

การจัดการระบบเก็บสะสมพลังงานสำหรับการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ
BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR SMART GRID APPLICATIONS

โดย

นายคณิน

ทวีศุภพงษ์

นายณพัศ

จิตสัมพันธ์เวช

นายณภัทรภณ

พิลา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

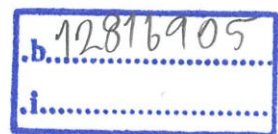
การจัดการระบบเก็บสะสมพลังงานสำหรับการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ

BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR SMART GRID APPLICATIONS



โดย

นายคณิน	ทวีศุภพงษ์
นายณพัศ	จิตสัมพันธ์เวช
นายณภัทร์ภณ	พิลา



สาขา.....
เลขทะเบียน 144434
วันที่เดือนปี 24 ก.ย. 2559

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR SMART GRID APPLICATIONS

KANIN	THAWEESUPAPONG
NAPAT	JITSAMPHANTHAVATE
NAPATPON	PILA

THIS PROJECT IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENERGY ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELETRICAL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MINGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2015

ปีการศึกษา 2558

การจัดการระบบเก็บสะสมพลังงานสำหรับการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ

BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR SMART GRID APPLICATIONS

โดย

นายคณิน

ทวีศุภพงษ์

นายณพัศ

จิตสัมพันธ์เวช

นายณภัทร์ภณ

พิลา

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ประภาศ ไพรสสุวรรณ

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การจัดการระบบเก็บสะสมพลังงานสำหรับการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ

ผู้จัดทำ

- | | |
|----------------|----------------|
| 1. นายคณิน | ทวีศุภพงษ์ |
| 2. นายณพัศ | จิตสัมพันธ์เวช |
| 3. นายณภัทร์ภณ | พิลา |

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ประภาช ไพรสุวรรณ)

การจัดการระบบเก็บสะสมพลังงานสำหรับการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ

นายคณิน ทวีศุภพงษ์
นายณพัศ จิตสัมพันธเวช
นายณภัทร์ภณ พิลลา
รศ. ประภาช ไพโรสุวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำเพื่อการศึกษา และพัฒนาการควบคุม และตรวจสอบระบบการจัดการแหล่งเก็บสะสมพลังงานชนิดลิเทียมไอออน ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาต่างๆในระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในระบบ รวมถึงการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดจากการใช้งานแหล่งเก็บสะสมพลังงาน ที่นำไปสู่การเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วของระบบเก็บสะสมพลังงาน ปริญญานิพนธ์นี้ได้ออกแบบระบบควบคุม ระบบแสดงผลการทำงานโดยการส่งการของอินเวอร์เตอร์ ตลอดจนออกแบบระบบตรวจสอบสถานะของระบบเก็บสะสมพลังงานถึงระดับเซลล์ จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่ ค่ากระแส ค่าแรงดัน ค่าอุณหภูมิ โดยใช้การสื่อสารแบบ CAN ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ มาทำการวิเคราะห์ และทำงานร่วมกับระบบอื่น ๆ ข้างต้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นต่อระบบเก็บสะสมพลังงานขณะใช้งาน โดยสามารถควบคุม และแสดงผลการทำงานแบบเรียลไทม์ผ่านทางหน้าจอแสดงผล

BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR SMART GRID APPLICATIONS

Mr.Kanin Thaweepapong

Mr.Napat Jitsamphanthavate

Mr.Napatpon Pila

Assoc. Prof. Prapart Prisuwanana Supervisor

Year 2015

ABSTRACT

This thesis proposes the operation and control methodologies for a Battery Energy Storage System (BESS) designed to mitigate the negative impacts of lithium-ion energy storage from being used, by designing a Battery Monitoring System (BMS) to provide real time statuses of batteries parameters such as current voltage and temperature in order to prevent energy storage from deterioration. The data of parameters will be sent through CAN-bus that allows microcontrollers and devices to communicate with each other in applications without host computer. Including, providing energy storage control system for smart grid supporting in low voltage distribution which run in co-operation with BMS. These systems are controlled and resulted in the real time monitor.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ สมบูรณ์ได้เป็นอย่างดีด้วยความกรุณา และคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย และ รศ.ประภาช ไพรสวรรณา ที่ได้กรุณาให้ความรู้ ข้อแนะนำต่าง ๆ รวมถึงการเอาใจใส่และให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด โดยเริ่มต้นจากการแนะนำ ทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการให้คำปรึกษาต่าง ๆ เมื่อเกิดปัญหาระหว่างโครงการวิจัย

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจนอาจารย์ในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้ให้คำสั่งสอน และให้ความรู้ซึ่งเป็นทรัพย์สินที่มีค่าที่สุดในการประกอบอาชีพ

ขอขอบพระคุณอาคารปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทน REAL(Renewable Energy Application Laboratory) ที่เอื้อเพื่อเครื่องมือในการทดลอง ตลอดจนสมาชิก เพื่อน ๆ พี่ ๆ ที่คอยช่วยเหลือซึ่งกันและกันมาโดยตลอด ขอขอบคุณ พี่เล็ก พี่เอก พี่หมู พี่บอย พี่น็อต และพี่ตัน ที่คอยช่วยเหลือ จนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ได้มอบทุนวิจัยให้กับโครงการปริญญานิพนธ์นี้ จนสามารถดำเนินงานได้อย่างเต็มที่ และสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้อุปการะเลี้ยงดูอบรมสั่งสอน ส่งเสริมทางด้านการศึกษาจวบจนวันนี้ จนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในครั้งนี้ได้ ประโยชน์อันพึงเกิดจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ทุกท่านที่สนใจ สามารถนำไปศึกษา และประยุกต์ใช้ในการพัฒนาและใช้ในงานวิจัยด้านอื่น ๆ ต่อไป

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดโครงการงาน	3
1.4 วิธีที่ใช้ในโครงการงาน	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 บทนำ	6
2.2 ชนิดของแบตเตอรี่	6
2.2.1 แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ(Primary Battery)	6
2.2.2 แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ (Secondary Battery)	6
2.2.2.1 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน (Lithium-ion)	7
2.3 คุณสมบัติของแบตเตอรี่	8
2.3.1 คุณสมบัติทางเคมี	8
2.3.2 แรงดัน	8
2.3.3 ความจุของแบตเตอรี่ (Capacitor)	8
2.3.4 พลังงานจำเพาะและความหนาแน่นของพลังงาน	8
2.3.5 กำลังจำเพาะ (Specific power)	9
2.3.6 ซี-เรต (C-rates)	9
2.3.7 Stage of charge (SOC)	9
2.3.8 Depth of charge (DOD)	9
2.3.9 อุณหภูมิ	9
2.3.10 รอบการใช้งาน (Cycle)	10
2.4 การอัดประจุ	10
2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการอัดประจุไฟฟ้า	10
2.4.2 ประเภทของการอัดประจุไฟฟ้า	12
2.5 การใช้งานแบตเตอรี่อย่างเหมาะสม	13
2.6 สถานะการประจุแบตเตอรี่	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 มาตรฐานการทดสอบสภาพแบตเตอรี่	15
2.8 ระบบจัดการแบตเตอรี่	16
2.8.1 หลักการทำงานของ CAN	18
2.8.2 ข้อดีของระบบสื่อสารแบบCAN	18
2.8.3 ข้อเสียของระบบสื่อสารแบบCAN	18
2.8.4 ความเสถียรภาพของการทำงาน	19
2.9 EIA-232 / RS-232 INTERFACE	19
2.9.1 องค์ประกอบหลักของ EIA-232	20
2.9.2 อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate)	24
2.9.3 รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม	24
2.10 การควบคุมแรงดันไฟฟ้า	25
2.11 อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า (Ramp-rate)	26
2.12.สรุป	26
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	27
3.1 บทนำ	27
3.2 การเชื่อมต่อวงจรทดสอบแบตเตอรี่	27
3.3 การเชื่อมต่อวงจรทดสอบกับระบบโครงข่าย	28
3.4 ข้อมูลแบตเตอรี่ที่ใช้ทำการทดลองชนิด Li-ion	29
3.5 โปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens	30
3.6 การออกแบบวงจรกำลัง	30
3.7 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในตู้แบตเตอรี่	31
3.8 การออกแบบอุปกรณ์การตรวจวัด	32
3.8.1 Current transducer	32
3.8.2 Voltage transducer	33
3.8.3 ตัวต้านทานขนาด 100 โอห์ม 10 วัตต์	33
3.8.4 ตัวต้านทานขนาด 500 โอห์ม 10 วัตต์	34
3.8.5 วงจรเรียงกระแส	34
3.8.6 Wireless signal	34
3.9 การออกแบบวงจรไฟฟ้ากำลังผ่านโปรแกรม PSIM Simulation	35
3.9.1 การทดลองหาผลการตอบสนองในช่วง Discharge Mode	35
3.9.2 การทดลองหาผลการตอบสนองในช่วง Charge Mode	36
3.10 สรุป	37
บทที่ 4 ผลการทดลอง	38
4.1 บทนำ	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การอ่านข้อมูลระดับเซลล์ภายในแบตเตอรี่โดยใช้ CAN BUS Analyser เปรียบเทียบกับ chipKit MAX 32	38
4.3 โปรแกรมแสดงผลค่าพารามิเตอร์จากแบตเตอรี่	40
4.3.1 โปรแกรมการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์จากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	40
4.3.2 โปรแกรมการตรวจสอบสถานะแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่าย	41
4.4 ขั้นตอนการคำนวณเพื่อหาค่าสถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่	42
4.5 ผลการทดลองแบตเตอรี่เพื่อหาค่าสถานะการอัดประจุ	43
4.5.1 ผลการทดลองหาค่าพลังงานเฉลี่ยจากค่าสถานะการอัดประจุ	43
4.5.2 การทดสอบแบตเตอรี่เพื่อหาค่าสถานะการอัดประจุ (SOC)	43
4.5.3 การทดสอบการใช้ระบบสะสมพลังงานไฟฟ้า เพื่อดูผลการตอบสนองของแรงดันโครงข่าย	44
4.5.4 การทดสอบการใช้ระบบสะสมพลังงาน เพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์	45
4.6 สรุป	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผลการทดลอง	48
5.2 ข้อเสนอแนะ และปัญหาที่พบ	49
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อยอด	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	51
ภาคผนวก ก ตู้แบตเตอรี่ที่ใช้ในปริญญาานิพนธ์	52
ภาคผนวก ข เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ปริญญาานิพนธ์	57
ภาคผนวก ค ข้อมูลการสร้างหน้าจอแสดงผลจาก CAN BUS Analyser, chipKIT MAX 32	59
ภาคผนวก ง บทความทางวิชาการ	81
ภาคผนวก จ โปสเตอร์นำเสนอผลงาน	86
ประวัติผู้เขียน	88

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ	1
2.1 ปฏิกริยาไฟฟ้าเคมีระหว่างแอโนดและแคโทด	7
2.2 ผลของอุณหภูมิต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่	9
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	11
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภายในแบตเตอรี่ และเวลาในการคายประจุไฟฟ้าที่ค่ากระแสแตกต่างกัน	11
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะประจุกับแรงดันขณะเปิดวงจร	15
2.6 ระบบจัดการแบตเตอรี่ในปัจจุบัน	17
2.7 การรับส่งสัญญาณของคู่สายที่ใช้พันเกรียว และคู่สายเส้นตรง	19
2.8 DB9 ตัวผู้ เมื่อมองจากด้านหลัง	22
2.9 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem	22
2.10 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น	23
2.11 ระดับสัญญาณของ RS-232 และระดับสัญญาณของ TTL	23
3.1 การเชื่อมต่อชุดทดสอบแบตเตอรี่	27
3.2 ระบบโครงข่ายการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ	28
3.3 ระบบโครงข่ายการจัดการพลังงาน	28
3.4 ข้อมูลทางเทคนิคของแบตเตอรี่ Li-ion	29
3.5 หน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens	30
3.6 อินเวอร์เตอร์ชนิด Back to back converter	30
3.7 โครงสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์แบบไหลสองทาง (Back to back converter)	31
3.8 แผนภาพแสดงการเดินทางไฟ และการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆภายในตู้	31
3.9 CT รุ่น CSNS 200M-002	32
3.10 VT รุ่น HDV-T2	33
3.11 ตัวต้านทานขนาด 100 โอห์ม	33
3.12 ตัวต้านทานขนาด 500 โอห์ม	34
3.13 วงจรเรียงกระแส	34
3.14 Wireless signal	34
3.15 วงจรไฟฟ้ากำลังของระบบ ในโปรแกรม PSIM Simulation	35
3.16 กราฟการตอบสนองต่อคำสั่งของกำลังไฟฟ้า เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Reactive Power) เข้าระบบโดยมีกราฟเส้นสีน้ำเงินเป็นกราฟอ้างอิง	35

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 กราฟกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟส และกราฟกระแสไฟฟ้ากับแรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Reactive Power)	36
3.18 กราฟการตอบสนองต่อคำสั่งของค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อตั้งกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) เพื่ออัดประจุเข้าระบบโดยมีกราฟเส้นสีน้ำเงินเป็นกราฟอ้างอิง	36
3.19 กราฟกระแสไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้ากับแรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power)	36
4.1 ข้อมูลภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ผ่าน CAN BUS Analyser	38
4.2 ข้อมูลของแบตเตอรี่บน PLC ผ่านการแปลงของ chipKit Max 32	39
4.3 หน้าจอแสดงผลค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่	40
4.4 หน้าจอควบคุม และแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่าย	41
4.5 แผนผังแสดงกระบวนการหาค่าสถานะการอัดประจุ	42
4.6 หน้าจอแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่าง สถานะการอัดประจุ (SOC) และแรงดันรวม	43
4.7 การชดเชยแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายทดสอบครั้งที่ 1	44
4.8 การชดเชยแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายทดสอบครั้งที่ 2	44
4.9 การชดเชยกำลังไฟฟ้าให้เซลล์แสงอาทิตย์ครั้งที่ 1	45
4.10 การชดเชยกำลังไฟฟ้าให้เซลล์แสงอาทิตย์ครั้งที่ 2	46
4.11 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ารวมขณะชดเชยเข้าสู่ระบบ	46

สารบัญตาราง

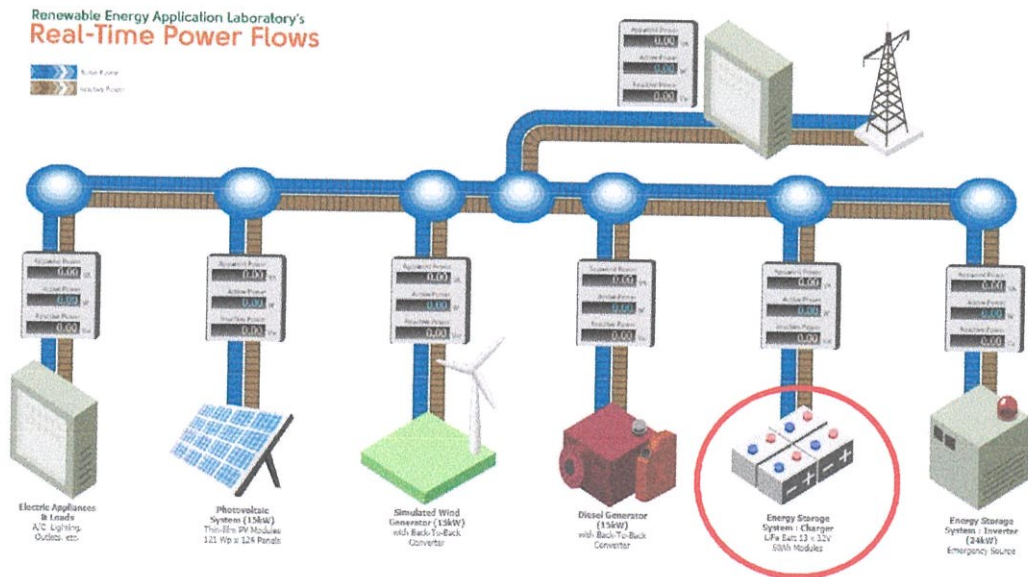
ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	4
2.1 ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Ampere hour) กับค่าความต้านทานภายใน	16
2.2 การกำหนดสัญญาณสำหรับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 และ DB-25	21
2.3 Pin Description การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9	22
2.4 คุณลักษณะ RS-232	25
4.1 การแปลงเลขฐาน 16 เป็นเลขฐาน 10	40
4.2 ผลการทดสอบหาค่าพลังงานเฉลี่ยจากท่าสถานะการคายประจุ	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ส่งผลให้ประเทศไทยมีความจำเป็นต้องเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าทั้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน โดยโรงไฟฟ้าเหล่านี้จำเป็นต้องทำการเดินเครื่องอยู่ตลอดเวลาเพื่อสำรองพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ ส่งผลให้มีพลังงานไฟฟ้าที่เหลือจากการผลิตในช่วงความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำในระบบ รวมถึงโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ซึ่งที่เห็นได้ชัดในประเทศไทยคือ พลังงานแสงอาทิตย์ แต่ด้วยข้อจำกัดของพลังงานแสงอาทิตย์คือ การผลิตที่ไม่คงที่และเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าทุกช่วงเวลา ในกรณีที่เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบโครงข่าย เช่น ปัญหาแรงดันกระเพื่อมในระบบจำหน่ายทำให้ความถี่ในระบบมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นระบบเก็บสะสมพลังงานจึงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้นในการเพิ่มประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าในโครงข่ายรวมถึงภายในอาคารและที่อยู่อาศัย เช่น สถานีไฟฟ้าย่อย โซลาร์ฟาร์มและอาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid Building) ดังรูปที่ 1.1 เป็นต้น



รูปที่ 1.1 ระบบเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ

ระบบเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าเป็นที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นให้ดีกว่าแบตเตอรี่ทั่วไป และยังมีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมรถยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น รถยนต์ไฮบริดจ์ และรถยนต์ไฟฟ้า รวมถึงมีความพยายามนำแบตเตอรี่ชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านอวกาศ ด้านการทหาร ด้านการไฟฟ้าและสาธารณสุขโลก ในทางกลับกันแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนกลับมีปัญหาในเรื่องความปลอดภัยและอายุการใช้งาน เนื่องจากวิธีการเก็บรักษา และการใช้งานที่ผิดวิธี ดังนั้นเพื่อให้การใช้งานภายในระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องมีระบบตรวจสอบและแสดงสถานะทำงานของแบตเตอรี่

โครงการนี้ได้นำเสนอถึงระบบการตรวจสอบและแสดงสถานะของแบตเตอรี่ตามเวลาจริง รวมถึงการควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ขณะเชื่อมต่อกับระบบโครงข่าย โดยสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ คือ ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน ค่าสถานะประจุ แรงดันไฟฟ้ารวม แรงดันไฟฟ้าระหว่างเซลล์ และอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ของแต่ละเซลล์ในสถานะต่าง ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงสถานะของแบตเตอรี่นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบการเสื่อมสภาพภายในเซลล์แต่ละเซลล์ โดยมีการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานหรือผู้ดูแลระบบ เพื่อสะดวกต่อการแก้ไข และบำรุงรักษา อีกทั้งยังลดความเสียหายต่อแบตเตอรี่ที่ต่อเข้าด้วยกัน ลดความเสียหายของระบบกำลังไฟฟ้าสำรอง ลดความเสียหายต่อโครงข่ายระบบสายส่งไฟฟ้า และลดความเสียหายต่ออุปกรณ์ที่ต่อเชื่อมเข้ากับระบบ เช่น เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า สายส่ง เป็นต้น และยังช่วยป้องกันผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจในด้านการใช้งานของโหนดในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษา และพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่ถึงระดับเซลล์ย่อย โดยแสดงข้อมูลค่าพารามิเตอร์ ผ่านทางหน้าจอแสดงผล
2. เพื่อลด และป้องกันความเสียหายของแบตเตอรี่ที่ต่อเชื่อมกัน เนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชุดใดชุดหนึ่ง
3. เพื่อศึกษา และพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของระบบเก็บสะสมพลังงานที่เชื่อมต่อกับโครงข่าย โดยสามารถควบคุมการทำงาน และแสดงผลผ่านทางหน้าจอ
4. เพื่อรองรับ และชดเชยกำลังไฟฟ้าให้แก่ระบบโครงข่าย ทั้งกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าจินตภาพ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบ และควบคุมการทำงานของระบบเก็บสะสมพลังงานที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานและความหนาเชื่อถือของระบบไฟฟ้าภายในอาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid Building) และยังสามารถแสดงข้อมูลสถานะ การเปลี่ยนแปลงของ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าต่อเซลล์ ค่าแรงดันไฟฟ้ารวมและอุณหภูมิภายในของแบตเตอรี่ โดยการเขียนโปรแกรม TIA Portal V13 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล ซึ่งการสื่อสารภายในระหว่างโปรแกรม และเซนเซอร์ตรวจวัดของแบตเตอรี่จะเป็นการสื่อสารในรูปแบบของ CAN Bus เพื่อตรวจสอบเซลล์ที่เสื่อมสภาพภายในแบตเตอรี่ และวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เมื่อตรวจพบแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพก็สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ตัวนั้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อแบตเตอรี่ตัวอื่น ๆ ได้อย่างทันเวลาที่

1.4 วิธีที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของแบตเตอรี่ อินเวอร์เตอร์ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงการ
2. ออกแบบ จัดเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ และโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทดลองจนการศึกษาวิธีการใช้งาน โปรแกรม เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ
3. ใช้โปรแกรม PSIM Simulation จำลองระบบของโครงการเพื่อแสดงผลการตอบสนองของกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาต่าง ๆ
4. ทดลองดึงข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจวัดภายในแบตเตอรี่ และนำมาประมวลผลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ผล
5. จัดสร้างเครื่องแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ จากเซนเซอร์ตรวจวัดของแบตเตอรี่และเครื่องตรวจสอบคุณภาพของแบตเตอรี่จากค่าพารามิเตอร์
6. ทดสอบเครื่องแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ และเครื่องตรวจสอบคุณภาพของแบตเตอรี่ ด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้น
7. ทดลองควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ร่วมกับอุปกรณ์ และเครื่องมืออื่น ๆ เมื่อเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่าย
8. บันทึกผลการทดลอง และเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าในเวลาที่แตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์การทำงานของระบบเก็บสะสมพลังงาน
9. รวบรวมข้อมูลผลการทดลอง และจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และทำความเข้าใจในทฤษฎี ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ พร้อมทั้งดำเนินงานในส่วนของการทดสอบและออกแบบ โดยมีระยะเวลาดำเนินการตั้งแต่ สิงหาคม 2558 ถึง พฤษภาคม 2559 รวมเป็นเวลา 10 เดือน โดยมีแผนการดำเนินโครงการดังนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาข้อมูล คุณสมบัติ และกระบวนการในการตรวจสอบคุณภาพของแบตเตอรี่จากพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการ	■	■								
2. ศึกษาการใช้งานแบตเตอรี่ ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในโครงการ		■	■							
3. ทดลองดึงข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดแบตเตอรี่มาทำการวิเคราะห์			■	■	■					
4. ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงสถานะของแบตเตอรี่					■	■	■			
5. ศึกษาการควบคุมการทำงาน และการสับสวิตช์ของเครื่องแปลงสัญญาณไฟฟ้า						■	■	■		
6. เชื่อมต่อระบบเก็บสะสมพลังงานเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้า							■	■		
7. ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องแปลงสัญญาณไฟฟ้า พร้อมแสดงผลการทำงานร่วมกับโปรแกรมตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่								■	■	
8. บันทึกผลการทดลองและสรุปผลงานวิจัย									■	
9. จัดทำรูปเล่มปฏิญานินทร์									■	■

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. การตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่อยู่เสมอทำให้ระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น
2. โครงการวิจัยนี้สามารถช่วยลดการกำจัดหรือทำลายแบตเตอรี่โดยช่วยลดมลภาวะ และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
3. โครงการวิจัยนี้ทำให้สามารถนำแบตเตอรี่ที่มีแนวโน้มการเสื่อมสภาพเข้าสู่กระบวนการฟื้นฟูได้อย่างทันที่
4. โครงการวิจัยนี้ทำให้สามารถควบคุมการตอบสนองของระบบเก็บสะสมพลังงานเพื่อควบคุม และชดเชยพลังงานไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในระบบ
5. การติดตั้งระบบเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าในโครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าในอาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าในอาคาร

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บทนี้จะเป็นการศึกษาถึงคุณลักษณะ และคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน การใช้งานแบตเตอรี่อย่างเหมาะสม การอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ สถานะการประจุแบตเตอรี่ และระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS) การสื่อสารแบบ CAN ซึ่งเป็นการสื่อสารที่ใช้ในการส่งข้อมูลของแบตเตอรี่ และการสื่อสารอนุกรม RS-232 ที่ใช้สื่อสารภายในระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS) และในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการศึกษาเทคนิคการบริหารจัดการแบตเตอรี่ (BMS)

2.2 ชนิดของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อเอาไว้ใช้งาน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้สะดวกเนื่องจากแบตเตอรี่มีขนาด และคุณสมบัติที่หลากหลาย โดยหลักการของแบตเตอรี่จะเก็บรักษาพลังงานในรูปของพลังงานเคมีเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ซึ่งแบตเตอรี่จะเก็บพลังงานไว้ในรูปของพลังงานเคมีแบตเตอรี่แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

2.2.1 แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ (Primary Battery) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถใช้งานได้ครั้งเดียว เมื่อจ่ายกระแสไฟหมดแล้วไม่สามารถนำมาอัดประจุกลับเข้าไปใหม่ได้ เนื่องจากไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีเมื่อสารเคมีเปลี่ยนแปลงหมด พลังงานไฟฟ้าก็จะหมด แบตเตอรี่เหล่านี้เหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และใช้ในที่ห่างไกลจากพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ตัวอย่างของแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เช่น แบตเตอรี่ชนิดคาร์บอนสังกะสี แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์ แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม เป็นต้น

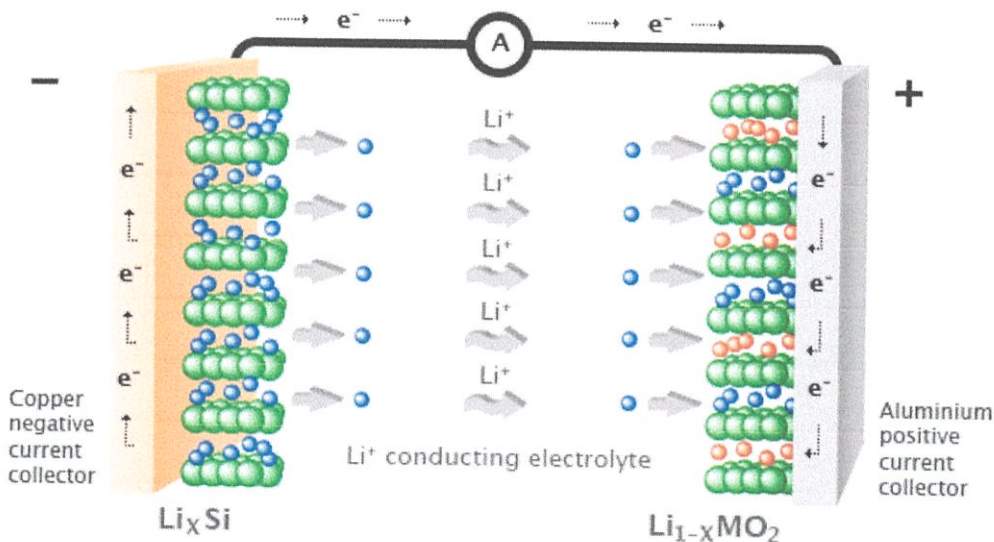
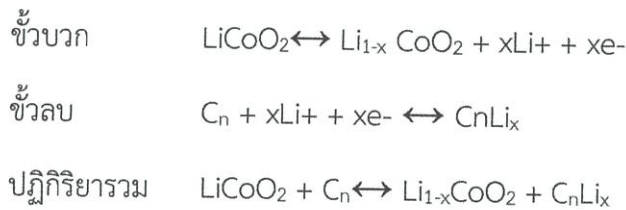
2.2.2 แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ (Secondary Battery) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้หลังจากจ่ายกระแสไฟหมดแล้ว เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการอัดประจุกลับเข้าไปใหม่อีกครั้ง ทำให้สามารถใช้งานได้นาน แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาแพงกว่าแบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ ตัวอย่างของแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เช่น แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน โพลีเมอร์ เป็นต้น

ในปัจจุบันแบตเตอรี่มีหลายชนิด หลายขนาด ซึ่งจะมีคุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกการใช้งานแบตเตอรี่จึงจำเป็นต้องเลือกแบตเตอรี่ที่มีคุณสมบัติให้เหมาะสมกับลักษณะการนำไปใช้งาน การแยกประเภทของแบตเตอรี่สามารถใช้นิยามของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นขั้วบวก และขั้วลบของแบตเตอรี่

2.2.2.1 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน (Lithium-ion)

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน เป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานสูง มีน้ำหนักเบาเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดนี้ยังมีความปลอดภัย เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีวงจรป้องกัน (protection circuit) ในการจำกัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ในขณะที่อัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้า โดยวงจรป้องกันจะจำกัดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเซลล์ขณะอัดประจุไฟฟ้า ป้องกันไม่ให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำเกินไปขณะคายประจุไฟฟ้า และยังมีการตรวจสอบอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ไม่ให้สูงเกินไป คุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือมีความหนาแน่นของพลังงานสูงเป็นแบตเตอรี่ที่มีการดูแลรักษาต่ำ ไม่มีผลของ memory effect นอกจากนี้ยังมีอัตราการคายประจุด้วยตนเอง (Self-discharge) ต่ำอีกด้วย

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน จะประกอบด้วยแผ่นอิเล็กโทรด (Electrode) ซึ่งจะมี 2 ขั้ว คือ ขั้วบวก จะเรียกว่า แอโนด (Anode) และ ขั้วลบ จะเรียกว่า แคโทด (Cathode) โดยแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองจะอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเกิดจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีซึ่งจะมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างแอโนด และแคโทด ดังรูปที่ 2.1 สำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนจะใช้อิเล็กโทรดขั้วบวกเป็น LiCoO_2 และอิเล็กโทรดขั้วลบเป็น Li_xC_6 ซึ่งจะมีปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ดังนี้



