



การพัฒนาระบบปรับสมดุลของเซลล์แบบแอคทีฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการ
แบตเตอรี่แพคชนิดลิเทียมไอออน

An Improvement of Active Cell Balancing for Efficient Management in
Li-ion Battery Pack

เนติธร ปรีชาพัฒนานนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น

พ.ศ. 2564

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาระบบปรับสมดุลของเซลล์แบบแอคทีฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการแบตเตอรี่แพคเกจลิเทียมไอออน
โดย	นายเนติธร ปรีชาพัฒนานนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.ไพศาล สดวิสัย

คณะกรรมการสอบ

.....	อาจารย์ที่ปรึกษา ประธานกรรมการสอบ
(ดร.ไพศาล สดวิสัย)	

.....	กรรมการสอบ
(รศ.ดร.ไตรสิทธิ์ เบญจบุญยสิทธิ์)	

.....	กรรมการสอบ
(ผศ.ดร.อาทิตย์ ธรรมตระกูล)	

.....	กรรมการสอบ
(ดร.ชาตรี บุษบาธร)	

ชื่อโครงการ	การพัฒนาระบบปรับสมดุลของเซลล์แบบแอคทีฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการแบตเตอรี่แพคชนิดลิเทียมไอออน
ผู้เขียน	นายเนติธร ปรีชาพัฒนานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ไพศาล สดวลัย
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2564

บทสรุป

ธรรมชาติของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีการคายประจุเองตลอดเวลาและในแต่ละเซลล์นั้นก็มีความสามารถในการคายประจุไม่เท่ากันส่งผลให้เมื่อนำเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมากกว่าหนึ่งเซลล์มาใช้งานร่วมกันอาจไม่มาสารถใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพเนื่องจากประจุในแต่ละเซลล์ไม่เท่ากัน ดังนั้นการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ให้เท่ากันก่อนนำไปใช้งานหรืออัดประจุจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของแบตเตอรี่

ปริญญานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่มีการต่อแบบขนาน 4 เซลล์ด้วยวิธีการเพิ่มแรงดันในการปรับสมดุลด้วยวงจรเพิ่มแรงดันที่มีข้อได้เปรียบเรื่องระยะเวลาในการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ที่มีความต่างของแรงดันน้อย โดยมีเงื่อนไขในการปรับสมดุลคือแรงดันของเซลล์ที่มีแรงดันมากที่สุดกับน้อยที่สุดต้องมีต่างกันไม่เกิน 10 mV พร้อมทั้งนำเสนอการป้องกันเซลล์แบตเตอรี่ขณะปรับสมดุลจากสถานะผิดปกติของแบตเตอรี่ไม่ว่าจะเป็น แรงดันสูงเกิน แรงดันต่ำเกิน กระแสเกิน และ อุณหภูมิเกิน โดยการทำงานทั้งหมดนั้นได้รวมอยู่ในอุปกรณ์จัดการแบตเตอรี่ โดยได้นำเสนอไมโครคอนโทรเลอร์รุ่น Arduino Mega 2560 ในการทำหน้าที่ควบคุมและประมวลผลการทำงานทั้งหมดของระบบ

คำสำคัญ : การปรับสมดุล/เพิ่มแรงดัน/แรงดันสูงเกิน/แรงดันต่ำเกิน/กระแสเกิน/อุณหภูมิเกิน

Project's name	An Improvement of Active Cell Balancing for Efficient Management in Li-ion Battery Pack
Authors	Netithorn Preechapattananont
Faculty Advisor	Dr.Phaisarn Sudwilai
Program	Bachelor of Engineering
Major	Electrical Engineering
Academic year	2021

Abstract

Li-ion battery is naturally self-discharged which its capability is distinguish from one to another. This eventually affects to the usage of multiple cells together may not reach its best efficiency due to the inequality of each charge. Therefore, balancing battery cell prior to the usage or charging is considered as way to improve its efficiency.

This thesis aims to propose “Balancing Battery Cells Methodology” for Li-ion that connected parallelly with 4 cells with increasing voltage for balancing by boost converter. The advantage of the boost converter is shorter period for balancing battery cells that consist of small different of voltage volume. And the balancing condition is the highest and lowest cell's voltages are not varied more than 10 mV. In addition, this thesis also proposes prevention way while balancing process is in progress from various unusual status including too much high voltage, too low voltage, over current, and over temperature. The overall working model, system, and process are included in this battery management system with the proposal of micro controller - Arduino Mega 2560 model for the whole system processing and controlling.

Keywords : balancing/increasing voltage/over voltage/under voltage/over current/
over temperature

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีแม้จะมีปัญหาบ้างแต่ด้วยการที่ได้คำแนะนำและได้รับความช่วยเหลือจาก ดร.ไพศาล สุตวิสัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานของข้าพเจ้า ที่สละเวลาให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานทำโครงงาน จนเป็นผลให้โครงงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านไม่ว่าจะเป็น ดร.ชาตรี บุษบาธร ผศ.ดร.อาทิตย์ ธรรมตระการ รศ.ดร.ไตรสิทธิ์ เบญจบุญยสิทธิ์ อาจารย์ ศิริพงษ์ แสงสารพันธ์ อาจารย์ จิรดา โกสุมบงกช และ รศ.ดร.ชุมพล อันตรเสน ที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างแก่ข้าพเจ้า และคอยสนับสนุนช่วยเหลือตลอดทั้งโครงงาน รวมไปถึงคณาจารย์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์และ คณะอื่นๆ ที่เคยอบรมสั่งสอนได้ให้ความรู้และอบรมสั่งสอนข้าพเจ้า ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่ อุปกรณ์ และ งบประมาณต่างๆในการจัดทำโครงงานให้แก่ข้าพเจ้า

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณพ่อแม่และครอบครัวที่คอยสนับสนุนด้านการศึกษาให้แก่ข้าพเจ้า รวมทั้งกำลังใจและความเชื่อมั่นในตัวข้าพเจ้า และเพื่อนๆ รวมถึงรุ่นพี่ที่คอยให้คำแนะนำและคำปรึกษาแก่ข้าพเจ้าตลอดการศึกษาในระดับปริญญาศึกษา

เนติธร ปรีชาพัฒนานนท์

ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทสรุป	ก
Summary	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
 บทที่ 1 บทนำ	 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินการ	3
 บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	 4
2.1 ประเภทของแบตเตอรี่	4
2.2 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน	6
2.3 แบบจำลองสมมูลแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน	8
2.3.1 แบบจำลองเทวินิน (Thevenin Model)	8
2.3.2 แบบจำลองเทวินินแบบปรับปรุง (Improved Thevenin Model)	9
2.4 วิธีการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่	10
2.4.1 การปรับสมดุลแบบพาสซีฟ (Passive balancing)	10
2.4.2 การปรับสมดุลแบบแอคทีฟ (Active balancing)	11
2.4.3 การปรับสมดุลแบบ Lossless balancing	14

2.4.4	การปรับสมดุลแบบ Redox Shuttle	15
2.5	หลักการอัดประจุแบตเตอรี่	15
2.6	Stage of Charge , Depth of Discharge และ C-rate	16
2.6.1	Stage of Charge (SoC)	16
2.6.2	Depth of Discharge (DoD)	17
2.6.3	C-rate	18
บทที่ 3	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	19
3.1	ทำการเก็บผลเพื่อออกแบบ	19
3.2	ออกแบบวงจรจัดการแบตเตอรี่แพค	22
3.2.1	สถาปัตยกรรมของระบบจัดการแบตเตอรี่แพค	22
3.2.2	การทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน	23
3.3	ออกแบบหลักการทำงานของระบบปรับสมดุลของระบบจัดการแบตเตอรี่	29
3.4	การตรวจวัดสัญญาณ	33
3.4.1	การตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้า	33
3.4.2	การตรวจวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้า	33
3.4.3	การตรวจวัดสัญญาณอุณหภูมิ	34
3.5	ออกแบบวงจรป้องกันแบตเตอรี่แพค	35
บทที่ 4	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	36
4.1	การทดสอบปรับสมดุลโดยการเพิ่มแรงดันในการรับสมดุล	36
4.1.1	เงื่อนไขการปรับสมดุลด้วยแรงดันปรับสมดุล 4.20 Volt	36
4.1.2	เงื่อนไขการปรับสมดุลด้วยแรงดันปรับสมดุล 4.25 Volt	37
4.1.3	เงื่อนไขการปรับสมดุลด้วยแรงดันปรับสมดุล 4.38 Volt	38
4.2	การทดสอบปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันต่างกันมาก	39
4.3	การทดสอบระบบควบคุมการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่	41

4.4	การทดสอบระบบป้องกันเซลล์แบตเตอรี่	44
4.5	การทดสอบการดำเนินการทำงานของระบบ	48
4.6	ผลการทดสอบการดำเนินการปรับปรุงระบบปรับสมดุล	49
บทที่ 5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	50
5.1	สรุปผลการดำเนินงาน	50
5.2	แนวทางการแก้ไขปัญหา	50
5.3	ข้อเสนอแนะจากการดำเนินงาน	51
	เอกสารอ้างอิง	52
	ภาคผนวก ก	54
	ภาคผนวก ข	55
	ภาคผนวก ค	58
	ภาคผนวก ง	60
	ภาคผนวก จ	62
	ภาคผนวก ฉ	68
	ภาคผนวก ช	71
	ภาคผนวก ญ	72
	ประวัติผู้จัดทำโครงการ	74

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	ตารางแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง C-rate ความจุ และ ระยะเวลา ของแบตเตอรี่	18
ตารางที่ 4.1	ตารางแรงดันก่อนปรับสมดุลและหลังปรับสมดุลด้วยแรงดัน 4.20 Volt	35
ตารางที่ 4.2	ตารางแรงดันก่อนปรับสมดุลและหลังปรับสมดุลด้วยแรงดัน 4.25 Volt	36
ตารางที่ 4.3	ตารางแรงดันก่อนปรับสมดุลและหลังปรับสมดุลด้วยแรงดัน 4.38 Volt	37
ตารางที่ 4.4	ตารางแรงดันก่อนปรับสมดุลและหลังปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันต่างกันมากด้วยแรงดัน 4.25 Volt	39
ตารางที่ 4.5	การเปรียบเทียบวิธีการปรับสมดุลระหว่าง Flying capacitor และ Buck-Boost converter	49

สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า	
2.1	แบบจำลองเทวินินของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน	8
2.2	การปรับปรุงแบบจำลองเทวินินของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน	9
2.3	Fixed shunting resistor	10
2.4	Switching shunting resistor	11
2.5	Switching capacitor	12
2.6	Buck-Boost converter method	13
2.7	Multi-winding transformer	14
2.8	Metrix switch circuit	14
2.9	โหมดการชาร์จกระแสคงที่ และ แรงดันคงที่	16
2.10	ภาพอธิบายความหมายของ SOC เมื่ออ้างอิงกับความจุของแบตเตอรี่	16
2.11	ภาพอธิบายความหมายของ DOD โดยเทียบระหว่างแรงดันและเวลา	17
2.12	ภาพอธิบายความหมายของ SOC และ DOD เมื่ออ้างอิงกับความจุของแบตเตอรี่	18
3.1	กราฟแสดงแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนด้วยระบบปรับสมดุลแบบ Flying Capacitor	20
3.2	กราฟแสดงแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนด้วยระบบปรับสมดุลแบบ Buck-Boost converter	21
3.3	สถาปัตยกรรมการจัดการแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่ต่อขนานจำนวน 4 เซลล์	23
3.4	แผนภาพการเริ่มต้นการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่	23
3.5	แผนภาพการเริ่มต้นการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่	23
3.6	แผนภาพการตรวจเช็คสถานะคำสั่งหลักและเข้าสู่คำสั่งของระบบจัดการแบตเตอรี่	24
3.7	แผนภาพหน้าหลักของระบบจัดการแบตเตอรี่	24
3.8	แผนภาพการทำงานเบื้องต้นในการ delay ของระบบจัดการแบตเตอรี่	25
3.9	แผนภาพการทำงานการวัดจังหวะของสวิตช์ 1 และ 2 ของระบบจัดการแบตเตอรี่	26
3.10	แผนภาพการทำงานการวัดจังหวะของสวิตช์ 3 และ 4 ของระบบจัดการแบตเตอรี่	27
3.11	โมดูลแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ Regulator เบอร์ LN2587	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.12	พฤติกรรมของพลังงานที่สูญเสียในเซลล์แบตเตอรี่ขณะถ่ายโอนพลังงานในรูปแบบต่างๆ	28
3.13	แผนภาพการทำงานของการทำงานและจับคู่เซลล์ที่จะทำการปรับสมดุล	29
3.14	แผนภาพการทำงานของการทำงานปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่	30
3.15	แผนภาพการทำงานของการทำงานปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ (ต่อ)	31
3.16	การต่อวงจรเพื่อวัดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่โดยมีการต่อ pull-down resistor ขนาด 10 k Ω	32
3.17	การต่อวงจรเพื่อวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าและเปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันโดยใช้ไอซีเบอร์ ACS712	33
3.18	ไอซีวัดแรงดันเบอร์ LM35	33
3.19	Datasheet บอกคุณสมบัติเบื้องต้นของแบตเตอรี่รุ่น Toriyama ICR18650-22	34
4.1	ปรับสมดุลเป็นเวลา 4 ชั่วโมงด้วยแรงดันขนาด 4.20 Volt	35
4.2	ปรับสมดุลเป็นเวลา 4 ชั่วโมงด้วยแรงดันขนาด 4.25 Volt	36
4.3	ปรับสมดุลเป็นเวลา 4 ชั่วโมงด้วยแรงดันขนาด 4.38 Volt	37
4.4	ปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันต่างกันมากด้วยแรงดันด้วยแรงดันขนาด 4.25 Volt	38
4.5	แผนภาพหน้าการดำเนินการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่	40
4.6	หน้าจอ LCD การดำเนินการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่	40
4.7	แผนภาพหน้าการแสดงผลสถานะต่างๆของเซลล์แบตเตอรี่และของระบบจัดการแบตเตอรี่	41
4.8	หน้าจอ LCD การแสดงผลสถานะต่างๆของเซลล์แบตเตอรี่และของระบบจัดการแบตเตอรี่	41
4.9	แผนภาพหน้าการปรับแต่งคุณสมบัติต่างๆของระบบจัดการแบตเตอรี่	42
4.10	หน้าจอ LCD การปรับแต่งคุณสมบัติต่างๆของระบบจัดการแบตเตอรี่	42
4.11	แผนภาพหน้าการวัดค่าแรงดันและประมวลผลสำหรับป้องกันเซลล์ของระบบ จัดการแบตเตอรี่	43
4.12	แผนภาพหน้าการวัดค่ากระแสและประมวลผลสำหรับป้องกันเซลล์ของระบบ จัดการแบตเตอรี่	44
4.13	แผนภาพหน้าการวัดค่าอุณหภูมิและประมวลผลสำหรับป้องกันเซลล์ของระบบ จัดการแบตเตอรี่	44

4.14	แผนภาพการแสดงผลเมื่อสามารถตรวจจับความผิดปกติของเซลล์แบตเตอรี่ของระบบจัดการแบตเตอรี่	45
4.15	หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อสามารถตรวจจับสถานะ Over Current ในระบบเมื่อมีการทำการ Balance และ Discharge	45
4.16	หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อสามารถตรวจจับสถานะ Over Voltage ในระบบที่เซลล์ 1,2,3,4 และ 1,3	46
4.17	หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อสามารถตรวจจับสถานะ Under Voltage ในระบบที่เซลล์ 1,2,3,4 และ 2,4	46
4.18	หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อสามารถตรวจจับสถานะ Over Temperature ในระบบที่เซลล์ 1,2,3,4 และ 1,2	46
4.19	หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อระบบดำเนินการ Discharge และพบเซลล์ที่มีแรงดัน 0 Volt	46
4.20	หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อระบบดำเนินการ Balance และพบเซลล์ที่มีแรงดัน 0 Volt	47
4.21	หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อระบบดำเนินการ Discharge	47
4.22	หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อระบบดำเนินการ Balance	47
ก.1	รูปลักษณะภายนอกของระบบจัดการแบตเตอรี่ในส่วนของการทำงานเบื้องหลัง	52
ก.2	รูปลักษณะภายนอกของระบบจัดการแบตเตอรี่ในส่วนของการทำงานเบื้องหน้า	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากจุดเริ่มต้นมนุษย์ได้พัฒนาเทคโนโลยีเสมอมาเพื่อใช้ในการอำนวยความสะดวกโดยมีเป้าหมายเพื่อตนเองเป็นหลัก โดยในยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมที่เมื่อก่อนการผลิตสินค้าเดิมใช้แรงงานคน แรงงานสัตว์ รวมทั้งพลังงานจากธรรมชาติ ได้ปรับเปลี่ยนมาใช้เครื่องจักรกลแทน เพื่อทุ่นแรงและเพิ่มความสามารถในการผลิต โดยในเริ่มแรกจะใช้พลังงานจากการใช้น้ำมาหมุนกังหัน และได้พัฒนาต่อมาเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้แหล่งพลังงานชนิดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นถ่านหินไปจนถึงน้ำมันปิโตรเลียม จนการใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลังนั้นเริ่มแพร่หลายมากขึ้น จึงทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ที่ถูกพัฒนาในเวลานั้นมีต้นกำลังมาจากเครื่องยนต์ รวมไปถึงยานพาหนะ

