and NI9401 is show in figure 3.

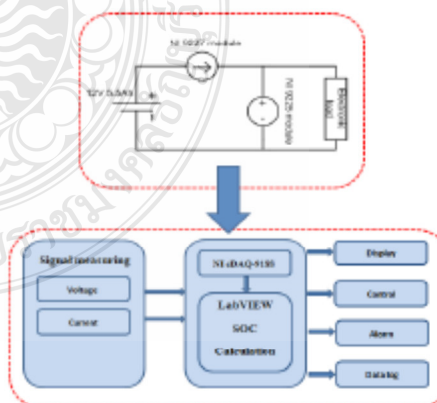


Fig.3 Data acquisition block of Coulomb counting method

3.2 ELECTRICAL MANAGEMENT

Within the electrical management the input parameters is current, voltage and SOC are used to control the charge and discharge process.

3.3 THERMAL MANAGEMENT

A thermal management is necessary for most high power application and for high temperature battery. The tasks of the thermal management system are temperature equalization of battery and cooling of battery. Therefore liquid or air systems are used. For this paper presents cooling system for battery by air when the battery used at 35°C and stop battery operation when the battery used at 50°C to extend the life time of battery.

3.4 SAFETY MANAGEMENT

The safety management has to protect the battery against critical operation conditions. For this paper design Safeties are:

- Deep discharge cycle control by stopping battery operation when battery voltage is 80% DOD.
- Over charge voltage control by controlling battery voltage not over 115 percent of rate voltage.

3.5 BATTERY STATE DETERMINATIONS

The battery state is used as an input parameter for the management and additionally it is an important parameter. For SOC determination in this paper is using coulomb counting method. Then the result from the constructed BMS by coulomb counting method will be compared with the standard test of battery by MTB-series modules in RMUTT Laboratory (Figure 4) using lead-acid battery 12V, 5.5Ah The discharge current is 1A. The comparison result is show in figure 5.

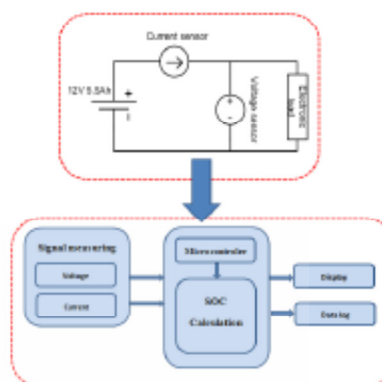


Fig.4 SOC calculation by MTB-series



Fig.4 SOC testing system of BMS at RMUTT Lab

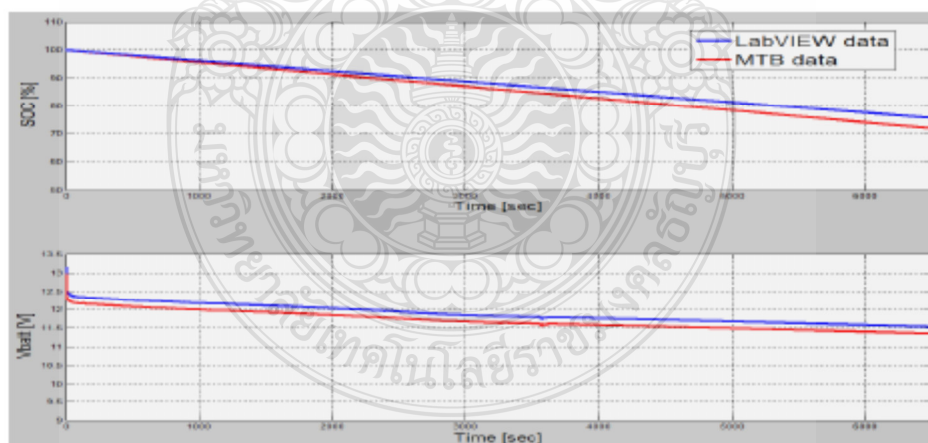


Fig.5 SOC compare result MTB with LabVIEW

From figure 5, the results indicate SOC compared of the two systems by starting from 100 percent. Coulomb counting method has 5 percent error comparing with MTB-series estimate.