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีระหว่างแอโนด และแคโทด

ด้านการเก็บรักษาแบตเตอรี่ควรเก็บรักษาในสถานที่ที่มีอุณหภูมิต่ำเพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ควรคายประจุออกจากแบตเตอรี่ให้เหลือประมาณ 40% เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีปัญหาด้านอายุการใช้งานถึงแม้ว่าจะไม่ได้ใช้งานก็ตาม โดยจะเริ่มเสื่อมสภาพหลังจากการใช้งานไปแล้วประมาณ 1 ปี และแบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพภายใน 2-3 ปี แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก และโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

สาเหตุการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมนั้นได้แก่ การใช้งานแบตเตอรี่จนถึงจำนวนไซเคิลที่แบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพเองตามปกติ หรือแบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพเอง เมื่อถึงเวลาที่แบตเตอรี่เสื่อม โดยเวลาที่ว่าเป็นเวลาที่นับตั้งแต่การผลิต ไม่ใช่เวลาในการใช้งาน นอกจากนี้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ก็ถือว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ ถ้าแบตเตอรี่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงก็จะส่งผลให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติได้

2.3 คุณสมบัติของแบตเตอรี่

2.3.1 คุณสมบัติทางเคมี

วัสดุทางเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่มีหลายชนิด แต่ชนิดที่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลาย ได้แก่ ตะกั่ว นิกเกิล และลิเทียม ซึ่งความแตกต่างของวัสดุนี้เอง ทำให้ลักษณะคุณสมบัติของแบตเตอรี่มีความแตกต่างกัน วิธีการอัดประจุ และคายประจุก็มีความแตกต่างกันด้วย

2.3.2 แรงดัน

แรงดันในที่นี้หมายถึงแรงดันที่เปิดวงจร ซึ่งค่าแรงดันนี้จะแปรตามวัสดุทางเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ และจำนวนของเซลล์แบตเตอรี่ที่นำมาต่ออนุกรมกัน เมื่อนำแบตเตอรี่ไปต่อกับเครื่องอัดประจุไฟฟ้า หรือโหลด จะต้องคำนึงถึงค่าแรงดันเปิดวงจรนี้ด้วย

2.3.3 ความจุของแบตเตอรี่ (Capacity)

ความจุของแบตเตอรี่แสดงถึงค่าพลังงานจำเพาะในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere hour ; Ah) ในความเป็นจริงผู้ผลิตแบตเตอรี่จะกำหนดค่าความจุแบตเตอรี่ที่เกินจริง แบตเตอรี่ที่บอกค่าพิกัดค่า ๆ หนึ่ง เมื่อนำไปใช้งานสามารถใช้งานที่ตรงความต้องการความจุของแบตเตอรี่แตกต่างกันไปจากพิกัดได้ แต่ต้องไม่เกินค่าพิกัด และใช้กับแรงดันที่กำหนดให้ถูกต้อง

2.3.4 พลังงานจำเพาะ และความหนาแน่นของพลังงาน (Specific energy and energy density)

พลังงานจำเพาะ หมายถึง ความจุของแบตเตอรี่ต่อหน่วยน้ำหนักของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (Wh/kg) ส่วนความหนาแน่นของพลังงาน หมายถึง ความจุของแบตเตอรี่ต่อหน่วยปริมาตรของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมงต่อลิตร แบตเตอรี่อาจมีพลังงานจำเพาะสูง แต่อาจจะมีกำลังจำเพาะต่ำ (ความสามารถในการจ่ายโหลด) เช่น แบตเตอรี่อัลคาไลน์ เป็นต้น ในทางกลับกัน แบตเตอรี่อาจมีพลังงานจำเพาะต่ำ แต่อาจจะมีกำลังจำเพาะสูง เช่น ตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor) เป็นต้น พลังงานจำเพาะนี้มีความหมายเหมือนกันกับความจุของแบตเตอรี่

2.3.5 กำลังจำเพาะ (Specific power)

กำลังจำเพาะ หมายถึง ความสามารถในการจ่ายโหลด หรือปริมาณกระแสที่ แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกไปได้ ซึ่งแสดงถึงความต้านทานภายในมีค่าต่ำ แบตเตอรี่ที่ใช้กับอุปกรณ์ ไฟฟ้ามักจะมีค่ากำลังจำเพาะสูง ในขณะที่มีค่าพลังงานจำเพาะ หรือความจุแบตเตอรี่ต่ำ

2.3.6 ซี-เรต (C-rates)

ซี-เรต จะเป็นค่าที่กำหนดกระแสอัดประจุ หรือกระแสคายประจุ ตัวอย่างเช่น ที่ 1C แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสคายประจุในปริมาณที่เท่ากับค่าพิกัดของความจุแบตเตอรี่ในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง หรือที่ 0.5C แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสลดลงครึ่งหนึ่ง และที่ 0.1C แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสเป็น 1/10 เท่าของค่าพิกัด เป็นต้น ในขณะที่ถ้าเป็นการอัดประจุ 1C จะหมายถึง แบตเตอรี่จะอัดประจุ เต็มใน 1 ชั่วโมง และ 0.5C จะบอกว่า การอัดประจุต้องใช้เวลา 2 ชั่วโมง เป็นต้น

2.3.7 Stage of charge (SOC)

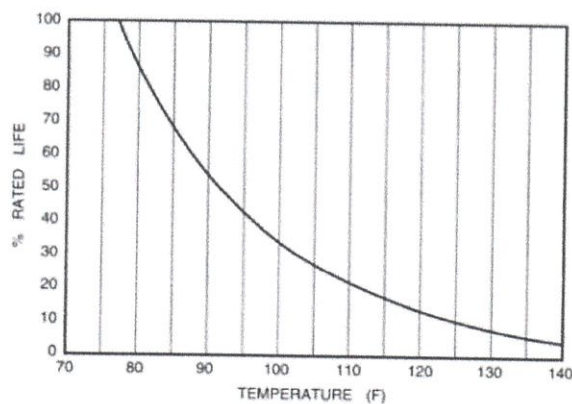
สถานะของการคายประจุ เป็นค่าที่บอกความจุของแบตเตอรี่ในแต่ละเวลาที่ใช้งาน มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุของแบตเตอรี่ในขณะนั้นต่อความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่มี SOC 100% หมายความว่าแบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็ม แบตเตอรี่มี SOC 50% หมายความว่าแบตเตอรี่มีความจุเหลืออยู่ 50%

2.3.8 Depth of Discharge (DOD)

คือเปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานออกไป หรือคายประจุออกไป เปรียบเทียบกับความจุทั้งหมดของแบตเตอรี่

2.3.9 อุณหภูมิ

สำหรับแบตเตอรี่ที่เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ เช่น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นเป็นสอง เท่า ซึ่งเป็นผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงเป็นสองเท่าเช่นกัน และนอกจากนั้นอุณหภูมิสูงยังมีผลในการเร่งการสึกหรอของเพลลาบวก เนื่องจากมาจากการเกิดก๊าซ และการสูญเสียน้ำ ส่วน อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้อายุการใช้งานนานขึ้นแต่อย่างไรก็ตามก็ทำให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลง



รูปที่ 2.2 ผลของอุณหภูมิต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2.3.10 รอบการใช้งาน (Cycle)

เมื่อประจุแบตเตอรี่จนเต็ม เมื่อนำไปใช้งานแล้วนำกลับมาประจุไฟใหม่อีกครั้งหนึ่งเรียกรอบการใช้งาน ในการใช้งานมีรอบการใช้งานสองลักษณะคืองานที่มีการคายประจุเล็กน้อย (Shallow cycle) และงานที่มีการคายประจุมาก (Deep cycle) การใช้งานแบตเตอรี่แบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของเซลล์ และส่วนใหญ่จะไม่ใช้จนหมด การใช้งานที่มีการคายประจุมาก มักมีการคายประจุมากกว่า 50% ต่อรอบการใช้งานขึ้นไป

2.4 การอัดประจุ

แบตเตอรี่ทุติยภูมิ ได้แก่ แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid) หรือแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion) สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้หากนำมาอัดประจุไฟฟ้าเข้าไปอีกครั้ง หลังจากการใช้งาน ดังนั้นแบตเตอรี่จึงสามารถจ่ายพลังงานได้หลาย ๆ ครั้งตลอดอายุการใช้งาน ความสำคัญของการอัดประจุเข้าสู่แบตเตอรี่คือ การเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของแบตเตอรี่ทุติยภูมิอย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายจากการอัดประจุที่เกินกว่าขีดจำกัดของแบตเตอรี่ ในการอัดประจุของแบตเตอรี่นั้น พลังงานที่เราอัดประจุเข้าไปจะมากกว่าพลังงานที่เราได้รับออกมาจากแบตเตอรี่ นั่นเป็นเพราะว่าพลังงานในการอัดประจุแบตเตอรี่ส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในแบตเตอรี่ เนื่องจากความต้านทานภายในแบตเตอรี่ และการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่ใช่การเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าไปสู่พลังงานเคมี เช่น การเกิดแก๊สในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid) ทำให้ประสิทธิภาพของการอัดประจุไม่ถึง 100% ดังนั้นหากจะต้องการใช้แบตเตอรี่อย่างเต็มประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องทำการอัดประจุจนถึงสถานะการอัดประจุที่กระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด (Overcharge) คือสถานะประจุของแบตเตอรี่ที่อัดประจุ (State of charge) ของแบตเตอรี่ใกล้เคียงกับ 100% ไม่สามารถรู้ได้ว่าแบตเตอรี่จะถูกอัดประจุจนเต็มที่เวลาใด การอัดประจุที่สถานะกระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด (Overcharge) นั้นจะทำให้มีความร้อนสูญเสียมากกว่าปกติ รวมไปถึงความดันที่จะเกิดขึ้นจากแก๊สที่ผลิตภายในแบตเตอรี่แต่ก็สามารถที่จะทำให้ใช้แบตเตอรี่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงต้องมีการควบคุมการอัดประจุที่กระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด (Overcharge) เพื่อที่จะป้องกัน และควบคุมไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้น การอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ภายใต้ผลของอุณหภูมิ และความดันต่างจากการอัดประจุที่กระแสไฟฟ้าคงที่เล็กน้อยก็คือในการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ กระแสไฟฟ้าอัดประจุจะค่อย ๆ ลดลง เมื่อเข้าสู่สภาวะกระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด (Overcharge) เมื่อกระแสไฟฟาลดลง ปฏิกิริยาจะลดลงด้วย ทำให้แก๊สที่เกิดขึ้นก็ลดลง และอุณหภูมิก็ต่ำกว่าแบบกระแสไฟฟ้าคงที่

2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการอัดประจุไฟฟ้า

การอัดประจุที่เหมาะสมเป็นกระบวนการอัดประจุที่จะทำให้การอัดประจุเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นการพิจารณาหาจุดอัดประจุที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเพื่อที่จะทำให้พลังงานที่อัดประจุไม่สูญเปล่า ปัจจัยที่มีผลต่อการอัดประจุมิดังนี้

1. วิธีการอัดประจุ (Charging method)

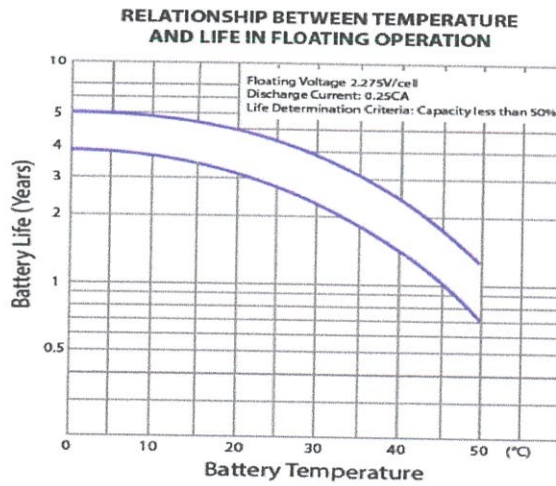
วิธีการอัดประจุนั้น ขึ้นกับสถานะที่แบตเตอรี่ถูกอัดประจุไฟฟ้าด้วยขนาดกระแสไฟฟ้าเท่าใด หากการอัดประจุนั้นใช้ขนาดกระแสไฟฟ้ามาก จะทำให้เวลาในการอัดประจุลดลง แต่อาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น

2. สถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่ (State of charge : SOC)

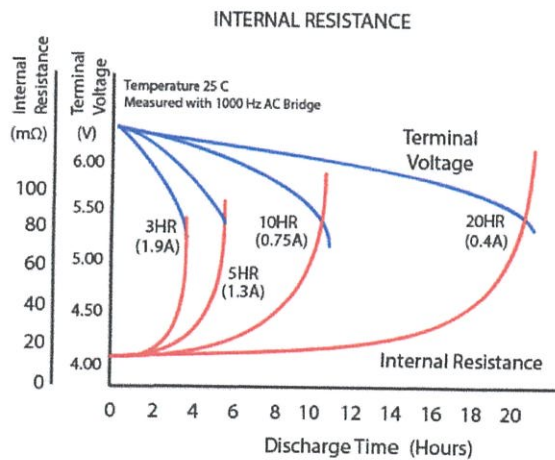
สถานะในการอัดประจุของแบตเตอรี่เป็นตัวบ่งชี้ว่าการอัดประจุนั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ในกรณีที่แบตเตอรี่ยังเต็มอยู่จะไม่มีที่เหมาะสมในการอัดประจุ เพราะพลังงานในการอัดประจุไม่ได้ถูกใช้ในการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานเคมี แต่จะเกิดเป็นความร้อนสูญเสีย

3. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีผลในการเร่งปฏิกิริยาการอัดประจุให้ดีขึ้น การอัดประจุที่อุณหภูมิสูงจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการอัดประจุที่อุณหภูมิต่ำ



รูป 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภายในแบตเตอรี่ และเวลาในการคายประจุไฟฟ้าที่ค่ากระแสต่างกัน

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภายในแบตเตอรี่ และเวลาในการคายประจุไฟฟ้าที่ค่ากระแสแตกต่างกันโดยค่าความต้านทานภายในจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป และเมื่อเปรียบเทียบการคายประจุไฟฟ้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นพบว่าค่าความต้านทานจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเส้นกราฟสีแดงดังรูปที่ 2.4

2.4.2 ประเภทของการอัดประจุไฟฟ้า

การอัดประจุแบตเตอรี่หัตถิยภูมินั้นมีอยู่หลายวิธี หลักการของการอัดประจุก็คือการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับการคายประจุ การอัดประจุแรงดันไฟฟ้าคงที่นิยมใช้กันทั่วไป แต่ก็ยังมีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ใช้อยู่ สิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการเลือกเครื่องอัดประจุก็คือการถูกคายประจุ เวลาในการอัดประจุ อุณหภูมิที่สูงขึ้น และจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่

2.4.2.1 การอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่

การอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ หมายถึงการอัดประจุไฟฟ้าโดยค่านิ่งถึงแรงดันไฟฟ้าอย่างเดียว ไม่ค่านิ่งถึงกระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุไฟฟ้า ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ใช้อัดประจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเครื่องอัดประจุกับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ ดังนั้นเมื่อเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น และจะลดลงเมื่อแบตเตอรี่มีสถานะในการอัดประจุของแบตเตอรี่ (State of charge : SOC) เข้าใกล้ 100% เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่สูงขึ้น เครื่องอัดประจุที่ใช้โดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบก็คือ แบบ fast charge จะอัดประจุที่แรงดันสูง กระแสไฟฟ้าที่อัดประจุจึงสูงตาม เวลาที่ใช้อัดประจุจะเร็วแต่มีความเสี่ยงต่อความเสียหายของแบตเตอรี่ ทำให้อายุการใช้งานลดลง อีกแบบหนึ่งคือการอัดประจุแบบ float charge คือการอัดประจุที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่เล็กน้อย กระแสไฟฟ้าอัดประจุจึงไม่สูง แต่ก็ใช้เวลาในการอัดประจนานกว่าการอัดประจุแบบ fast charge float charge นิยมใช้ในการอัดประจุแบบต่อเนื่องเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้สำรองไฟต่าง ๆ เช่น UPS ไฟฉุกเฉิน จะเห็นได้ว่ามีข้อดีข้อเสียที่ต่างกัน ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ให้การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่นี้ให้เป็นแบบ dual step charging คือเริ่มแรกจะอัดประจุแบบ fast charge ก่อน เพื่อแก้ไขจุดอ่อนในเรื่องเวลาในการอัดประจุเมื่อเวลาผ่านไป เมื่อสถานะในการอัดประจุของแบตเตอรี่ (State of charge : SOC) เริ่มสูงขึ้นก็ให้เปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นแบบ float เพื่อทำให้กระแสไฟฟ้าที่สถานะ overcharge ไม่สูงมากเพื่อยืดอายุการใช้งานให้สูงขึ้นการอัดประจุแบบ dual step charging จะมีประสิทธิภาพสูง

2.4.2.2 การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่

การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่นั้นเป็นวิธีอัดประจุที่ควรที่จะนำมาใช้งานมากที่สุดเพราะเป็นวิธีที่คืนพลังงานให้แก่แบตเตอรี่ได้เร็วโดยไม่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่จะทำงานได้ดีกับการต่ออนุกรมกันของเซลล์แบตเตอรี่ที่ไม่สมดุลการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่นั้นเป็นการอัดประจุที่ทำการรักษาระดับของกระแสไฟฟ้าค่านิ่งถึงกระแสไฟฟ้าสูงเกินพิกัด (Overcharge) หรืออุณหภูมิที่เกิดขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อความจุ

ในแบตเตอรี่สูงขึ้น และจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแบตเตอรี่เข้าสู่ภาวะกระแสไฟฟ้าสูงเกินปกติ ดังนั้นในการอัดประจุรูปแบบกระแสไฟฟ้าคงที่จึงต้องมีการควบคุมการอัดประจุกรณีเกิดกระแสไฟฟ้าสูงเกินปกติ การเลือกระดับของกระแสไฟฟ้าอัดประจุนั้นเป็นการตัดสินใจที่สำคัญมากเพราะจะส่งผลไปยังอายุการใช้งานโดยทั่วไป ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละชนิดก็จะมีขีดจำกัดของกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการอัดประจุอยู่ โดยทั่วไปทางผู้ผลิตจะต้องบอกกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุสูงสุดไว้เพื่อใช้ในการออกแบบหรือเลือกกระแสไฟฟ้าอัดประจุ การใช้งานจริงนั้นก็จะมีทั้งแบบกระแสอัดประจุนั้นแบบเดียว และแบบกระแสไฟฟ้าอัดประจุหลายระดับ ในแบบหลายระดับนั้นเริ่มแรกก็จะอัดประจุที่ระดับสูง (High Charge) หรืออัดประจุนั้นระดับกลาง (Medium Charge) ก่อน เมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะเต็ม ก็จะทำให้การเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าอัดประจุเป็นแบบอัดประจุนั้นต่ำ (Low Charge)

2.4.2.3 การอัดประจุแบบกระแส และแรงดันคงที่

เป็นการอัดประจุแบตเตอรี่แบบผสมผสานระหว่างการอัดประจุแบบกระแสคงที่ และการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ ช่วงแรกของการอัดประจุแบบกระแสคงที่ก่อนแรงดันจะแปรผัน เมื่อแบตเตอรี่มีความจุถึงค่าหนึ่งจะเปลี่ยนการอัดประจุเป็นแบบแรงดันคงที่ การอัดประจุในลักษณะนี้เป็นการรวมข้อดีของการอัดประจุทั้งสองแบบ คือสามารถอัดประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ได้รวดเร็ว และส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่น้อย

2.5 การใช้งานแบตเตอรี่อย่างเหมาะสม

1. การจ่ายกระแสไฟฟ้า (Discharge) ควรหลีกเลี่ยงการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงเกินปกติจากการใช้งานเกินปกติของแบตเตอรี่จะส่งผลทำให้อายุของแบตเตอรี่สั้นลงเพราะฉะนั้นควรให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าประมาณ 70-80% ของความจุแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ 24 โวลต์ควรมีการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 20.4 โวลต์ หรือประมาณ 85% ของความจุแบตเตอรี่โดยความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับสภาพของแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ที่แห้ง และสะอาดจะมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ดี

2. การคายประจุของแบตเตอรี่ (Normal Charge) ควรระวังไม่ให้อุณหภูมิของอิเล็กโทรไลต์สูงเกิน 50 °C หรือเกินปกติของตัวแบตเตอรี่ถ้าหากอุณหภูมิสูงเกินไปควรลดกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของอิเล็กโทรไลต์สูงขึ้น และต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าในการต่อกับขั้วแบตเตอรี่ต้องแน่นกระชับต่อขั้วถูกต้องขณะอัดประจุไฟฟ้าห้ามถอด หรือขยับปลั๊ก เพราะอาจทำให้เกิดประกายไฟซึ่งจะเป็นอันตรายต่อขั้วต่อ

3. การอัดประจุไฟแบบกระตุ่น (Equalizing Charge) เป็นการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าสูงเกินปกติสำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดเพื่อกำจัดการสะสมของสารซัลเฟต (SO₄) บนแผ่นธาตุประจุซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาซัลเฟชัน (Sulfation) หรือซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่ไม่สมบูรณ์ของแบตเตอรี่ควรมีการอัดประจุไฟแบบกระตุ่น (Equalizing Charge) ทุก 6 เดือน หรือหลังจาก 20 ครั้งของการอัดประจุเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้กับเซลล์ภายในแบตเตอรี่ประมาณ 10 %

4. พยายามหลีกเลี่ยงการใช้แบตเตอรี่จนหมดแล้วค่อยอัดประจุไฟเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอัตราการคายประจุในอัตราที่สูงซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็ว

5. ในการเก็บรักษาสภาพแบตเตอรี่นั้นไม่ควรเก็บในที่ ๆ อุณหภูมิสูงเกินไปเพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งปฏิกิริยาเคมีภายในให้ไอออนต่างเคลื่อนที่ไวมากขึ้นมีความไวต่อปฏิกิริยามากขึ้นและส่งผลกระทบต่ออายุของแบตเตอรี่สั้นลง

6. สำหรับแบตเตอรี่แบบลิเทียม (Lithium) ถ้าจำเป็นจะต้องเก็บแบตเตอรี่ไว้เป็นเวลานานโดยไม่ได้ใช้งานให้อัดประจุไว้ที่ประมาณ 40% ของความจุของแบตเตอรี่แล้วเก็บไว้ในที่เย็น

2.6 สถานะการประจุแบตเตอรี่

2.6.1 การประมาณปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่สามารถประมาณได้จากการหาสถานะประจุ (State of charge, SOC) ของแบตเตอรี่ โดยสถานะค่าประจุคือ จำนวนประจุหรือพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ (Q) ซึ่งแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ต่อพิกัดความจุแบตเตอรี่ (C_R) ดังสมการที่ 2.1

$$SOC = \frac{Q}{C_R} \times 100 \quad 2.1$$

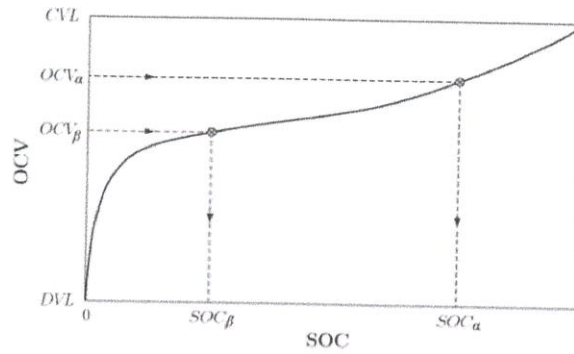
เมื่อแบตเตอรี่เต็มค่าสถานะประจุจะมีค่าเท่ากับ 100% และเมื่อแบตเตอรี่หมดสถานะประจุจะมีค่าเท่ากับ 0% ดังนั้นค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่จึงมีความสำคัญมาก ในระหว่างการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ ช่วงระยะเวลาระหว่าง t_α และ t_β ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ทำให้พลังงานที่เหลืออยู่ภายในแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงจาก Q_α เป็น Q_β ดังสมการที่ 2.2

$$Q_\beta = Q_\alpha - \Delta Q_{\alpha,\beta} = Q_\alpha - \int_{t_\alpha}^{t_\beta} I_{batt}(t) dt \quad 2.2$$

โดยที่กระแสของแบตเตอรี่ I_{batt} มีค่าเป็นบวกระหว่างการดิสชาร์จแบตเตอรี่ ในทางเดียวกันถ้าพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงจาก Q_α เป็น Q_β แล้วทำให้ค่าสถานะประจุเปลี่ยนแปลงจาก $SOC_\alpha = SOC(t_\alpha)$ เป็น $SOC_\beta = SOC(t_\beta)$ ด้วย เมื่อนำสมการที่ 2.2 แทนลงในสมการที่ 2.1 ที่เวลา t_α และ t_β ดังนั้นความจุทั้งหมดของแบตเตอรี่สามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} C = C_{\alpha,\beta} &= \frac{Q_\alpha - Q_\beta}{SOC(t_\alpha) - SOC(t_\beta)} \\ &= \frac{\int_{t_\alpha}^{t_\beta} I_{batt}(t) dt}{SOC(t_\alpha) - SOC(t_\beta)} \end{aligned} \quad 2.3$$

จากสมการที่ 2.3 การประมาณค่าความจุทั้งหมดของแบตเตอรี่จากการดิสชาร์จแบตเตอรี่ไม่จำเป็นต้องดิสชาร์จให้แบตเตอรี่หมด โดยค่าสถานะประจุทั้งสองค่าคือ SOC_α และ SOC_β กระแสระหว่างการดิสชาร์จของสถานะประจุที่เวลา t_α และ t_β เพียงพอที่สามารถนำมาใช้ประมาณค่าความจุของแบตเตอรี่ได้



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะประจุกับแรงดันขณะเปิดวงจร

แรงดันขณะเปิดวงจร (OCV) มีความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันกับค่าสถานะประจุ และเมื่อค่าสถานะประจุเปลี่ยนแปลงจาก SOC_α เป็น SOC_β ทำให้แรงดันขณะเปิดวงจรเปลี่ยนแปลงจาก $OCV_\alpha = OCV(t_\alpha)$ เป็น $OCV_\beta = OCV(t_\beta)$ ด้วย แรงดันขณะเปิดวงจรมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับสถานะประจุ ดังนั้นสถานะประจุของแบตเตอรี่สามารถประมาณได้จากการใช้ข้อมูลในตาราง ซึ่งได้จากการตรวจวัดค่าแรงดันขณะเปิดวงจร ความสัมพันธ์เชิงเส้นของการตรวจวัดค่าสถานะประจุกับแรงดันขณะเปิดวงจรสามารถเขียนกราฟเพื่อหาค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ได้ดังรูป 2.5

2.7 มาตรฐานการทดสอบสภาพแบตเตอรี่

ในมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบแบตเตอรี่ (Std IEEE1188-2005) นอกจากการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิแล้วยังกำหนดให้การทดสอบค่าความต้านทานภายใน (Internal ohmic measurement) ของแบตเตอรี่ซึ่งเป็นขั้นตอนมาตรฐานที่ต้องทำการตรวจวัดทั้งนี้ เพราะค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เป็นค่าที่แสดงถึงสภาพภายในของแบตเตอรี่ เช่น สภาพของแผ่นธาตุ ความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ และสภาพการเชื่อมต่อภายในของแบตเตอรี่ เป็นต้น

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จึงเป็นตัวชี้วัดถึงการเปลี่ยนแปลง (การเสื่อมลงของแบตเตอรี่) ได้ การทดสอบค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั้นสามารถทดสอบตามมาตรฐาน (Std IEEE1188-2005) ได้จำแนกวิธีการทดสอบค่าความต้านทานภายใน แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

1. การวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance ; Z ; มีหน่วยเป็น Ohms, Ω)
2. การวัดค่าคอนดักแตนซ์ (Conductance ; G ; มีหน่วยเป็น Siemens, S)
3. การวัดค่ารีซิสแตนซ์ (Resistance ; R ; มีหน่วยเป็น Ohms, Ω)

จากการทดสอบค่าความต้านทานภายใน สามารถรู้แนวโน้มค่าความจุของแบตเตอรี่ได้ดังตารางที่ 2.1 จากมาตรฐานการตรวจสอบแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด พบว่าแบตเตอรี่ที่เกิดการเสื่อมสภาพ จะมีขนาดความจุ (Ampere hour : Ah) ลดลงคือมีค่าคอนดักแตนซ์ (G) ต่ำ แต่มีค่าอิมพีแดนซ์ (Z) และค่ารีซิสแตนซ์ (R) สูง ซึ่งเมื่อเกิดปัญหาดังกล่าวเราจำเป็นต้องทำการกระตุ้นฟื้นฟูสภาพของแบตเตอรี่โดยการอัดประจุด้วยพัลส์ความถี่ เพื่อให้ค่าความจุของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้น

และกลับสู่สภาวะความจุปกติจึงเป็นการสิ้นสุดกระบวนการกระตุ้นฟื้นฟูสภาพของแบตเตอรี่ สามารถนำแบตเตอรี่ที่ผ่านกระบวนการนี้กลับไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.1 ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Ampere hour) กับค่าความต้านทานภายใน