ณ ปัจจุบันมนุษย์นั้นเริ่มตระหนักถึงสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเรื่อยๆ จึงได้พัฒนายานพาหนะที่ใช้ต้นกำลังมาจากไฟฟ้า และ เนื่องจากยานพาหนะนั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ในการเดินทางระยะไกลทำให้ไม่สามารถที่จะใช้แหล่งพลังงานผ่านทางสายไฟได้จึงมีการพัฒนาวิธีการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ และออกแบบระบบจัดเก็บพลังงานให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งานและสภาพแวดล้อมของระบบ อย่างเช่นในรถยนต์ จากข้อได้เปรียบของรถยนต์ประเภทเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้แหล่งพลังงานมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมคือ การเติมเชื้อเพลิงที่รวดเร็ว จึงนำมาสู่การปรับปรุงระบบแหล่งเก็บพลังงานของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการการเติมพลังงานที่รวดเร็วใกล้เคียงกับรถยนต์สันดาปภายในมากขึ้นจึงได้พัฒนาวิธีการในการอัดประจุแบตเตอรี่แบบต่างๆ เพื่อเพิ่มความเร็วในการอัดประจุให้มากขึ้นเพื่อลดข้อเสียเปรียบในด้านนี้ให้น้อยลงจนหมดไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติและข้อจำกัดรวมไปถึงการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการที่จะใช้งานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบจัดการและปรับสมดุลให้กับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน
- 1.2.4 เพื่อศึกษาปัญหาและแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนขณะปรับสมดุลเพื่อพัฒนาขีดความสามารถของระบบจัดการแบตเตอรี่

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ออกแบบอุปกรณ์และประดิษฐ์ระบบจัดการและปรับสมดุลแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนแบบ Active
- 1.3.2 ออกแบบ Algorithm ในการปรับสมดุลแบบ Active ระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ที่ต่อขนาน 4 เซลล์ ของจัดการแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทักษะในการออกแบบและวิเคราะห์วงจรที่ซับซ้อนมากขึ้น
- 1.4.2 ทักษะในการออกแบบ Algorithm ในการควบคุมการทำงานของระบบผ่าน Microcontroller
- 1.4.3 ได้นำความรู้ที่เคยศึกษามาและความรู้ที่ได้ศึกษาเพิ่มเติมมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานได้จริง

1.5 แผนการดำเนินการ

[illegible]

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเภทของแบตเตอรี่ [1] [2]

แบตเตอรี่หรือถ่านนั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบของปฏิกิริยาทางเคมี โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เซลล์ปฐมภูมิ (Primary Cells) และ เซลล์ทุติยภูมิ (Secondary Cells) โดยมีข้อแตกต่างคือ เซลล์ปฐมภูมิ (Primary Cells) เป็นเซลล์แบตเตอรี่ที่ถูกสร้างมาจากวัสดุทางเคมีที่คุณสมบัติแบบ Non-reversible chemical reaction จึงไม่สามารถจ่ายแรงดันกลับเพื่ออัดประจุคืนให้แบตเตอรี่มีโครงสร้างทางเคมีเหมือนเดิมได้ แต่ใน เซลล์ทุติยภูมิ (Secondary Cells) จะเป็นเซลล์แบตเตอรี่ที่ถูกสร้างมาจากวัสดุทางเคมีที่คุณสมบัติแบบ Reversible chemical reaction จึงสามารถจ่ายแรงดันกลับเพื่ออัดประจุคืนให้แบตเตอรี่มีโครงสร้างทางเคมีเหมือนเดิมได้ ซึ่งการใช้งานของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิดนั้นแตกต่างกันเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวแยกย่อยต่างๆ ของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิด เช่น ถ่านอัลคาไลน์ ถ่านลิเทียม ที่เป็น แบตเตอรี่ชนิด Primary Cells นั้นมีหลายขนาดนิยมใช้ใน ใช้ในวิทยุ นาฬิกา เก็บพลังงานได้สูง อายุการใช้งานสูง แต่เมื่อถูกใช้หมดจะกลายเป็นขยะมลพิษ ถ่านไฟฉายแบบอัลคาไลน์ที่ใช้แล้วทั้งนั้นเป็นที่นิยมกันมาก แต่ในระยะหลังนี้ถ่านไฟฉายอีกประเภทหนึ่งได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นคือถ่านลิเทียม ซึ่งมีน้ำหนักเบา ให้พลังงานสูง ใช้ได้ดีในที่อากาศเย็นและสามารถเก็บไว้ได้นาน นอกจากนี้ ในปัจจุบันผู้ผลิตยังได้ผลิตถ่านลิเทียมในขนาด AA ออกมาอีกด้วย แต่ในอุปกรณ์ที่มีอัตราในการบริโภคพลังงานสูงขึ้นมาและมีอายุการใช้งานนานจะนิยมใช้เป็นแบตเตอรี่ชนิด Secondary Cells เนื่องจากความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และความสะดวกสบายโดยนิยมใช้เป็น แบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่มือถือ เป็นต้น แบตเตอรี่ชนิด Secondary Cells ที่เก่าแก่ที่สุดซึ่งใช้อยู่จนกระทั่งปัจจุบันคือ "เซลล์เปียก" แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (lead-acid battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้จะบรรจุในภาชนะที่ไม่ได้ปิดผนึก (unsealed container) ซึ่งแบตเตอรี่จะต้องอยู่ในตำแหน่งตั้งตลอดเวลาและต้องเป็นพื้นที่ที่ระบายอากาศได้เป็นอย่างดี เพื่อระบายก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาและแบตเตอรี่ชนิดจะมีน้ำหนักมากรูปแบบสามัญของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือแบตเตอรี่รถยนต์ ซึ่งสามารถจะให้กระแสไฟฟ้าได้ถึงประมาณ 10,000 วัตต์ในช่วงเวลาสั้นๆ และมีกระแสตั้งแต่ 450 ถึง 1100 แอมแปร์ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่

คือ กรดซัลฟิวริกซึ่งสามารถเป็นอันตรายต่อผิวหนังและตาได้ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่มีราคาแพงมาก เรียกว่า แบตเตอรี่เจล (หรือ "เจล-เซลล์") ภายในจะบรรจุอิเล็กโทรไลต์ประเภทเซมิ-โซลิด (semi-solid electrolyte) ที่ป้องกันการหกได้ดี และแบตเตอรี่ชนิด Secondary Cells ที่เคลื่อนย้ายได้สะดวกกว่าคือ ประเภท "เซลล์แห้ง" เช่น แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (NiCd) แบตเตอรี่ชนิดโซเดียม-ซัลเฟอร์ (NaS) แบตเตอรี่ชนิดซิงค์-โบรมีน (ZnBr) และ แบตเตอรี่ชนิดวานาเดียม-รีดอกซ์ (Vanadium-Redox) เป็นต้น ในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันในรถยนต์ไฟฟ้านั้นได้ใช้แบตเตอรี่ประเภท Secondary Cells เป็นพลังงานหลักมาโดยตลอดโดยชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้นั้นได้ปรับเปลี่ยนตามเทคโนโลยีของยุคนั้นๆ และการใช้งาน เช่น

- Lead-Acid Battery ที่นิยมใช้ในรถประเภท Fork-lift เนื่องจากมีน้ำหนักที่มากเหมาะแก่การถ่วงน้ำหนักตัวรถเพื่อสมดุลของตัวรถในขณะยกของ
- Sodium-Nickel Chloride or Zebra (Molten-salt Battery) ใช้ในรถ Modex commercial vehicle แต่ในปัจจุบันเลิกใช้ไปแล้วเนื่องจากความยุ่งยากในการใช้งานที่จะต้องทำการให้ความร้อนแก่ electrolyte ก่อนเพื่อให้เปลี่ยนสถานะของ electrolyte เป็นของเหลวเพื่อใช้งาน
- NiMH Battery (Nickel Metal Hydride) ใช้ในรถยนต์ส่วนบุคคลในช่วงแรกของรถยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากความสามารถในการเก็บพลังงานที่สูงเมื่อเทียบกับน้ำหนักและประมาตร มีความปลอดภัยในการใช้งาน ในยุคนั้นๆ แต่ในปัจจุบันมีความนิยมน้อยลงเนื่องจากการพัฒนาของเทคโนโลยีทำให้เกิดแบตเตอรี่ชนิดใหม่ที่เหมาะสมในการใช้งานมากกว่า
- Li-ion Battery (Lithium ion) นิยมใช้ในรถยนต์ส่วนบุคคลในปัจจุบันเนื่องจากมีความเหมาะสมมากที่สุดเวลานี้ทั้งในเรื่องของเศรษฐศาสตร์และคุณสมบัติเฉพาะตัวของแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานสูง ความสามารถในการเก็บพลังงานที่สูงเมื่อเทียบกับน้ำหนักและประมาตร มากกว่าแบตเตอรี่ชนิด Nickel Metal Hydride และได้ถูกพัฒนาให้มีความปลอดภัยในการใช้งานแล้ว

2.2 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน [2] [3] [4]

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-Ion Battery) หรือ Li-Ion battery เป็นแบตเตอรี่คุณภาพสูงชนิดที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Rechargeable Battery) หรือใช้ซ้ำได้ เริ่มใช้กันมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 (พ.ศ. 2513) จุดเริ่มต้นจากวิจัยในช่วงปี ค.ศ. 1970 ขณะนั้นเป็นแบตเตอรี่ชนิดใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ลิเทียมมีคุณสมบัติที่เด่นคือ เป็นโลหะที่เบา ให้แรงดันไฟฟ้าสูง และยังมีความหนาแน่นของพลังงานสูงและกำลังไฟฟ้าสูงในน้ำหนักที่เท่ากันปัญหาของโลหะลิเทียม (Lithium Metal) ในระยะแรกคือ เรื่องของความปลอดภัยกล่าวคือ ในระหว่างอัดประจุไฟมีแนวโน้มที่จะเกิดความร้อนทำให้ระเบิดได้ง่ายงานวิจัยในระยะต่อมาจึงได้มีการทดลองเปลี่ยนจากการใช้ลิเทียมในรูปของโลหะมาเป็นรูปของไอออน (Lithium-ion) ซึ่งมีความปลอดภัยมากกว่า มากถึงแม้จะให้พลังงานที่น้อยกว่า โดยในปัจจุบันมีใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่ไม่ต้องการต่อสายเพื่อจ่ายพลังงานอยู่ตลอดเวลา เช่น หุ่นยนต์ดูดฝุ่น หุ่นยนต์เขี่ยกระดาษ หุ่นยนต์ตัดหญ้า หรือแม้แต่โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก แบตเตอรี่สำรอง (Power Bank) และ ใช้เพื่อสำรองไฟกรณีไฟจากแหล่งจ่ายปกติไม่สามารถจ่ายไฟได้ สำหรับคุณสมบัติหลักของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน คือ แรงดันต่อเซลล์สูง และ ค่อนข้างคงที่ แม้แบตเตอรี่ใกล้หมด และ ยังมีระยะเวลาการอัดประจุไฟจนเต็มความจุที่เร็วกว่าแบตเตอรี่แบบอื่นๆเนื่องจากความสามารถในการทนกระแสสูง และมีอายุการใช้งานที่นาน อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ในระยะที่เต็มประสิทธิภาพ จะอยู่ระหว่าง 2-3 ปี ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมและปริมาณการใช้งานของผู้ใช้ รวมไปถึงการดูแลรักษา โดยการดูแลรักษานั้นควรคำนึงถึง การเก็บแบตเตอรี่ หรืออุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ให้อยู่ภายในอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสม หลีกเลี่ยงการอัดประจุไฟภายใต้อุณหภูมิที่สูง (เพราะจะยิ่งทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็วขึ้น) อย่าใช้งานจนแบตเตอรี่หมดเกลี้ยง (Depth Of Discharge = 0 %) หรือเหลือน้อยมากๆ ควรหมั่นอัดประจุให้มีไฟเลี้ยงตัวแบตเตอรี่อยู่เสมอ หากไม่จำเป็นไม่ควรอัดประจุด้วยกระแสที่สูงมากเนื่องจากจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้นจากปรากฏการณ์ Dendrite ที่จะเกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่ภายใต้การอัดประจุด้วยกระแสที่สูง แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีการป้องกันที่สูงเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน ซึ่งจะมีวงจรป้องกันประกอบอยู่ภายในแบตเตอรี่ ซึ่งมีวงจรตรวจจับแรงดันและกระแสโดยใช้ Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET) กำลังสูงแต่มีขนาดเล็กทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ทำหน้าที่ตัดวงจรออกเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่สูงเกินประมาณ 4.25V

และทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แรงดันของแบตเตอรี่ต่ำเกินไปประมาณ 3.00 V วงจรควบคุมจะตัดวงจรออกทำให้แบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายกระแสได้อีก โดย

จุดเด่นของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ

- แรงดันต่อเซลล์สูง ประมาณ 3.6 V
- Self-Discharge rate ต่ำ น้อยกว่า 10% ต่อเดือน
- อายุการใช้งานยาวนานเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น
- สามารถจ่ายกระแสได้สูง ประมาณ 10C
- สามารถอัดประจุคืนได้เร็วเฉลี่ยประมาณ 1-2 ชั่วโมง
- Energy Density สูง ประมาณ 110 W • h/kg
- ไม่ต้องการการบำรุงรักษา
- ความเป็นพิษน้อย

จุดด้อยของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ

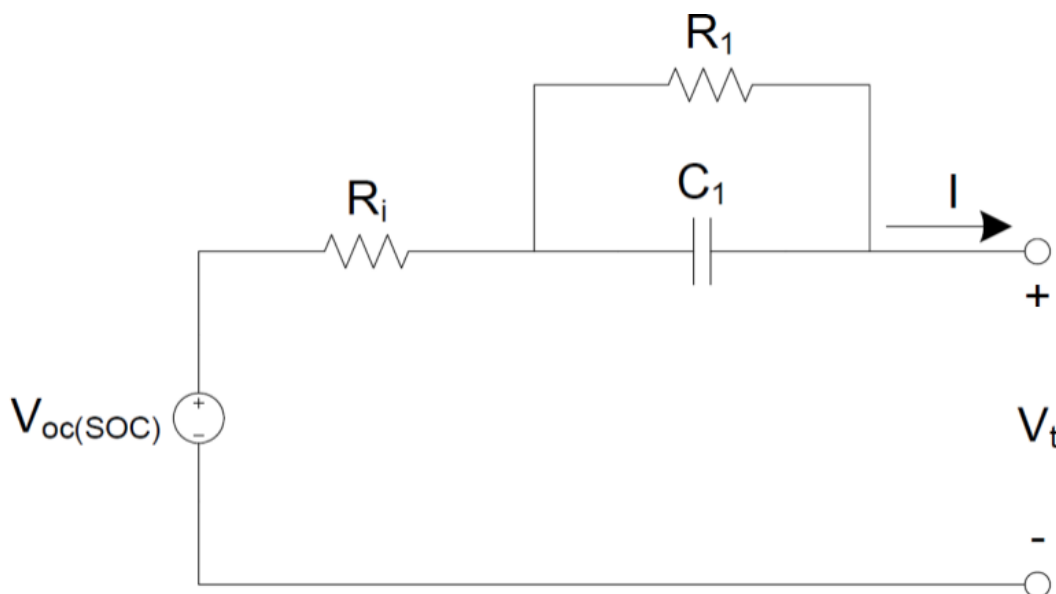
- ราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น
- ความสามารถในการ Overcharge ต่ำมากจนถึงไม่สามารถ Overcharge ได้
- มีการเสื่อมอายุตามเวลาแม้ไม่ได้ใช้งานโดยเฉพาะการไม่เหลือประจุคงค้างไว้ในแบตเตอรี่
- ต้องการการทำงานในอุณหภูมิที่เหมาะสม

2.3 แบบจำลองสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

แบบจำลองวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Equivalent Circuit Model) สามารถแบ่งได้ 5 รูปแบบคือ The Rint Model , The RC Model , The Thevenin Model , The PNGV Model และ The DP Model แต่ส่วนมากนั้นในการวิเคราะห์วงจรของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนนั้นนิยมใช้ The Thevenin Model และ The DP Model เป็นหลักโดย

2.3.1 แบบจำลองเทวินิน (Thevenin Model) [5]

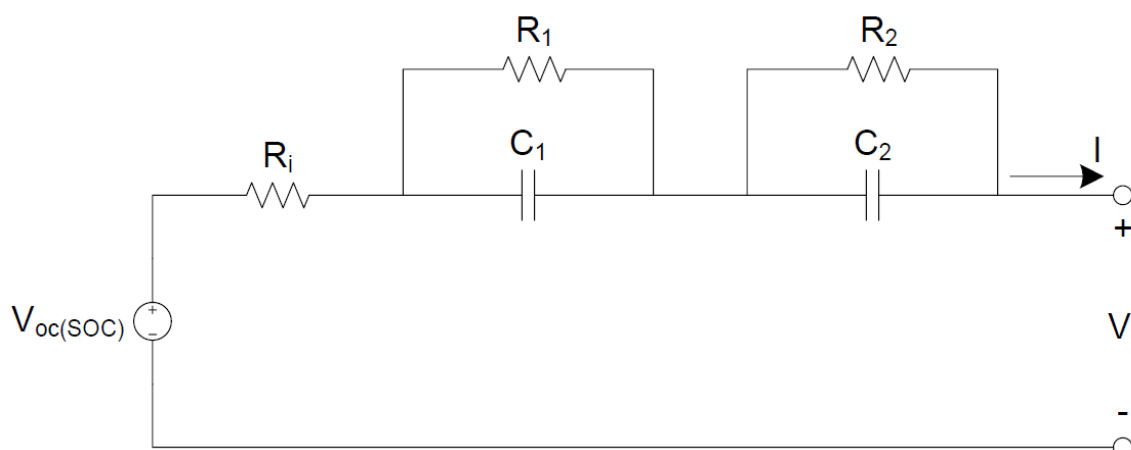
แบบจำลองวงจรสมมูลเทวินินเป็นแบบจำลองพื้นฐานดังแสดงในภาพที่ 2.1 ที่นิยมใช้กันทั่วไป ดังแสดงในภาพ ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง $V_{oc}(SOC)$ เป็นแรงดันขณะเปิดวงจรที่มีความสัมพันธ์กับค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนไปตัวต้านทาน R_i เป็นตัวต้านทานภายในขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการดิสชาร์จอัตราประจุตัวต้านทาน R_1 และตัวเก็บประจุ C_1 ที่ต่อขนานกันใช้ในการอธิบายผลตอบสนองชั่วคราวของผลตอบสนองแรงดันในระหว่างการอัดประจุและดิสชาร์จแรงดันชั่วของแบตเตอรี่ V_t และกระแสของแบตเตอรี่ที่จ่ายออกไป I