4. CONCLUSIONS

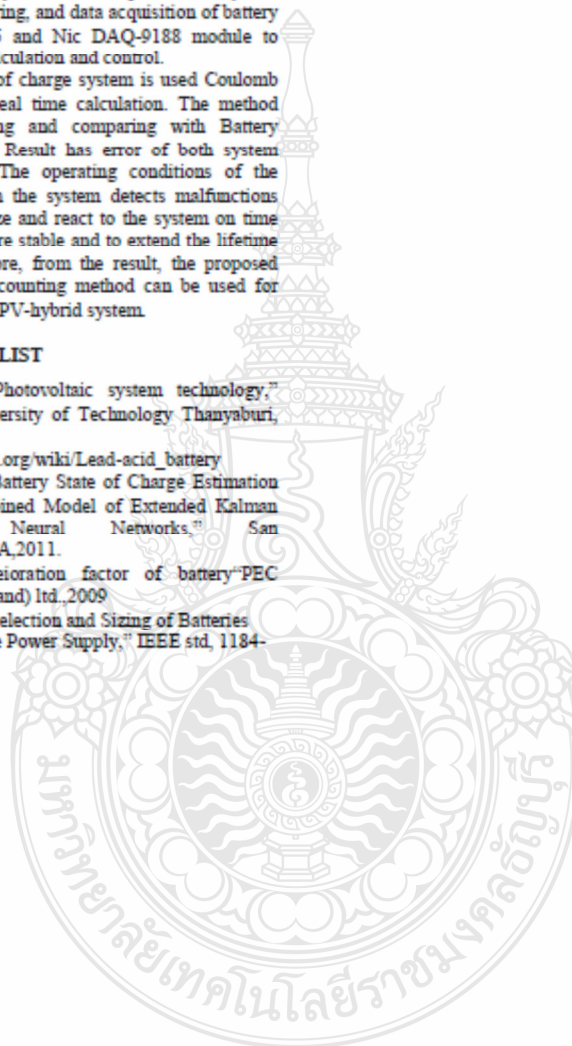
This paper presents real time battery management system for PV-hybrid power supply by application of coulomb counting method, by showing of proposed system and method to design.

The designed system has a protection system control system, monitoring, and data acquisition of battery by using LabVIEW8.5 and Nic DAQ-9188 module to input parameters for calculation and control.

Estimation state of charge system is used Coulomb counting method for real time calculation. The method has verified by testing and comparing with Battery Testing MTB -series. Result has error of both system estimated 5 percent. The operating conditions of the system will alert when the system detects malfunctions the operator can analyze and react to the system on time to make the system more stable and to extend the lifetime of the battery. Therefore, from the result, the proposed BMS using Coulomb counting method can be used for battery management in PV-hybrid system.

5. REFERENCES LIST

- [1] B.Plangklang "Photovoltaic system technology," Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 2010.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Lead-acid_battery
- [3] Zhibang Chen "Battery State of Charge Estimation Based on a Combined Model of Extended Kalman Filter and Neural Networks," San Jose, California, USA, 2011.
- [4] K.Sukrmoak "Deteioration factor of battery" PEC technology (Thailand) ltd., 2009
- [5] IEEE "Guide for Selection and Sizing of Batteries for Uninterruptible Power Supply," IEEE std, 1184-1994.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายอภิวัฒน์ อัสวเมธิน
วัน เดือน ปีเกิด	6 พฤศจิกายน 2527
ที่อยู่	94/6 ถ.กลางเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น พ.ศ.2551
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2551 – พ.ศ. 2555	วิศวกรออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ บริษัท ไทยซัมซุงอิเล็กทรอนิกส์จำกัด
พ.ศ. 2555 – ปัจจุบัน	วิศวกรควบคุมคุณภาพ ที่ บริษัท พานาโซนิค แมนูเฟคเจอร์ริง