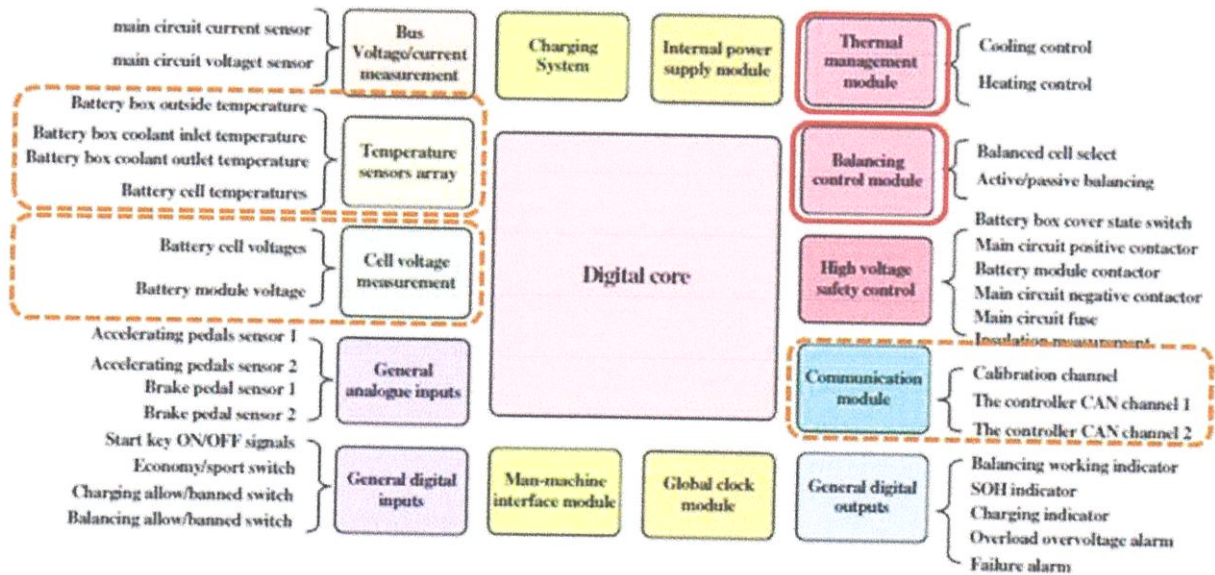
ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (AH)	คอนดักแตนซ์ (G)	อิมพีแดนซ์ (Z)	รีซิสแตนซ์ (R)
แบตเตอรี่มีขนาดความจุน้อย	ต่ำ	สูง	สูง
แบตเตอรี่มีขนาดความจุมาก	สูง	ต่ำ	ต่ำ

2.8 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System : BMS)

ในปัจจุบันระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System: BMS) ดังรูปที่ 2.6 สามารถควบคุมการอัดประจุได้โดยในการควบคุมนี้ เราจะต้องรู้ขอบเขต และศักยภาพของตัวแบตเตอรี่ตัวนั้น ๆ ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีรูปแบบ และลักษณะการอัดประจุที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการทำให้เครื่องอัดประจุสามารถที่จะรองรับลักษณะการอัดประจุของแบตเตอรี่ได้ทุกชนิดนั้นเป็นเรื่องสำคัญ ซึ่งสามารถทำได้โดยการกำหนดข้อตกลงในการสื่อสาร หรือที่เรียกว่าโปรโตคอล (Protocol) ระหว่างเครื่องอัดประจุกับแบตเตอรี่ให้เป็นไปตามมาตรฐานเดียวกันโดยโปรโตคอล จะเป็นส่วนที่ควบคุมเครื่องอัดประจุเพื่อให้สามารถอัดประจุไปยังแบตเตอรี่แต่ละชนิดได้อย่างเหมาะสม มีประสิทธิภาพ และมีความน่าเชื่อถือ เพราะว่าแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีคุณสมบัติพิกัดแรงดันไฟฟ้า และพิกัดอุณหภูมิที่แตกต่างกันไป หากเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน หรืออุณหภูมิที่สูงเกินไปในขณะที่ทำการอัดประจุจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง และจะทำให้การจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ให้กับโหลดลดลงตามไปด้วย ดังนั้นเราจึงควรจะทราบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตลอดระยะเวลาการอัดประจุโดยเราสามารถตรวจสอบ และแสดงผลออกโดยระบบ (Battery Monitoring System : BMS) ซึ่งในปัจจุบันสามารถดูค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้มากมาย เพราะฉะนั้น ระบบ (Battery Monitoring System : BMS) จึงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของแบตเตอรี่ โดยจะตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ในขณะนั้น แล้วนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาคำนวณ และแสดงผลผ่านทางหน้าจอ LCD สามารถให้ข้อมูลแบบเรียลไทม์ (ระบบเวลาจริง) ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการแสดงผลและแจ้งเตือนไปยัง ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System : BMS) ซึ่งค่าที่เราทำการวัด และแสดงผลหลัก ๆ มีดังต่อไปนี้

- การตรวจสอบ ระบบ BMS จะทำการตรวจสอบค่าสถานะต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ในขณะนั้น เช่น
 - ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) : แรงดันไฟฟ้ารวม แรงดันไฟฟ้าในแต่ละเซลล์
 - ค่าอุณหภูมิ (Temperature) : อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิในแต่ละเซลล์
 - สถานะในการอัดประจุของแบตเตอรี่ (State of charge: SOC)

- ความลึกของการคายประจุของแบตเตอรี่ในการอัดประจุแบตเตอรี่ใหม่ในแต่ละครั้ง (depth of discharge : DOD)
 - กระแสไฟฟ้า (Current) : ทั้งกระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่แบตเตอรี่ และกระแสไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่
- การคำนวณ ค่าพารามิเตอร์ที่ระบบ BMS ได้คำนวณ มีดังต่อไปนี้
 - ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดในการอัดประจุ (charge current limit : CCL)
 - กระแสไฟฟ้าสูงสุดในการคายประจุ (discharge current limit : DCL)
 - การสื่อสารระบบ BMS จะทำการรายงานข้อมูลต่าง ๆ ผ่านวิธีการสื่อสารดังต่อไปนี้
 - การสื่อสารแบบ CAN (Controller area network)
 - การสื่อสารแบบแลนไร้สาย (Wireless LAN)
 - การป้องกันระบบ BMS ทำป้องกันแบตเตอรี่โดยสาเหตุดังต่อไปนี้
 - กระแสไฟฟ้าเกินกว่าปกติ (Over-current)
 - อุณหภูมิเกินกว่าปกติ (Over-temperature)
 - แรงดันไฟฟ้าเกินกว่าปกติ (Over-voltage)
 - อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ (Under-temperature)
 - แรงดันไฟฟ้ต่ำกว่าปกติ (Under-voltage)



รูปที่ 2.6 ระบบจัดการแบตเตอรี่ในปัจจุบัน

2.8.1 หลักการทำงานของ CAN

ข้อมูลจะส่งออกมาจากทุกโหนด (node) บนการสื่อสารแบบ CAN และจะไม่มีตำแหน่ง (address) ทั้งโหนดส่ง และโหนดรับ รายละเอียดของข้อความจะถูกกำหนดโดยตัวระบุ (Identifier) ที่มีลักษณะเฉพาะตัวในเครือข่ายทุก ๆ โหนดบนเครือข่ายจะรับข้อความ และคำสั่งการทำงานโดยดูจากตัวระบุ และแต่ละโหนดจะตัดสินใจว่าจะรับข้อความ หรือไม่โดยดูจากตัวระบุ ถ้าข้อความนั้นตรงกับสิ่งที่โหนดนั้น ๆ ต้องการมันจะรับข้อความนั้นมาประมวลผล ถ้าไม่ใช่มันก็จะหลีกเลี่ยงโดยการไม่รับข้อความนั้นมา และถ้ามีหลาย ๆ คำสั่งเข้ามาพร้อม ๆ กันมันจะตัดสินใจในการรับข้อความที่เข้ามาโดยการดูว่ามาก่อน หรือหลังในบางสถานการณ์ที่มีโหนดมากกว่าสองโหนดที่พยายามจะส่งข้อมูลในเวลาเดียวกัน การสื่อสารแบบ CAN ก็จะมีเทคนิคในการจัดการข้อมูล โดยมีการให้ลำดับก่อน-หลังอย่างชัดเจนซึ่งรับประกันได้ว่าไม่มีข้อมูลใดสูญหายขณะที่ส่งพร้อมกันในเวลาเดียวกัน

2.8.2 ข้อดีของระบบการสื่อสารแบบ CAN

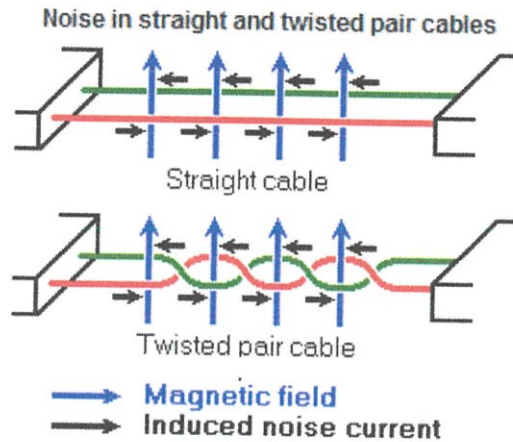
- มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูลทำให้การตอบสนองของแต่ละโมดูลมีประสิทธิภาพ สามารถจัดการกับอัตราการขนถ่ายข้อมูลได้สูงสุดถึง 1 เมกะไบต์ต่อวินาที
- สามารถควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ แบบทันทีทันใด (Real Time)
- รองรับวิดีโอสตรีมมิ่ง (Video Streaming)
- สามารถใส่โมดูลต่าง ๆ เข้าไปได้มาก
- มีความสามารถในการตรวจจับข้อผิดพลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- มีสายไฟน้อยกว่า เพราะใช้ระบบสายเคเบิลเครือข่าย (Network Cable)

2.8.3 ข้อเสียของระบบการสื่อสารแบบ CAN

- จุดต่อของโหนดต่าง ๆ อาจหลวม หรือ เป็นสนิม ทำให้การติดต่อสื่อสารมีปัญหา
- หากโหนด หรือโมดูลมีการลัดวงจรลงกราวด์ก็อาจทำให้ระบบทั้งหมดล้มเหลวได้
- กรณีระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำการติดต่อสื่อสารอาจล้มเหลวได้
- กรณีแบตเตอรี่ไม่เพียงพอ หรือมีการถอดออกอาจทำให้ต้องตั้งค่าโมดูลใหม่เพื่อให้ติดต่อกับเครือข่ายได้ หรือเรียกว่าการติดตั้งใหม่ (Re-establish)
- การถอดสายไฟ หรืออุปกรณ์บางตัวไม่ทำงาน อาจทำให้ระบบนั้นล้มเหลวได้ เช่น ระบบปรับอากาศจะไม่ทำงาน หากมอเตอร์ควบคุมการผสมอากาศเย็นกับเครื่องทำความร้อน (Heater) ไม่ทำงาน พาหนะคันนั้นก็จะใช้ระบบปรับอากาศไม่ได้เลย เป็นต้น

2.8.4 ความเสถียรภาพในการทำงาน

CAN (Controller Area Network) สามารถที่จะจัดการกับข้อมูลที่ส่ง หรือรับในสถานะที่สภาวะแวดล้อมไม่ปกติ และมีการขยายการตรวจจับข้อผิดพลาด เพื่อให้แน่ใจว่า การสื่อสารข้อมูลนั้น ๆ เสร็จสิ้นสมบูรณ์ ค่าความผิดพลาด (Error) ถูกตรวจพบ ตามมาตรฐาน ISO 11898 ได้ กล่าวสนับสนุนว่า Controller Area Network (CAN) ยังคงทำงานอยู่ได้เมื่อเกิดเหตุการณ์เหล่านี้คือ สายสื่อสารระหว่างกันมีปัญหาเกิดการเสียหาย สายสื่อสารมีการช็อตกับไฟชั๊วบก หรือสายสื่อสารมีการช็อตกันกับไฟชั๊วลบ



รูปที่ 2.7 การรับส่งสัญญาณของคู่สายที่ใช้พันเป็นเกรียว และคู่สายเส้นตรง

2.9 EIA-232 / RS-232 INTERFACE

เป็นมาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมนี้สามารถอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industrial Association) หรือ EIA กำหนดขึ้นเพื่อให้ผู้ผลิตสามารถ เชื่อมต่ออุปกรณ์ระหว่างกันได้ และนิยมใช้แพร่หลาย จนกระทั่งปรับปรุงมาตรฐานเป็นครั้งที่ 3 หรือ revision C และกลายเป็นมาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน รวมทั้งบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

มาตรฐาน EIA-232 ถูกพัฒนาเพื่อจุดประสงค์ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ดาต้า เทอร์มินอลอีควิปเมนต์ (DTE: Data Terminal Equipment) เช่น คอมพิวเตอร์, PLC (Programmable Logic Controller) หรือดิจิตอลมิเตอร์ และอุปกรณ์ดาต้าเซอร์กิตเทอร์มินัลตั้งอีควิปเมนต์ (DCE: Data Circuit Equipment) เช่น โมเด็ม หรือตัวมีเดียคอนเวอร์เตอร์ (Media Converter) โดยใช้วิธีการรับส่งสัญญาณแบบอนุกรมในรูปแบบดิจิตอล ในระบบงานอุตสาหกรรม อาจจะมีตัวอย่างง่าย ๆ คือการเชื่อมต่อ PLC ผ่านโมเด็ม หรือตัวมีเดียคอนเวอร์เตอร์เพื่อส่งค่าให้ระบบ DCS (Distributed Control System) หรือ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

2.9.1 องค์ประกอบหลักของ EIA-232

มาตรฐาน EIA-232 ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักดังต่อไปนี้

- คุณลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น ระดับสัญญาณ
- คุณลักษณะทางกล หรือทางแมคานิกของการเชื่อมต่อ เช่น ประเภทคอนเน็กเตอร์
- ฟังก์ชันของวงจรแลกเปลี่ยนสัญญาณ เช่น แชนด์เซ็ค

คุณลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้า

EIA-232 ได้นิยามคุณลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น ระดับแรงดันไฟฟ้า คุณลักษณะของกราวด์ (Grounding) เพื่อให้ทำงานสอดคล้องในการแลกเปลี่ยนสัญญาณโดยการส่งสัญญาณจะเป็นแบบไม่สมดุล (Unbalance System) ตัวส่ง หรือทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ตามมาตรฐาน EIA-232 ต้องการวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าในช่วง ± 15 ถึง ± 25 V ดังที่นิยามดังต่อไปนี้

- ลอจิก 1: -5V ถึง -25V
- ลอจิก 0: +5V ถึง +25V
- ไม่นิยามลอจิก: +5V ถึง -5V

ที่ตัวรับ หรือรีซีฟเวอร์ (Receiver) ตามมาตรฐาน EIA-232 ต้องการวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าเช่นเดียวกัน โดยได้นิยามระดับแรงดันไฟฟ้าไว้ดังต่อไปนี้

- ลอจิก 1: -3V ถึง -25V
- ลอจิก 0: +3V ถึง +25V
- ไม่นิยามลอจิก: +3V ถึง -3V

คุณลักษณะทางแมคานิกของการเชื่อมต่อ

EIA-232 ได้นิยามคุณลักษณะทางแมคานิก หรือทางกล ที่สามารถสังเกตด้วยตาได้ ระหว่าง DCE และ DTE ซึ่งก็คือการบังคับลักษณะการเชื่อมต่อทางกายภาพด้วยปลั๊ก (Plug) และซ็อกเก็ต (Socket) หรือบางทีอาจเรียกว่าคอนเน็กเตอร์ตัวผู้ตัวเมีย ประเภทที่ใช้ขึ้นอยู่กับประเภทคอนเน็กเตอร์ที่อยู่บนตัว DCE หรือ DTE

โดยส่วนมากแล้วในปัจจุบันจะเป็นประเภท DB-9 หรือ DB-25 หรือบางครั้งอาจจะเป็น RJ-45 ซึ่งคอนเน็กเตอร์ RJ-45 เริ่มเป็นที่นิยมเนื่องจากใช้พื้นที่น้อย และยังใช้กับสายคู่พันเกลียวที่ทนสัญญาณรบกวนได้ดี ถึงแม้มาตรฐาน EIA-232C ไม่ได้ระบุประเภทคอนเน็กเตอร์อย่างชัดเจนแต่ DB-25 (25พิน, D-type) ก็ได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายจนกลายเป็นมาตรฐานแบบดีแฟกโต (De Facto)

ตารางที่ 2.2 การกำหนดสัญญาณสำหรับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 และ DB-25

PIN NO. DTE	DB-9 connector IBM pin assignment	DB-25 connector EIA-232 pin assignment	DB-25 connector EIA-530 pin assignment
1	Received line signal	Shield	Shield
2	Received data	Transmitted data	Transmitted data (A)
3	Transmitted data	Received data	Received data (A)
4	DTE ready	Request to send	Request to send (A)
5	Signal/Common ground	Clear to send	Clear to send (A)
6	DCE ready	DCE ready	DCE ready (A)
7	Request to send	Signal/Common ground	Signal/Common ground
8	Clear to send	Received line signal	Received line signal (A)
9	Ring indicator	+Voltage (testing)	Receiver signal DCE element timing (B)
10		-Voltage (testing)	Received line (B)
11		Unassigned	Transmitter signal DTE element timing (B)
12		Sec received line signal Detector/data signal	Transmitter signal DCE element timing
13		Sec clear to send	Clear to send (B)
14		Sec transmitted data	Transmitter data (B)
15		Transmitter signal DCE element timing	Transmitter signal DCE element timing (A)
16		Sec received data	Receiver data (B)
17		Receiver signal DCE element timing	Receiver signal DCE element timing (A)
18		Local loopback	Local loopback
19		Sec request to send	Request to send (B)
20		DTE ready	DTE ready (A)
21		Remote loopback/signal quality detector	Remote loopback
22		Ring indicator	DEC ready (B)
23		Data signal rate	DTE ready (B)
24		Transmit signal DTE element timing	Transmitter signal DTE element timing (A)
25		Test mode	Test mode

ฟังก์ชันของวงจรแลกเปลี่ยนสัญญาณ

EIA-232 นิยามฟังก์ชันของวงจรแลกเปลี่ยนสัญญาณสำหรับข้อมูล ไทมิ่ง หรือการเข้าจังหวะเวลา และการควบคุมซึ่งทั้งหมดใช้ในการเชื่อมต่อสื่อสารระหว่าง DTE และ DCE อย่างไรก็ตามยังถือว่าการนิยามยังไม่ชัดเจนที่สุดสำหรับระบบงานที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารในระบบวัดค่า และควบคุม แต่ละวงจร หรือแต่ละพินจะเป็นแหล่งกำเนิดกระแสเพื่อสร้างกระแสให้ไหลครบวงจรโดยการไหลจะไหลไปที่ขาราวด์ซึ่งเป็นขาที่ใช้ร่วมกันทุกวงจร

การสื่อสารแบบอนุกรม นับว่ามีความสำคัญต่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์มาก เพราะสามารถใช้แป้นพิมพ์ และจอภาพของ PC เป็น อินพุต และเอาต์พุตในการติดต่อ หรือควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยสัญญาณอย่างน้อย เพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ

- สายส่งสัญญาณ TX
- สายรับสัญญาณ RX
- และสาย GND

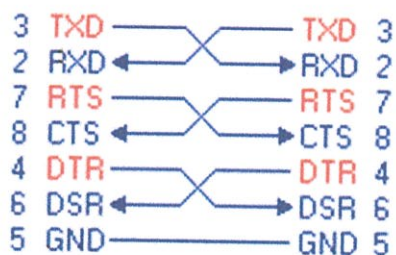
โดยปกติพอร์ตอนุกรม RS232 จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ ขึ้นอยู่กับชนิดของสายสัญญาณ ระยะทาง และปริมาณสัญญาณรบกวน



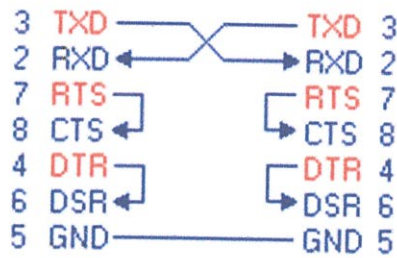
รูปที่ 2.8 DB9 ตัวผู้ เมื่อมองจากด้านหลัง

ตารางที่ 2.3 Pin Description การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9

Pin	Description	Type
1	Data Carrier Detect (DCD)	Input
2	Received Data (RXD)	Input
3	Transmitted Data (TXD)	Output
4	Data Terminal Ready (DTR)	Output
5	Signal Ground (GND)	Input
6	Data Set Ready (DSR)	Input
7	Request To Send (RTS)	Output
8	Clear to Send (CTS)	Input
9	Ring Indicator (RI)	Input



รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem



รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น

การทำงานของขาสัญญาณ DB9

TXD เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูล

RXD เป็นขาที่ใช้รับข้อมูล

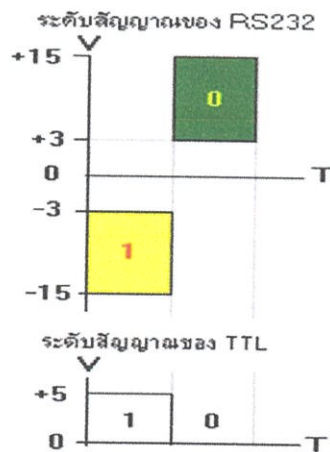
DTR แสดงสถานะพอร์ตว่าเปิดใช้งาน, DSR ตรวจสอบว่าพอร์ต ที่ติดต่อด้วยเปิดอยู่ หรือไม่

- เมื่อเปิดพอร์ตอนุกรม ขา DTR จะ ON เพื่อให้อุปกรณ์ได้รับทราบว่าการติดต่อด้วย
- ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบขา DSR ว่าอุปกรณ์พร้อม หรือไม่

RTS แสดงสถานะพอร์ตว่าต้องการส่งข้อมูล, CTS ตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่อด้วย ต้องการส่งข้อมูล หรือไม่

- เมื่อต้องการส่งข้อมูลขา RTS จะ ON และจะส่งข้อมูลออกที่ขา TXD เมื่อส่งเสร็จก็จะ OFF
- ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบขา CTS ว่าอุปกรณ์ต้องการที่จะส่งข้อมูล หรือไม่

GND ขา ground



รูปที่ 2.11 ระดับสัญญาณของ RS-232 และระดับสัญญาณของ TTL

- สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ในสายนำสัญญาณ มักจะมีแรงดันเป็นบวก เมื่อเทียบกับกราวด์
- เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนนี้ จึงออกแบบแรงดัน ของโลจิก 1 เป็นลบ คืออยู่ในช่วง -3V ถึง -15V ส่วนแรงดัน ของโลจิก 0 อยู่ในช่วง +3V ถึง +15V และเหตุที่ ระดับสัญญาณ ของ RS232 อยู่ใน ช่วง +15V ถึง -15V ก็เพื่อให้ต่อสายสัญญาณไปได้ไกลขึ้น
- ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรเปลี่ยนระดับแรงดันของ RS232 มาเป็นระดับแรงดันของ TTL

2.9.2 อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate)

คือความเร็วของการรับ-ส่งข้อมูล เป็นจำนวนบิตต่อวินาที เช่น 300, 1,200, 2,400, 4,800, 9,600, 14,400, 19,200, 38,400, 56,000 เป็นต้น การเลือกอัตราการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับ ชนิดของสายสัญญาณระยะทาง และปริมาณสัญญาณรบกวน

2.9.3 รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม

มีด้วยกันอยู่ 2 แบบ คือแบบซิงโครนัส (Synchronous) และแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

2.9.3.1 การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous)

การรับส่งข้อมูล จะมีสัญญาณนาฬิกา ซึ่งเป็นตัวกำหนด จังหวะเวลา การส่งข้อมูลร่วมอยู่ด้วย อีกเส้นหนึ่ง ใช้คู่กับสัญญาณข้อมูล ตัวอย่างเช่น การส่งสัญญาณจากคีย์บอร์ด

2.9.3.2 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

การรับส่งข้อมูล โดยที่ไม่จำเป็นต้อง มีสัญญาณนาฬิกา ร่วมด้วย แต่จะใช้ให้ตัวส่งและตัวรับ มีอัตราส่งข้อมูล ที่เท่ากัน

รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

- 1 บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด 1 บิต
- 2 บิตข้อมูล (Data) มีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
- 3 บิตตรวจสอบพาริตี (Parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
- 4 บิตหยุด (Stop bit) มีขนาด 1, 1.5, 2 บิต

- เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา data จะมีสถานะเป็นโลจิก 1 หรือ สถานะหยุดรอ (Waiting stage)
- เมื่อเริ่มต้นส่งข้อมูลจะให้ขา data เป็นโลจิก 0 เป็นจำนวน 1 บิต เรียกว่าบิตเริ่มต้น (Start bit)
- จากนั้นก็จะเริ่มต้นส่งข้อมูล โดยส่งบิตต่ำไปก่อน (LSB)
- แล้วตามด้วยพาริตีบิต (จะมี หรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับการติดตั้งค่า ของทั้งสองฝ่าย)
- สุดท้ายตามด้วยโลจิก 1 อย่างน้อย 1 บิต (มีขนาด 1, 1.5, หรือ 2 บิต) เพื่อแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูล

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะ RS-232

RS-232 Specs

SPECIFICATIONS	RS232
Mode of Operation	SINGLE-ENDED
Total Number of Drivers and Receivers on One Line	1 DRIVER 1 RECVR
Maximum Cable Length	50 FT.
Maximum Data Rate	20kb/s
Maximum Driver Output Voltage	+/-25V
Driver Output Signal Level (Loaded Min.) Loaded	+/-5V to +/-15V
Driver Output Signal Level (Unloaded Max) Unloaded	+/-25V
Driver Load Impedance (Ohms)	3k to 7k
Max. Driver Current in High Z State (Power On)	N/A
Max. Driver Current in High Z State (Power Off)	+/-6mA @ +/-2v
Slew Rate (Max.)	30V/uS
Receiver Input Voltage Range	+/-15V
Receiver Input Sensitivity	+/-3V

2.10 การควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage regulation)

การควบคุมแรงดัน (Voltage Regulation) เป็นการควบคุมแรงดันไฟฟ้าไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกินค่าที่กำหนด เมื่อโหลดเปลี่ยนหรือที่สภาวะโหลดคงที่ (Steady State) โดยมีค่าเป็นร้อยละของแรงดันพิกัด โดยคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\%VR = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{nl}} \times 100 \quad 2.4$$

V_{nl} = แรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (No load voltage)

V_{fl} = แรงดันไฟฟ้าขณะมีโหลดเต็มพิกัด (Full load voltage)

ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าจะมีค่าแรงดันมาตรฐานในการส่งจ่ายอุปกรณ์ที่ทำงานในระบบไฟฟ้าจะต้องได้รับแรงดันไฟฟ้าในช่วงค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปแล้วการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากผู้ผลิตจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าเกินกว่าปกติเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าถึงผู้ใช้ไฟฟ้าปลายทางในระดับแรงดันที่ต้องการ ดังนั้น แรงดันไฟฟ้าของผู้ใช้จึงขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของผู้ใช้ไฟฟ้า แต่ละราย เช่น ระยะทางจากจุดสถานีไฟฟ้าย่อยถึงผู้ใช้ และการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ไฟฟ้าในขณะหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้จากผู้จ่ายกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และในปัจจุบันจากการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนที่เป็นพลังงานสะอาด เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่ามักเกิดปัญหาแรงดันเกินในระบบ เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีมากเกินความต้องการไฟฟ้าในพื้นที่

2.11 อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า (Ramp rate)

โดยปกติกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีความแปรผันตามความเข้มของรังสีอาทิตย์และปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลโดยตรงต่อการได้รับรังสีอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น การเคลื่อนตัวของเมฆ หรือการทำให้เกิดการบังเงาอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงๆ นี้จะส่งผลต่อความผันผวนต่อแรงดันและความถี่ต่อระบบไฟฟ้า ในหนึ่งวันผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของเมฆผ่านเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้กำลังการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง และจะกลับเข้ามาสู่ภาวะปกติภายในเวลาไม่กี่วินาที การเปลี่ยนแปลงของพลังงานในช่วงเวลาหนึ่งสามารถเรียกได้ว่า Ramp rate ซึ่งถ้าพลังงานเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าเพิ่มขึ้นจะเรียก Ramp-up ถ้าพลังงานเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าลดลงจะเรียก Ramp-down โดยที่มีความแตกต่างของพลังงานเป็นวินาทีต่อวินาที มีหน่วยเป็น (เมกะวัตต์ / วินาที) ดังสมการที่ 2.5

$$\text{Ramp rate} = \frac{\Delta P(\text{MW}) \times T_1(\text{sec})}{\text{timescale}(\text{sec})} \quad 2.5$$

2.12 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอถึงคุณลักษณะ และคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน ปัจจัยที่มีผลต่อแบตเตอรี่ การใช้งานแบตเตอรี่ที่เหมาะสม ระบบจัดการแบตเตอรี่ สถานะการประจุแบตเตอรี่และการเชื่อมต่อนุกรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการนำแบตเตอรี่ไปใช้งานเป็นแหล่งสะสมพลังงานในการอัดประจุ และคายประจุจำเป็นต้องทราบถึงคุณลักษณะ และข้อจำกัดเหล่านี้ก่อน เพื่อที่จะสามารถพัฒนาด้านระบบจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมได้ซึ่งจะนำเสนอในบทถัดไป

บทที่ 3

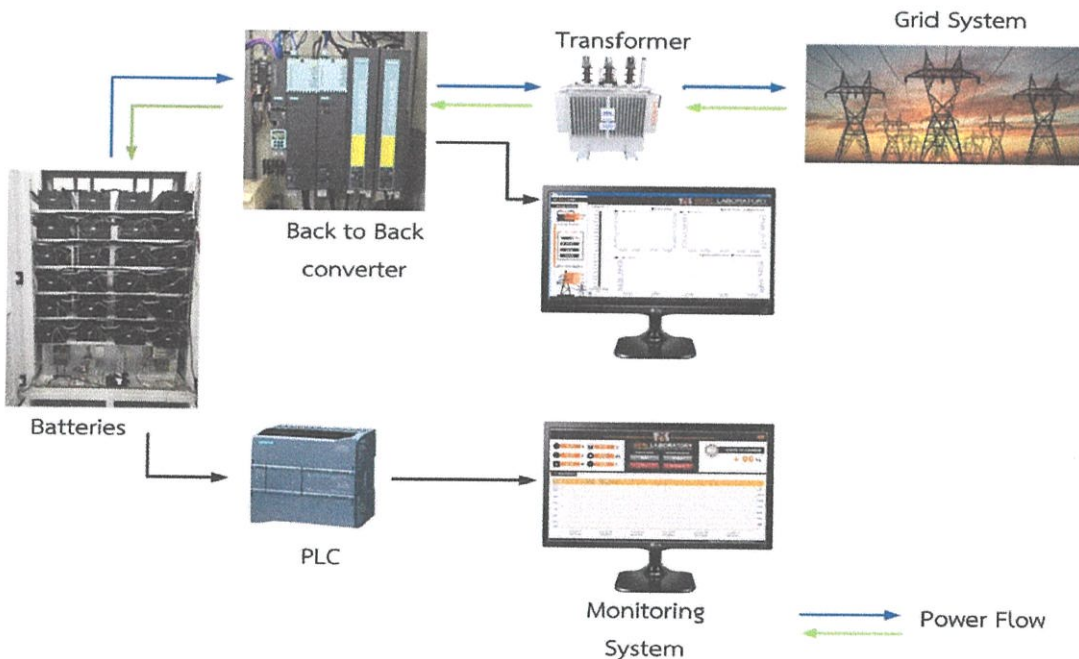
การออกแบบการทดลอง

3.1 บทนำ

ในปัจจุบันแบตเตอรี่มีบทบาทแพร่หลายในระบบสำรองไฟฟ้า เนื่องจากปัญหาการขัดข้องในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ทั้งภาคอุตสาหกรรม และภาคครัวเรือน เพื่อป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่ในขณะนั้น แต่แบตเตอรี่มีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นการใช้งานในแต่ละครั้งควรมีการควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไม่ให้เกิดเกินพิกัดตามที่คู่มือกำหนด เพื่อรักษาคุณภาพ และช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ วิธีหนึ่งที่สามารถตรวจสอบสถานะการใช้งานโดยการแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ และการควบคุมกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขณะใช้งานผ่าน PLC ซึ่งเป็นอุปกรณ์เขียนโปรแกรมควบคุม และประมวลผลการนำเสนอข้อมูลของแบตเตอรี่ผ่านทางหน้าจอแสดงผล นอกจากนี้ยังแสดงสถานะของแบตเตอรี่ช่วงคายประจุ และอัดประจุตามการใช้งานจริงโดยมีอินเวอร์เตอร์ชนิดหันหลังชนกันเป็นตัวสั่งการ