ภาพที่ 2.1 แบบจำลองเทวินินของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

2.3.2 แบบจำลองเทวินินแบบปรับปรุง (Improved Thevenin Model) [6]

เป็นการนำเอาแบบจำลองเทวินินมาปรับปรุงโดยเพิ่มตัวต้านทาน R_2 และตัวเก็บประจุ C_2 ที่ต่อขนานกันลงไปในแบบจำลองเทวินิน ดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดยแบบจำลองนี้เหมาะกับแบตเตอรี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลดแบบเป็นระดับตัวต้านทาน R_1 และตัวเก็บประจุ C_1 ที่ต่อขนานกันใช้ในการอธิบายผลตอบสนองแรงดันที่มีค่าคงที่เวลาสั้นสำหรับตัวต้านทาน R_2 และตัวเก็บประจุ C_2 ที่ต่อขนานกันใช้ในการอธิบายผลตอบสนองแรงดันที่มีค่าคงที่เวลายาวข้อดีของการปรับปรุงแบบจำลองเทวินินคือเพิ่มความแม่นยำมากยิ่งขึ้น แต่ในทางเดียวกันข้อเสียของการปรับปรุงแบบจำลองเทวินินคือเพิ่มความซับซ้อนในการคำนวณ (อนุพันธ์อันดับสอง) มากขึ้นด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 2.2 การปรับปรุงแบบจำลองเทวินินของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

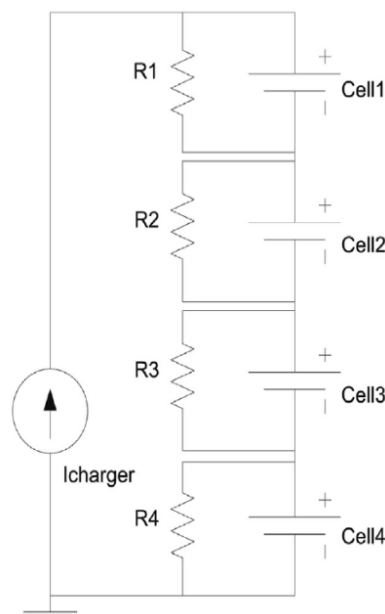
2.4 วิธีการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ [7] [8]

จากปัญหาที่ในแต่ละเซลล์นั้นมีความสามารถในการอัดประจุและคายประจุแตกต่างกันเนื่องจากเงื่อนไขสภาวะที่แตกต่างของแต่ละเซลล์ถึงแม้จะเป็นชนิดเดียวกันก็ตามทำให้แบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรมในขณะอัดประจุจะเกิดปัญหาการเหลื่อมกันของแรงดันในแต่ละเซลล์จึงจำเป็นที่จะต้องใช่วิธีการที่จะปรับสมดุลแรงดันในแต่ละเซลล์ให้เท่ากันโดยในปัจจุบันสามารถแบ่งวิธีการปรับสมดุลได้ 4 แบบใหญ่ๆ คือ

2.4.1 การปรับสมดุลแบบพาสซีฟ (Passive balancing)

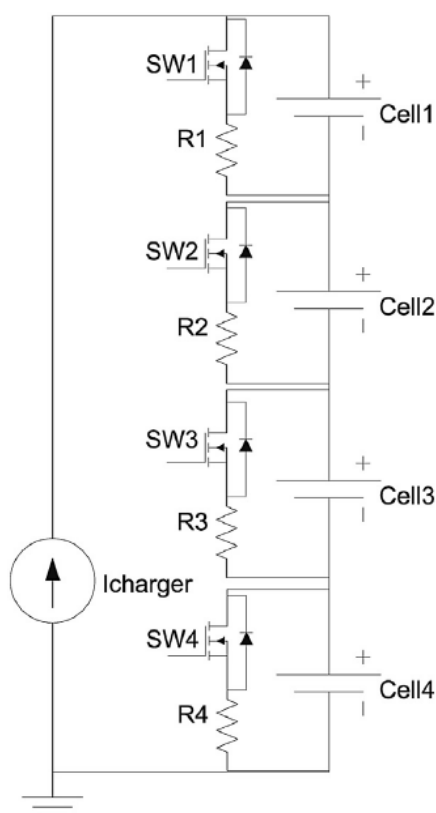
ในการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แบบนี้จะใช้หลักการบายพาสกระแสของเซลล์ที่มีแรงดันถึงค่าที่สูงสุดที่ตั้งไว้ไปที่ตัวต้านทานในขณะที่กำลังอัดประจุให้กับเซลล์ในระบบเพื่อให้สามารถอัดประจุให้กับเซลล์ที่มีแรงดันต่ำกว่าได้ต่อโดยไม่เกิดความเสียหายกับเซลล์ที่มีแรงดันสูงกว่าเนื่องจากการโอเวอร์อัดประจุ โดยการปรับสมดุลแบบพาสซีฟนี้สามารถแบ่งแยกรายละเอียดของวิธีการย่อยได้อีก 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 Fixed Shunting resistor - คือการบายพาสกระแสของทุกตัวที่ยังต้านทานตลอดเวลาเพื่อปรับแรงดันให้มีระดับเดียวกันดังแสดงในภาพที่ 2.3 โดยนำตัวต้านทานมาต่อคร่อมในแต่ละเซลล์ แบตเตอรี่วิธีนี้เหมาะสำหรับแบตเตอรี่กรดตะกั่วและนิเกิลเนื่องจากสามารถอัดประจุได้มากกว่า ความจุโดยเซลล์ไม่เกิดความเสียหาย



ภาพที่ 2.3 Fixed shunting resistor

วิธีที่ 2 คือ Switching Shunting resistor - จะมีหลักการเดียวกับวิธี Fixed Shunting resistor เพียงแต่การควบคุมโดยการแบ่งตัวต้านทาน โดยการ บายพาสกระแสถูกควบคุมด้วยสวิตช์ดังแสดงในภาพที่ 2.4 โดยตรวจสอบแรงดันที่สูงแล้วทำการบายพาสกระแสทั้งที่ตัวต้านทานรอให้เซลล์แรงดันที่ต่ำกว่าเพิ่มระดับแรงดันเพื่อจะทำให้มีระดับแรงดันเดียวกันจึงจำเป็นที่จะต้องมีการวัดแรงดันของแต่ละเซลล์ตลอดเวลา เหมาะสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน



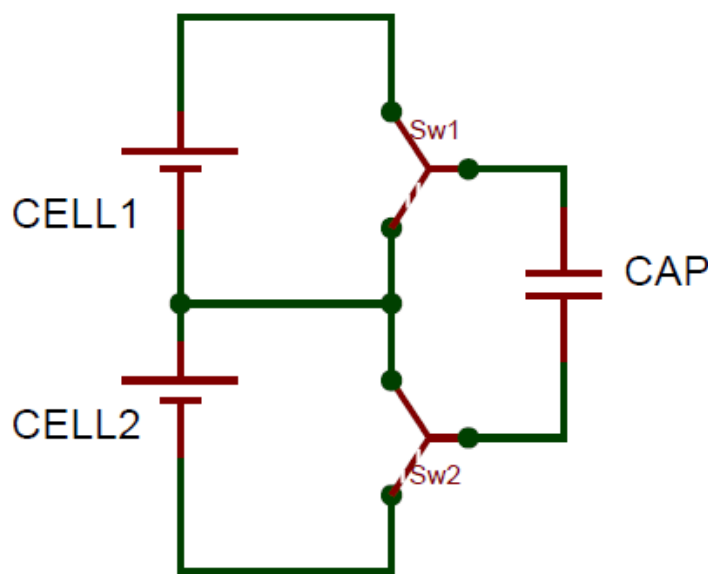
ภาพที่ 2.4 Switching shunting resistor

2.4.2 การปรับสมดุลแบบแอคทีฟ (Active balancing)

จะแตกต่างจากการปรับสมดุลเซลล์แบบพาสซีฟคือในการจัดการกับเซลล์ที่มีแรงดันสูงที่สุดจะไม่ถูกบายพาสกระแสไปทั้งยังตัวต้านทานแต่จะนำกระแสนั้นกลับมาอัดประจุให้กับเซลล์ที่มีแรงดันต่ำกว่าแทนจึงทำให้การปรับสมดุลเซลล์ในรูปแบบนี้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและใช้เวลาในการปรับสมดุลแบตเตอรี่เร็วกว่าการใช้การปรับสมดุลเซลล์แบบพาสซีฟแต่ต้องมี

การวัดแรงดันของทุกเซลล์ตลอดเวลาโดยการปรับสมดุลแบบแอคทีฟนี้สามารถแบ่งแยก รายละเอียดของวิธีการย่อยได้อีก 3 วิธี คือ

วิธีที่ 1 Charge Shuttles (Flying Capacitors) - เป็นวิธีการเก็บพลังงานจาก เซลล์ที่มีแรงดันสูงโดยนำมาเก็บไว้ในตัวเก็บประจุโดยเมื่อระบบตรวจจับเซลล์ที่มีแรงดัน สูงได้แล้วจะสั่งให้ switch แบบ SPDT นั้นสับวงจรให้ตัวเก็บประจุนั้นเข้าไปขนานกับ เซลล์ที่มีแรงดันสูงเพื่อดึงประจุจากเซลล์มาเก็บไว้ในตัวเก็บประจุเมื่อเต็มแล้วจึงสับเอา ตัวเก็บประจุไปขนานกับเซลล์ที่มีแรงดันต่ำเพื่อคลายประจุจากตัวเก็บประจุไปชาร์ต เซลล์ที่มีแรงดันต่ำดังแสดงในภาพที่ 2.5 แต่ข้อได้เปรียบ ของวิธีนี้คือปรับสมดุลตัวเอง ได้ดีข้อเสียเปรียบด้วยวิธีนี้คือการอัดประจุสามารถโอนระหว่างเซลล์ที่อยู่ ติดกันเท่านั้น นอกจากนี้ยังต้องใช้เวลามากขึ้นเนื่องจากตัวเก็บประจุจะต้องใช้เวลาในการอัดประจุและ ดิสชาร์จประจุเพื่อถ่ายโอนพลังงาน นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพน้อยกว่าเนื่องจากจะมีการ สูญเสียพลังงาน ในระหว่างการอัดประจุและดิสชาร์จประจุและยังต้องคำนึงถึงการ สูญเสียพลังงานที่สวิตช์

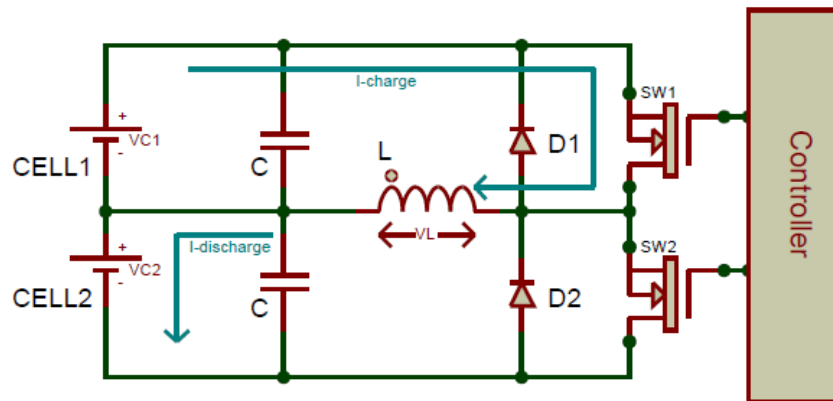


Charge Shuttles - flying capacitor illustration

ภาพที่ 2.5 Switching capacitor

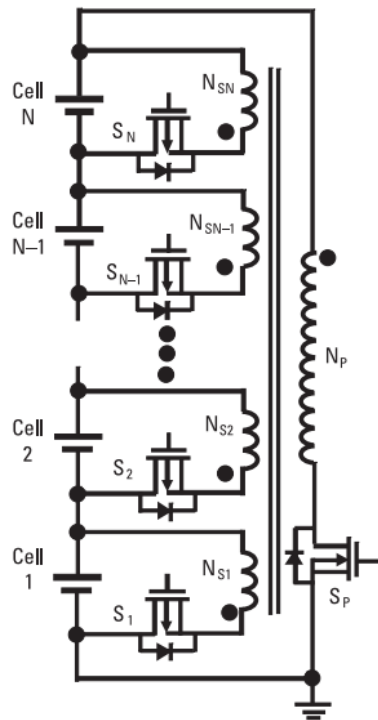
วิธีที่ 2 Inductive converter (Buck Boost method) - วิธีนี้จะใช้วงจร Buck Boost ในการเก็บประจุจากเซลล์ที่มีแรงดันสูงมาเก็บไว้และจ่ายให้กับเซลล์ที่มีแรงดันต่ำ ว่าโดยมีการใช้ MOSFET ในการเปลี่ยนแปลงวงจรและเลือกจับคู่เซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 2.6 จากการทำงานของวิธีการนี้ทำให้สามารถควบคุมระดับของแรงดันและกระแสได้

ผ่านตัววงจร Buck Boost ทำให้ใช้เวลาในการปรับสมดุลแบตเตอรี่ได้อย่างรวดเร็วเร็ว แต่การควบคุมค่อนข้าง ซับซ้อน



ภาพที่ 2.6 Buck-Boost converter method

วิธีที่ 3 Inductive converter (Fly back based) - เป็นวิธีที่อาศัยของ หลักการถ่ายโอนพลังงานผ่านขดลวด ปฐมภูมิจะถูกถ่ายโอนไปยังขดลวดทุติยภูมิของ หม้อแปลงไฟฟ้าในการช่วยปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่โดยภายในแต่ละเซลล์มีขดลวดทุติย ภูมิกับ MOSFET ที่ทำหน้าที่เป็น switch ต่อขนานอยู่และแบตเตอรี่ทั้งระบบจะมี ขดลวดปฐมภูมิกับ MOSFET ต่อขนานอยู่ โดยหลักการทำงานของวิธีปรับสมดุลเซลล์ แบตเตอรี่ประเภทนี้เมื่อมีเซลล์ที่มีแรงดันต่างกันเกินกว่าที่ระบบกำหนดระบบก็จะสั่งเปิด switch (MOSFET) ในวงจรของเซลล์ย่อยที่มีแรงดันต่ำส่งผลในวงจรย่อยของเซลล์นั้นคร บวงจรทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานระหว่างขดลวดทุติยภูมิของวงจรนั้นกับขดลวดปฐม ภูมิของแบตเตอรี่ทั้งระบบแต่เนื่องหลักการของหม้อแปลงคือจะทำงานเมื่อกระแสใน ขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนั้นการปรับสมดุลจึงจำเป็นที่จะต้องให้ MOSFET ที่ต่ออนุกรมกับขดลวดปฐมภูมิทำงานเปิดปิดด้วยความถี่ตลอดเวลาดังแสดงในภาพที่ 2.7 โดยการปรับสมดุลด้วยวิธีนี้มีประสิทธิภาพปานกลาง เพราะมีพลังงานสูญเสีย ระหว่างถ่ายโอนพลังงานจากขดลวดปฐมภูมิจะถูกถ่ายโอนไปยังขดลวด ทุติยภูมิ ความเร็วในการปรับสมดุลปานกลางปรับสมดุลตัวเองได้ดีข้อเสียเปรียบของวิธีนี้คือมีขนาด ของ อุปกรณ์ที่ใหญ่และการควบคุมค่อนข้างจะซับซ้อนของวงจร



ภาพที่ 2.7 Multi-winding transformer

2.4.3 การปรับสมดุลแบบ Lossless balancing

เป็นวิธีการที่มีแนวคิดว่าจะลดการใช้อุปกรณ์ในการปรับสมดุลแต่จะใช้ Matrix switch ดังแสดงในภาพที่ 2.8 โดยเน้นการใช้ Software ในการบริหารจัดการเซลล์เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในระบบ



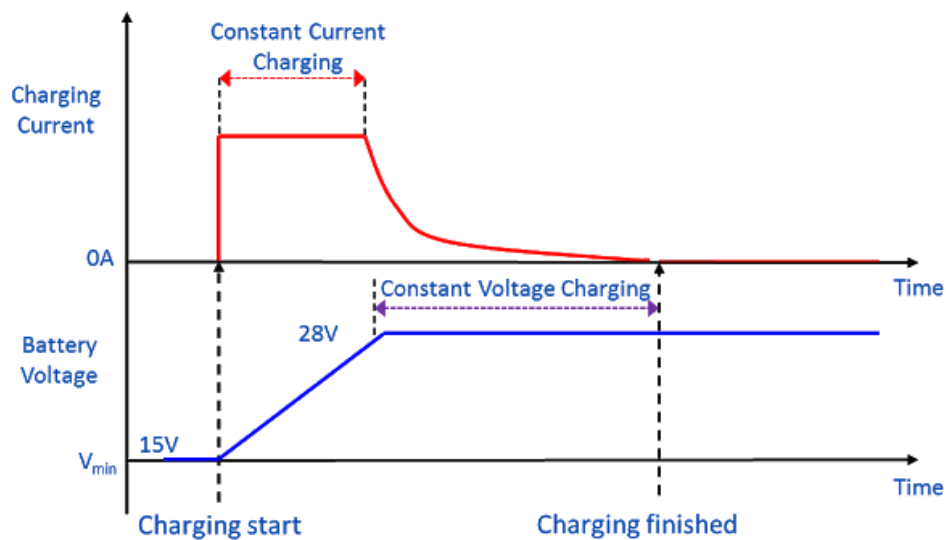
ภาพที่ 2.8 Metrix switch circuit

2.4.4 การปรับสมดุลแบบ Redox Shuttle

เป็นวิธีการที่จะไม่ยุ่งเกี่ยวกับการออกแบบอุปกรณ์เพื่อมาปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แต่จะเป็นการยุ่งเกี่ยวกับวัสดุของเซลล์แบตเตอรี่โดยการปรับปรุง electrolyte ในเซลล์เพื่อความสามารถของเซลล์ให้มีความสามารถในการ overcharge มากขึ้นโดยเฉพาะในเซลล์แบตเตอรี่แบบ Li-ion

2.5 หลักการอัดประจุแบตเตอรี่

ในการนั้นการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่มีด้วยกัน 2 วิธีดังแสดงในภาพที่ 2.9 คือ โหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage : CV) โดยมีแนวคิดที่จะจ่ายแรงดันขนาดเท่ากับแรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่ตลอดเวลาจนกระทั่งแบตเตอรี่อัดประจุเสร็จซึ่งวิธีการนี้จะใช้เวลาในการอัดประจุนานเนื่องจากเมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันเข้าใกล้แรงดันที่ตั้งไว้ในการอัดประจุจากกฎของโอห์มกระแสที่จ่ายในการอัดประจุจะน้อยลงแต่วิธีการนี้จะมีข้อดีคือไม่จำเป็นต้องออกแบบโปรแกรมควบคุมมากและปลอดภัยต่อการ overcharge ของแบตเตอรี่ ส่วนโหมด กระแสคงที่ (Constant Current : CC) จะมีแนวคิดที่ตรงกันข้ามกับโหมดแรกคือการจ่ายกระแสในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่คงที่ตลอดเวลาเพื่อให้สามารถอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่ได้เร็วโดยที่เริ่มแรกจะจ่ายแรงดันให้เพิ่มขึ้นแรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่เรื่อยๆตามกฎของโอห์มเพื่อคงกระแสโหมดนี้มีข้อดีคือการอัดประจุที่เร็วแต่ต้องมีการออกแบบโปรแกรมควบคุมที่ละเอียดเนื่องจากการอัดประจุด้วยแรงดันที่มากกว่าแรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่นั้นเสี่ยงต่อการ overcharge ของแบตเตอรี่อาจทำให้เกิดความเสียหายกับแบตเตอรี่ได้ แต่ในปัจจุบันอุปกรณ์อัดประจุแบตเตอรี่นั้นได้นำการทำงานทั้งสองโหมดมาใช้งานร่วมกันเพื่อนำความได้เปรียบของการอัดประจุทั้งสองโหมดมาใช้ในการอัดประจุโดยในตอนแรกจะทำงานในโหมด CC ในช่วงต้นเพื่อให้มีการะแสในการอัดประจุที่สูงส่งผลให้มีการอัดประจุเร็วแล้วเมื่อแบตเตอรี่ใกล้เต็มก็จะเข้าสู่โหมด CV เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ overcharge แต่ก็ยังอัดประจุอยู่

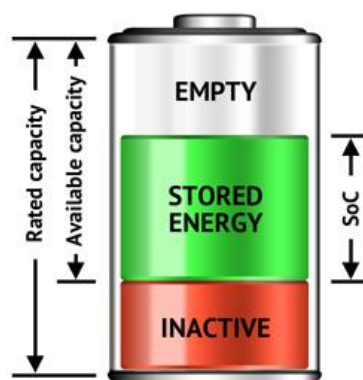


ภาพที่ 2.9 โหมดการชาร์จกระแสคงที่ และ แรงดันคงที่

2.6 Stage of Charge (SoC) , Depth of Discharge (DoD) และ C-rate [9]

2.6.1 Stage of Charge (SoC)

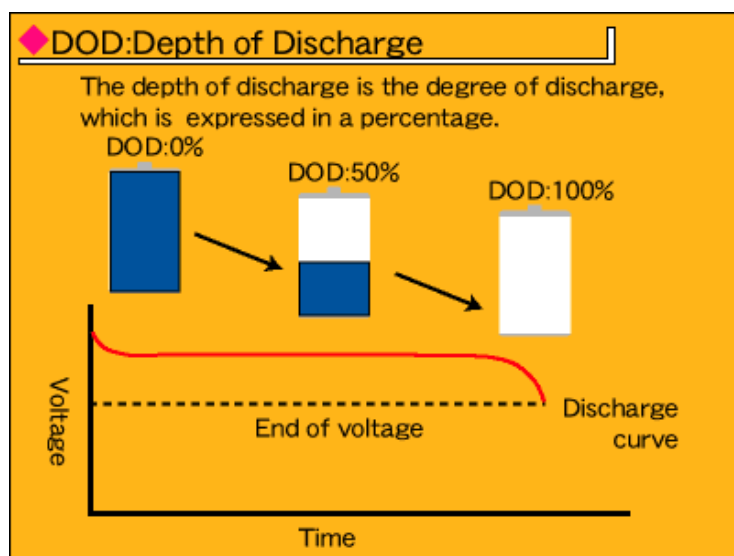
Stage of Charge (SoC) นั้นคือสถานะประจุของแบตเตอรี่มีค่าระหว่าง 0% ถึง 100% บ่งบอกถึงปริมาณประจุที่สัมพันธ์กับความจุของแบตเตอรี่ดังแสดงในภาพที่ 2.10 เช่นเมื่อแบตเตอรี่เต็มจะมี %SoC ที่ 100%



ภาพที่ 2.10 อธิบายความหมายของ SOC เมื่ออ้างอิงกับความจุของแบตเตอรี่

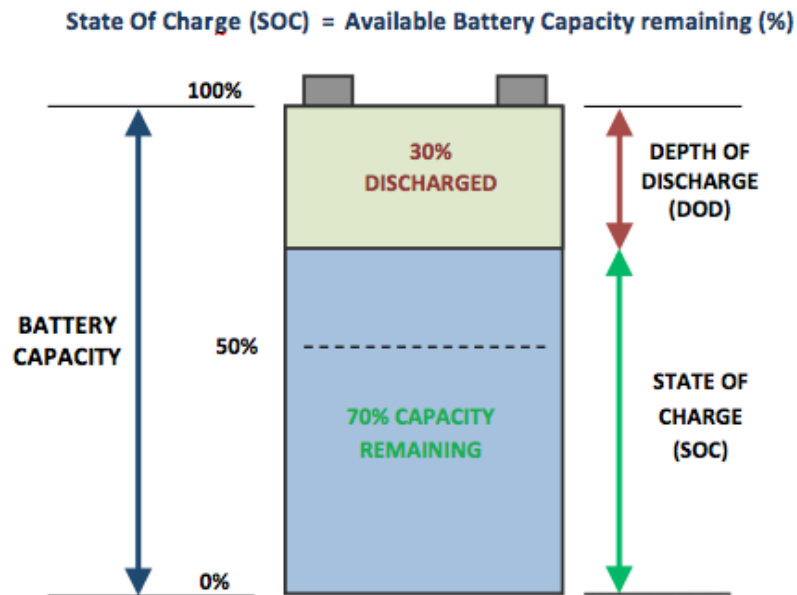
2.6.2 Depth of Discharge (DoD)

Depth of Discharge (DoD) คือสถานะที่ประจุของแบตเตอรี่ที่ถูกคายออกมีค่าระหว่าง 0% ถึง 100% เช่นเดียวกับ SoC แต่จะบางบอกถึงปริมาณประจุที่ใช้ไปสัมพันธ์กับความจุของแบตเตอรี่ มีความหมายตรงกันข้ามกับ SoC กล่าวคือเมื่อแบตเตอรี่มี %SoC ที่ 60% จะมี %DoD ที่ 40% ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 อธิบายความหมายของ DOD โดยเทียบระหว่างแรงดันและเวลา

จึงสามารถสรุปความสัมพันธ์ของ Stage of charge และ Depth of Discharge ได้ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 อธิบายความหมายของ SOC และ DOD เมื่ออ้างอิงกับความจุของแบตเตอรี่ [10]

2.6.3 C-rate

C-rate คือค่าที่บอกความสามารถในการจ่ายกระแสของแบตเตอรี่โดยกล่าวถึงอัตราการจ่ายกระแสไฟเมื่อเทียบกับความจุของแบตเตอรี่ (Ah) โดยมาความสัมพันธ์ดังตารางที่ 2.1

C-Rate	Rated Capacity	Formula	Amps	Discharge / Charge Time
10C	100 Ah	$10 \times 100A$	1000A	6 minute
5C	100 Ah	$5 \times 100A$	500A	12 minutes
3C	100 Ah	$3 \times 100A$	300A	20 minutes
2C	100 Ah	$2 \times 100A$	200A	30 minutes
1C	100 Ah	$1 \times 100A$	100A	1 hour
C/2	100 Ah	$100A / 2$	50A	2 hours
C/3	100 Ah	$100A / 3$	30A	3 hours
C/5	100 Ah	$100A / 5$	20A	5 hours
C/10	100 Ah	$100A / 10$	10A	10 hours

ตารางที่ 2.1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง C-rate ความจุ กระแส และ ระยะเวลา ของแบตเตอรี่

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1 ทำการเก็บผลเพื่อออกแบบการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่

จากข้อมูลที่ได้ศึกษามาก่อนหน้า[11]ทำให้ทราบว่า การปรับสมดุลพลังงานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนด้วยวิธีการ Flying Capacitors มีจุดด้อยในการปรับสมดุลพลังงานคือ เมื่อแรงดันของเซลล์ที่ทำการปรับสมดุลกับถูกปรับสมดุลนั้นมีค่าที่เข้าใกล้กันมากขึ้น ส่งผลให้ผลต่างแรงดันระหว่างเซลล์ลดน้อยลงและเนื่องด้วย ทฤษฎีกฎของโอห์ม[12] ดังสมการที่ (1)

$$V = I \times R \quad (1)$$

$$I \propto V \quad (2)$$

เมื่อ

V คือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน (V)

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน (A)

R คือ ความต้านทานของตัวต้านทาน (Ω)

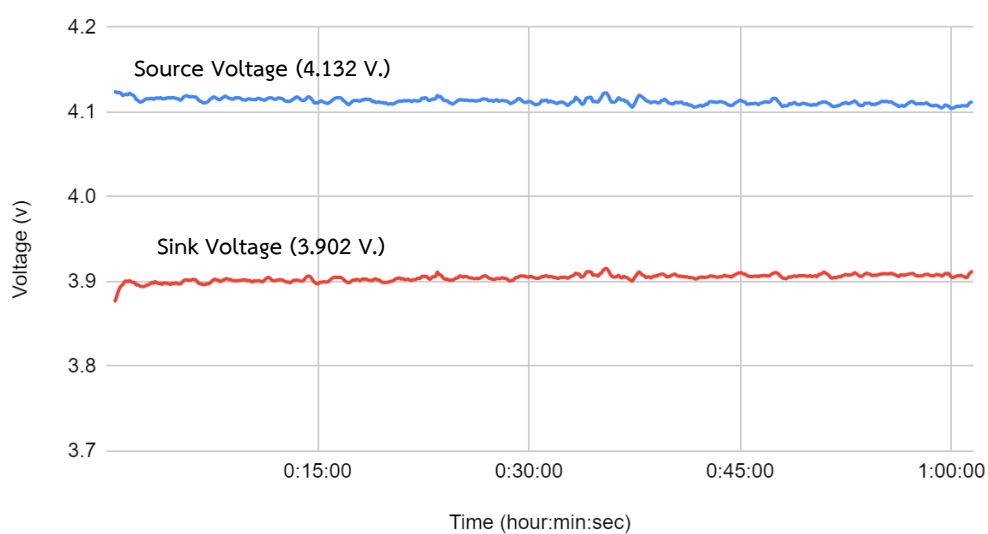
นั้นได้กล่าวไว้ว่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะแปรผันตรงกับขนาดของกระแสที่ไหลผ่านดังสมการที่ (2) ทำให้กระแสที่ระบบใช้ในการปรับสมดุลนั้นน้อยลงจึงส่งผลต่อระยะเวลาในการปรับสมดุลของแบตเตอรี่ ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงได้เปรียบเทียบวิธีการปรับสมดุลของแบตเตอรี่ โดยนำวิธี Flying Capacitor ที่ใช้ Capacitor เป็นตัวกลางในการปรับสมดุล ดังภาพที่ 3.1

การปรับสมดุลด้วยวิธี Flying Capacitor มีเงื่อนไขในการปรับสมดุลคือ

- เซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนขนาด 2600 mA • h.
- แรงดันเซลล์ที่ปรับสมดุล 4.132 V. (95.00 %SOC)
- แรงดันเซลล์ที่ถูกปรับสมดุล 3.905 V. (75.00 %SOC)

- ระยะเวลาในการปรับสมดุล 3,600 วินาที (1 ชั่วโมง)
- ขนาดของ Capacitor 4.4 F.
- ความถี่ในการปรับสมดุล 20 Hz.
- ขนาดของตัวต้านทานของระบบปรับสมดุล 0.1 Ω

Flying Capacitor (4.4 F.)



ภาพที่ 3.1 แรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่ปรับสมดุลด้วยด้วยระบบปรับสมดุลแบบ Flying Capacitor

โดยเมื่อทำการปรับสมดุลครบเวลา 3,600 วินาที และพักเซลล์เป็นเวลา 600 วินาที พบว่า

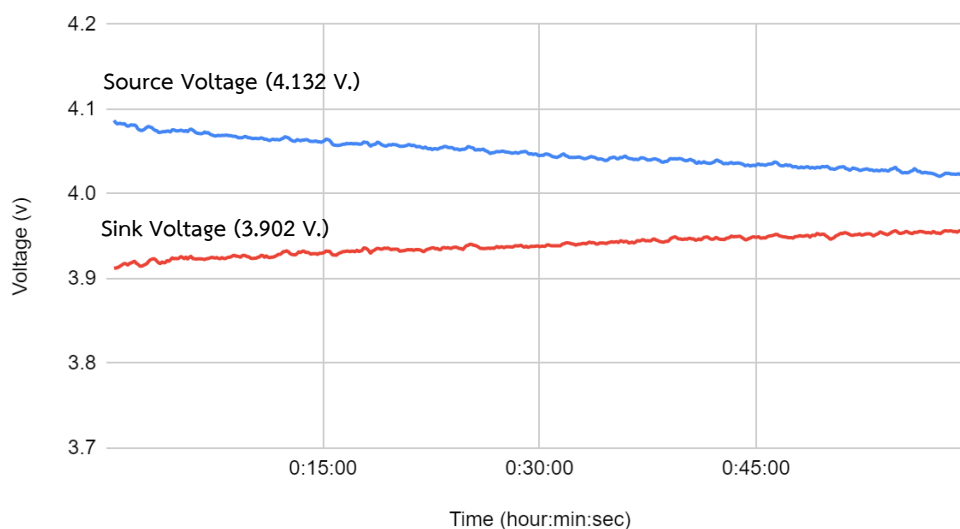
- แรงดันเซลล์ที่ปรับสมดุล 4.122 V. (94.21 %SOC)
- แรงดันเซลล์ที่ถูกปรับสมดุล 3.912 V. (75.71 %SOC)
- พลังงานที่สูญเสียจากการปรับสมดุล 0.08 %SOC
- ความแตกต่างของสถานะประจุที่เปลี่ยนไป 1.5 %SOC

และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธี Buck-Boost converter ที่ทำการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ด้วยแรงดันคงที่ ดังภาพที่ 3.2 โดยเมื่อเงื่อนไขในการปรับสมดุลคือ

การปรับสมดุลด้วยวิธี Buck-Boost converter มีเงื่อนไขในการปรับสมดุลคือ

- เซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนขนาด 2600 mA • h.
- แรงดันเซลล์ที่ปรับสมดุล 4.132 V. (95.00 %SOC)
- แรงดันเซลล์ที่ถูกปรับสมดุล 3.905 V. (75.00 %SOC)
- ระยะเวลาในการปรับสมดุล 3,600 วินาที (1 ชั่วโมง)
- แรงดันในการปรับสมดุล 4.20 V.

Boost Converter (4.20 V.)