3.2 การเชื่อมต่อวงจรทดสอบแบตเตอรี่

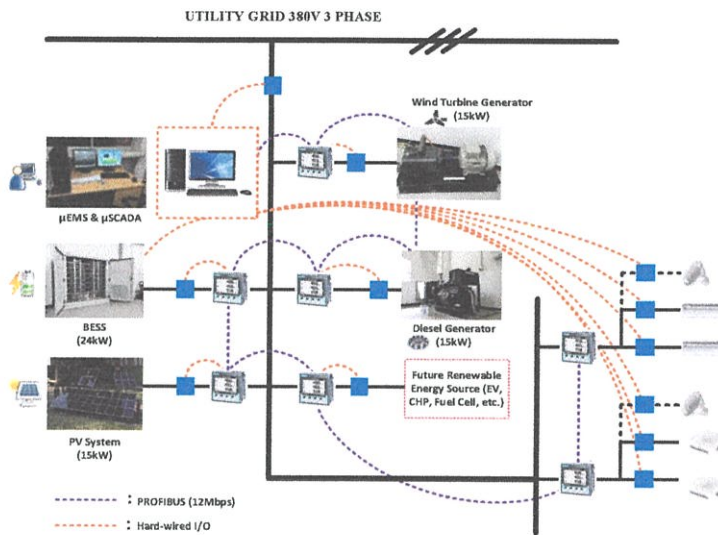
การเชื่อมต่อชุดทดสอบแบตเตอรี่ดังรูปที่ 3.1 โดยมีการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าจากนั้นเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสสลับเข้ากับอินเวอร์เตอร์ส่วนทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงจากอินเวอร์เตอร์จะเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ในการทดสอบสามารถอัดประจุไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ ส่วนการคายประจุไฟฟ้าทำได้โดยการดึงกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปยังระบบไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 การเชื่อมต่อชุดทดสอบแบตเตอรี่

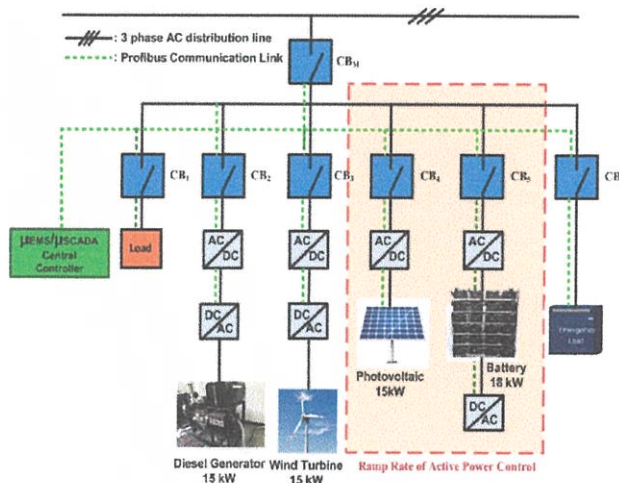
3.3 การเชื่อมต่อวงจรทดสอบกับระบบโครงข่าย

การเชื่อมต่อวงจรทดสอบแบตเตอรี่เข้าสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 15 kW ต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้าโดยมีการจำลองกังหันลมขนาด 15 kW เข้ามาร่วมเป็นส่วนหนึ่งในระบบ ดังรูปที่ 3.2 เพื่อแสดงการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าในการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลาผ่านหน้าจอแสดงผล ผ่านการเชื่อมต่อแบบ PROFIBUS ซึ่งเป็นโครงข่ายในการส่งข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละชนิดมายัง PLC ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ และประมวลผลผลลัพธ์ออกแสดงออกมาทางหน้าจอแสดงผล



รูปที่ 3.2 ระบบโครงข่ายการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อป้องกันอุปกรณ์และอุปกรณ์ข้างเคียงที่ใช้งาน ก่อนจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่าย



รูปที่ 3.3 ระบบโครงข่ายการจัดการพลังงาน

3.4 ข้อมูลแบตเตอรี่ที่ใช้ทำการทดลองชนิด Li-ion



Secret	Authorized party only	Rank	C
--------	-----------------------	------	---

MAT-KMT-E0002

Table 1-2 The module specifications (AM01202CCA05A)

Item	Specifications	Remarks
Nominal voltage *1	27.6V DC	-
Nominal capacity *1	40Ah	Discharging@25deg.C 0.2 C (8A) *2
Max allowed current *1	120A (Charge/discharge)	@25 deg.C
Operating voltage *1	18.0V~32.4V	-
Cell composition	2 in parallel and 12 in serial (2P12S)	Use of SCiB [®] 20Ah cell
	-Measuring of cell voltages and module temperatures	-The notification of cell voltages and module temperatures
Function	-Measuring of cell voltages and module temperatures -Cell balancing operation -External notification through CAN -Automatically numbered CMU-ID by UART	-The notification of cell voltages and module temperatures through CAN -Cell balancer can be operated through CAN -CAN 2.0B: 500kbps -UART: 1200bps
Number of connections	Below 22 modules in series	(22 modules in series, Nominal voltage: 607.2V)
Charge/discharge terminal	Specified M6 screw	Tool: T20 Hexalobular wrench
Dimensions	187.3(H) x 358.5(D) x 122.65(W)	Unit: mm (Excluding protrusions) (Tolerance refers to "1.3 Appearance/Dimensions")
Weight	14kg (Approx.)	-
External interface	CAN 2.0B 1ch UART (ISO9141 Equivalent) 1ch	CAN communication connector (8 poles) SM08B-CPTK-1A-TB (Manufactured by JST)
CMU operating power supply	Voltage: DC12V (10.2~13.2V) Rated consumption current: 17mA	Supplied from external power source Instantaneous interruption: less than 10msec Rush current: Approx. 7A (Only 1 in series), ~Approx. 11A (22 in series)
Environmental condition	Operating temperature range	-30~+55deg.C No condensation *3
	Storage temperature range	-30~+55deg.C Recommended: -10~+25deg.C No condensation *3
	Humidity	15~85%RH No condensation *3
	Operating altitude range	Below 1,000m When this module is used in an area over 1,000m, please contact us at the address described at the end of this document.

Note *1. Initial characteristics in manufacturing.

*2. Charge/discharge condition

• Charge: 40A, 20A, 8A, 4A, 2A/cell 2.7V cut Step charge

• Discharge: 8A/cell 1.5V cut Constant current discharge

*3. This module may be damaged and become unusable due to condensation.

รูปที่ 3.4 ข้อมูลทางเทคนิคของแบตเตอรี่ Li-ion

3.5 โปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens

มีหน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens ดังรูปที่ 3.5 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการนำข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดกระแส และเซนเซอร์วัดแรงดัน มาทำการแบ่งประเภทของข้อมูลเพื่อง่ายต่อการแสดงผลในโปรแกรม PLC

สำหรับการออกแบบหน้าจอแสดงข้อมูลของแบตเตอรี่จะใช้โปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้แก่ แรงดันต่อเซลล์ภายในแบตเตอรี่ อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ กระแสขณะใช้งานของแบตเตอรี่ และค่าสถานะ SOC (State of Charge)



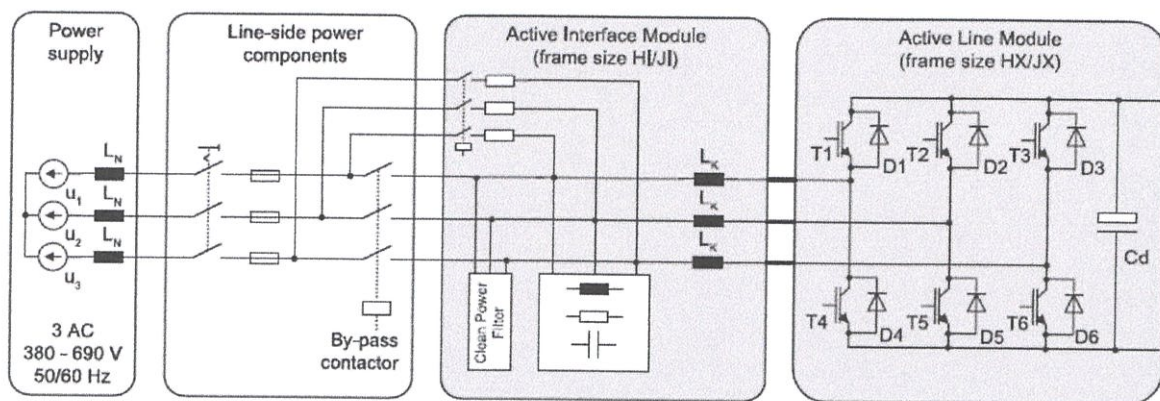
รูปที่ 3.5 หน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens

3.6 การออกแบบวงจรกำลัง

ในวงจรกำลังจะใช้แบตเตอรี่เชื่อมเข้ากับอินเวอร์เตอร์ชนิด Back to back converter ดังรูปที่ 3.6 ดังนั้นในการส่งพลังงานไฟฟ้าจึงสามารถทำได้สองทิศทางนั่นคือสามารถทำงานได้ทั้งโหมดจ่ายพลังงานสู่โหลด และโหมดจ่ายพลังงานกลับสู่แหล่งจ่าย (Inverter Mode) ในวงจรกำลังนี้มี พิกัด input 3AC 380 - 480V 50/60Hz output DC 600V 27A 16 kW

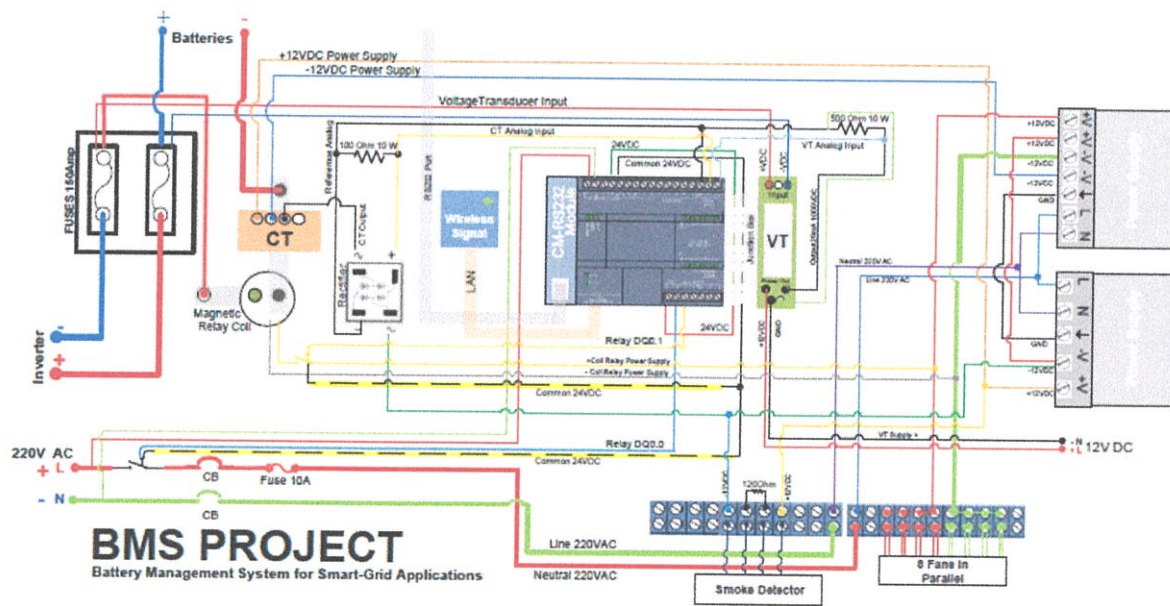


รูปที่ 3.6 อินเวอร์เตอร์ชนิด Back to back converter



รูปที่ 3.7 โครงสร้างวงจรรินเวอร์เตอร์แบบหันหลังชนกัน
(Back to back converter)

3.7 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในตู้แบตเตอรี่



รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงการเดินสายไฟ และการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในตู้

3.8 การออกแบบอุปกรณ์การตรวจวัด

3.8.1 Current transducer รุ่น Honeywell CSNS 200M-002

ใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขณะใช้งาน ประกอบไปด้วยไฟเลี้ยงจากแหล่งจ่ายไฟ กระแสตรง $\pm 12\text{ V}$ โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- Rated current : 200A.trms
- Measurement limit : 0 400A.t (DC AC Peak)
- Measure the resistance-value In 70 degrees of C): Rm min Rm max
- With 18V, at 50A.t Max : 20ohm 140 ohm
- With 18V, at 90A.t Max : 20ohm 50 ohm
- Imitate the output current When 50A) : 100mA
- Zero offset current (25 degrees of C) : Superior to 0.30mA
- Offset current temp drift (0~70 degrees of C) : Superior to 0.60mA
- Linear scale: Superior to 0.20%
- Response time: Superior to 500ns
- Frequency bandwidth: DC~150 KHz



รูปที่ 3.9 CT รุ่น CSNS 200M-002

3.8.2 Voltage transducer รุ่น HDV-T2

ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขณะใช้งาน ประกอบไปด้วยไฟเลี้ยงจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 12 V. สัญญาณขาออกเข้าสู่ PLC และสัญญาณรับแรงดันจากฟิวส์โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

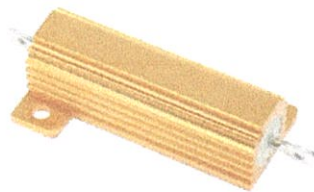
- Input : 0-1000 VDC
- Output : 4-20 mA
- Supply : 12 V DC
- Error : ± 0.5
- Resistance : 100 m,500vdc
- Temperature : -10 to 50 °C
- Humidity : 40 to 70 °C



รูปที่ 3.10 VT รุ่น HDV-T2

3.8.3 ตัวต้านทานขนาด 100 โอห์ม 10 วัตต์

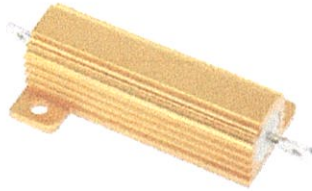
ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณจาก Current transducer ที่มีช่วงสัญญาณกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 0 - 100mA ให้อยู่ในรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 0 - 10 V เพื่อเข้าสู่ช่อง Analog input ของ PLC ต่อไป



รูปที่ 3.11 ตัวต้านทานขนาด 100 โอห์ม

3.8.4 ตัวต้านทานขนาด 500 โอห์ม 10 วัตต์

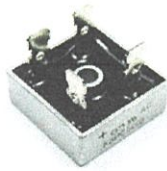
ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณจาก Voltage transducer ที่มีช่วงสัญญาณกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 0 - 20mA ให้อยู่ในรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 0 - 10 V เพื่อเข้าสู่ช่อง Analog input ของพีแอลซี



รูปที่ 3.12 ตัวต้านทานขนาด 500 โอห์ม

3.8.5 วงจรเรียงกระแส

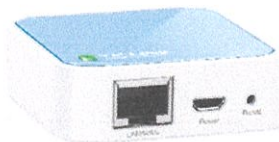
ใช้สำหรับบังคับทิศทางของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานให้มีค่าเป็นบวกเสมอ



รูปที่ 3.13 วงจรเรียงกระแส

3.8.6 Wireless signal

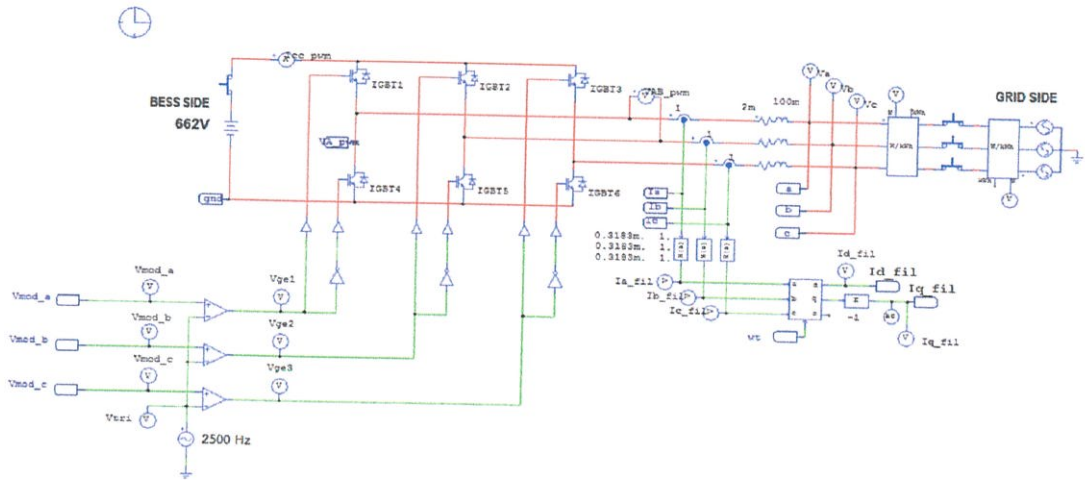
ใช้ในการส่งสัญญาณชุดคำสั่งจาก PLC มาสู่หน้าจอแสดงผล



รูปที่ 3.14 Wireless signal

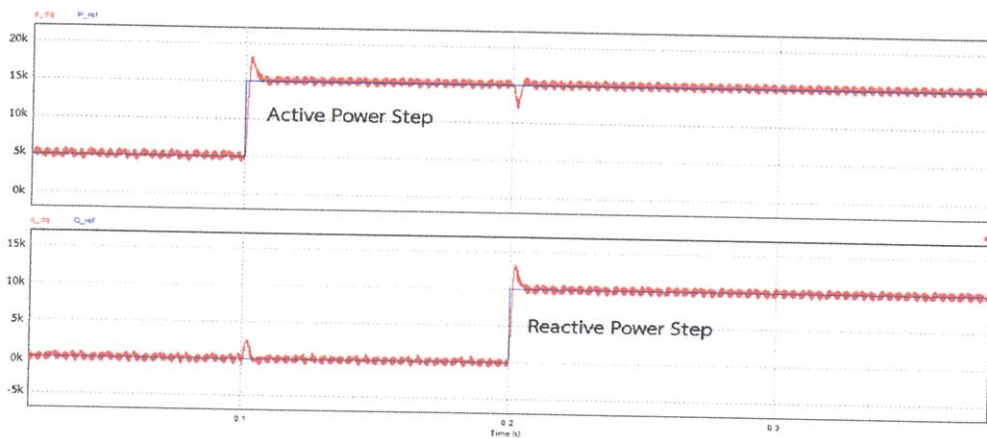
3.9 การออกแบบวงจรไฟฟ้ากำลัง ผ่านโปรแกรม PSIM Simulation

การจำลองการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ผ่านโปรแกรม PSIM เพื่อทดสอบผลการตอบสนองของระบบ ในโหมดการทำงานต่าง ๆ ของระบบเก็บสะสมพลังงาน ช่วงการคายประจุ และช่วงการอัดประจุเมื่อเชื่อมต่อกับโครงข่าย โดยการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าปรากฏ เพื่อดูผลกระทบของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าต่อระบบโครงข่าย

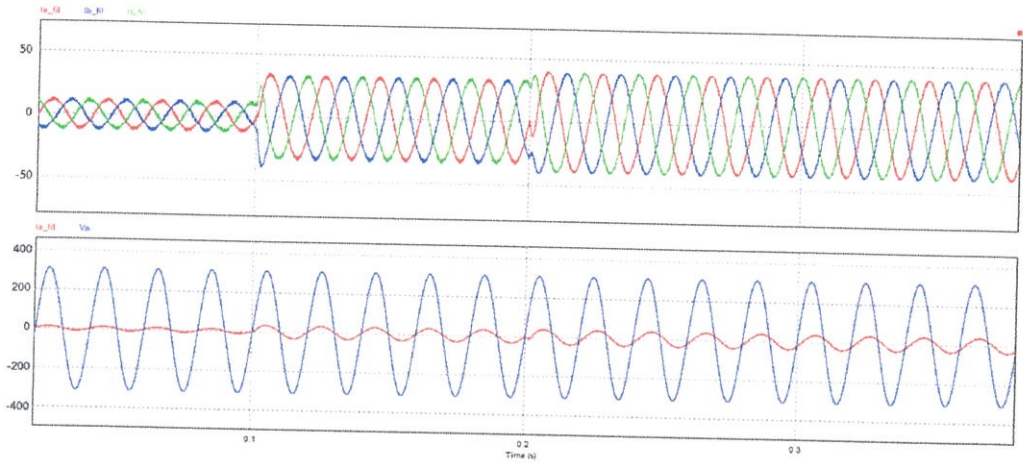


รูปที่ 3.15 วงจรไฟฟ้ากำลังของระบบ ในโปรแกรม PSIM Simulation

3.9.1 การทดลองหาผลการตอบสนองในช่วง Discharge Mode

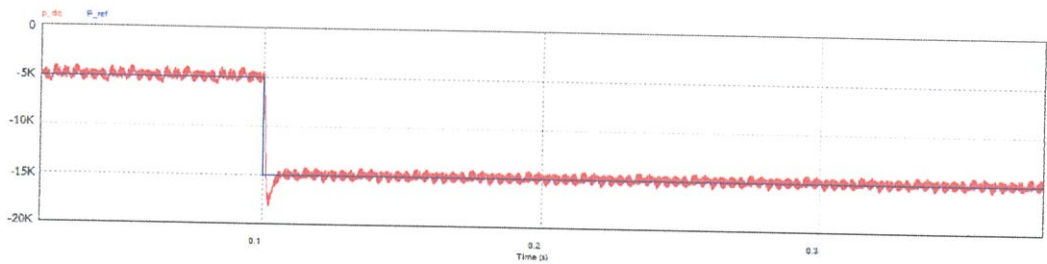


รูปที่ 3.16 กราฟการตอบสนองต่อคำสั่งของค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Reactive Power) เข้าระบบโดยมีกราฟเส้นสีน้ำเงินเป็นกราฟอ้างอิง

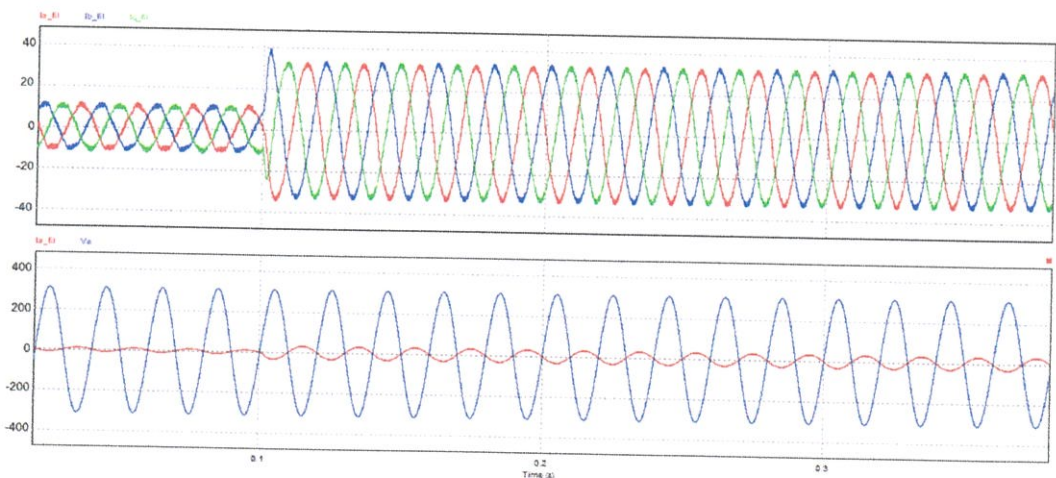


รูปที่ 3.17 กราฟกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟส และกราฟกระแสไฟฟ้ากับแรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Reactive Power)

3.9.2 การทดลองหาผลการตอบสนองในช่วง Charge Mode



รูปที่ 3.18 กราฟการตอบสนองต่อคำสั่งของค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อตั้งกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) เพื่ออัดประจุเข้าระบบโดยมีกราฟเส้นสีน้ำเงินเป็นกราฟอ้างอิง



รูปที่ 3.19 กราฟกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟส และกระแสไฟฟ้ากับแรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าจริง (Active Power)

3.10 สรุป

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงอุปกรณ์ และวิธีการดึงข้อมูลออกมาจากแบตเตอรี่โดยใช้ เซนเซอร์วัดกระแส และเซนเซอร์วัดแรงดัน ทำให้ได้ค่าแรงดัน และกระแสจากแบตเตอรี่เพื่อ คำนวณหาค่าการอัดประจุของแบตเตอรี่เมื่อทำการคายประจุ และอัดประจุ โดยใช้ PLC เป็นอุปกรณ์ ในการเขียนชุดคำสั่ง และประมวลผลออกมาทางหน้าจอแสดงผล รวมถึงผลการตอบสนองของ กำลังไฟฟ้าที่เข้าสู่ระบบเพื่อดูผลการตอบสนองก่อนการทดลอง

บทที่ 4

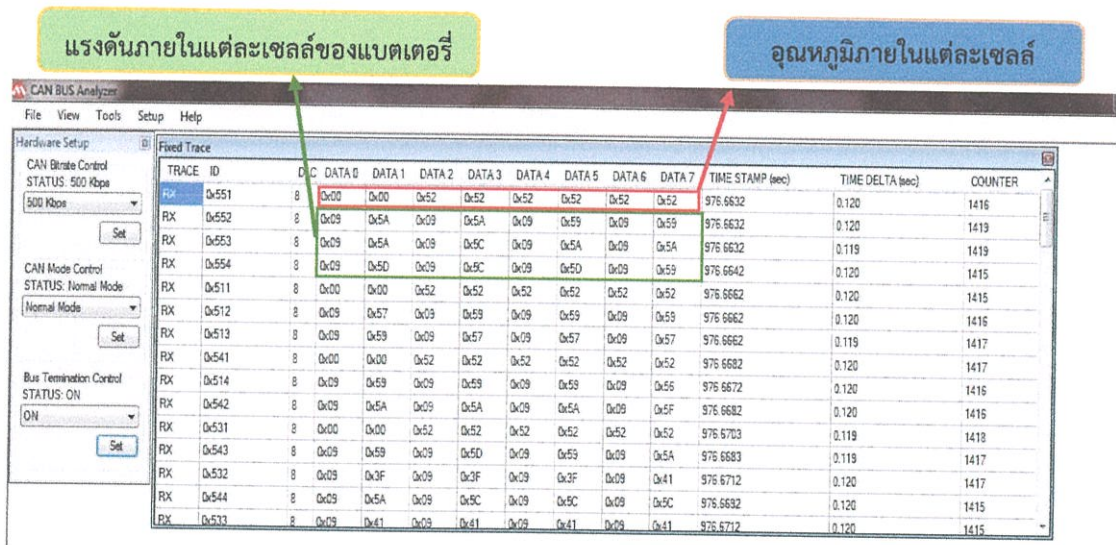
ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการนำเสนอถึงผลการทดสอบของระบบแหล่งสะสมพลังงานไฟฟ้า โดยเริ่มจากการออกแบบช่วงค่าความจุของระบบในการใช้งานนั้นคือสถานะการอัดประจุ (State of charge : SOC) ให้มีค่า 20 – 80 % ของความจุจริง จากนั้นทดสอบเพื่อดูผลการตอบสนองแรงดันไฟฟ้าของระบบโครงข่าย รวมถึงการทดสอบเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ ในช่วงขณะหนึ่ง โดยใช้พีแอลซี (PLC) ในการสร้างโปรแกรม และหน้าจอแสดงผลเพื่อแสดงผลและวิเคราะห์สถานะของระบบ

4.2 การอ่านข้อมูลระดับเซลล์ภายในแบตเตอรี่โดยใช้ CAN BUS Analyser เปรียบเทียบกับ chipKit MAX 32

การสื่อสารแบบ CAN สำหรับใช้ดึงข้อมูลสถานะภายในของแบตเตอรี่ เพื่อแสดงผลค่าอุณหภูมิ และแรงดันภายในแต่ละเซลล์ โดยใช้ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ CAN BUS Analyser เป็นค่าอ้างอิงในการแปลงสัญญาณเป็น RS-232 ผ่านอุปกรณ์ chipKit MAX 32 ก่อนเข้าอุปกรณ์พีแอลซี



รูปที่ 4.1 ข้อมูลภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ผ่าน CAN BUS Analyser

จากรูปที่ 4.1 แสดงข้อมูลที่อ่านได้จากโปรแกรม CAN BUS Analyser โดยข้อมูลของแบตเตอรี่ 1 ก้อนจะประกอบไปด้วยข้อมูล 4 ชุดแสดงในกรอบสีแดง และกรอบสีเขียว ในส่วนของข้อมูลชุดแรก คือข้อมูลในกรอบสีแดง แสดงถึงอุณหภูมิภายในแต่ละเซลล์ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูล 6 ข้อมูล โดยเริ่มจาก DATA ที่ 2 ข้อมูลค่าแรกเป็นค่าอุณหภูมิของเซลล์ที่หนึ่ง และเซลล์ที่สอง ค่าที่สองเป็นค่าอุณหภูมิของเซลล์ที่สาม และเซลล์ที่สี่ ตามลำดับจนครบ 12 เซลล์ย่อย โดยค่าที่แสดงเป็นตัวเลขฐานสิบหก ต้องแปลงมาเป็นตัวเลขฐานสิบอีกครั้งหนึ่ง ส่วนข้อมูลอีกสามชุดถัดไปแสดงถึง

แรงดันภายในเซลล์ในกรอบสีเขียว ซึ่งภายในมี 12 เซลล์ย่อย โดยเซลล์แรกเป็นข้อมูลของ DATA 0 และ DATA 1 เซลล์ที่สองเป็นข้อมูลของ DATA 2 และ DATA 3 ตามลำดับ จนครบ 12 เซลล์ย่อย

Name	Data type	Offset	Start value	Monitor value	Retain	Accessible f.	Visible in	Setpoint	Comment
batt[0]	Byte	0.0	16#0	16#05					
batt[1]	Byte	1.0	16#0	16#11					
batt[2]	Byte	2.0	16#0	16#00					
batt[3]	Byte	3.0	16#0	16#00					
batt[4]	Byte	4.0	16#0	16#52					
batt[5]	Byte	5.0	16#0	16#52					
batt[6]	Byte	6.0	16#0	16#52					
batt[7]	Byte	7.0	16#0	16#52					
batt[8]	Byte	8.0	16#0	16#52					
batt[9]	Byte	9.0	16#0	16#52					
batt[10]	Byte	10.0	16#0	16#03					
batt[11]	Byte	11.0	16#0	16#12					
batt[12]	Byte	12.0	16#0	16#09					
batt[13]	Byte	13.0	16#0	16#56					
batt[14]	Byte	14.0	16#0	16#09					
batt[15]	Byte	15.0	16#0	16#56					
batt[16]	Byte	16.0	16#0	16#09					
batt[17]	Byte	17.0	16#0	16#56					
batt[18]	Byte	18.0	16#0	16#09					
batt[19]	Byte	19.0	16#0	16#56					
batt[20]	Byte	20.0	16#0	16#05					
batt[21]	Byte	21.0	16#0	16#13					
batt[22]	Byte	22.0	16#0	16#09					
batt[23]	Byte	23.0	16#0	16#56					
batt[24]	Byte	24.0	16#0	16#09					
batt[25]	Byte	25.0	16#0	16#56					
batt[26]	Byte	26.0	16#0	16#09					
batt[27]	Byte	27.0	16#0	16#56					
batt[28]	Byte	28.0	16#0	16#09					
batt[29]	Byte	29.0	16#0	16#53					
batt[30]	Byte	30.0	16#0	16#05					

รูปที่ 4.2 ข้อมูลของแบตเตอรี่บน PLC ผ่านการแปลงของ chipKit Max 32

จากรูปที่ 4.2 แสดงข้อมูลที่อ่านได้จากแบตเตอรี่บนพีแอลซี (PLC) เพื่อนำมาจัดเรียงและแปลงข้อมูลก่อนนำไปใช้ประกอบการทำงาน โดยข้อมูลของแบตเตอรี่จำนวน 1 ก้อนจะประกอบไปด้วยข้อมูลจำนวน 4 ชุด ชุดละ 10 ไบต์ โดยสามารถแยกชุดข้อมูลได้จากข้อมูล 2 ไบต์แรกของแต่ละชุดข้อมูล ซึ่งแสดงอยู่ภายในกรอบสีแดง เช่น 16#05 16#12 หมายถึงข้อมูลของแบตเตอรี่ลูกที่ 1 ข้อมูลชุดที่ 2 เป็นต้น โดยข้อมูลภายในกรอบสีเขียวคือข้อมูลชุดแรก 16#11 แสดงสถานะของอุณหภูมิทั้ง 6 จุดภายในแบตเตอรี่ คือ 16#52 ทั้งหมด 6 ไบต์ และข้อมูลภายในกรอบสีม่วง คือข้อมูลชุด 16#12 16#13 16#14 แสดงสถานะค่าแรงดันไฟฟ้าแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าแรงดันไฟฟ้าทั้งหมด 12 เซลล์ย่อย นำจัดเรียงข้อมูลแบบดับเบิลเวิร์ด เช่น 16#09 16#56 เป็น 0956 เป็นต้น โดยค่าที่แสดงจัดอยู่ในรูปตัวเลขฐานสิบหก ดังนั้นจึงต้องแปลงมาเป็นตัวเลขฐาน 10 ดังแสดงในตาราง 4.1

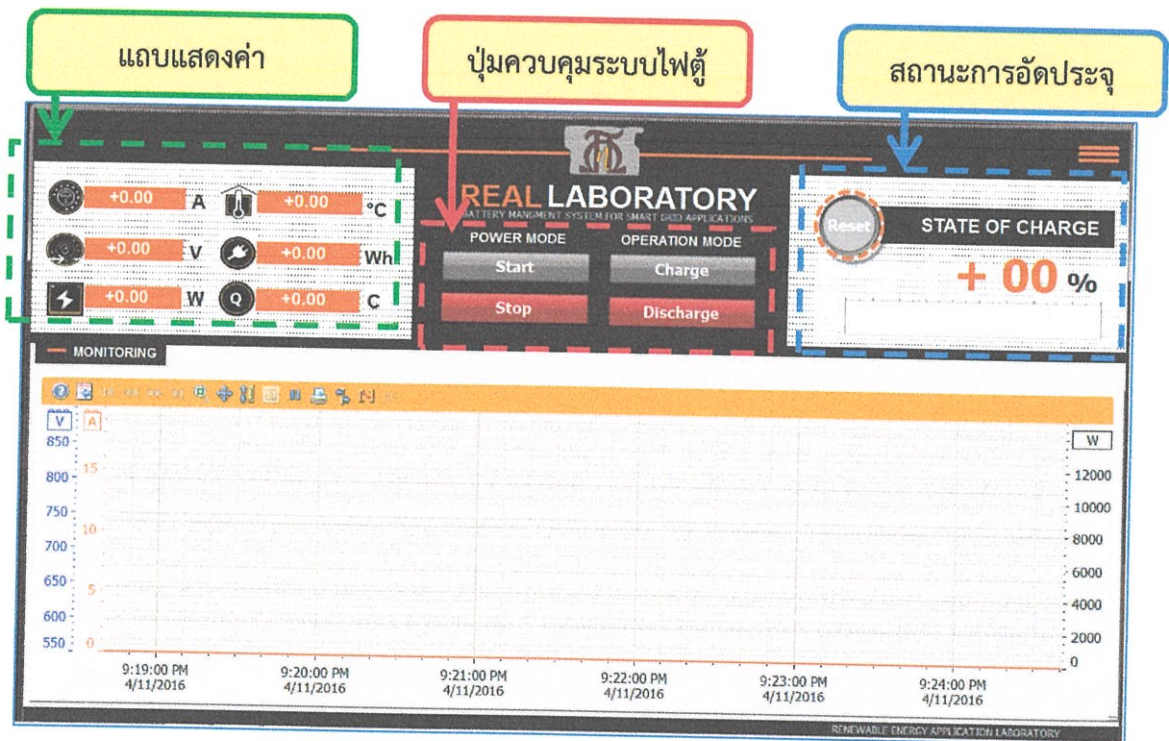
ตารางที่ 4.1 การแปลงเลขฐาน 16 เป็นเลขฐาน 10 เพื่อแสดงค่าสถานะของเซลล์แบตเตอรี่

ข้อมูลภายในเซลล์	เลขฐาน 16	เลขฐาน 10
อุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$)	52	82 (Off set 50)
เซลล์ที่ 1(V)	0956	2.39 (Off set 1000)
เซลล์ที่ 2(V)	0956	2.39 (Off set 1000)
เซลล์ที่ 3(V)	0956	2.39 (Off set 1000)
เซลล์ที่ 4(V)	0956	2.39 (Off set 1000)
เซลล์ที่ 5(V)	0956	2.39 (Off set 1000)
เซลล์ที่ 6(V)	0956	2.39 (Off set 1000)

4.3 โปรแกรมแสดงผลค่าพารามิเตอร์จากแบตเตอรี่

4.3.1 โปรแกรมการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์จากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

โปรแกรม REAL Battery Management System นี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อตรวจจับค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ และการควบคุมระบบความปลอดภัย ภายในระบบสะสมพลังงานไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อกันแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter) ซึ่งสามารถควบคุมได้ ในหน้าจอแสดงผลถัดไป



รูปที่ 4.3 หน้าจอแสดงผลค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่

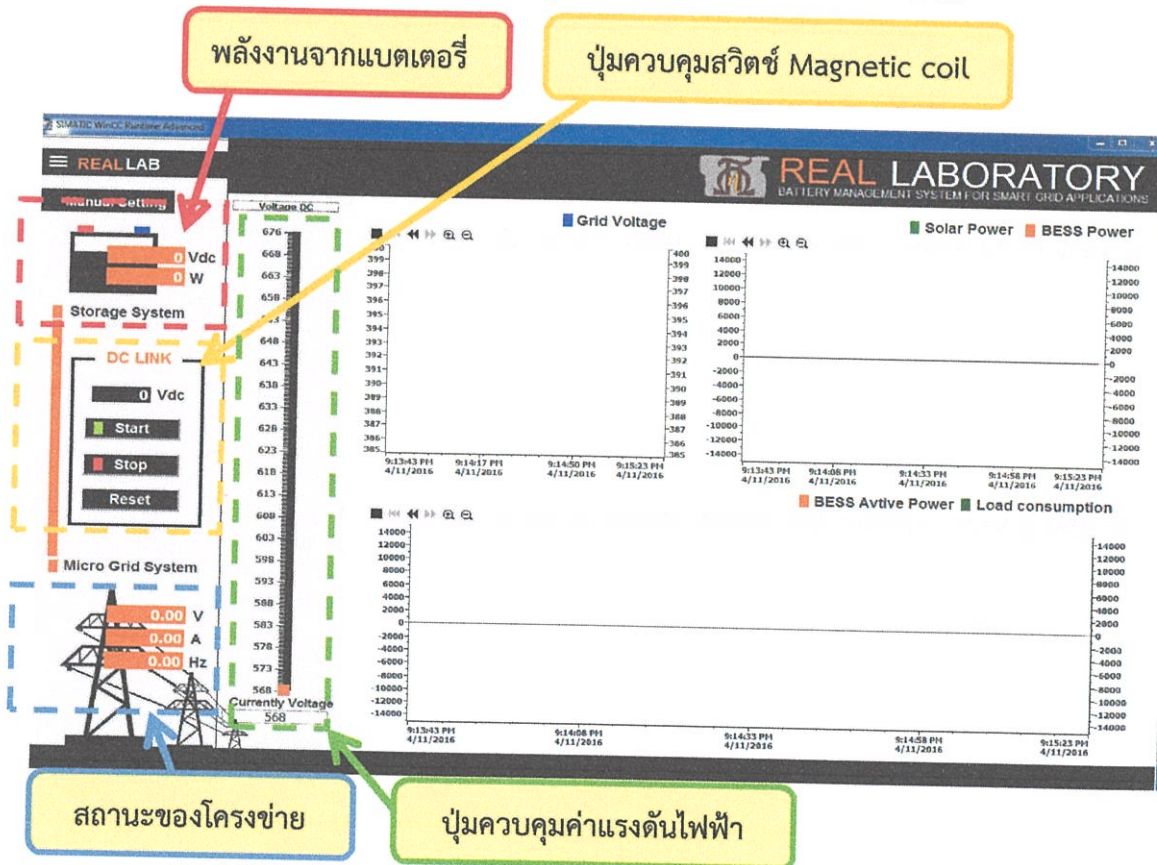
โปรแกรมและเครื่องมือดังกล่าวถูกออกแบบให้ใช้กับซอฟต์แวร์ REAL Battery Management System โดยในหน้าจอดังกล่าวผู้ใช้สามารถเลือกค่าการแสดงผลต่าง ๆ เพื่อมาแสดงในกราฟด้านล่างได้ เพื่อใช้ประกอบการควบคุม, วิเคราะห์ และตรวจจับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายในแบตเตอรี่

โดยค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจจับได้จากแบตเตอรี่ และนำมาแสดงผลในหน้าจอได้แก่

- ค่ากระแสไฟฟ้า (A)
- ค่าอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
- ค่าแรงดันไฟฟ้ารวม (V)
- ค่าพลังงานไฟฟ้า (Wh)
- ค่ากำลังไฟฟ้า (W)
- ค่าสถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่ (SOC)

4.3.2 โปรแกรมการตรวจสอบสถานะแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่าย

โปรแกรมควบคุม และแสดงผลการทำงานของระบบดังรูปที่ 4.4 ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับคำสั่งของผู้ใช้งานและแสดงค่าที่จำเป็นต่อการใช้งาน โดยมีการควบคุมแรงดันกระแสตรงระหว่าง Back to back converter และระบบสะสมพลังงาน เพื่อปรับแรงดันให้ใกล้เคียงกัน ก่อนเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อป้องกัน ตัวเก็บประจุภายในตัว Back to back converter



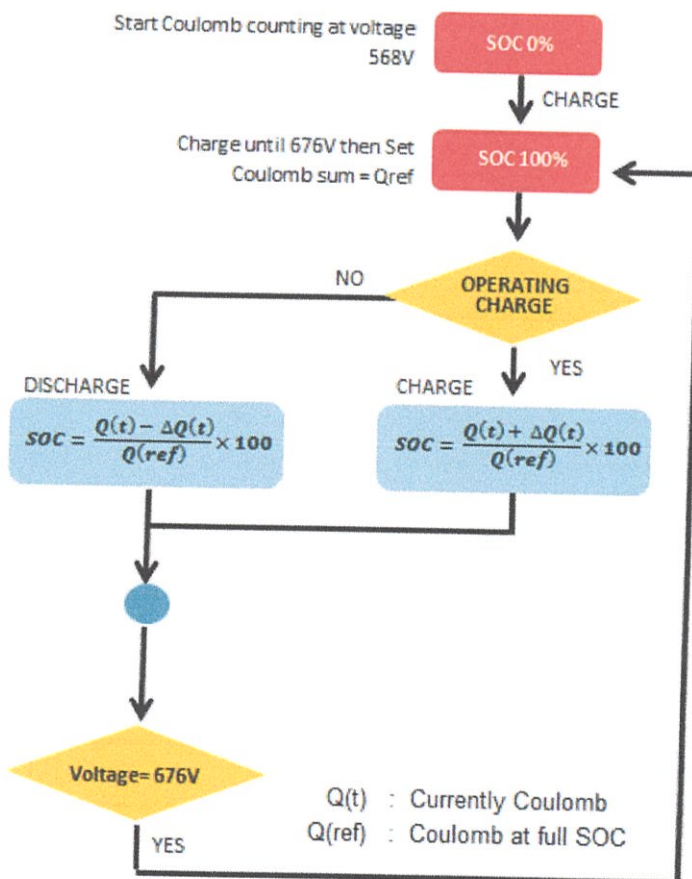
รูปที่ 4.4 หน้าจอควบคุม และแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่าย

โปรแกรมดังกล่าวถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับอุปกรณ์ในระบบ ซึ่งแสดงข้อมูลที่จำเป็นดังต่อไปนี้

- แรงดันเชื่อมต่อ (DC link)
- ปุ่มควบคุม ปิด และเปิด ระบบ
- สถานะของโครงข่าย ซึ่งประกอบไปด้วย กระแส แรงดัน และความถี่
- กราฟแสดงแรงดันของโครงข่าย
- กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระบบสะสมพลังงาน และพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์
- กราฟแสดงการใช้พลังงานของอาคาร และพลังงานจากระบบสะสมพลังงาน

4.4 ขั้นตอนการคำนวณเพื่อหาค่าสถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่

ในการทดลองนี้ได้กำหนดวิธีการหาค่าสถานะการอัดประจุแบบ การนับประจุ Coulomb Counting โดยการหาพื้นที่ใต้กราฟของกราฟกระแสเทียบกับเวลา ซึ่งโปรแกรมถูกออกแบบมาให้ทำการหาพื้นที่ใต้กราฟทุก ๆ 0.1 วินาที กำหนดให้ 20% - 80% ของความจุจริงเท่ากับ 0 - 100% ขณะใช้งานโดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แผนผังแสดงกระบวนการหาค่าสถานะการอัดประจุ

4.5 ผลการทดสอบแบตเตอรี่เพื่อหาค่าสถานะการอัดประจุ

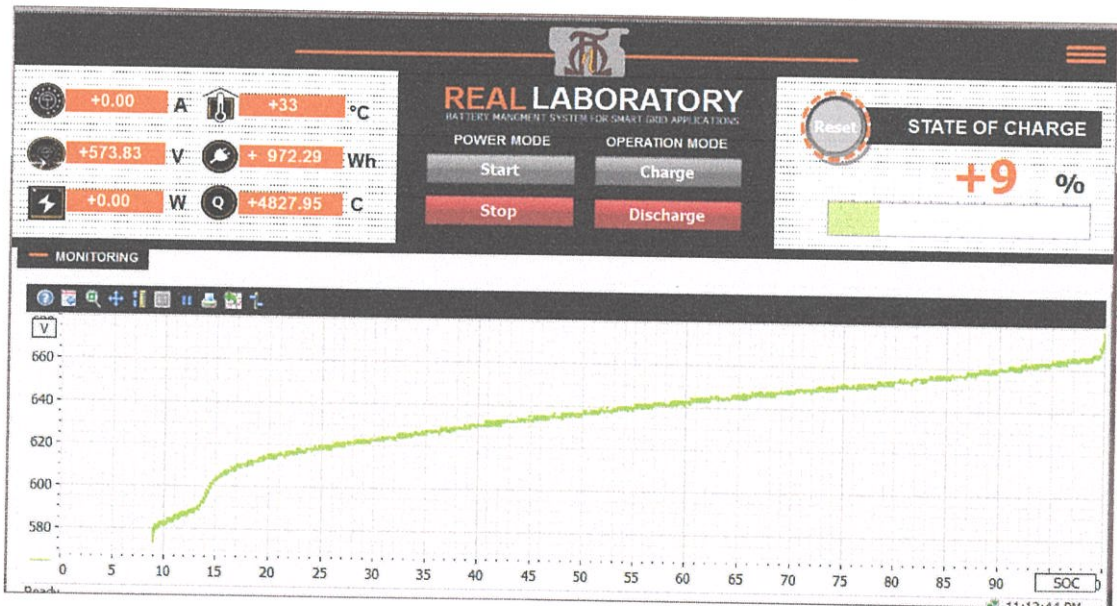
ผลการทดสอบการคายประจุไฟฟ้า (Discharge) ของระบบสะสมพลังงาน เข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าผ่านทาง Back to back converter เพื่อหาค่าคูลอมบ์อ้างอิงของแบตเตอรี่ Q(ref) ในการตั้งค่าสถานะการอัดประจุ (SOC) ผ่านทางโปรแกรม Win CC โดยแสดงผลพร้อมออกมาทางหน้าจอแสดงผล (SCADA) กำหนดให้ค่าแรงดันมาตรฐานของแบตเตอรี่อยู่ที่ 568 - 676 V ที่ SOC 0-100% ตามลำดับ

4.5.1 ผลการทดลองหาค่าพลังงานเฉลี่ยจากค่าสถานะการอัดประจุ 0 - 100% ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยจากค่าสถานะการคายประจุ

พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด	9.8 kW
คูลอมบ์ทั้งหมด Q (ref)	53,632.0 C

จากผลการทดลองการคายประจุของระบบสะสมพลังงาน โดยค่าพลังงานไฟฟ้าสามารถอ่านได้จากโปรแกรมที่ใช้ในการทดลองควบคู่ไปกับการอ่านค่าจาก เพาเวอร์มิเตอร์ และค่า Q (ref) สามารถอ่านได้จากโปรแกรมแสดงผลเช่นกัน

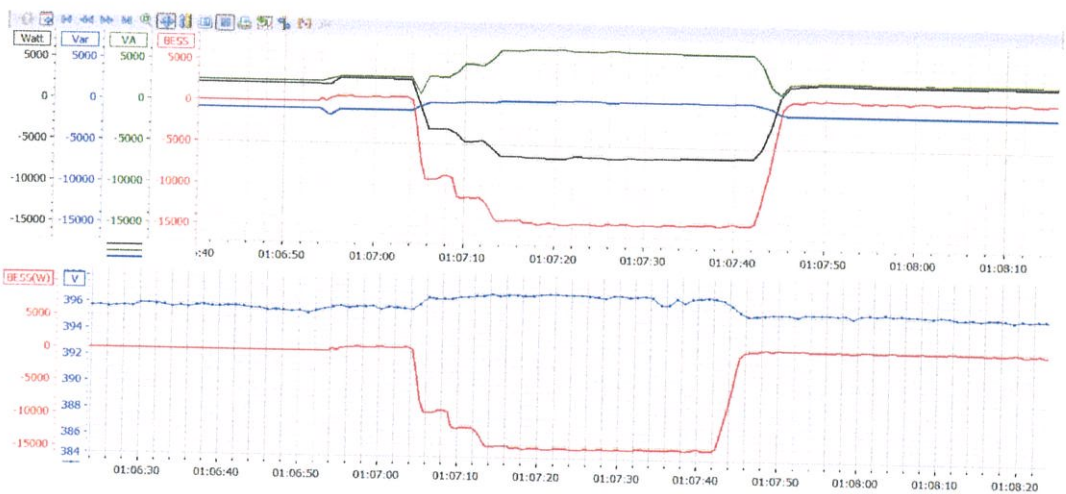
4.5.2 การทดสอบแบตเตอรี่เพื่อหาค่าสถานะการอัดประจุ (SOC)



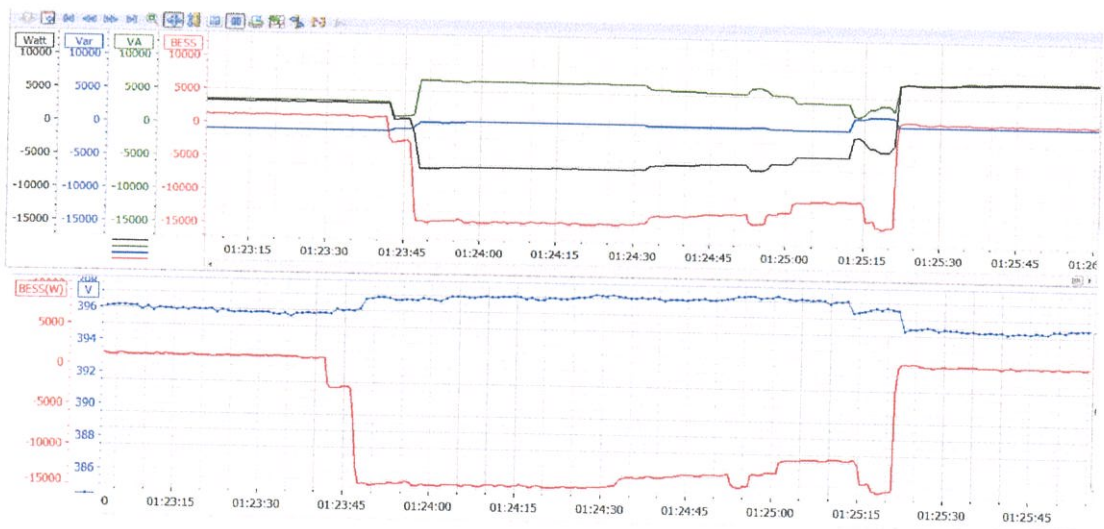
รูปที่ 4.6 หน้าจอแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการอัดประจุ (SOC) และแรงดันไฟฟ้ารวม

4.5.3 การทดสอบการใช้ระบบสะสมพลังงานไฟฟ้าเพื่อดูผลการตอบสนองของแรงดันโครงข่าย

การทดสอบครั้งที่ 1 : เริ่มทดสอบ ณ เวลา 01:07 เพื่อดูการตอบสนองของแรงดันโครงข่ายเมื่อมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงคงที่ 15 กิโลวัตต์เข้าสู่ระบบโครงข่ายในช่วงระยะเวลา 40 วินาที ดังรูปที่ 4.7 กราฟด้านบนคือ กราฟแสดงผลการตอบสนองของพลังงานภายในอาคารปฏิบัติการ ซึ่งประกอบไปด้วยกราฟเส้นสีเส้นสีแดงคือกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกเข้าสู่โครงข่าย ส่วนกราฟเส้นสีดำ คือกำลังไฟฟ้ารวมของระบบห้องปฏิบัติการ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้ารวมของระบบห้องปฏิบัติการ มีค่าเป็น ลบ หมายความว่ามีการผลิตกำลังไฟฟ้ารวมมากกว่าความต้องการใช้ เมื่อมีการคายกำลังไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่เข้าสู่โครงข่าย ขณะที่กราฟเส้นสีน้ำเงิน คือกราฟแรงดันไฟฟ้าโครงข่ายปรับตัวเพิ่มขึ้น 0.3275% จากค่าแรงดันเฉลี่ยก่อนการทดลอง



รูปที่ 4.7 การชดเชยแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายทดสอบครั้งที่ 1

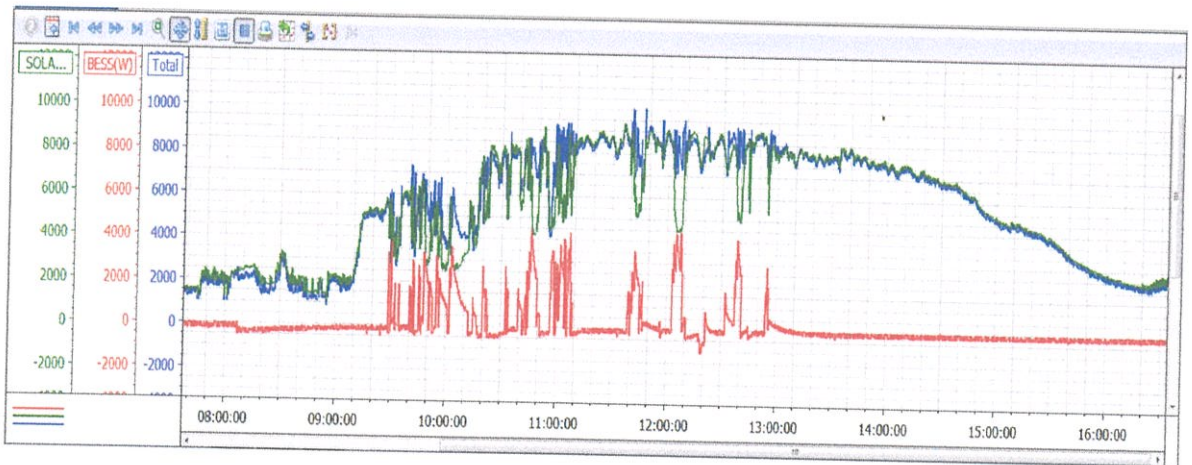


รูปที่ 4.8 การชดเชยแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายทดสอบครั้งที่ 2

การทดสอบครั้งที่ 2 : เริ่มทดสอบ ณ เวลา 01:23 เพื่อดูการตอบสนองของแรงดันโครงข่ายเมื่อมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงคงที่ 15 กิโลวัตต์เข้าสู่ระบบโครงข่ายในช่วงระยะเวลา 90 วินาที ดังรูปที่ 4.8 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้ารวมของระบบห้องปฏิบัติการ มีค่าเป็นลบ หมายความว่ามีการผลิตกำลังไฟฟ้ารวมมากกว่าความต้องการใช้ เมื่อมีการคายกำลังไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่เข้าสู่โครงข่าย ขณะที่กราฟเส้นสีน้ำเงิน คือกราฟแรงดันไฟฟ้าโครงข่าย ปรับตัวเพิ่มขึ้น 0.2505% จากค่าแรงดันเฉลี่ยก่อนการทดลอง

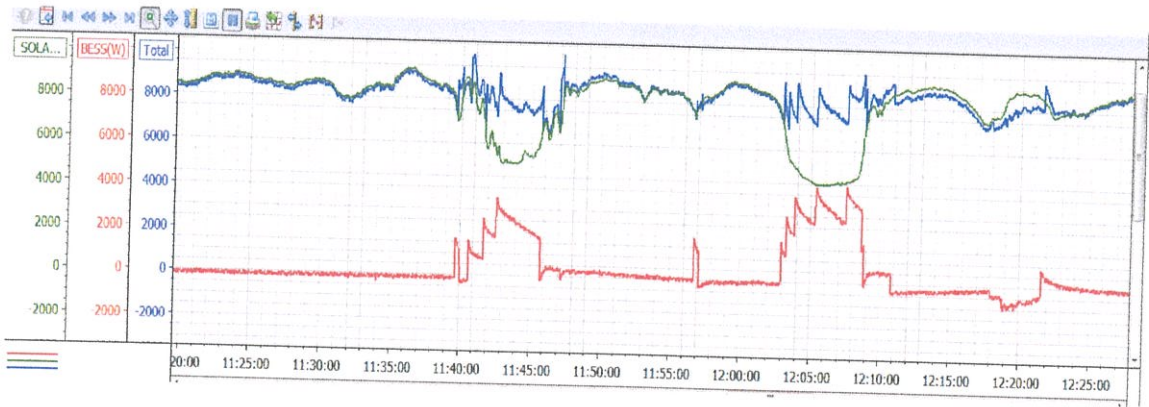
4.5.4 การทดสอบการใช้ระบบสะสมพลังงานเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบครั้งที่ 1 การจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปชั่วขณะหนึ่ง ดังรูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ตั้งแต่ 8:00 ถึง 16:00 โดยกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกราฟเส้นสีเขียว กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เป็นกราฟเส้นสีแดง และกำลังไฟฟ้ารวมที่มีการชดเชยเป็นกราฟเส้นสีน้ำเงิน จากกราฟจะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ดังนั้นแหล่งเก็บพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่จึงเข้ามามีบทบาทในการชดเชยเพื่อรักษาระดับแรงดันและความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปให้คงที่ เมื่อกำลังการผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว



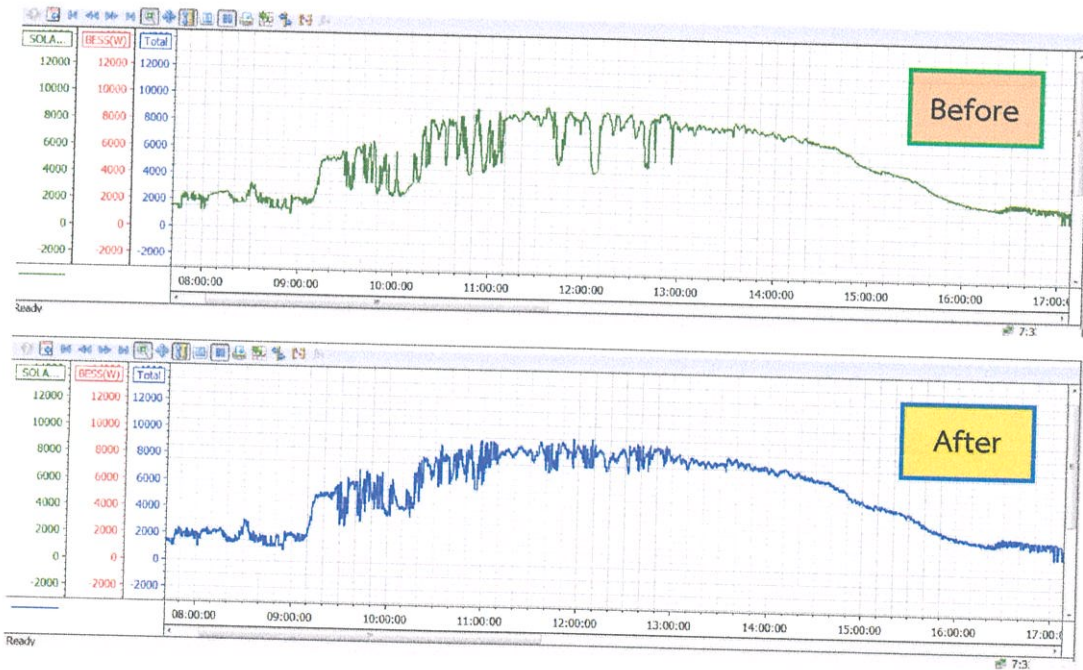
รูปที่ 4.9 การชดเชยกำลังไฟฟ้าให้เซลล์แสงอาทิตย์ครั้งที่ 1

กราฟรูปที่ 4.10 เป็นรูปขยายจากกราฟรูปที่ 4.9 ในช่วงเวลา 11:40 ถึง 12:10 เพื่อแสดงผลการตอบสนองของระบบสะสมพลังงานในการชดเชยกำลังการผลิตที่ลดลงอย่างรวดเร็วของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นระยะเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ จากผลการทดลอง เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ระบบสะสมพลังงานจากแบตเตอรี่ทำการคายประจุไฟฟ้าเพื่อทำการชดเชยปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.10 การชดเชยกำลังไฟฟ้าให้เซลล์แสงอาทิตย์ครั้งที่ 2

จากรูปที่ 4.11 แสดงกำลังการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ก่อน และหลังจาก การชดเชยกำลังไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ กราฟเส้นสีเขียวแสดงกำลังการผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ก่อน การชดเชย กราฟเส้นสีน้ำเงินเป็นกราฟที่มีการชดเชยกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เข้าสู่ระบบเพื่อชดเชย กำลังการผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ารวมขณะชดเชยเข้าสู่ระบบ

4.6 สรุป

ผลการทดลองของปริญญานิพนธ์นี้ ประกอบด้วยผลการทดสอบวิธีการหาสถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่โดยใช้วิธีการนับคูลอมบ์จากแบตเตอรี่เมื่อทำการคายประจุ อีกทั้งยังสามารถแสดงค่าแรงดัน กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่ใช้งานผ่านทางหน้าจอแสดงผล รวมถึงการทดสอบการชดเชยแรงดันให้แก่ระบบโครงข่ายภายในระยะเวลาหนึ่งเพื่อรักษาระดับแรงดันในระบบ และการชดเชยกำลังไฟฟ้าแก่เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีกำลังผลิตที่ลดต่ำลงโดยมีแบตเตอรี่เข้ามาชดเชยในช่วงเวลานั้น ๆ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการชดเชยแรงดันไฟฟ้าในสายส่งจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า โดยแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากระยะทางของสายส่งที่อยู่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ามากเท่าไรแรงดันไฟฟ้าจะลดลงตามระยะทางมากเท่านั้น นอกจากนี้การใช้งานของอุปกรณ์ระหว่างทางจากต้นสายไปยังปลายสายยังส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าปลายสายส่งได้อีกด้วย การชดเชยกำลังไฟฟ้าให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อส่งออกระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีความไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเมฆหรือมีเงามาปกคลุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงการใช้งานของอุปกรณ์แต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกันส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์อาจจะมีผลผลิตกำลังไฟฟ้าชดเชยไม่เพียงพอ ส่งผลกระทบต่อแรงดันและความถี่ในระบบโครงข่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ขณะที่แรงดันในระบบเปลี่ยนแปลงไปสามารถแก้ไขได้โดยการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าสู่ระบบ ส่วนความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปสามารถแก้ไขได้โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเข้าสู่ระบบ ดังนั้นการจัดเก็บพลังงานสำรองของระบบจึงเป็นตัวช่วยที่สำคัญตัวเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้โดยการประยุกต์ใช้งานจากแหล่งสะสมพลังงานอย่างเช่นแบตเตอรี่เข้ามาชดเชยกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในชั่วขณะ โดยมีการใช้งานร่วมกับ Back to Back converter ซึ่งสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าสู่ระบบโครงข่ายเพื่อชดเชยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป โดยมีสถานะการอัดประจุ (SOC) เป็นตัวบ่งบอกสถานะของแบตเตอรี่ในขณะนั้นว่าสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าได้มากน้อยเพียงใด

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. การคำนวณหาค่าสถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่ เพื่อยืดอายุการใช้งาน รักษาแรงดันภายในเซลล์แต่ละเซลล์ไม่ให้สูงหรือต่ำจนเกินไป และทราบสถานะของแบตเตอรี่ในขณะนั้นว่ามีกี่เปอร์เซ็นต์ควรใช้งานต่อไปหรือไม่ โดยใช้หลักการนับประจุนรวมของแบตเตอรี่โดยการคายประจุจากแบตเตอรี่ที่มีแรงดัน 27.6 โวลต์ทุกก้อน จนเหลือแรงดันรวมประมาณ 568 โวลต์ จากนั้นอัดประจุเข้าไปยังแบตเตอรี่ จนมีแรงดันรวม 676 โวลต์ โดยค่าแรงดันปกติของแบตเตอรี่อยู่ในช่วง 568 - 676 โวลต์

2. การชดเชยแรงดันต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อรักษาสภาพแรงดันในสายส่งให้มีค่าคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้อยที่สุด เมื่อสายส่งอยู่ในระยะทางไกล ๆ จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า และทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในระยะทางไกล ๆ ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับอุปกรณ์ต้นสายของแหล่งจ่ายไฟ

3. การชดเชยกำลังไฟฟ้าให้เซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากแรงดัน และความถี่มีการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งไปยังระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพียงพอต่อการใช้งาน

5.2 ข้อเสนอแนะ และปัญหาที่พบ

1. การใช้เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า (Current transducer) สามารถวัดกระแสในช่วง 1- 200 แอมป์ ถ้ากระแสต่ำกว่า 1 แอมป์ เซนเซอร์ไม่สามารถตรวจวัดค่าได้
2. การเทียบสเกลกระแสและแรงดันจากเครื่องมือวัดเข้าสู่ PLC ต้องปรับเปลี่ยนสเกลให้มีค่าอยู่ในช่วงที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงเมื่อมีการใช้งาน
3. ข้อจำกัดของอินเวอร์เตอร์ที่สามารถรับกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 27 แอมป์ แต่แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดถึง 3C หรือ 120 แอมป์
4. ไม่สามารถคาดการณ์ช่วงเวลาที่แรงดันหรือกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไปล่วงหน้า

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อยอด

1. พัฒนาโปรแกรมตรวจจับแรงดันในระบบโครงข่ายเพื่อชดเชยแรงดันตกได้อย่างทันที
2. พัฒนาโปรแกรมจ่ายกำลังไฟฟ้าจากระบบสะสมพลังงานอัตโนมัติตามแรงดันที่ตกได้อย่างทันที
3. พัฒนาอุปกรณ์และโปรแกรมในการดึงข้อมูลผ่านการสื่อสารจาก CAN แต่เซลล์ของแบตเตอรี่เพื่อดูผลการเปลี่ยนแรงดันระดับเซลล์เมื่อมีการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Alanen & R. Pasonen, "Use of energy storages in Smart Grids management," *Espoo.*, 2011, pp. 26-56.
- [2] M. Alam, K. Muttaqi & D. Sutanto, "A novel approach for ramp-rate control of solar PV using energy storage to mitigate output fluctuations caused by cloud passing," *IEEE Trans.*, on Energy Conversion, vol. 29, (2) pp. 507-518, 2014.
- [3] J. haysaengcharoen, "One State of Charge Estimation of a Lithium-Ion Battery for Sensor Node in Wireless Sensor Networks," Electrical Engineering Prince of Songkla University, 2014, pp. 25-80.
- [4] C. Hommalai, C. Haruehansapong, C. Krataithong, "Study and Development of Battery Monitoring System by Detecting Dead Battery Cell," Electrical Engineering KMITL, 2013, pp. 7-35.
- [5] Jung-Song Moon, Jung-Hyo Lee, In-Yong Ha, Taeck-Kie Lee, Chung-Yuen Won, "An Efficient Battery Charging Algorithm based on State-of-Charge Estimation for Electric Vehicle," *IEEE trans.*, vol. 23, no. 2, 2012, pp. 708-713.
- [6] A.Ausswanaykin, B.Plangklang, "Design of Real Time Battery Management Unit for PV-Hybrid System by Application of Coulomb Counting Method," *Scientific Research.*, 2014, pp.186-193.
- [7] V. Salehi, B. Radibratovic, "Ramp Rate Control of Photovoltaic Power Plant Output Using Energy Storage Devices," *IEEE trans.*, 2014
- [8] แอปเปิ้ล. "ทำไมถึงต้องเป็นลิเธียมไอออน" [Online].
Available: <http://www.apple.com/th/batteries/why-lithium-ion/>
- [9] ไม่มีชื่อบุคคลผู้แต่ง. "การใช้งานและดูแลรักษาแบตเตอรี่ Lithium อย่างถูกต้อง"[Online].
Available: <https://sites.google.com/site/sosnum/battery-lithium>
- [10] สวทช. "อัปเดตเทคโนโลยีแบตเตอรี่"[Online].
Available: <http://www.nstda.or.th/prs/index.php/lithium?showall=1>
- [11] พิษิต จินตโกศลวิทย์. "การสื่อสารข้อมูลในงานอุตสาหกรรม(ตอนที่ 3 มาตรฐาน EIA 232)"[Online].
Available: <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=7939§ion=9&rcount>
- [12] ไม่มีชื่อบุคคลผู้แต่ง. "การใช้งานพอร์ตอนุกรม RS 232" [Online].
Available: <http://www.thaimicrotron.com/CCS-628/Reference/RS232.htm>
- [13] Nexeon's technology. "About Li-ion batteries"[Online].
Available: <http://www.nexeon.co.uk/about-li-ion-batteries/>

ภาคผนวก



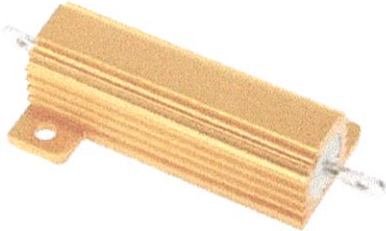
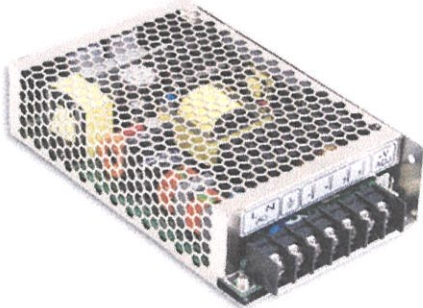
ภาคผนวก ก

ตู้แบตเตอรี่ที่ใช้ในปริญญาบัตร

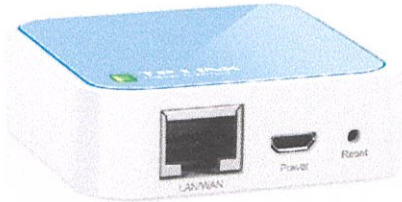

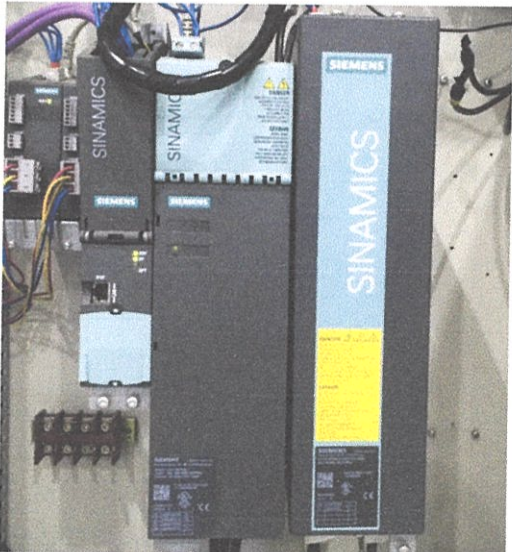
ตู้แบตเตอรี่ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>ชุดแบตเตอรี่</p>
	<p>แบตเตอรี่ Toshiba 27.6V 40Ah Lithium Titanate Li-ion</p>
	<p>PLC Siemens SIMATIC S7-1200</p>


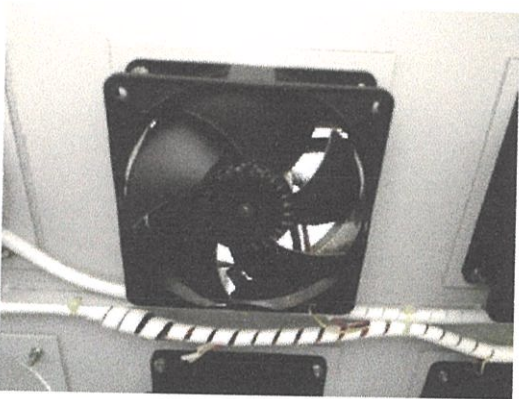
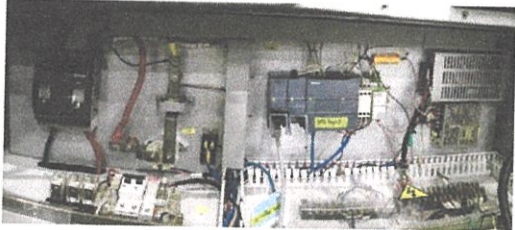
ตู้แบตเตอรี่ที่ใช้ในปริญญาโท (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	Voltage transducer
	Current transformer (200A/100mA)
	Resistor 50W 500Ω และ 100Ω
	DC Power Supply

ตู้แบตเตอรี่ที่ใช้ในปริญญาานิพนธ์ (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
 <p>A small, white and blue wireless router with a LAN/ WAN port, Power, and Reset buttons.</p>	<p>TP-LINK Wireless N Nano Router</p>
 <p>A large, black industrial fuse box with two main compartments and a central control panel.</p>	<p>Fuse DC 600V 160A</p>
 <p>A large, black industrial inverter unit with a yellow label and various electrical connections.</p>	<p>Inverter Siemens 16KW 27A 600V 3AC 380-480V 26A 50/60HZ</p>

ตู้แบตเตอรี่ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์ (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	Smoke Detector
	Ventilators
	วงจรควบคุมของชุดแบตเตอรี่

ภาคผนวก ข
เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาโท

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>Multi meter</p>
	<p>Infrared Thermometer FLUKE® 62 MAX</p>
	<p>Clamp meter</p>

ภาคผนวก ค
CAN BUS Analyser
chipKIT MAX 32



MICROCHIP

**CAN BUS Analyzer
User's Guide**

Chapter 1. Introduction

1.1 INTRODUCTION

The CAN BUS Analyzer Tool is intended to be a simple-to-use, low-cost CAN Bus monitor which can be used to develop and debug a high-speed CAN network. The tool features a broad range of functions which allow it to be used across various market segments including automotive, marine, industrial and medical.

The CAN Analyzer tool supports CAN 2.0b and ISO 11898-2 (high-speed CAN with transmission rates of up to 1 Mbit/s). The tool can be connected to the CAN network using the DB9 connector or through a screw terminal interface.

The CAN BUS Analyzer has the standard functionality expected in an industry tool such as trace, transmit, trace filter, log file capability, and group CAN message transmit. All of these features make it a very versatile tool, allowing fast and simple debugging in any high-speed CAN network.

The chapter contains the following information:

- CAN BUS Analyzer Kit Contents
- Overview of CAN BUS Analyzer
- CAN BUS Analyzer Hardware Features
- CAN BUS Analyzer Software

1.2 CAN BUS ANALYZER KIT CONTENTS

1. CAN BUS Analyzer Hardware
2. CAN BUS Analyzer Software
 - The CAN BUS Analyzer software CD includes three components:
 - Firmware for the PIC18F2550 (Hex File)
 - Firmware for the PIC18F2680 (Hex File)
 - The CAN BUS Analyzer PC GUI
3. USB mini cable to connect the CAN BUS Analyzer to the PC

1.3 OVERVIEW OF THE CAN BUS ANALYZER

The CAN BUS Analyzer provides similar features available in a high-end CAN network analyzer tool at a fraction of the cost. The CAN BUS Analyzer tool can be used to monitor and debug a CAN network with an easy-to-use graphical user interface. The tool allows the user to view and log received and transmitted messages from the CAN BUS. The user is also able to transmit single or periodic CAN messages onto a CAN BUS, which is useful during development or testing of a CAN network.

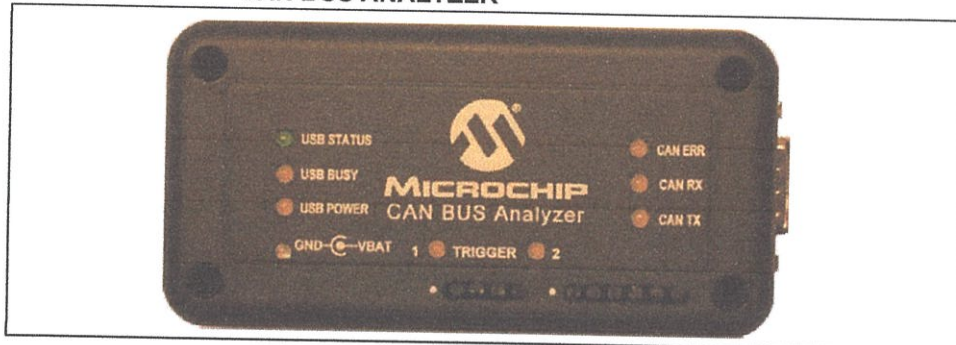
Using this CAN BUS Analyzer tool has many advantages over the traditional debugging methods embedded engineers typically rely on. For example, the tool trace window will show the user the received and transmitting CAN messages in an easy to read format (ID, DLC, data bytes and timestamp).

CAN Bus Analyzer User's Guide

1.4 CAN BUS ANALYZER HARDWARE FEATURES

The CAN BUS Analyzer hardware is a compact tool that includes the following hardware features. Refer to **Section 1.5 “CAN BUS Analyzer Software”** for more information about the software features.

FIGURE 1-1: CAN BUS ANALYZER



- **Mini USB Connector**

This connector provides the CAN BUS Analyzer a communication medium to the PC, but it can also provide a power supply if the external power supply is not plugged into the CAN BUS Analyzer.
- **9-24 Volt power supply connector**

When powered by the external power supply, the tool can be set up to disconnect from the PC to act as a periodic transmitter for CAN BUS messages. The tool can also be set up to send out a pulse upon reception of certain CAN messages, which is useful during development or debugging issues with an oscilloscope.
- **DB9 connector for the CAN BUS**
- **Termination Resistor (software controllable)**

The user can turn ON or OFF the 120 ohm CAN bus termination through the PC GUI.
- **Status LEDs**

Displays the USB status.
- **Trigger LED**

Future functionality.
- **CAN Traffic LEDs**

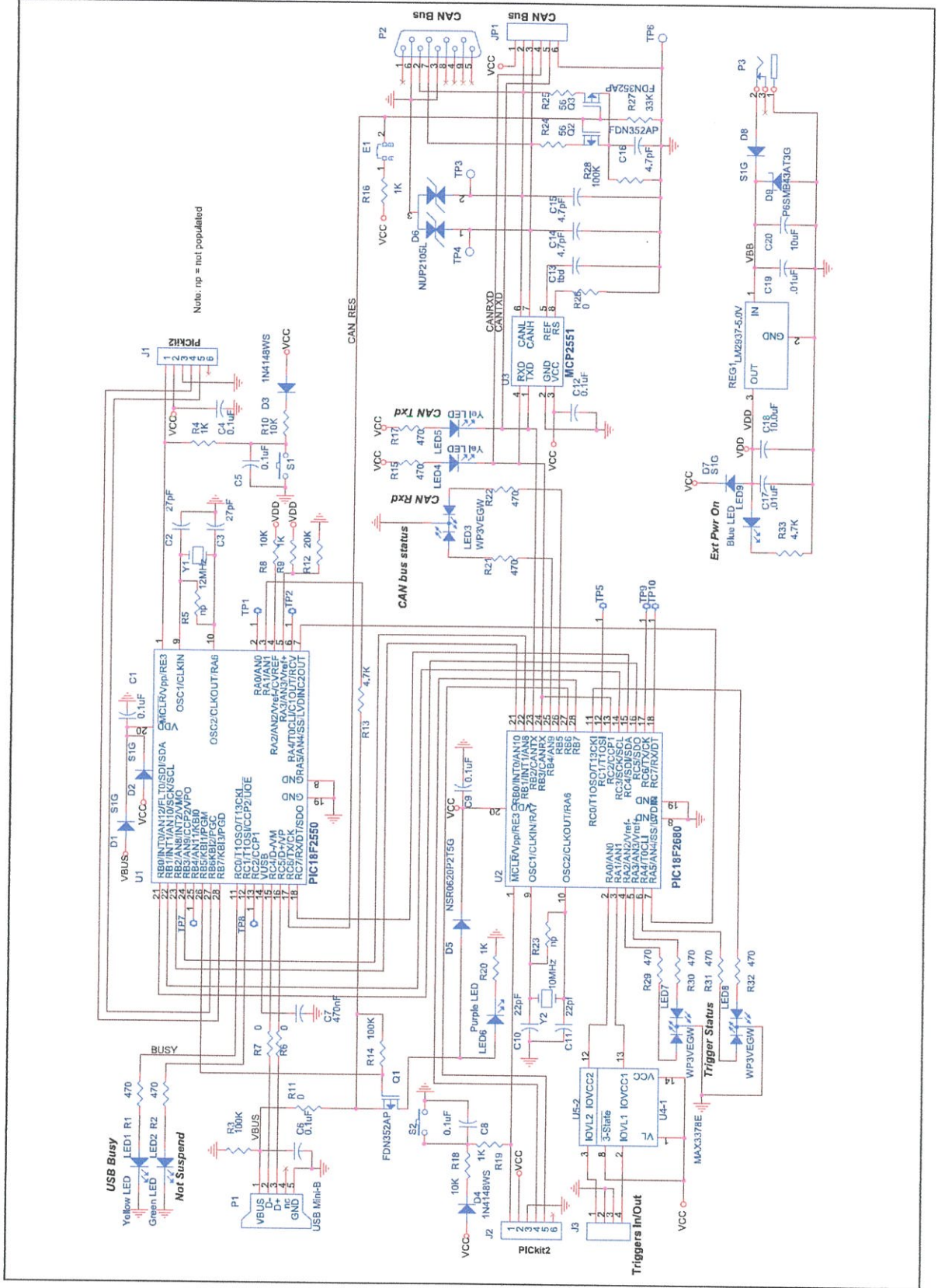
Shows the actual RX CAN BUS traffic from the high speed transceiver.
Shows the actual TX CAN BUS traffic from the high speed transceiver.
- **CAN BUS Error LED**

Shows the Error Active (Green), Error Passive (Yellow), Bus Off (Red) state of the CAN BUS Analyzer.
- **Direct access to the CAN H and CAN L pin through a screw terminal**

Allows the user access to the CAN bus for connecting an oscilloscope without having to modify the CAN BUS wire harness.
- **Direct access to the CAN TX and CAN RX pins through a screw terminal**

Allows the user access to the digital side of the CAN BUS transceiver.

FIGURE 1-2: CAN BUS ANALYZER SCHEMATIC



CAN Bus Analyzer User's Guide

1.5 CAN BUS ANALYZER SOFTWARE

The CAN BUS Analyzer comes with two firmware hex files and PC software which provides the user with a graphical interface to configure the tool and analyze a CAN network. It has the following software tool features:

1. Trace: Monitor the CAN bus traffic.
2. Transmit: Transmit single shot, periodic, or periodic messages with a limited repeat onto the CAN bus.
3. Group Transmit: Transmit a list of CAN messages, in order, onto the CAN bus.
4. Trace Filter Setup: Configure which CAN messages from the CAN bus traffic are visible on the Trace Window.
5. Log File Setup: Save CAN bus traffic.
6. Hardware Setup: Configure the CAN BUS Analyzer for the CAN network.

Note: Some features will be implemented in future releases.

Chapter 2. Installation

2.1 INTRODUCTION

The following chapter describes the procedures for installing the CAN Analyzer hardware and software.

The chapter contains the following information:

- Installing CAN BUS Analyzer Software
- Installing CAN BUS Analyzer Hardware

2.2 SOFTWARE INSTALLATION

2.2.1 Installing the GUI

Install .NET framework version 3.5 before installing the CAN BUS Analyzer.

1. Run "CANAnalyzer_verXYZ.exe", where "XYZ" is the version number of the software. By default this will install the files to: C:\Program Files\Microchip Technology Inc\CANAnalyzer_verXYZ
2. Run the setup.exe from folder: C:\Program Files\Microchip Technology Inc\CANAnalyzer_verXYZ\GUI
3. The setup will create a shortcut in the Programs Menu under "Microchip Technology Inc" as Microchip CAN Tool ver XYZ.
4. If the CAN BUS Analyzer PC software is being upgraded to a newer version, the firmware should be updated to match the revision level of the PC software. When updating the firmware, ensure that the hex files are programmed into their respective PIC18F microcontrollers on the CAN BUS Analyzer hardware.

2.2.2 Upgrading the Firmware

If upgrading the firmware in the CAN BUS Analyzer, the user will need to import the HEX files into MBLAB[®] IDE and program the PIC[®] MCUs. When programming the PIC18F2680, the user may power the CAN BUS Analyzer by external power supply or by the mini USB cable. When programming the PIC18F550, the user needs to power the CAN BUS Analyzer by external power supply. Additionally, when programming HEX files into PIC MCUs, it is recommended to check the firmware version from the GUI. This can be done by clicking on the "Help > About" menu option.

CAN Bus Analyzer User's Guide

2.3 HARDWARE INSTALLATION

2.3.1 System Requirements

- Windows® XP
- .NET framework version 3.5
- USB Serial Port

2.3.2 Power Requirements

- A power supply (9 to 24 Volt) is needed when operating without the PC and when updating firmware in the USB PIC MCU
- The CAN BUS Analyzer tool can also be powered using the USB port

2.3.3 Cable Requirements

- Mini USB cable – for communicating with the PC Software
- The CAN Analyzer tool can be connected to a CAN network using the following:
 - Via the DB9 connector
 - Via screw-in terminals

2.3.4 Connecting the CAN BUS Analyzer to the PC and CAN BUS

1. Connect the CAN Analyzer via the USB connector to the PC. You will be prompted to install the USB drivers for the tool. The drivers can be found in this location:
C:\Program Files\Microchip Technology Inc\CANAnalyzer_verXYZ
2. Connect the tool to the CAN network using the DB9 connector or the screw in terminals. Please refer to Figure 2-1 and Figure 2-2 for the DB9 connector and the screw terminals for connecting the network to the tool.

TABLE 2-1: 9-PIN (MALE) D-SUB CAN BUS PINOUT

Pin Number	Signal Name	Signal Description
1	No Connect	N/A
2	CAN_L	Dominant Low
3	GND	Ground
4	No Connect	N/A
5	No Connect	N/A
6	GND	Ground
7	CAN_H	Dominant High
8	No Connect	N/A
9	No Connect	N/A

FIGURE 2-1: PINOUT FOR THE DB9 CONNECTOR

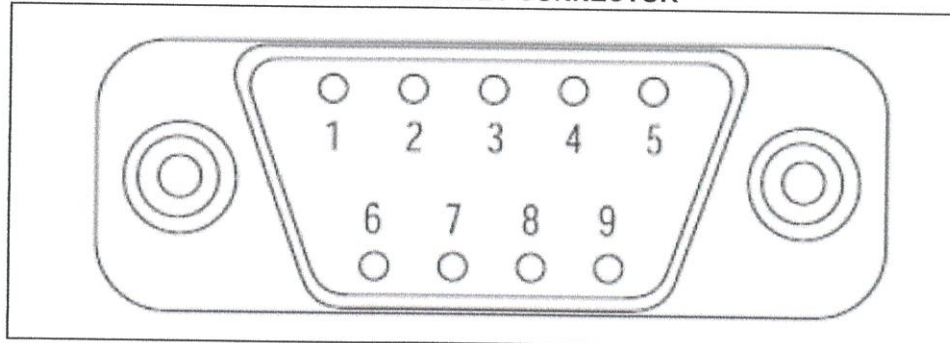
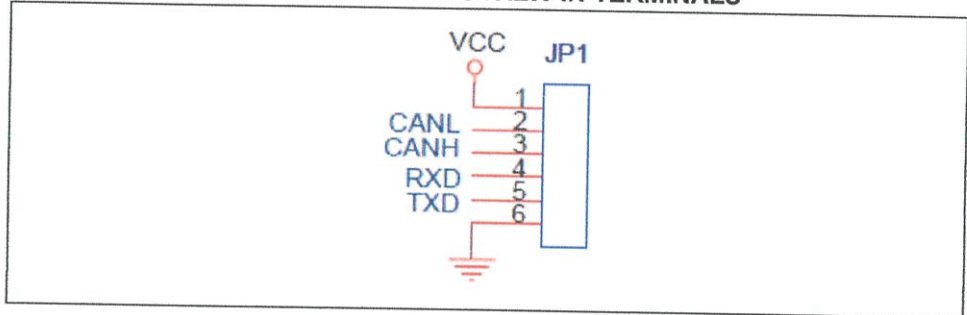


TABLE 2-2: 6-PIN SCREW CONNECTOR PINOUT

Pin Number	Signal Names	Signal Description
1	Vcc	PIC® MCU Power Supply
2	CAN_L	Dominant Low
3	CAN_H	Dominant High
4	RXD	CAN Digital Signal from Transceiver
5	TXD	CAN Digital Signal from PIC18F2680
6	GND	Ground

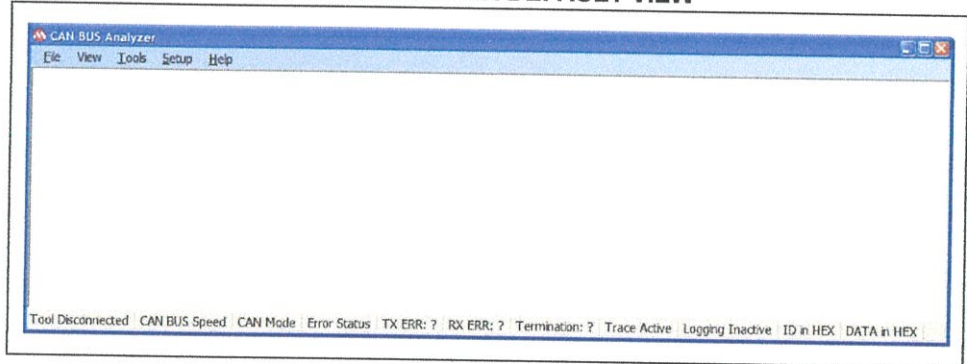
FIGURE 2-2: PINOUT FOR THE SCREW-IN TERMINALS



Chapter 3. Using the PC GUI

Once the hardware is connected and the software is installed, open the PC GUI using the shortcut in the Programs Menu under "Microchip Technology Inc" labeled as Microchip CAN Tool ver XYZ. Figure 3-1 is a screen shot of the default view for the CAN BUS Analyzer.