ภาพที่ 3.2 แรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนด้วยที่ปรับสมดุลด้วยระบบปรับสมดุลแบบ Buck-Boost converter

โดยเมื่อทำการปรับสมดุลครบเวลา 3,600 วินาที และพักเซลล์เป็นเวลา 600 วินาที พบว่า

- แรงดันเซลล์ที่ปรับสมดุล 4.077 V. (90.63 %SOC)

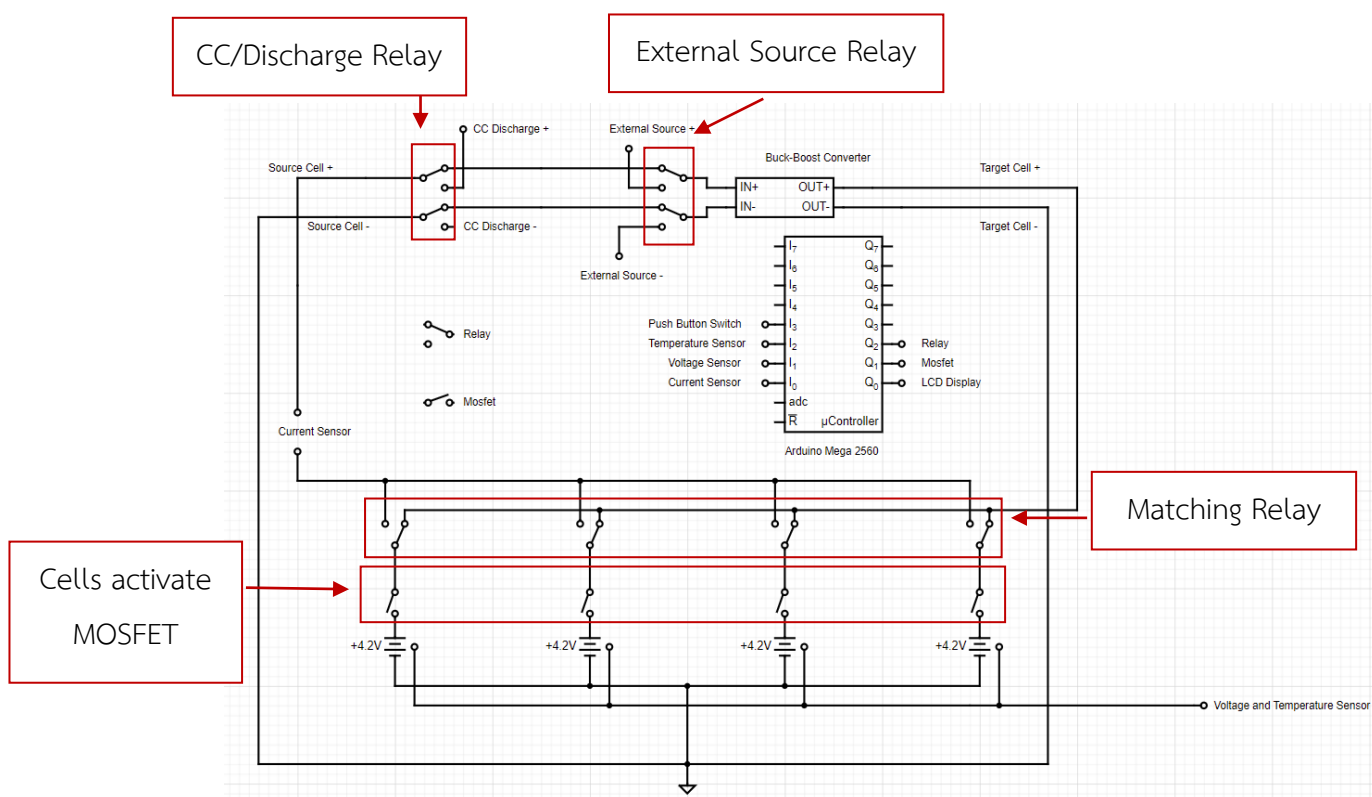
- แรงดันเซลล์ที่ถูกปรับสมดุล 3.944 V. (78.98 %SOC)
- พลังงานที่สูญเสียจากการปรับสมดุล 0.39 %SOC
- ความแตกต่างของสถานะประจุที่เปลี่ยนไป 8.35 %SOC

จากการทดลองดังภาพที่ 3.1 และ 3.2 พบว่า ในระยะเวลา 3,600 วินาที การปรับสมดุลด้วยวิธี Buck-Boost Converter นั้นทำได้เร็วกว่า Flying Capacitor โดยความแตกต่างของสถานะประจุที่เปลี่ยนไปนั้นแตกต่างกันมากถึง 6.85 % แต่การปรับสมดุลด้วยวิธี Buck-Boost Converter นั้นมีจุดด้อยเรื่องพลังงานที่สูญเสียจากการปรับสมดุลที่มากกว่าวิธี Flying Capacitor ประมาณ 4.5 เท่า ดังนั้นผู้ทดลองจึงได้เลือกการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่แบบ Buck-Boost Converter มาพัฒนาระบบปรับสมดุลแบตเตอรี่

3.2 ออกแบบวงจรจัดการแบตเตอรี่แพ็ค

3.2.1 สถาปัตยกรรมของระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่

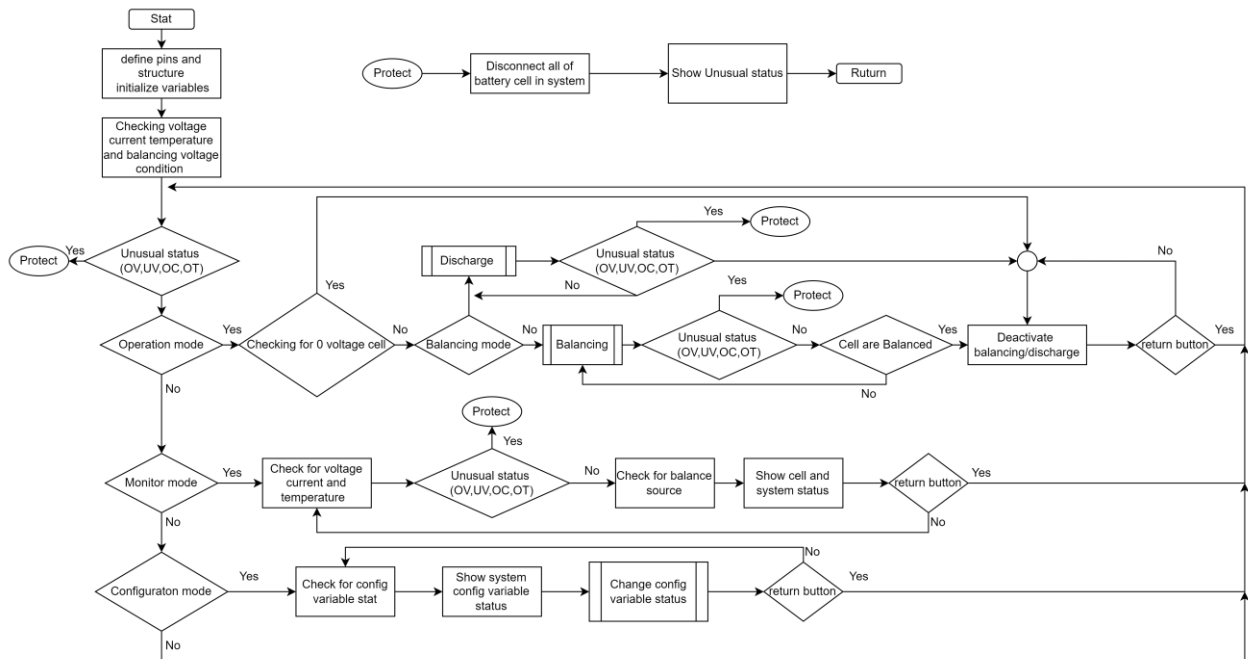
สถาปัตยกรรมของระบบที่ทำการออกแบบนั้นจะมีฟังก์ชันการทำงานหลักๆคือ การปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ โดยการปรับสมดุลแบตเตอรี่นั้นจำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์การทำงานย่อยประกอบการทำงานด้วย คือ ระบบการประมวลผลเพื่อเลือกการจับคู่ปรับสมดุล ระบบการวัดค่าสัญญาณที่จำเป็นต่างๆ ระบบการป้องกันความเสียหายต่อเซลล์แบตเตอรี่หากเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ และ ระบบตัวกลางในการส่งพลังงานในการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ นอกจากนี้ยังมีการทำงานเสริมของระบบจัดการแบตเตอรี่อีกด้วย เช่น ส่วนของการแสดงผลและการควบคุม และ ระบบปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่พร้อมด้วยการอัดประจุจากพลังงานภายนอก ดังภาพที่ 3.3



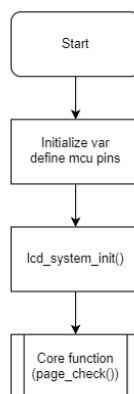
ภาพที่ 3.3 สถาปัตยกรรมการจัดการแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่ต่อขนานจำนวน 4 เซลล์

3.2.2 การทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

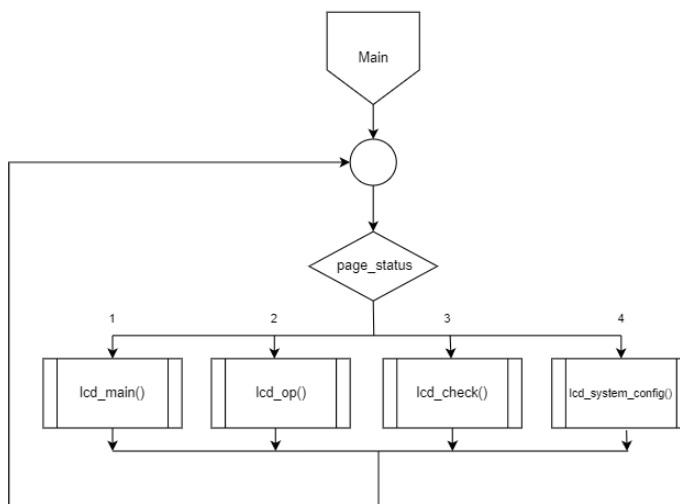
การทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนนั้นประกอบไปด้วยสามหัวข้อ ได้แก่ เริ่มการทำงานของระบบ แสดงผลค่าสถานะของระบบและเซลล์แบตเตอรี่ และการปรับแต่งการทำงานของระบบ โดยมีการทำงานของระบบหลักดังภาพที่ 3.4 3.5 3.6 3.7 3.8 3.9 และ 3.10



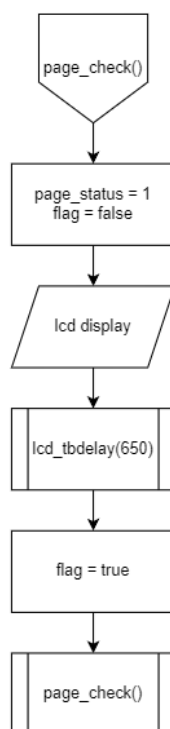
ภาพที่ 3.4 แผนภาพภาพรวมการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่



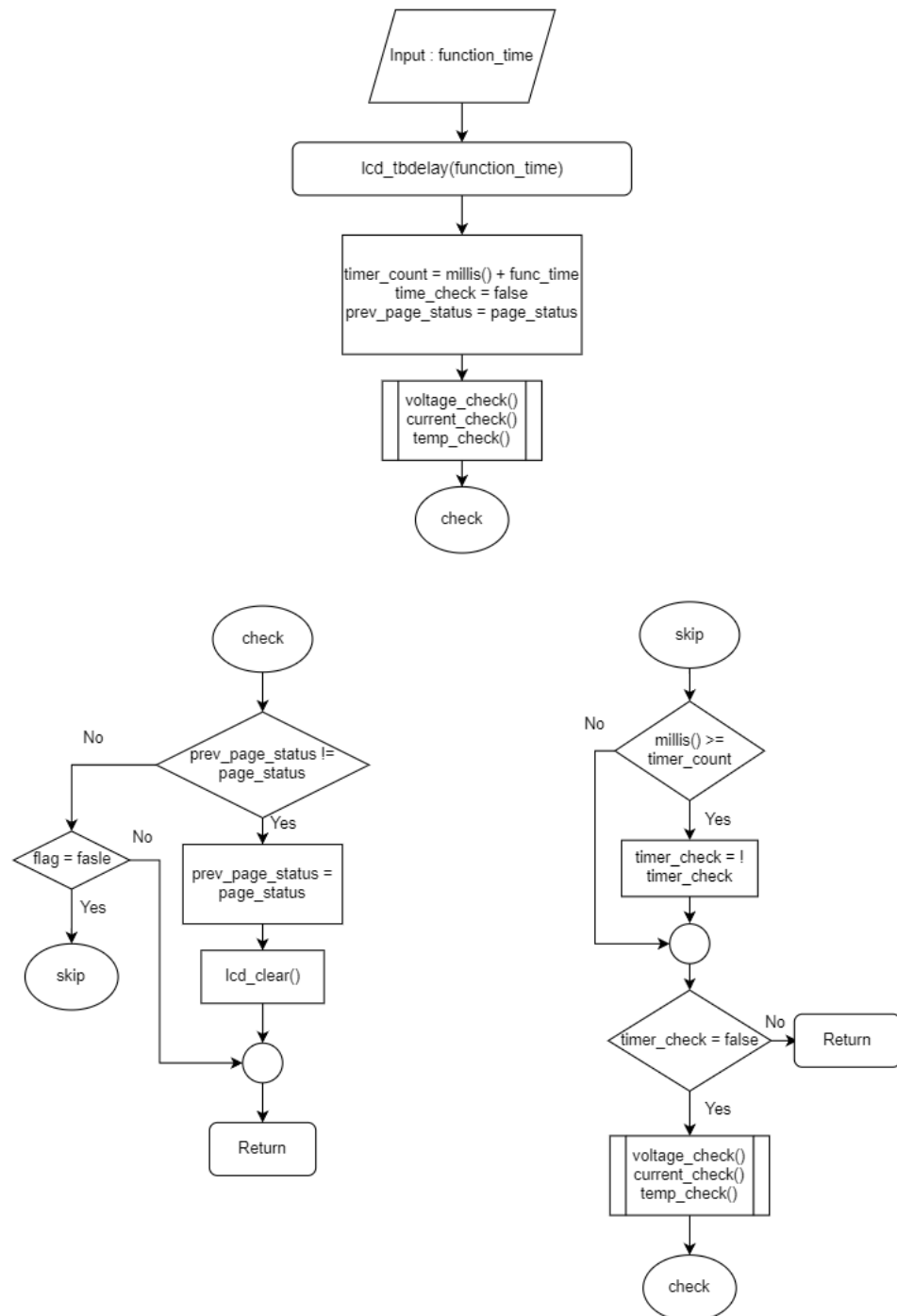
ภาพที่ 3.5 แผนภาพการเริ่มต้นการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่



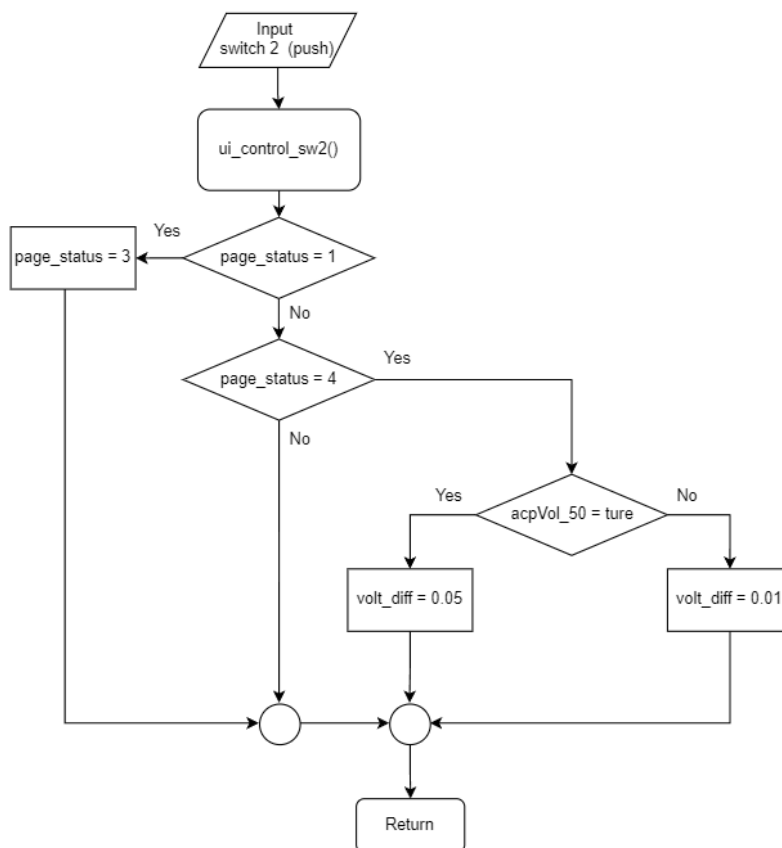
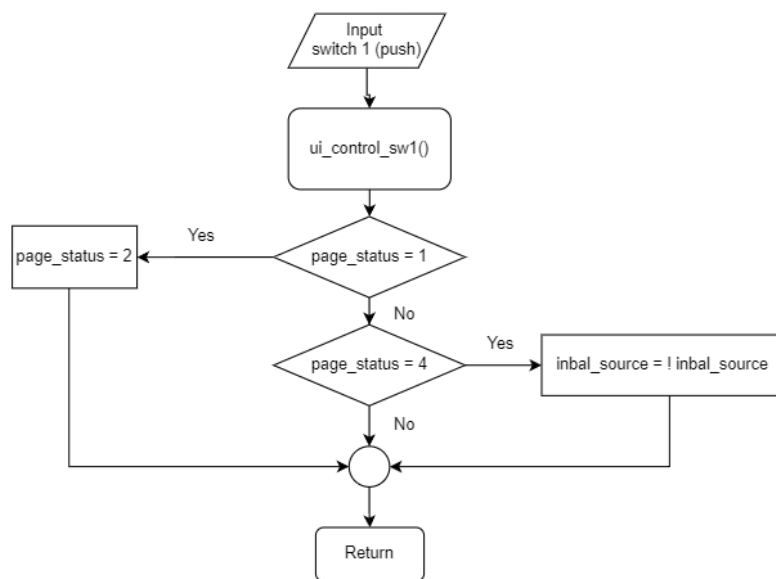
ภาพที่ 3.6 แผนภาพการตรวจเช็คสถานะคำสั่งหลักและเข้าสู่คำสั่งของระบบจัดการ
แบตเตอรี่