FIGURE 3-1: CAN BUS ANALYZER DEFAULT VIEW



3.1 GETTING STARTED WITH A QUICK SETUP

The following are setup steps to quickly start transmitting and receiving on the CAN BUS. For more details, refer to the individual sections for the different PC GUI features.

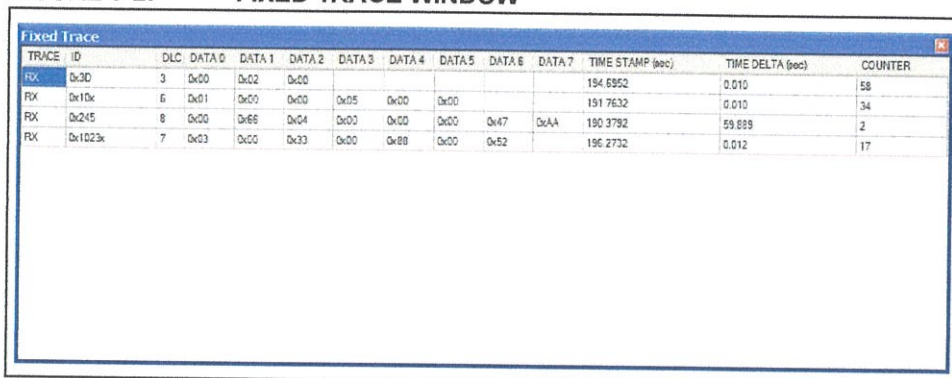
1. Connect the CAN BUS Analyzer to the PC with the mini USB cable
2. Open the CAN BUS Analyzer PC GUI
3. Open the Hardware Setup and select the CAN BUS bitrate on the CAN BUS
4. Connect the CAN BUS Analyzer to the CAN BUS
5. Open the Trace window
6. Open the Transmit Window

CAN Bus Analyzer User's Guide

3.2 TRACE FEATURE

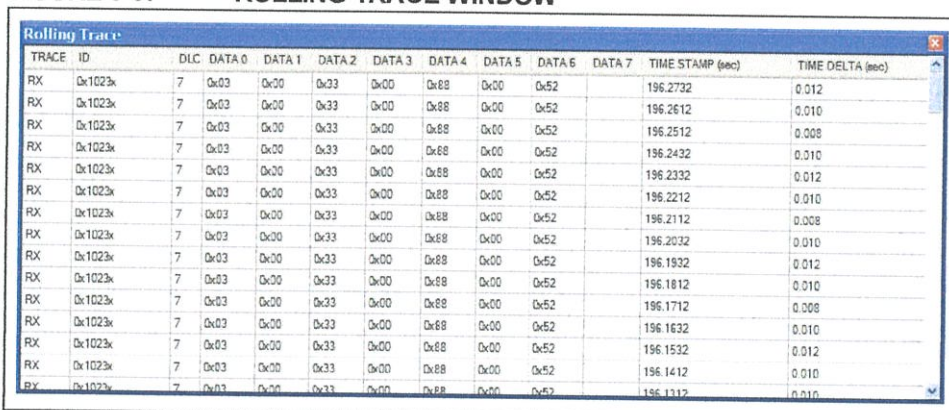
There are two types of Trace windows: Fixed and Rolling. To activate either Trace window, select the option from the main Tools menu.

FIGURE 3-2: FIXED TRACE WINDOW



TRACE	ID	DLC	DATA 0	DATA 1	DATA 2	DATA 3	DATA 4	DATA 5	DATA 6	DATA 7	TIME STAMP (sec)	TIME DELTA (sec)	COUNTER
RX	0x3D	3	0x00	0x02	0x00						194.6952	0.010	58
RX	0x10x	6	0x01	0x00	0x00	0x05	0x00	0x00			191.7632	0.010	34
RX	0x245	8	0x00	0x66	0x04	0x00	0x00	0x00	0x47	0xAA	190.3792	59.889	2
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.2732	0.012	17

FIGURE 3-3: ROLLING TRACE WINDOW



TRACE	ID	DLC	DATA 0	DATA 1	DATA 2	DATA 3	DATA 4	DATA 5	DATA 6	DATA 7	TIME STAMP (sec)	TIME DELTA (sec)
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.2732	0.012
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.2612	0.010
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.2512	0.008
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.2432	0.010
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.2332	0.012
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.2212	0.010
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.2112	0.008
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.2032	0.010
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.1932	0.012
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.1812	0.010
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.1712	0.008
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.1632	0.010
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.1532	0.012
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.1412	0.010
RX	0x1023x	7	0x03	0x00	0x33	0x00	0x88	0x00	0x52		196.1312	0.010

The Trace window displays the CAN BUS traffic in a readable form. This window will list the ID (Extended is signified with an preceding 'x' or Standard), DLC, DATA Bytes, the Time stamp and the time difference from the last CAN BUS message on the BUS. The Rolling Trace window will show the CAN messages sequentially as they appear on the CAN BUS. The time delta between messages will be based on the last received message regardless of CAN ID.

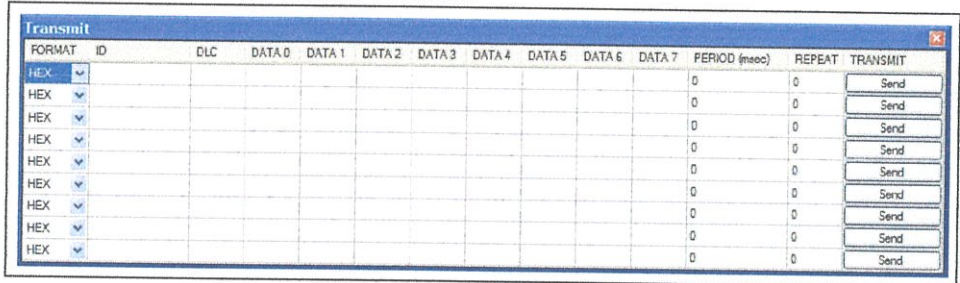
The Fixed Trace window will show the CAN messages in a fixed position on the trace window. The message will still be updated, but the time delta between messages will be based on the previous message with the same CAN ID.

The Trace window can also be configured with filters to show only certain IDs. This can be configured in the Trace Filter Setup (refer to **Section 3.5 "Future Feature –Trace Filter Setup Feature"**).

3.3 TRANSMIT FEATURE

To activate the Transmit window, select "TRANSMIT" from the main Tools menu.

FIGURE 3-4: TRANSMIT WINDOW



The Transmit window allows the user to interact with other nodes on the CAN BUS by transmitting messages. The user is able to enter any ID (Extended or Standard), DLC or DATA Bytes combination for single message transmittal. The transmit window also allows the user to transmit a maximum of nine separate and unique messages either periodically or periodically with a limited "repeat" mode. When using the limited repeat mode, the message will be sent out at the periodic rate for a number of "repeat" times.

3.3.1 Steps to Transmit a Single-Shot Message

1. Populate the CAN message fields, which include the ID, DLC and DATA
2. Populate the Periodic and Repeat fields with "0"
3. Click on the **Send** button for that row

3.3.2 Steps to Transmit a Periodic Message

1. Populate the CAN message fields, which include the ID, DLC and DATA
2. Populate the Periodic field (50 ms to 5000 ms)
3. Populate the Repeat field with "0" (which translates to "repeat forever")
4. Click on the **Send** button for that row

3.3.3 Steps to Transmit a Periodic Message with Limited Repeats

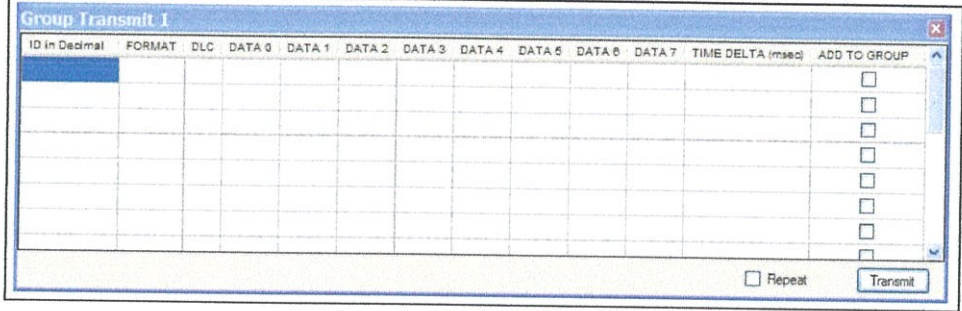
1. Populate the CAN message fields, which include the ID, DLC and DATA
2. Populate the Periodic field (50 ms to 5000 ms)
3. Populate the Repeat field (with a value from 1 to 10)
4. Click on the **Send** button for that row

CAN Bus Analyzer User's Guide

3.4 FUTURE FEATURE – GROUP TRANSMIT FEATURE

To activate the Group Transmit window, select "GROUP TRANSMIT" from the main Tools menu.

FIGURE 3-5: GROUP TRANSMIT WINDOW



The Group Transmit window allows the user to interact with other nodes on the CAN BUS by transmitting messages. The user is able to transmit a limited group of messages in sequential order spaced out by user-defined timing in the Period field. All messages can be unique to each other in terms of ID, DLC, Data bytes and time between messages.

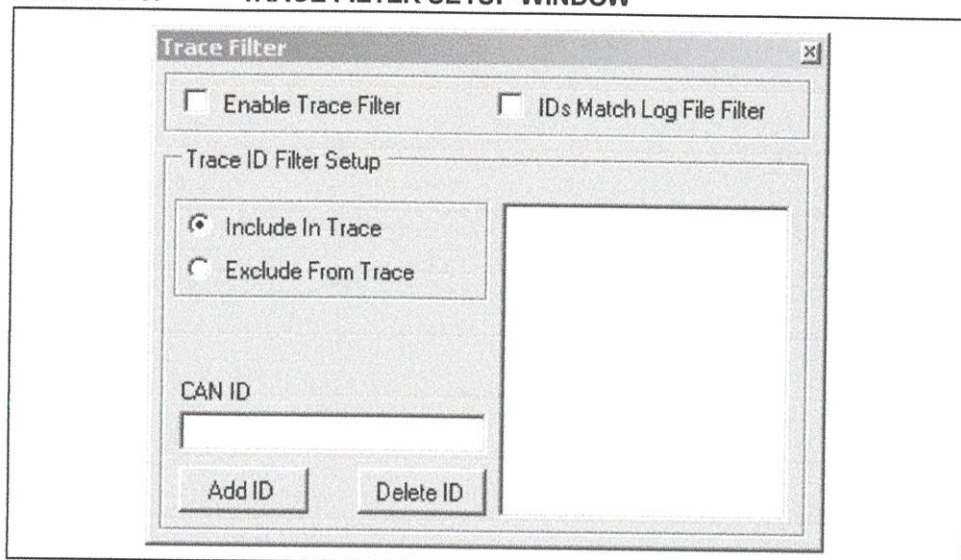
3.4.1 Steps to Transmit a Group of CAN Messages

1. Fill in the CAN message fields which include the ID, DLC and DATA for all messages that will be transmitted
2. Ensure that the Periodic field is populated for each message (50 ms to 5000 ms). This field represents the time between messages
3. Click on the **Send** button for that row. The row will be highlighted for the current transmitted message

3.5 FUTURE FEATURE –TRACE FILTER SETUP FEATURE

To activate the Trace Filter Setup window, select “TRACE FILTER SETUP” from the main Tools menu.

FIGURE 3-6: TRACE FILTER SETUP WINDOW



The Trace Filter Setup window allows the user to filter the Trace window for only the required IDs the user wants to view. The trace filter can match the log file filter or it can contain a completely different set of IDs.

Steps to setup the trace filter to match the log file filter

1. Make sure the Log File Filter is “Turned On”
2. Click on the “IDs Match Log File Filter” checkbox. The Trace ID Filter Setup options will become disabled
3. Click on the “Enable Trace Filter” checkbox to enable the filter
4. Confirm on the Trace window that the status of the trace filter changes from “Trace Filter Inactive” to “Trace Filter Active” (highlighted green)

Steps to setup the trace filter to be independent of the log file filter

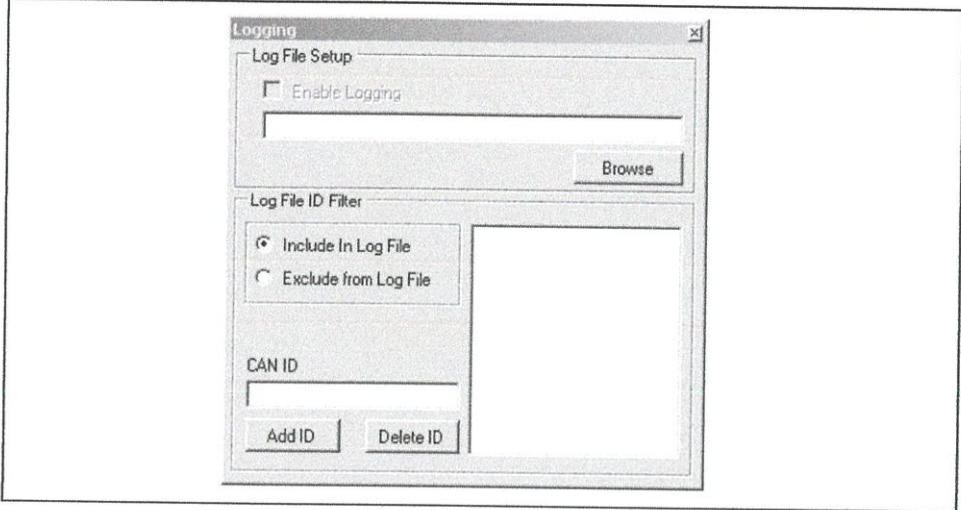
1. Determine if the filter will work as an include or an exclude filter
2. Enter CAN IDs into the CAN ID text field and click on the “Add ID” button. Repeat this process until all CAN IDs for the filter are entered
3. Click on the “Enable Trace Filter” checkbox to enable the filter
4. Confirm on the Trace window that the status of the trace filter changes from “Trace Filter Inactive” to “Trace Filter Active (highlighted green)”

CAN Bus Analyzer User's Guide

3.6 LOG FILE SETUP FEATURE

To activate the Log File Setup window select "LOG FILE SETUP" from the main Tools menu.

FIGURE 3-7: LOG FILE SETUP WINDOW



The Log File Setup window allows the user to setup a log file of the CAN BUS traffic. This feature helps gather more information when debugging design issues, by capturing the BUS traffic when an event occurs.

Log File Setup also allows the user to setup a filter to either include or exclude user-defined IDs.

Steps to setup a log file

1. Browse to a folder to which you want to save your log file
2. Click on the "Enable Logging" checkbox to enable writing

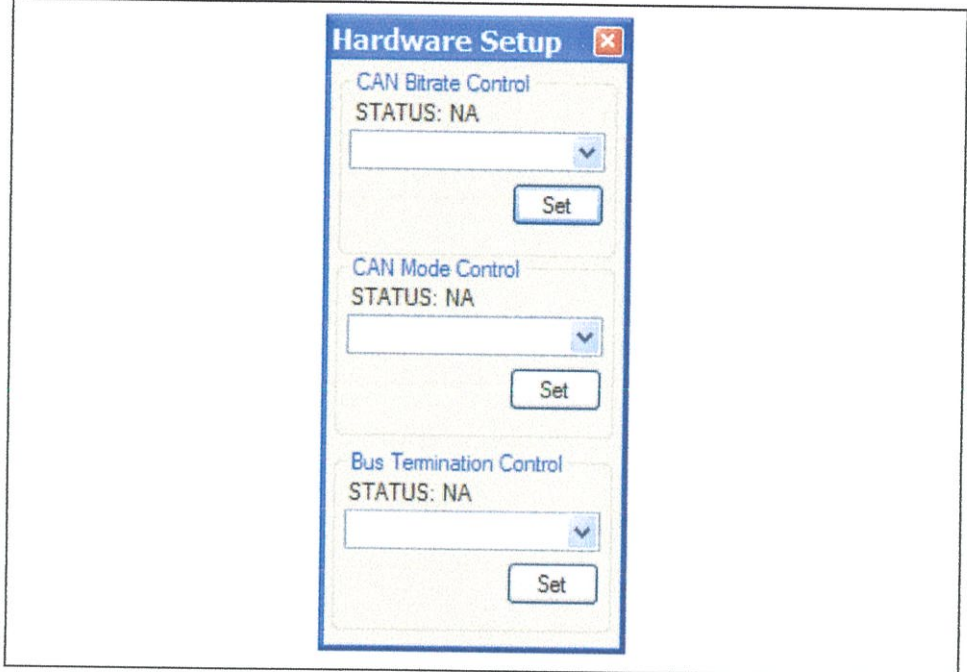
Steps to setup a log file with a filter

1. Determine if the log file filter should work as an include or an exclude filter
2. Enter CAN IDs into the CAN ID text field and click on the "Add ID" button. Repeat this process until all of the CAN IDs for the filter are entered
3. Browse to a folder to which you want to save your log file
4. Click on the "Enable Logging" checkbox to enable writing
5. Confirm on the Trace window that the status of the trace filter changes from "Logging Inactive" to "Logging Active" (highlighted green)

3.7 HARDWARE SETUP FEATURE

To activate the Hardware Setup window, select "HARDWARE SETUP" from the main Tools menu.

FIGURE 3-8: HARDWARE SETUP WINDOW



The HARDWARE SETUP window allows the user to setup the CAN BUS Analyzer for communication on the CAN BUS. This feature also gives the user the ability to quickly test the hardware on the CAN BUS Analyzer.

To set up the tool to communicate on the CAN BUS:

1. Select the CAN bitrate from the drop-down combo box.
2. Click the "Set" button. Confirm bitrate has changed by viewing the bitrate setting on the bottom of the main CAN BUS Analyzer window.
3. If the CAN BUS needs the termination resistor active, then turn it ON by clicking the "Turn On" button for the Bus Termination.

Test the CAN BUS analyzer hardware:

1. Ensure that the CAN BUS analyzer is connected. You can confirm this by viewing the tool connection status on the status strip on the bottom of the main CAN BUS Analyzer window.
2. To confirm that the communication is working between the USB PIC MCU and the CAN PIC MCU, click on the "Help->About" main menu option to view the version numbers of the firmware loaded into each PIC MCU.

CAN Bus Analyzer User's Guide

3.8 FUTURE FEATURE – SAVING AND RETRIEVING THE TOOL CONFIGURATIONS

3.8.1 Saving Tool Configurations

The CAN BUS Analyzer tool allows the user to save various configuration setups by the user in a particular session. The GUI will save the transmit window settings, log file settings, and screen positions of the various windows of the tool.

By choosing "Save Configuration" under the File menu, the file is saved in a default Temp folder under the default name "config.ini".

By choosing "Save As" under the file menu, the user can define the path and name for the configuration file.

3.8.2 Retrieving Tool Configurations

Under the File menu, select "Open Configuration" and then select the desired ".ini" file to retrieve the configuration saved by the user.

Appendix A. Error Messages

In this section, the various "pop-up" errors that are found in the GUI will be discussed in detail as to why they may occur, and the possible solutions for correcting the errors.

TABLE A-1: ERROR MESSAGES

Error Number	Error	Possible Solution
1.00.x	Trouble reading the USB firmware version	Unplug/plug the tool into the PC. Also make sure that the PIC18F2550 is programmed with the proper HEX file.
2.00.x	Trouble reading the CAN firmware version	Unplug/plug the tool into the PC. Also make sure that the PIC18F2680 is programmed with the proper HEX file.
3.00.x	ID field is empty	The value in the ID field can not be empty for a message that a user is requesting to be transmitted. Enter a valid value.
3.10.x	DLC field is empty	The value in the DLC field can not be empty for a message that a user is requesting to be transmitted. Enter a valid value.
3.20.x	DATA field is empty	The value in the Data field can not be empty for a message that a user is requesting to be transmitted. Enter a valid value. Remember, the DLC value drives how many data bytes will be sent.
3.30.x	PERIOD field is empty	The value in the Period field can not be empty for a message that a user is requesting to be transmitted. Enter a valid value.
3.40.x	REPEAT field is empty	The value in the Repeat field can not be empty for a message that a user is requesting to be transmitted. Enter a valid value.
4.00.x	Enter the Extended ID within the following range (0x-1FFFFFFx)	Enter a valid ID into the text field. The tool is expecting a hexadecimal value for an extended ID in the range of "0x-1FFFFFFx". When entering an extended ID, make sure to append 'x' onto the ID.
4.02.x	Enter the Extended ID within the following range (0x-536870911x)	Enter a valid ID into the text field. The tool is expecting a decimal value for an extended ID in the range of "0x-536870911x". When entering an extended ID, make sure to append 'x' onto the ID.
4.04.x	Enter the Standard ID within the following range (0-7FF)	Enter a valid ID into the text field. The tool is expecting a hexadecimal value for a standard ID in the range of "0-7FF". When entering an extended ID, make sure to append 'x' onto the ID.
4.06.x	Enter the Standard ID within the following range (0-2047)	Enter a valid ID into the text field. The tool is expecting a decimal value for a standard ID in the range of "0-2048". When entering an extended ID, make sure to append 'x' onto the ID.

CAN Bus Analyzer User's Guide

Error Number	Error	Possible Solution
4.10.x	Enter DLC within the following range (0-8)	Enter a valid DLC into the text field. The tool is expecting a value in the range of "0-8".
4.20.x	Enter DATA within the following range (0-FF)	Enter valid Data into the text field. The tool is expecting a hexadecimal value in the range of "0-FF".
4.25.x	Enter DATA within the following range (0-255)	Enter valid Data into the text field. The tool is expecting a decimal value in the range of "0-255".
4.30.x	Enter a valid PERIOD within the following range (100-5000)\nOr (0) for a one shot message	Enter a valid Period into the text field. The tool is expecting a decimal value in the range of "0 or 100-5000".
4.40.x	Enter a valid REPEAT within the following range (1-99)\nOr (0) for a one shot message	Enter a valid Repeat into the text field. The tool is expecting a decimal value in the range of "0-99".
4.70.x	Unknown error caused by user input	Check that the text field only has no special characters or spaces.
4.75.x	Required input for CAN Message is empty	Check that the ID, DLC, DATA, PERIOD, and REPEAT fields contain valid data.
5.00.x	Reserved for Message Received Errors	Reserved for Message Received errors.
6.00.x	Unable to Log Data	Tool is unable to write CAN traffic to Log File. Possible cause may be that the drive is either full, write protected, or does not exist.

chipKIT™ Max32™ Board Reference Manual

Revision: July 25, 2011



1300 NE Henley Court, Suite 3
Pullman, WA 99163
(509) 334 6306 Voice | (509) 334 6300 Fax

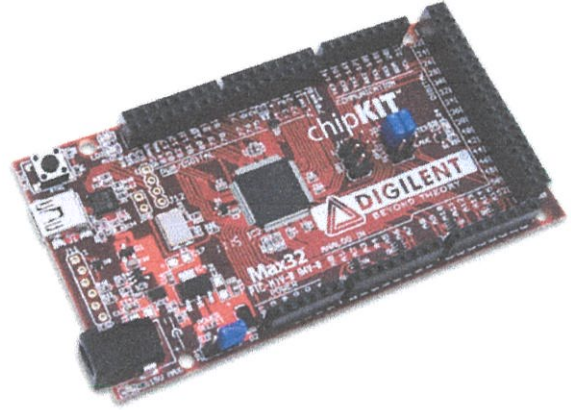
Overview

The chipKIT Max32 is a microcontroller board based on the Microchip PIC32MX795F512L, a member of the 32-bit PIC32 microcontroller family. The chipKIT boards are compatible with the popular Arduino™ microcontroller board shields.

The Max32 is designed to be easy to use and suitable for use by anyone from beginners to advanced users for experimenting with electronics and embedded control systems. The Max32 is intended to be used with the Multi-Platform IDE, (modified Arduino IDE), MPIDE, and contains everything needed to start developing embedded applications.

The Max32 provides 83 I/O pins that support a number of peripheral functions, such as UART, SPI and I²C™ ports and pulse width modulated outputs. Sixteen of the I/O pins can be used as analog inputs or as digital inputs and outputs. The PIC32 microcontroller on the Max32 also provides a 10/100 Ethernet MAC, USB 2.0 Full Speed OTG controller, and two CAN controllers. Use of these advanced peripherals requires an add-on board (for example the Diligent Network Shield) to provide the additional hardware required.

The Max32 can be powered via USB, an external AC-DC power adapter, or batteries.



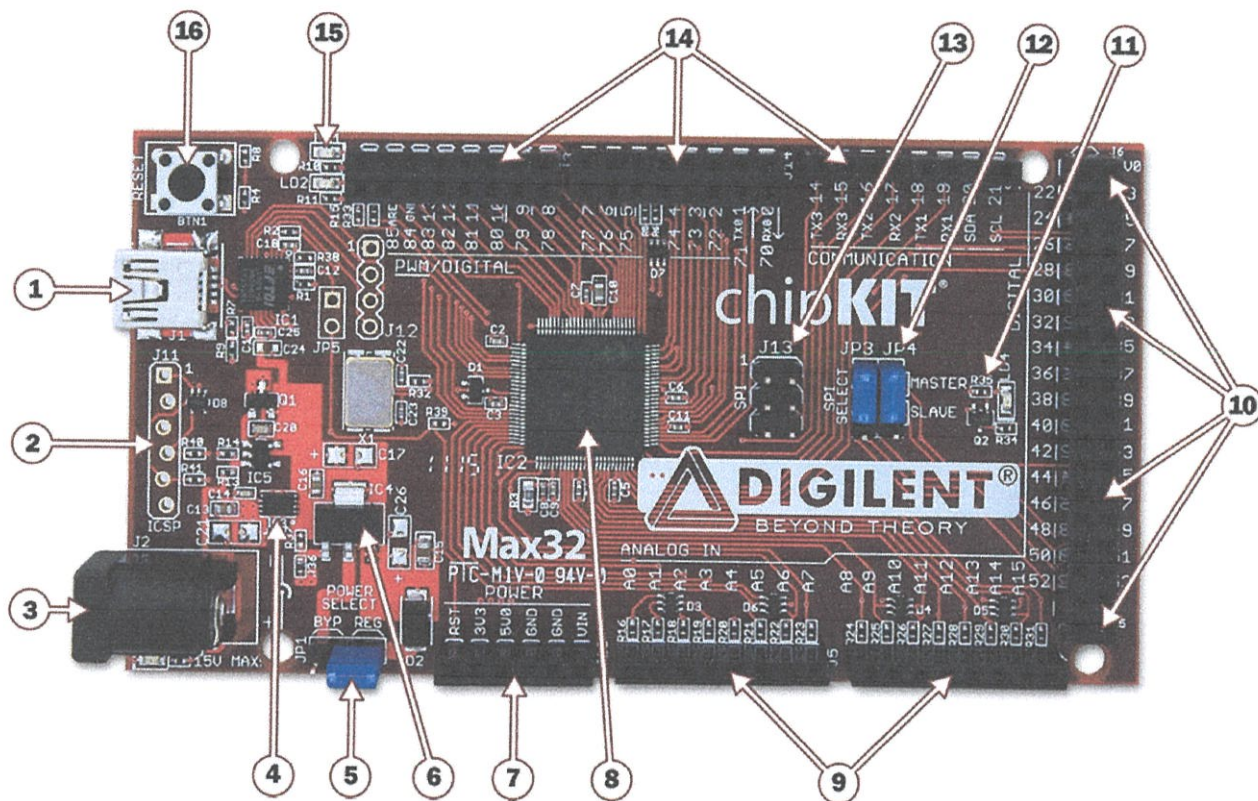
Specifications:

Microcontroller: PIC32MX795F512L
Flash Memory: 512K
RAM Memory: 128K
Operating Voltage: 3.3V
Operating Frequency: 80Mhz
Typical operating current: 90mA
Input Voltage (recommended): 7V to 15V
Input Voltage (maximum): 20V
I/O Pins: 83 total
Analog Inputs: 16
Analog input voltage range: 0V to 3.3V
DC Current per pin: +/-18mA

Advanced peripherals:
10/100 Ethernet MAC
USB 2.0 Full Speed OTG controller
2 CAN controllers.

chipKIT Max32 Hardware Overview

The Max32 board provides the following hardware features:



1) USB Connector for USB Serial Converter

This connects to a USB port on the PC to provide the communications port used by the MPIDE to talk to the Max32 board. This can also be used to power the Max32 board when connected to the PC.

2) J11 – Microchip Debug Tool Connector

This connector is used to connect Microchip programmer/debugger tools, such as the PICkit™3. This allows the Max32 board to be used as a traditional microcontroller development board using the Microchip MPLAB® IDE.

3) J2 – External Power Connector

This is used to power the Max32 board from an external power supply. This is a 5.5mm x 2.1mm barrel connector. It is wired with the center terminal as the positive supply voltage. The power supply voltage must be in the range 7V to 15V.

4) Power Supply – 3.3V regulator

Voltage regulator for the 3.3V power supply. This power supply can provide up to 500mA of current.

- 5) JP1 – Power Select Jumper
This jumper is used to route power from the external power connector through the on-board 5V voltage regulator or to bypass the 5V regulator. The REG position routes power through the 5V regulator. The BYP position bypasses the on-board 5V regulator. With this jumper in the BYP position the maximum input voltage that can be applied at the external power connector is 6V.
- 6) Power Supply – 5V regulator
On-Board 5V voltage regulator. This regulates the input voltage applied at the external power connector to 5V. This is used to power the 3.3V regulator and to provide 5V power to shields. This regulator can provide up to 800mA of current.
- 7) J2 – Shield Power Connector
This connector provides power to I/O expansion shields connected to the board.
- 8) PIC32 Microcontroller
This is the PIC32MX795F512L microcontroller that is the main processor for the board.
- 9) J5, J7 – Analog Signal Connectors
These connectors provides access to analog/digital I/O pins on the microcontroller.
- 10) J6, J8, J9, J15 – Digital Signal and Power Connectors
These are shown as four connectors in the Max32 schematic. There is a single connector loaded across all four when the board is assembled. These provide 5V power, ground, and access to digital I/O pins on the microcontroller to shields connected to the board.
- 11) User LED
An LED connected to digital signal pin 13.
- 12) JP3/JP4 – SPI Master/Slave Select Jumpers
These jumpers are used to switch the SPI signals for use of the Max32 board as an SPI master device or as an SPI slave device. Both jumpers should be switched together. Place the shorting blocks in the MASTER position for master operation and in the SLAVE position for slave operation. Normally, these jumpers are in the MASTER position.
- 13) J13 – SPI Signal Connector
This connector provides alternative access to the SPI signals. This is used by some shields for access to the SPI bus.
- 14) J3, J4, J14 – Digital Signal Connectors
These connectors provides access to digital I/O pins on the microcontroller.
- 15) Communications Status LEDs
These LEDs indicate activity on the USB serial interface.
- 16) Reset Button
This button can be used to reset the microcontroller, restarting operation from the boot loader.

ภาคผนวก ง
บทความวิชาการ

การจัดการระบบเก็บสะสมพลังงานสำหรับการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ

Battery Management System for Smart Grid Applications

ณิชน ทวีสุภพงศ์ ณพัศ จิตสัมพันธเวช และ ณภัทร์ภณ พิลลา

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-739-2478 E-mail: np_5@outlook.com

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงรูปแบบการศึกษา การพัฒนาระบบควบคุม และตรวจสอบการจัดการแหล่งเก็บสะสมพลังงานชนิดลิเทียมไอออน เพื่อช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ในระบบ โครงข่ายไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในระบบ รวมถึงการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากการใช้งานแหล่งเก็บสะสมพลังงาน เมื่อใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ โดยออกแบบระบบควบคุม ระบบแสดงผลการทำงาน โดยการสั่งการของอินเวอร์เตอร์ตลอดจนการออกแบบระบบตรวจสอบสถานะของระบบเก็บสะสมพลังงานถึงระดับเซลล์ จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่ ค่ากระแส ค่าแรงดัน ค่าอุณหภูมิ โดยใช้การสื่อสารแบบ CAN มาทำการวิเคราะห์ และทำงานร่วมกับระบบอื่นๆ ซ้ำกัน เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นต่อระบบเก็บสะสมพลังงานขณะใช้งาน โดยสามารถควบคุม และแสดงผลการทำงานแบบตามเวลาจริงผ่านทางหน้าจอแสดงผล

คำสำคัญ: ระบบสะสมพลังงาน, ระบบตรวจสอบ, ระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ, การควบคุมพลังงานไฟฟ้า, สถานะของแบตเตอรี่

Abstract

This thesis describes the operation and control methodologies for a Battery Energy Storage System (BESS) designed to mitigate the negative impacts of lithium-ion energy storage which is being used, by designing a Battery Monitoring System (BMS) to provide real time statues of batteries parameters such as current voltage and temperature in order to prevent energy storage from deterioration .The data of parameter will be sent through CAN-bus that allows microcontrollers and devices to communicate with each other in applications without host computer. Including, providing energy.

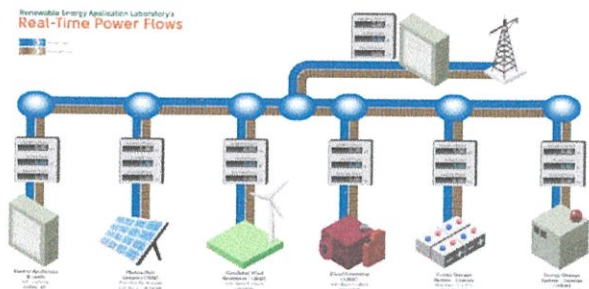
Keyword: Battery Management System (BMS), Monitoring System, Smart grid, Power Control, State of charge (SOC)

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ส่งผลให้ประเทศไทยมีความจำเป็นต้องเพิ่มกำลัง

การผลิตไฟฟ้าทั้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน เช่น น้ำมัน, ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน รวมถึงโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ซึ่งที่เห็นได้ชัดในประเทศไทยคือ พลังงานแสงอาทิตย์ แต่ด้วยข้อจำกัดของพลังงานแสงอาทิตย์คือ การผลิตที่ไม่คงที่และไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าทุกช่วงเวลา ในกรณีที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบโครงข่าย เช่น ปัญหาแรงดันกระเพื่อมในระบบจำหน่ายทำให้ความถี่ในระบบมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นระบบเก็บสะสมพลังงานจึงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้น ในการเพิ่มประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าในโครงข่ายรวมถึงภายในอาคารและที่อยู่อาศัย เช่น สถานีไฟฟ้าย่อย โซลาร์ฟาร์ม และอาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid building)

โครงการนี้ได้นำเสนอถึงระบบการตรวจสอบ และแสดงสถานะของแบตเตอรี่ตามเวลาจริง รวมถึงการควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ขณะเชื่อมต่อกับระบบโครงข่าย โดยสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ คือ ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน ค่าสถานะประจุ แรงดันไฟฟ้ารวม และอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ในสถานะต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์สถานะของแบตเตอรี่ นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบการเสื่อมสภาพภายในเซลล์แต่ละเซลล์รวมทั้งชุดเซลล์แรงดันไฟฟ้าของระบบโครงข่ายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง โดยมีการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานหรือผู้ดูแลระบบเพื่อสะดวกต่อการแก้ไข และบำรุงรักษา อีกทั้งยังลดความเสียหายต่อแบตเตอรี่ที่ต่อเข้าด้วยกัน ลดความเสียหายของระบบกำลังไฟฟ้าสำรอง และลดความเสียหายต่อโครงข่ายระบบสายส่งไฟฟ้า



รูปที่ 1 ระบบเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประมาณปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่

การประมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่สามารถประมาณได้จากการหาสถานะประจุ (State of charge, SOC) ของแบตเตอรี่ โดยสถานะค่าประจุคือ จำนวนประจุหรือพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ (Q) ซึ่งแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ต่อพิถักความจุแบตเตอรี่ (C_R) ดังสมการที่ 2.1

$$SOC = \frac{Q}{C_R} \times 100 \quad 2.1$$

เมื่อแบตเตอรี่เต็มค่าสถานะประจุจะมีค่าเท่ากับ 100% และเมื่อแบตเตอรี่หมดสถานะประจุจะมีค่าเท่ากับ 0% ดังนั้นค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่จึงมีความสำคัญมาก ในระหว่างการชาร์จและดิชาร์จของแบตเตอรี่ หรือคำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างกระแสกับเวลาดังสมการที่ 2.2

$$SOC(t) = SOC_{int} - \int_0^t \frac{i(t)}{C_n} dt \quad 2.2$$

$SOC_{(t)}$ = Real time state of charge (%)

SOC_{int} = Initial state of charge (%)

$i(t)$ = Real time discharge current (A.)

C_n = Capacity of battery (Ah)

2.2 Ramp rate

โดยปกติกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีความแปรผันตามความเข้มของรังสีอาทิตย์และปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลโดยตรงต่อการได้รับรังสีอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น การเคลื่อนตัวของเมฆ หรือการทำให้เกิดการบังเงาอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงๆ นี้จะส่งผลกระทบต่อความผันผวนต่อแรงดันและความถี่ต่อระบบไฟฟ้า ผลกระทบจากปัจจัยเหล่านี้จะทำให้กำลังด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง และจะกลับเข้ามาสู่ภาวะปกติภายในเวลาไม่กี่วินาที การเปลี่ยนแปลงของพลังงานในช่วงเวลาหนึ่งสามารถเรียกได้ว่า Ramp rate ซึ่งถ้าพลังงานเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าเพิ่มขึ้นจะเรียก Ramp-up ถ้าเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าลดลงจะเรียก Ramp-down โดยที่มีความแตกต่างของพลังงานเป็นวินาทีต่อวินาที มีหน่วยเป็น (เมกะวัตต์ / วินาที) ดังสมการที่ 2.3

$$\text{Ramp rate} = \frac{\Delta P(\text{MW}) \times T_1(\text{sec})}{\text{timescale}(\text{sec})} \quad 2.3$$

2.3 การควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage regulation)

ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าจะมีค่าแรงดันมาตรฐานในการส่งจ่ายอุปกรณ์ที่ทำงานในระบบไฟฟ้าจะต้องได้รับแรงดันไฟฟ้าในช่วงค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากผู้ผลิตจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าเกินกว่าปกติ เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ถึงผู้ใช้

ปลายทาง และการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่ามักส่งผลกระทบต่อปัญหาแรงดันในระบบไฟฟ้า เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีความผันผวน จึงต้องมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีความเสถียรภาพ การควบคุมแรงดัน (Voltage Regulation) เป็นการควบคุมแรงดันไฟฟ้าไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกินค่าที่กำหนด เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงหรือที่สภาวะโหลดคงที่ โดยมีค่าเป็นร้อยละของแรงดันพิถัก สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

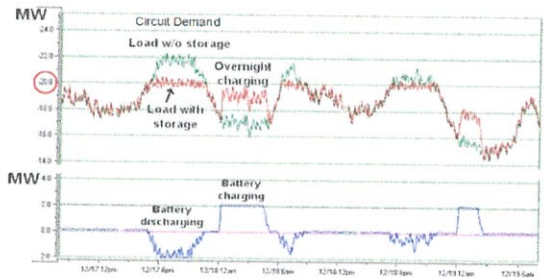
$$\%VR = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{nl}} \times 100 \quad 2.4$$

V_{nl} = แรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (No load voltage)

V_{fl} = แรงดันไฟฟ้าขณะมีโหลดเต็มพิถัก (Full load voltage)

2.4 Peak shaving

เป็นการนำระบบสะสมพลังงานมาประยุกต์ใช้ โดยในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด ช่วงนี้จะให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสออก (Discharge) เพื่อลดระดับของความต้องการไฟฟ้าสูงสุด และจะเก็บพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่อีกครั้ง (Charge) ในช่วงที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง



รูปที่ 2 กราฟกำลังไฟระหว่างโหลดกับแบตเตอรี่

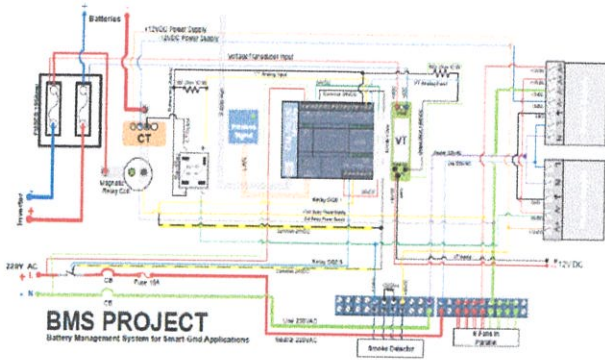
2.5 Solar compensation

การผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์จะผลิตได้มากในช่วงเวลา 9.00 – 15.00 และมีความผันผวนในบางช่วงเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ดังนั้นเพื่อให้โครงข่ายไฟฟ้ามีความเสถียรภาพ จึงนำระบบสะสมพลังงานมาประยุกต์ใช้โดยช่วงที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานได้มากจะทำการเก็บพลังงาน และจ่ายออกให้ระบบอีกครั้งในช่วงที่ผลิตพลังงานได้น้อย

3. การออกแบบการทดลอง

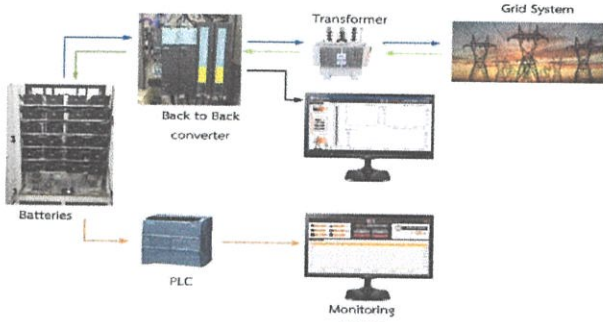
3.1 การทดลองเพื่อทดสอบสถานะจากแบตเตอรี่เมื่อเชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้า

ทดลอง โดยการเชื่อมต่อตู้แบตเตอรี่จำนวน 24 ก้อน ขนาด 27.6 V 40 Ah ภายในประกอบด้วย PLC, Bridge rectifier, Current transducer, Voltage transducer, แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 12 V., ตัวต้านทาน, เบรกเกอร์, รีเลย์, ฟิวส์ และพัดลมระบายอากาศ



รูปที่ 3 แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์และวงจรภายในตู้แบตเตอรี่

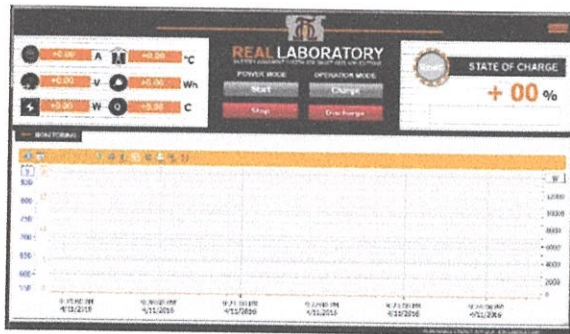
จากนั้นเชื่อมต่อสายไฟจากตู้แบตเตอรี่เข้าสู่ Back to back converter ตามรูปที่ 4 เพื่อทดลองการอัดประจุ (Charge) และการคายประจุ (Discharge) ในลำดับต่อไป



รูปที่ 4 การเชื่อมต่อชุดทดสอบแบตเตอรี่

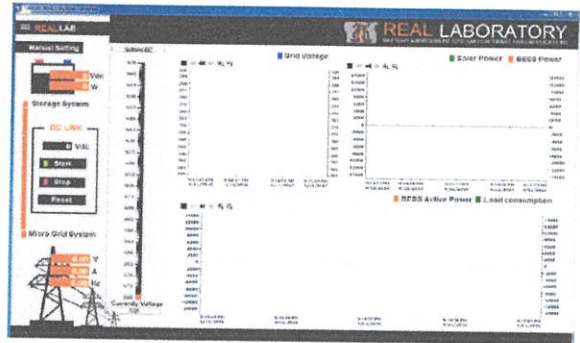
3.2 หน้าจอแสดงผลเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล

นำเสนอถึงผลการตอบสนองจากแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน ขนาดความจุ 40 แอมแปร์-ชั่วโมง แรงดันไฟฟ้า 27.6 โวลต์ จำนวน 24 ก้อน ต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะการอัดประจุของแบตเตอรี่ (SOC), กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้า รวมถึงอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ เมื่อมีการอัดประจุหรือคายประจุโดยใช้ PLC เป็นอุปกรณ์หลัก ในการวิเคราะห์และประมวลผลดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 หน้าจอแสดงผลค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่

โปรแกรม REAL Battery Management System นี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อตรวจจับค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ และการควบคุมระบบความปลอดภัยภายในระบบสะสมพลังงานไฟฟ้า ที่เชื่อมต่อเข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อกันแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter) ซึ่งสามารถควบคุมได้ในหน้าจอแสดงผลดังรูปที่ 6



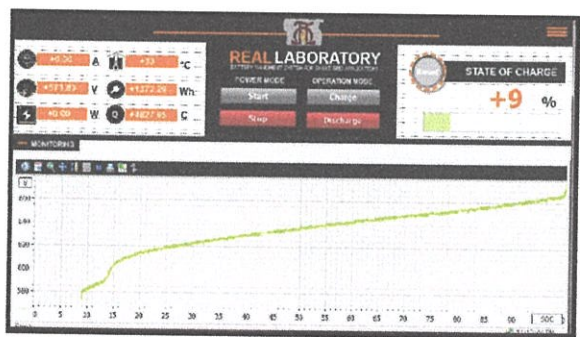
รูปที่ 6 หน้าจอแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่าย

โปรแกรมการตรวจสอบสถานะแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่าย ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับคำสั่งของผู้ใช้งานและแสดงค่าที่จำเป็นต่อการใช้งาน โดยมีการคุมคุมแรงดันกระแสตรงระหว่าง Back to back converter และ ระบบสะสมพลังงาน เพื่อปรับแรงดันให้ใกล้เคียงกันก่อนเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อป้องกัน ตัวเก็บประจุภายในตัว Back to back converter

4.ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบการคายประจุไฟฟ้า (Discharge) ของระบบสะสมพลังงาน เข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าผ่านทาง Back to back converter เพื่อหาค่าลูโอมบ้ข้างของแบตเตอรี่ Q(reI) ในการตั้งค่าสถานะการอัดประจุ (SOC) ผ่านทางโปรแกรม Win CC โดยแสดงผลลัพธ์ออกมาทางหน้าจอแสดงผล (SCADA) กำหนดค่าที่ค่าแรงดันมาตรฐานของแบตเตอรี่อยู่ที่ 568 - 676 V. ที่ SOC 0-100% ตามลำดับ

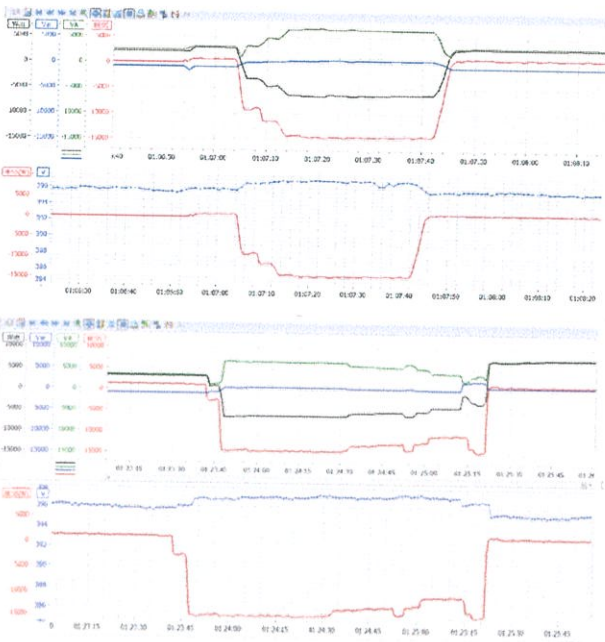
4.1 การทดสอบแบตเตอรี่เพื่อหาค่าสถานะการอัดประจุ (SOC)



รูปที่ 7 หน้าจอแสดงผลสถานะการอัดประจุไฟฟ้า

4.2 ผลกระทบของแรงดันในระบบโครงข่ายไฟฟ้าเมื่อกายประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

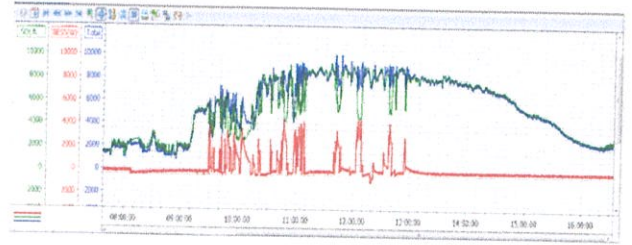
ทดสอบเพื่อดูการตอบสนองของแรงดันโครงข่ายเมื่อมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงคงที่ 15 กิโลวัตต์ในช่วงระยะเวลา 40 วินาที กราฟในรูปที่ 8 คือ กราฟแสดงผลการตอบสนองของพลังงานรวมในอาคารปฏิบัติการ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้ารวมของระบบ (เส้นสีดำ) มีค่าเป็นลบ คือมีการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากกว่าที่ใช้งาน เมื่อมีการคายพลังงานออกจาก แบตเตอรี่ (เส้นสีแดง) จากผลการทดลอง แรงดันไฟฟ้าโครงข่าย ปรับตัวเพิ่มขึ้น 0.3275% จากค่าแรงดันเฉลี่ยก่อนการทดลอง และทดสอบ เพื่อเพิ่มและรักษาแรงดันของโครงข่ายให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เป็นระยะเวลา 90 วินาที จากผลการทดลอง แรงดันไฟฟ้าโครงข่าย ปรับตัวเพิ่มขึ้น 0.2505% จากค่าแรงดันเฉลี่ยก่อนการทดลอง



รูปที่ 8 การชดเชยแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่าย

4.3 ทดสอบการใช้ระบบสะสมพลังงานเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าจริงของเซลล์แสงอาทิตย์

จ่ายกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปชั่วขณะหนึ่ง กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา โดยกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกราฟเส้นสีเขียว กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เป็นกราฟเส้นสีแดง และกำลังไฟฟ้ารวมที่มีการชดเชยเป็นกราฟเส้นสีน้ำเงิน จากกราฟจะเห็นว่าเซลล์แสงอาทิตย์มีการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ดังนั้นจำเป็นต้องมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่เข้ามาชดเชยเพื่อรักษาระดับแรงดันและความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปให้คงที่ เมื่อกำลังการผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง



รูปที่ 9 การชดเชยกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่าย

5.สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการชดเชยแรงดันไฟฟ้าในสายส่งจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า โดยแรงดันไฟฟ้าจะลดลงตามความยาวของสายส่ง นอกจากนี้การใช้งานของอุปกรณ์ระหว่างทางจากต้นสายไปยังปลายสายยังส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าปลายสายส่งได้อีกด้วย และการชดเชยกำลังไฟฟ้าให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีเมฆหรือเงามาปกคลุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วและมีความไม่แน่นอนในการเปลี่ยนแปลงส่งผลกระทบต่อแรงดันและความถี่ในระบบโครงข่ายไฟฟ้า แก้ปัญหาโดยการประยุกต์ใช้แบตเตอรี่มาชดเชยกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในชั่วขณะ โดยมีสถานะการอัดประจุ (SOC) เป็นตัวบ่งบอกสถานะของแบตเตอรี่ในขณะนั้นว่าสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าได้มากน้อยเพียงใด

6.กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย ที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงานประจำปีงบประมาณ 2015 ขอขอบคุณ รศ. ดร.สุรินทร์ คำฝอย รศ.ประภษา ไพธูวรรณา ที่ต้น ที่เล็ก ที่เอก รวมถึงเพื่อนๆ ใน REAL LAB ที่คอยช่วยเหลือ งานงานวิจัยนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Alanen & R. Pasonen, "Use of energy storages in Smart Grids management," Espoo., 2011, pp. 26-56.
- [2] M. Alam, K. Muttaqi & D. Sutanto, "A novel approach for ramp-rate control of solar PV using energy storage to mitigate output fluctuations caused by cloud passing," IEEE Trans., on Energy Conversion, vol. 29, (2) pp. 507-518, 2014.
- [3] J. haysaengcharoen, "One State of Charge Estimation of a Lithium-Ion Battery for Sensor Node in Wireless Sensor Networks," Electrical Engineering Prince of Songkla University, 2014, pp. 25-80.

ภาคผนวก จ
โปสเตอร์นำเสนอผลงาน

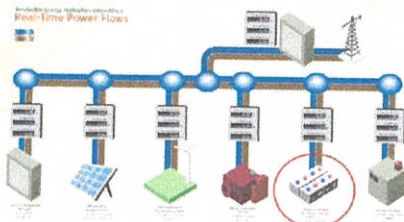
Battery Management System (BMS) for Smart Grid Applications

Kanin Thaweepapong, Napat Jitsamphanthawet and Napatpon Pila
 Advisor: Assoc.Prof. Prapat Prisuwana

Department of Electrical Engineering
 E-mail: kanin_05@hotmail.com, kkhsurin@kmitl.ac.th

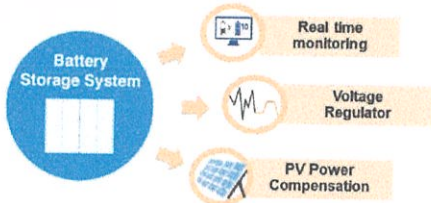
Abstract

This thesis utilizes the knowledge of SCADA software to create the real time management system (BMS) that works to provide accurately control and monitor for battery energy storage system(BESS) in order to mitigate the negative impacts of Smart Grid applications

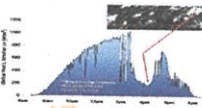


1

Introduction



Today, Smart grid is regarded as an important innovation to traditional power generation. As one of the Smart grid source the photovoltaic (PV) power generation is unpredictable due to the cloud passing that cause among of the PV power outage change rapidly which effects to the grid stability

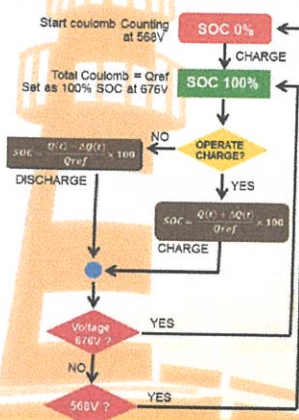


In this thesis, the BESS could be considered as a solution to improve the operation performance of the smart grid with PV generation

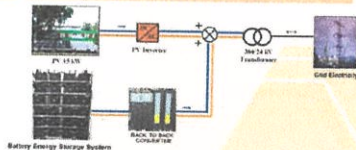
2

Methodology

COULOMB COUNTING

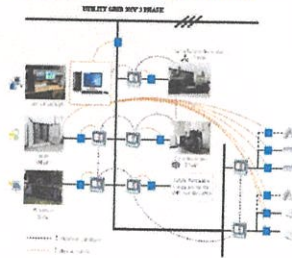


POWER DIAGRAM

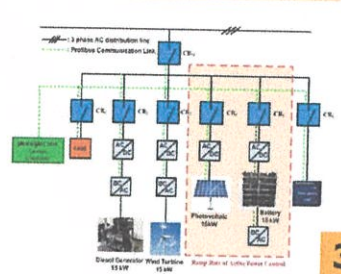


The 18 kW Energy storage system is consist of 24 Li-ion battery units. The DC power is converted to AC by bidirectional inverter which is controlled by Master PLC then step up into high voltage for grid support function. The PLC network is connected in order to cooperate between the PLC devices

SCHEMATIC NETWORK



ENERGY MANAGEMENT SYSTEM

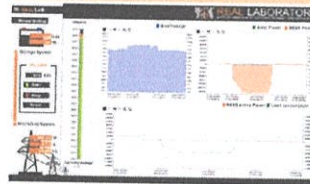


3

Results

These SCADA screens show the real-time monitoring system and control system.

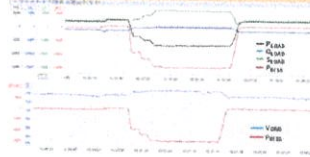
CONTROL SYSTEM



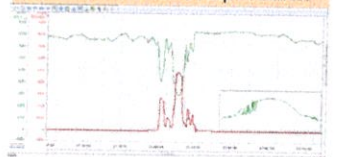
MONITORING SYSTEM



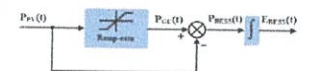
VOLTAGE REGULATION



PV Active Power Compensation



This SCADA graph shows the response of the grid voltage while the BESS was discharging to maintain the grid voltage for a short period of time. The grid voltage increased by 0.3% from average



$$P_{BESS}(t) = P_{DC}(t) - P_{PV}(t)$$

The upper graph shows the total energy consumption of the building. The active power (P_{LOAD}) consumption became negative which mean the power generation was more than consumption

This graph show the BESS power compensation while the solar power was decreasing rapidly due to the cloud passing the BESS discharged to maintain the smooth of the solar outage

4

Conclusion

- Battery Management System(BMS) is used to prevent the battery downtime from operating by monitoring the various of parameters such as temperature, voltage, current and state of charge (SOC)
- The power outage of BESS is limited by BMS to be operate in the range of 20-80% SOC
- The integration of BESS can be able to support the grid voltage regulation satisfactory.
- BESS is the solution for PV power fluctuation in compensate the PV active power for grid support function

5

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายคณิน ทวีศุภพงษ์
 วัน เดือน ปีเกิด 21 มกราคม 2537
 ที่อยู่ 2203/2 ถ. พระรามที่ 4 แขวงคลองเตย
 เขตคลองเตย กทม. 10110

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษาระดับศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสิริรัตนาร
 ปีการศึกษา 2558 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน Tokai University, Japan (Kanagawa)
 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม ถึง 28 มิถุนายน 2558



ชื่อ-นามสกุล นายณพัศ จิตสัมพันธ์เวช
 วัน เดือน ปีเกิด 5 ธันวาคม 2536
 ที่อยู่ 5 ถนนเก่า ตำบลทับเที่ยง อำเภอเมือง
 จังหวัดตรัง 92000

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนจุฬารณราชวิทยาลัย ตรัง
 ปีการศึกษา 2558 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท ไทยไปโอแก๊ส เอ็นเนอร์ยี จำกัด (TBEC)
 ระหว่างวันที่ 2 มิถุนายน ถึง 29 กรกฎาคม 2558



ชื่อ-นามสกุล นายณภัทร์ภณ พิลลา
 วัน เดือน ปีเกิด 26 ตุลาคม 2535
 ที่อยู่ 129/3 ถนนพรหมนคร อำเภอตากลี
 จังหวัดนครสวรรค์ 60140

ประวัติการศึกษา

- ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก
 โรงเรียนตากลีประชาสรรค์
- ปีการศึกษา 2558 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท บางปะอินโคเจนเนอเรชั่น จำกัด
 ระหว่างวันที่ 2 มิถุนายน ถึง 29 กรกฎาคม 2558