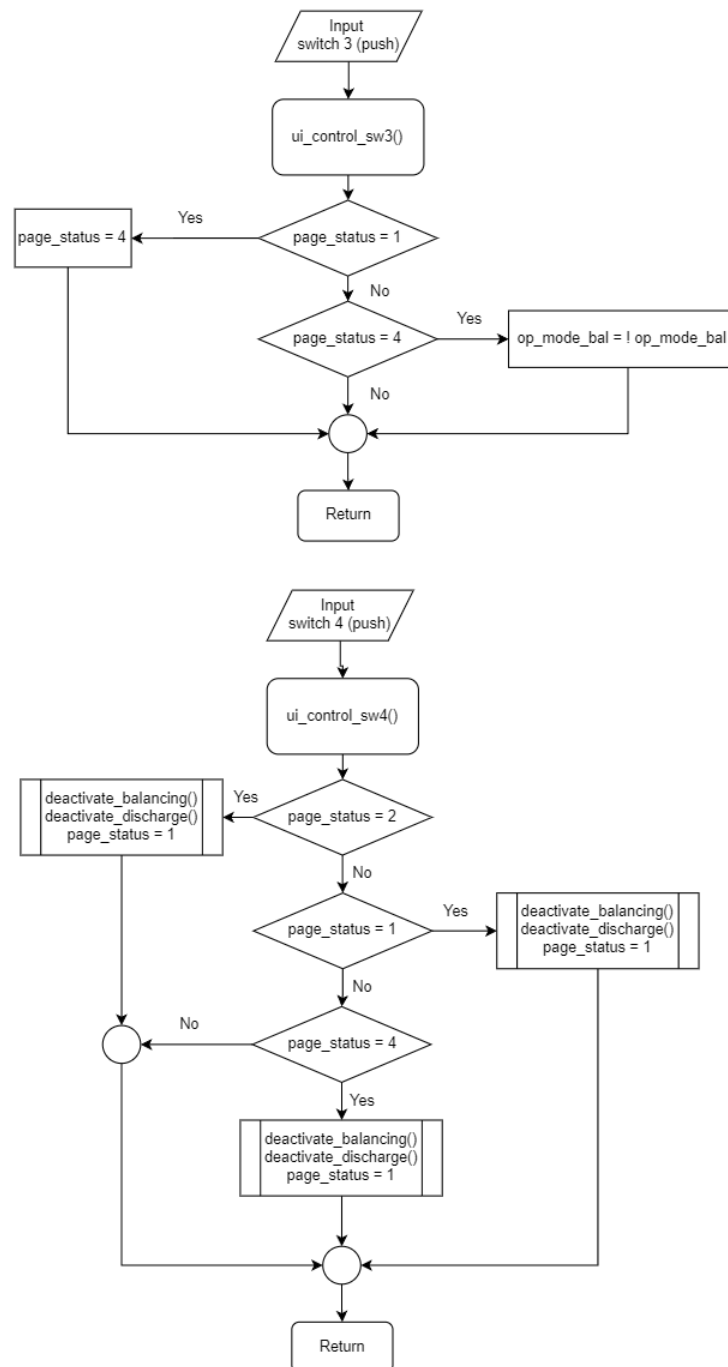
ภาพที่ 3.7 แผนภาพหน้าจอหลักของระบบจัดการแบตเตอรี่



ภาพที่ 3.8 แผนภาพการทำงานเบื้องหลังในการ delay ของระบบจัดการแบตเตอรี่



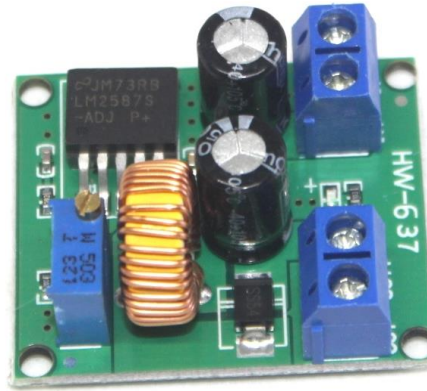
ภาพที่ 3.9 แผนภาพการทำงานการขัดจังหวะของสวิตช์ 1 และ 2 ของระบบจัดการ
แบตเตอรี่



ภาพที่ 3.10 แผนภาพการทำงานการขัดจังหวะของสวิตช์ 3 และ 4 ของระบบจัดการแบตเตอรี่

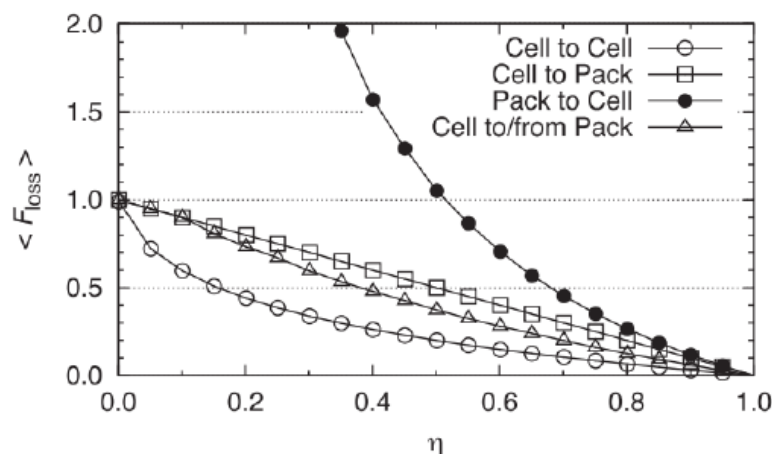
3.3 ออกแบบหลักการทำงานของระบบปรับสมดุลของระบบจัดการแบตเตอรี่

การเลือกใช้วิธีการในการปรับสมดุลนั้นจากการศึกษาในหัวข้อก่อนหน้านี้ ทำให้ผู้ทำการวิจัยได้เลือกใช้วิธีการ Buck-Boost Converter โดยใช้โมดูล Boost converter ที่ใช้ Regulator เบอร์ LM2587 ที่สามารถแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น 3-12 V เป็น 4-36 V ขนาด 3-5A ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 โมดูลแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ Regulator เบอร์ LM2587

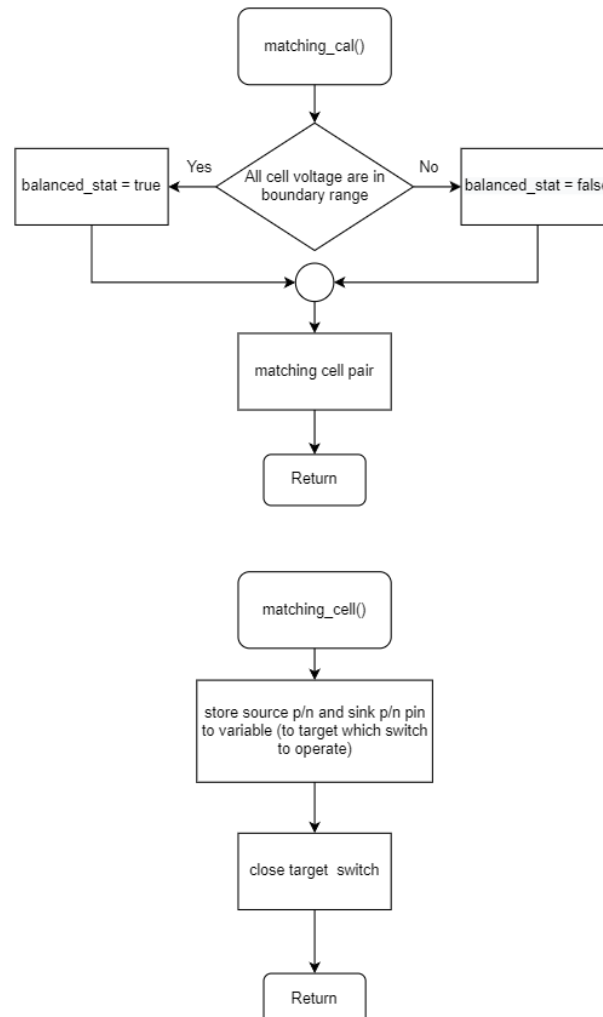
ที่สามารถทำการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ได้ไวกว่าแบบ Flying Capacitor โดยแลกกับข้อเสียคือพลังงานที่สูญเสียไประหว่างการปรับสมดุลที่สูงกว่าวิธี Flying Capacitor ในส่วนของการทำงานของระบบปรับสมดุลนั้นจะเลือกการถ่ายพลังงานจากเซลล์สู่เซลล์เนื่องจากจะมีการสูญเสียพลังงานจากการถ่ายโอนพลังงานน้อยกว่าวิธีอื่นดังภาพที่ 3.12



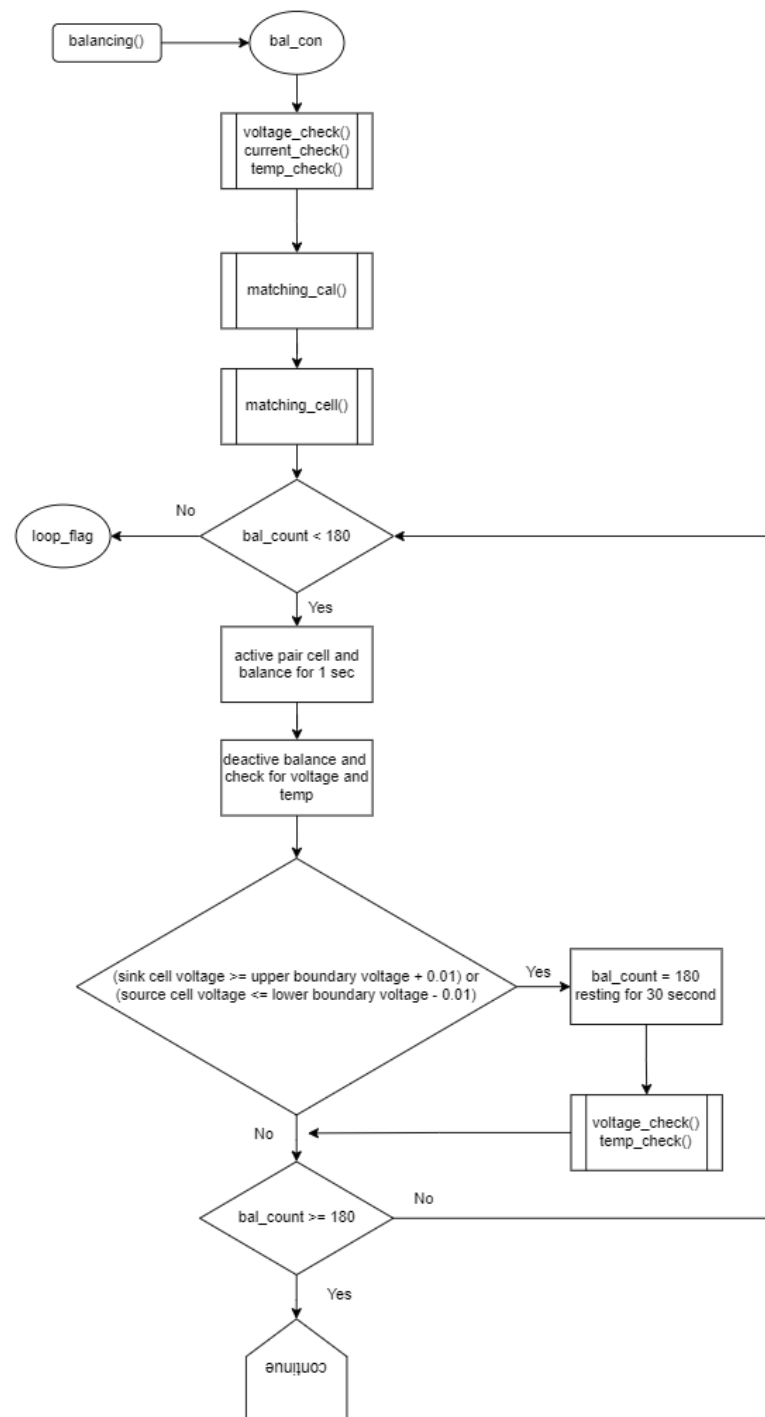
ภาพที่ 3.12 พฤติกรรมของพลังงานที่สูญเสียในเซลล์แบตเตอรี่ขณะถ่ายโอนพลังงานในรูปแบบต่างๆ [12]

สำหรับขั้นตอนการทำงานของระบบปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ในระบบจัดการแบตเตอรี่นั้นระบบจะทำการวัดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ทุกเซลล์เพื่อเรียงระดับของแรงดันเพื่อที่จะนำมาจับคู่เพื่อปรับ

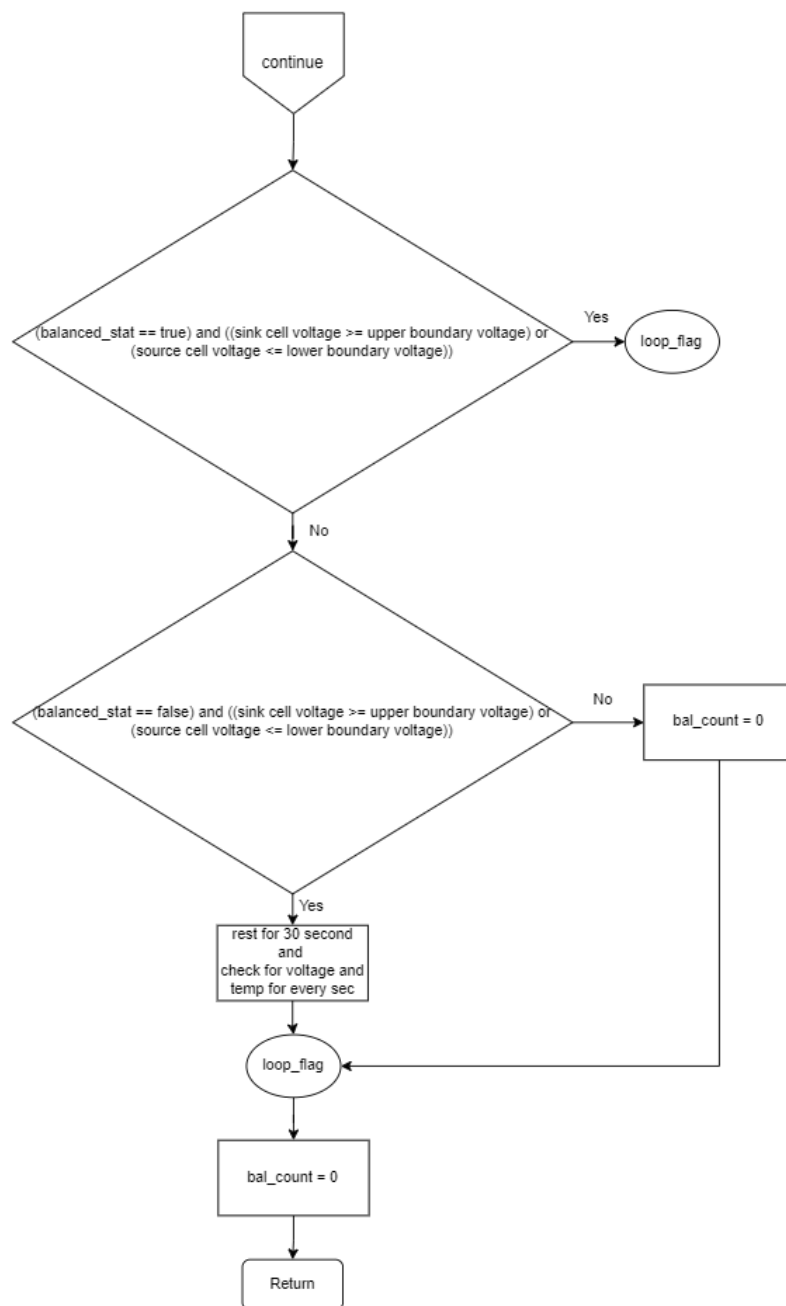
สมดุล หาค่าเฉลี่ยของแรงดัน และ ของเขตของแรงดันที่รับได้ โดย ระดับค่าความต่างของแรงดันอ้างอิงที่ยอมรับได้ นั้นจะมี 2 ระดับคือ 0.1 mV [11] และ 0.5 mV [14] โดยสามารถเลือกได้ผ่านการตั้งค่าของระบบ โดยมีการคำนวณและจับคู่ดังภาพที่ 3.13 และ การปรับสมดุลดังภาพที่ 3.14 และ 3.15



ภาพที่ 3.13 แผนภาพการทำงานของ การคำนวณและจับคู่เซลล์ที่จะทำการปรับสมดุล



ภาพที่ 3.14 แผนภาพการทำงานของการทำงานของระบบปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่



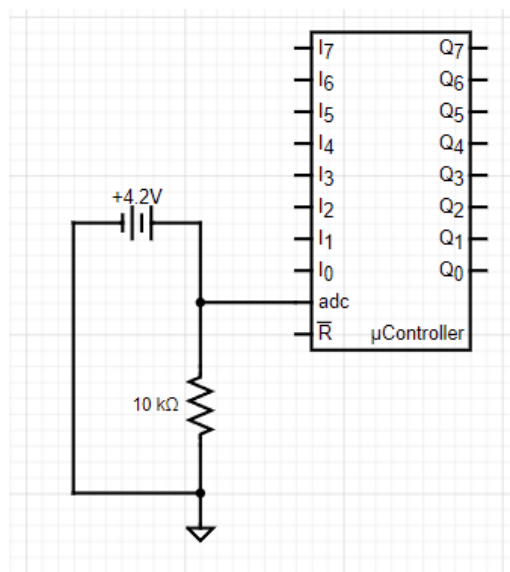
ภาพที่ 3.15 แผนภาพการทำงานของการทำงานของระบบปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ (ต่อ)

3.4 การตรวจวัดสัญญาณ

ในการตรวจจับสัญญาณเพื่อใช้ในการทำงานของระบบป้องกันเซลล์แบตเตอรี่และระบบปรับสมดุลแบตเตอรี่นั้นประกอบไปด้วยการตรวจวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้า แรงดันทางไฟฟ้า และ อุณหภูมิ

3.4.1 การตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

ในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่เนื่องจากเซลล์แบตเตอรี่ในระบบนั้นทำการต่อแบบขนานทำให้สามารถรับสัญญาณเข้าสู่ขา ADC ของ micro controller ได้โดยตรง และ ทำการต่อ Pull-down resistor ขนาด 10 k Ω ตามภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 การต่อวงจรเพื่อวัดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่โดยมีการต่อ pull-down resistor ขนาด 10 k Ω

3.4.2 การตรวจวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้า

ในการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าของระบบนั้นได้ทำการเลือกใช้ โดมดูลวัดสัญญาณกระแสที่ใช้ไอซีเบอร์ ACS712 ดังภาพที่ 3.17 ที่ทำการเปลี่ยนสัญญาณกระแสเป็นแรงดันที่อ้างอิงจากสัญญาณแรงดันอ้างอิงขนาด 5.0 Volt. และทำการต่อเข้าสู่ขา ADC ของ micro controller เพื่อนำสัญญาณไปประมวลผลต่อไป

3.5 ออกแบบวงจรป้องกันแบตเตอรี่แพ็ค

จากคุณสมบัติของแบตเตอรี่จาก datasheet ของแบตเตอรี่รุ่น Toriyama ICR18650-22 ดังภาพที่ 3.19 ทำให้สามารถทราบขอบเขตที่ต้องใช้ในการป้องกันได้โดย

- แรงดันอัดประจุสูงสุดที่เซลล์แบตเตอรี่รับได้ = 4.20 ± 0.05 Volt.
- อุณหภูมิสูงสุดในการอัดประจุของเซลล์แบตเตอรี่ = 45.0°C
- กระแสไฟฟ้าที่ขณะจ่ายอย่างต่อเนื่องสูงสุด = 1.30 A.



5. Basic characteristics

5.1 Capacity (25±5°C)	Nominal Capacity : 2600mAh (0.52A Discharge, 2.75V) Typical Capacity : 2550mAh (0.52A Discharge, 2.75V) Minimum Capacity : 2500mAh (0.52A Discharge, 2.75V)
5.2 Nominal Voltage	3.7V
5.3 Internal Impedance	≤ 60mΩ
5.4 Discharge Cut-off Voltage	3.0V
5.5 Max Charge Voltage	4.20±0.05V
5.6 Standard Charge Current	0.52A
5.7 Rapid Charge Current	1.3A
5.8 Standard Discharge Current	0.52A
5.9 Rapid Discharge Current	1.3A
5.10 Max Pulse Discharge Current	2.6A
5.11 Weight	45.5±1g
5.12 Max. Dimension	Diameter(Ø): 18.6mm
	Height (H): 65.3mm
5.13 Operating Temperature	Charge: 0 ~ 45°C
	Discharge: -20 ~ 60°C
5.14 Storage Temperature	During 1 month: -5 ~ 35°C
	During 6 months: 0 ~ 35°C

ภาพที่ 3.19 Datasheet บอกคุณสมบัติเบื้องต้นของแบตเตอรี่รุ่น Toriyama ICR18650-22 [15]

บทที่ 4

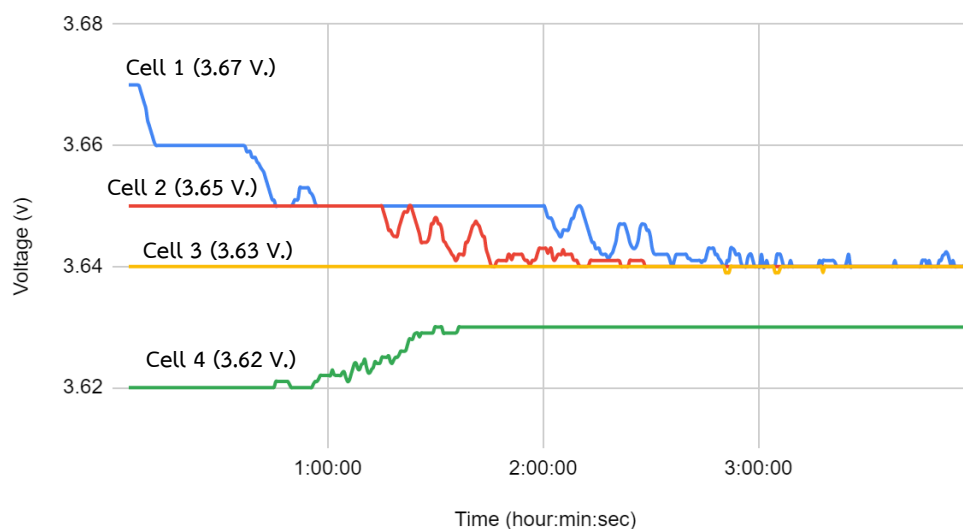
ผลการดำเนินงานและสรุปผลการดำเนินงาน

4.1 การทดสอบปรับสมดุลโดยการเพิ่มแรงดันในการปรับสมดุล

4.1.1 เงื่อนไขในการปรับสมดุลด้วยแรงดันปรับสมดุลขนาด 4.20 Volt

- เวลาที่ใช้ในการปรับสมดุล 4 ชั่วโมง
- ความแตกต่างของแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ที่ยอมรับได้ 10 mV
- เวลาที่ใช้ในการพักเซลล์แบตเตอรี่เมื่อเซลล์ใดในคู่เซลล์แบตเตอรี่ที่ทำการปรับสมดุลมีค่าเท่ากับแรงดันเฉลี่ย 30 วินาที

4.20 Volt Boost



ภาพที่ 4.1 ปรับสมดุลเป็นเวลา 4 ชั่วโมงด้วยแรงดันปรับสมดุลขนาด 4.20 Volt

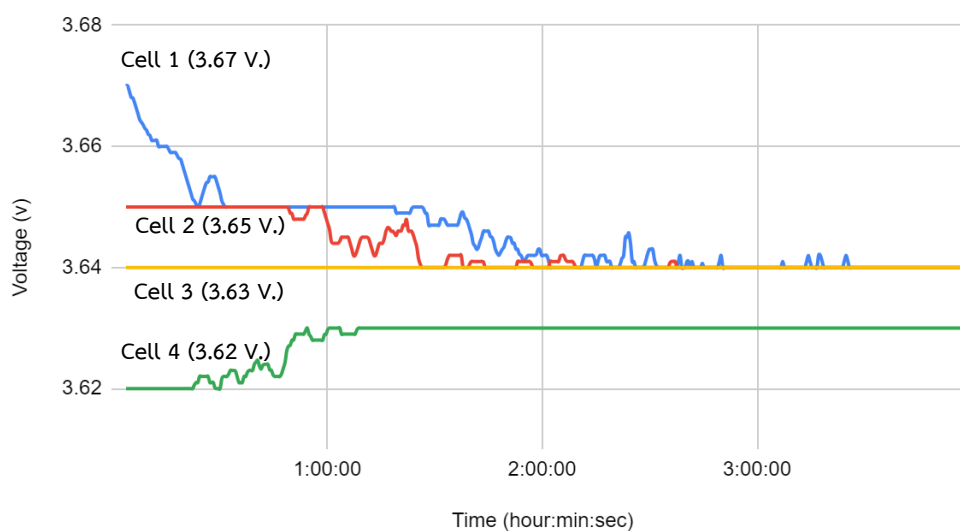
	Cell 1	Cell 2	Cell 3	Cell 4	Average Voltage
Before	3.67	3.65	3.63	3.62	3.6425
After (2:27:53)	3.64	3.64	3.64	3.63	3.6375

ตารางที่ 4.1 แรงดันก่อนปรับสมดุลและหลังปรับสมดุลด้วยแรงดันปรับสมดุล 4.20 Volt

4.1.2 เงื่อนไขในการปรับสมดุลด้วยแรงดันปรับสมดุลขนาด 4.25 Volt

- เวลาที่ใช้ในการปรับสมดุล 4 ชั่วโมง
- ความแตกต่างของแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ที่ยอมรับได้ 10 mV
- เวลาที่ใช้ในการพักเซลล์แบตเตอรี่เมื่อเซลล์ใดในคู่เซลล์แบตเตอรี่ที่ทำการปรับสมดุลมีค่าเท่ากับแรงดันเฉลี่ย 30 วินาที

4.25 Volt Boost



ภาพที่ 4.2 ปรับสมดุลเป็นเวลา 4 ชั่วโมงด้วยแรงดันปรับสมดุลขนาด 4.25 Volt

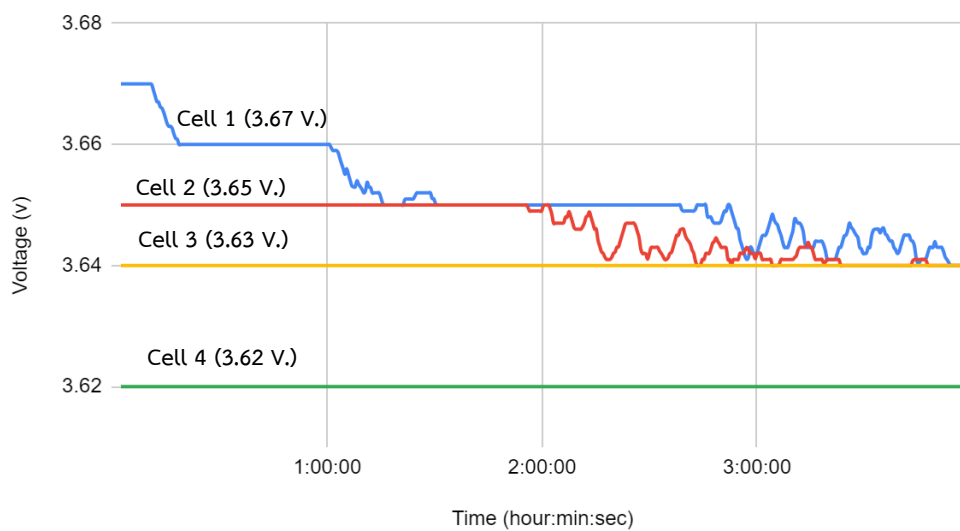
	Cell 1	Cell 2	Cell 3	Cell 4	Average Voltage
Before	3.67	3.65	3.63	3.62	3.6425
After (1:58:50)	3.64	3.64	3.64	3.63	3.6375

ตารางที่ 4.2 แรงดันก่อนปรับสมดุลและหลังปรับสมดุลด้วยแรงดันปรับสมดุล 4.25 Volt

4.1.3 เงื่อนไขในการปรับสมดุลด้วยแรงดันปรับสมดุลขนาด 4.38 Volt

- เวลาที่ใช้ในการปรับสมดุล 4 ชั่วโมง
- ความแตกต่างของแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ที่ยอมรับได้ 10 mV
- เวลาที่ใช้ในการพักเซลล์แบตเตอรี่เมื่อเซลล์ใดในคู่เซลล์แบตเตอรี่ที่ทำการปรับสมดุลมีค่าเท่ากับแรงดันเฉลี่ย 30 วินาที

4.38 Volt Boost



ภาพที่ 4.3 ปรับสมดุลเป็นเวลา 4 ชั่วโมงด้วยแรงดันปรับสมดุลขนาด 4.38 Volt

	Cell 1	Cell 2	Cell 3	Cell 4	Average Voltage Upper/Under
Before	3.67	3.65	3.63	3.62	3.6425
After (4:00:22)	3.64	3.64	3.64	3.62	3.6350

ตารางที่ 4.3 แรงดันก่อนปรับสมดุลและหลังปรับสมดุลด้วยแรงดันปรับสมดุล 4.38 Volt

จากการทดลองเมื่อเพิ่มแรงดันในการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่พบว่าในการเพิ่มแรงดันในการปรับสมดุลนั้นส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และ 4.2 แต่เมื่อเพิ่มแรงดันไปจนถึงแรงดันค่าหนึ่งพลังงานของเซลล์ที่ทำการปรับสมดุลนั้นส่วนใหญ่สูญเสียไปในการเพิ่มแรงดันซึ่งทำให้พลังงานที่ถูกส่งไปยังเซลล์ถูกปรับสมดุลลดน้อยลงไปส่งผลให้ใช้เวลามากขึ้นในการปรับสมดุลและพลังงานที่สูญเสียไปในระบบสูงดังแสดงในภาพที่ 4.3 โดยสามารถสรุปได้ดังสมการ (3)

$$E, Transfer \propto V, Boosted \times (E, Source cell release - E, Voltage boost) \quad (3)$$

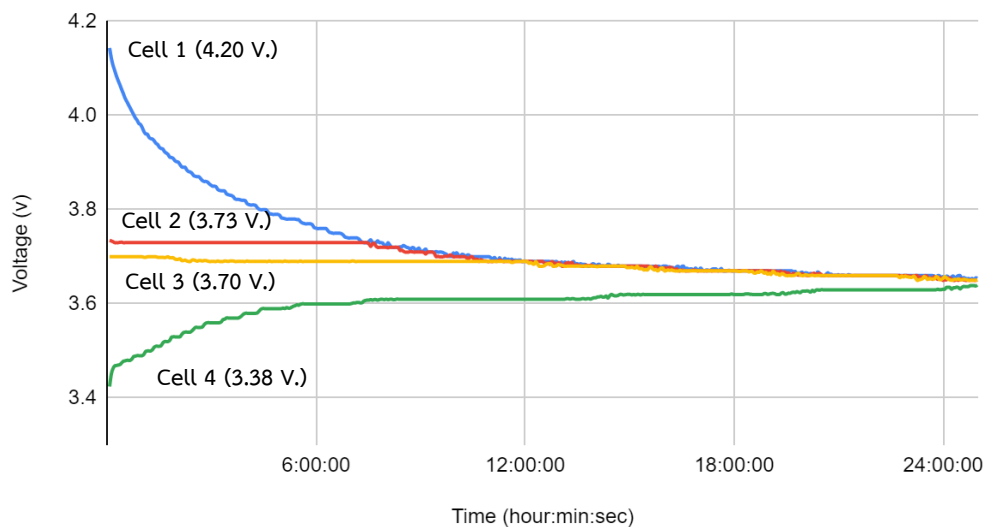
โดย	$E, Transfer$	คือ พลังงานที่ถูกถ่ายโอน
	$V, Boosted$	คือ แรงดันไฟฟ้าที่ทำการปรับสมดุล
	$E, Source cell release$	คือ พลังงานที่เซลล์ Source จ่าย
	$E, Voltage boost$	คือ พลังงานที่ถูกใช้ในการเพิ่มแรงดัน

4.2 การทดสอบปรับสมดุลเซลล์ที่มีแรงดันต่างกันมาก

เงื่อนไขในการปรับสมดุลเซลล์ที่มีแรงดันต่างกันมากด้วยแรงดันปรับสมดุลขนาด 4.25 Volt

- ขนาดของแรงดันเซลล์แบตเตอรี่เริ่มต้น $c1 = 4.20 \text{ Volt } (\approx 100 \%SOC)$,
 $c2 = 3.73 \text{ Volt } (\approx 55 \%SOC)$, $c3 = 3.70 \text{ Volt } (\approx 50 \%SOC)$,
 $c4 = 3.38 \text{ Volt } (\approx 5 \%SOC)$
- ความแตกต่างของแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ที่ยอมรับได้ 10 mV
- เวลาที่ใช้ในการพักเซลล์แบตเตอรี่เมื่อเซลล์ใดในคู่เซลล์แบตเตอรี่ที่ทำการปรับสมดุลมีค่าเท่ากับแรงดันเฉลี่ย 30 วินาที

4.25 Volt Boost



ภาพที่ 4.4 ปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันต่างกันมากด้วยแรงดันปรับสมดุลขนาด 4.25 Volt

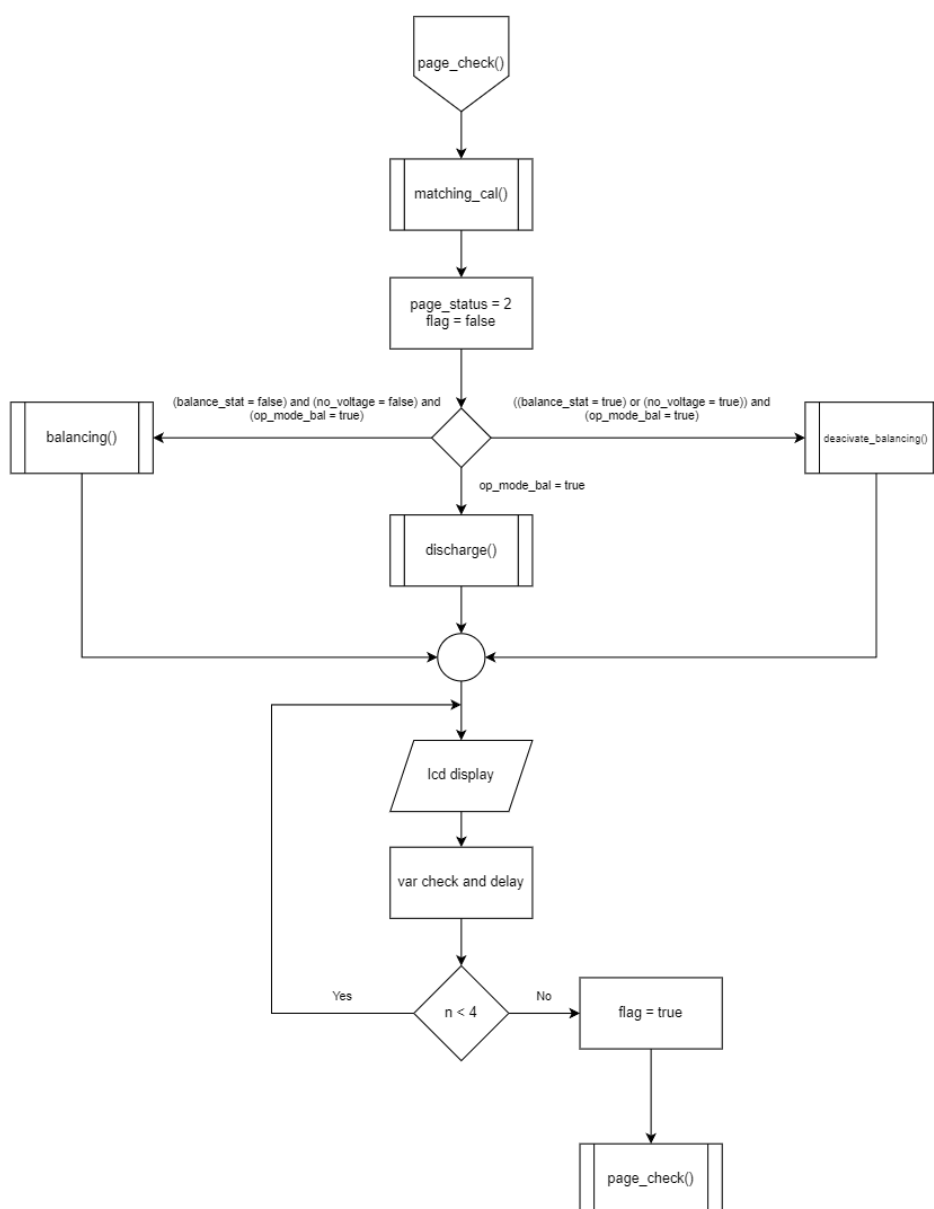
	Cell 1	Cell 2	Cell 3	Cell 4	Average Voltage
Before	4.20	3.73	3.70	3.38	3.7525
After (25:00:18)	3.65	3.65	3.65	3.64	3.6475

ตารางที่ 4.4 แรงดันก่อนปรับสมดุลและหลังปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันต่างกันมากด้วยแรงดันปรับสมดุล 4.25 Volt

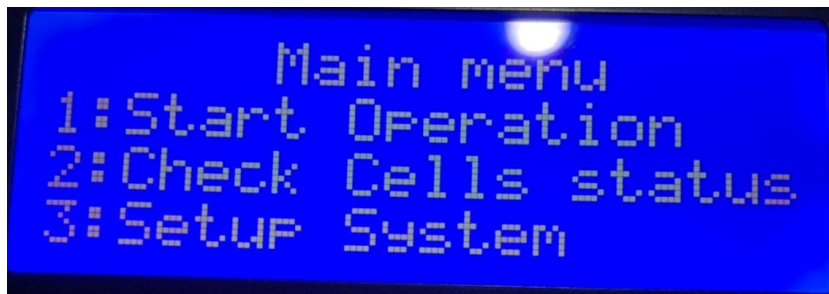
จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 4.2.1 ด้วยภาพที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.4 สามารถปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันต่างกันสูงให้เข้าเงื่อนไขการปรับสมดุลโดยมีแรงดันต่างจากแรงดันเฉลี่ยได้ไม่เกิน 5 mV ได้เพียงแต่ในการปรับสมดุลด้วยวิธี Buck-boost Converter นั้นมีการสูญเสียพลังงานระหว่างการปรับสมดุลสูง และมีข้อได้เปรียบจากการปรับสมดุลด้วยวิธี Flying capacitor คือใช้เวลาในการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันแตกต่างระหว่างเซลล์ต่ำได้ไวกว่า จึงสรุปได้ว่าการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ด้วยวิธีการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ด้วยวิธี Buck-boost converter เหมาะกับการปรับสมดุลเซลล์ที่มีแรงดันระหว่างเซลล์ต่ำและใช้เวลาในการปรับสมดุลไม่นาน

4.3 การทดสอบระบบควบคุมการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่

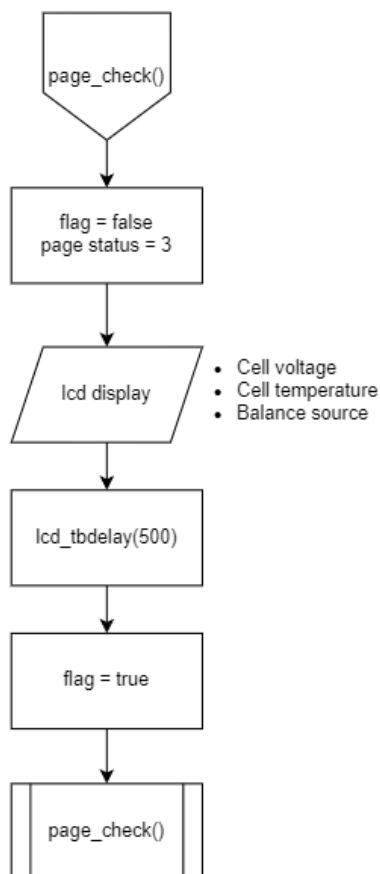
ในการใช้งานระบบการจัดการเซลล์แบตเตอรี่ผู้ใช้สามารถควบคุมการทำงานได้โดยผ่าน User interface ของระบบ สำหรับการทำงานในหัวข้อต่างๆโดยมี การดำเนินการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 4.5 และ 4.6 การแสดงสถานะต่างๆของเซลล์แบตเตอรี่และของระบบจัดการแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 4.7 และ 4.8 และ การปรับแต่งคุณสมบัติต่างๆของระบบจัดการแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 4.9 และ 4.10



ภาพที่ 4.5 แผนภาพหน้าการดำเนินการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่



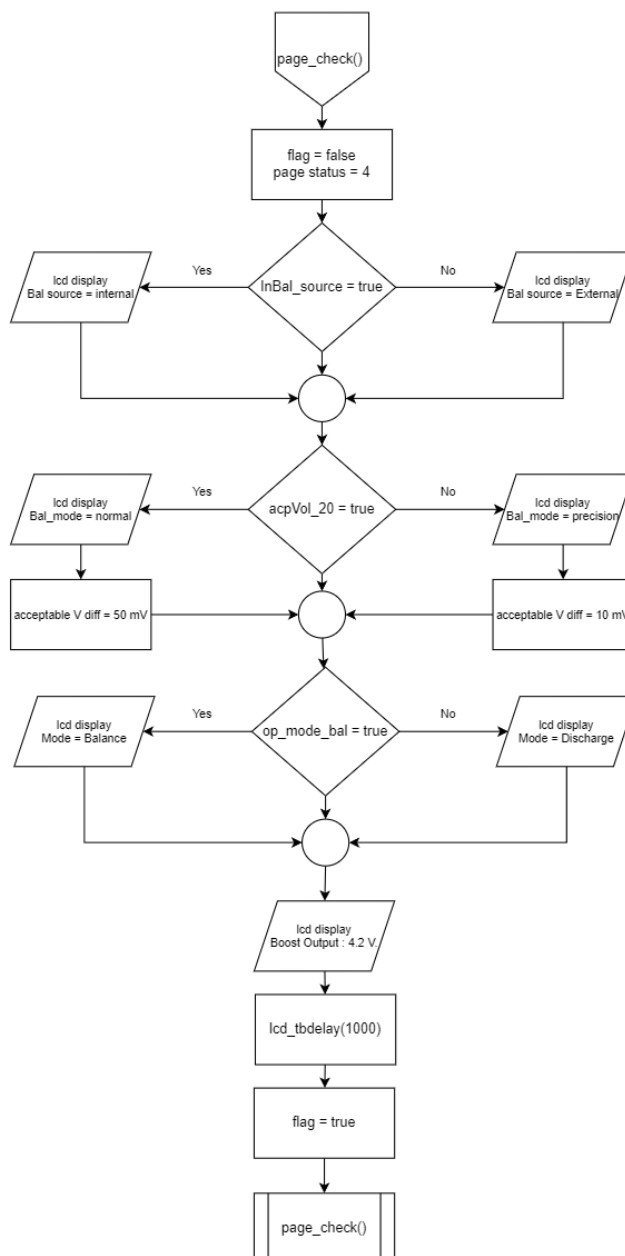
ภาพที่ 4.6 หน้าจอ LCD การดำเนินการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่



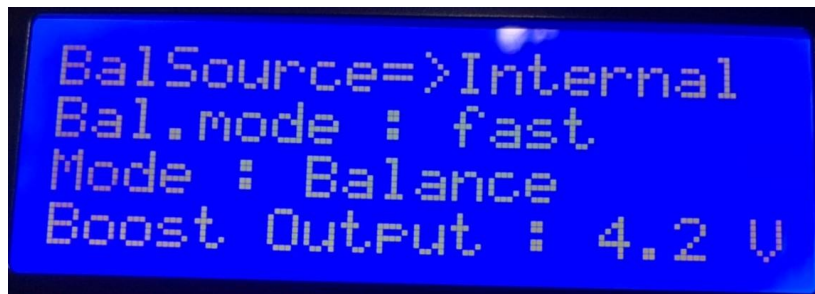
ภาพที่ 4.7 แผนภาพหน้าการแสดงผลสถานะต่างๆของเซลล์แบตเตอรี่และของระบบจัดการแบตเตอรี่



ภาพที่ 4.8 หน้าจอ LCD การแสดงสถานะต่างๆของเซลล์แบตเตอรี่และของระบบจัดการแบตเตอรี่



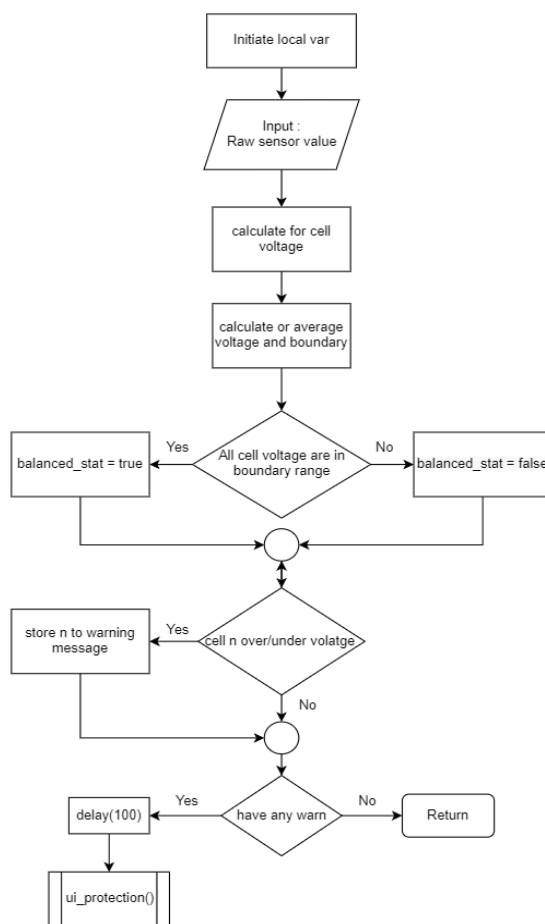
ภาพที่ 4.9 แผนภาพหน้าการปรับแต่งคุณสมบัติต่างๆของระบบจัดการแบตเตอรี่



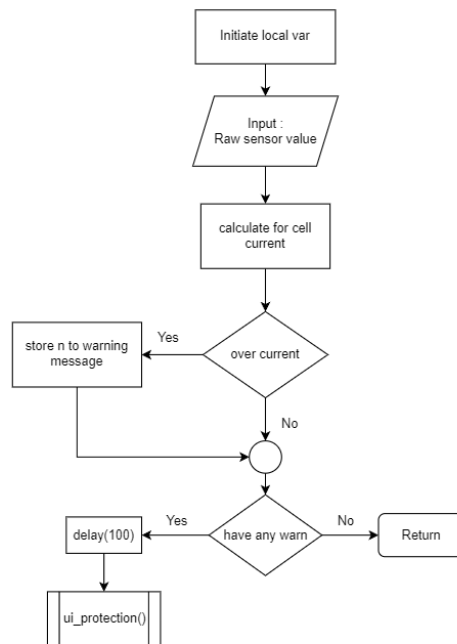
ภาพที่ 4.10 หน้าจอ LCD การปรับแต่งคุณสมบัติต่างๆของระบบจัดการแบตเตอรี่

4.4 การทดสอบระบบป้องกันเซลล์แบตเตอรี่

สำหรับการป้องกันของระบบนั้นจะทำการรับค่าสถานะต่างๆของแบตเตอรี่มาประมวลผลเพื่อนำมาตรวจสอบว่าตรงกับเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้หรือไม่เพื่อที่จะหยุดการทำงานของระบบและแสดงผลสถานะผิดปกติที่ระบบตรวจพบเพื่อที่ให้ผู้ใช้งานทำการตรวจสอบและเริ่มต้นการทำงานของระบบใหม่ต่อไป โดยกระบวนการตรวจสอบนั้นจะอยู่ภายใต้การทำงานของการทำงานของการรับสัญญาณต่างๆเพื่อที่จะสามารถตรวจสอบสถานะผิดปกติได้ตลอดเวลาโดยสถานะที่เมื่อระบบตรวจสอบแล้วพบจะระบุว่ามีผิดปกติ คือ Over Voltage , Under Voltage , Over Current , Over Temperature โดยมีขั้นตอนการทำงานดังภาพ 4.11 , 4.12 , 4.13 และ 4.14

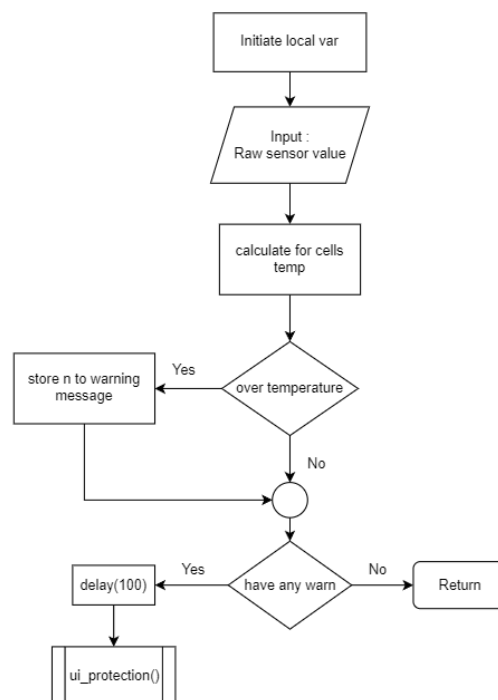


ภาพที่ 4.11 แผนภาพการวัดค่าแรงดันและประมวลผลสำหรับการป้องกันเซลล์ของระบบจัดการแบตเตอรี่



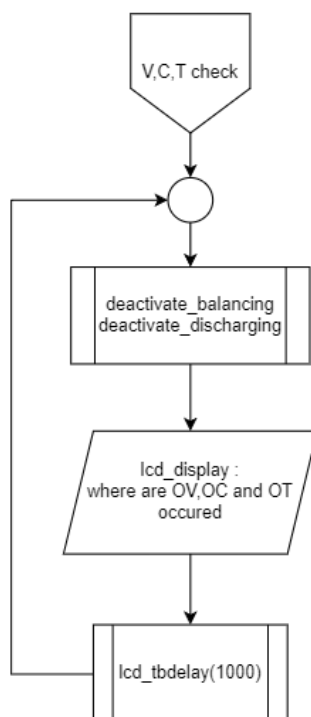
ภาพที่ 4.12 แผนภาพการวัดค่ากระแสและประมวลผลสำหรับการป้องกันเซลล์ของระบบจัดการ

แบตเตอรี่



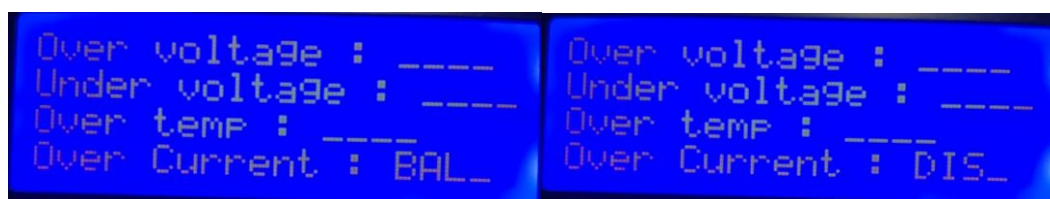
ภาพที่ 4.13 แผนภาพการวัดค่าอุณหภูมิและประมวลผลสำหรับการป้องกันเซลล์ของระบบจัดการ

แบตเตอรี่



ภาพที่ 4.14 แผนภาพการแสดงผลเมื่อสามารถตรวจจับความผิดปกติของเซลล์แบตเตอรี่ของระบบ
จัดการแบตเตอรี่

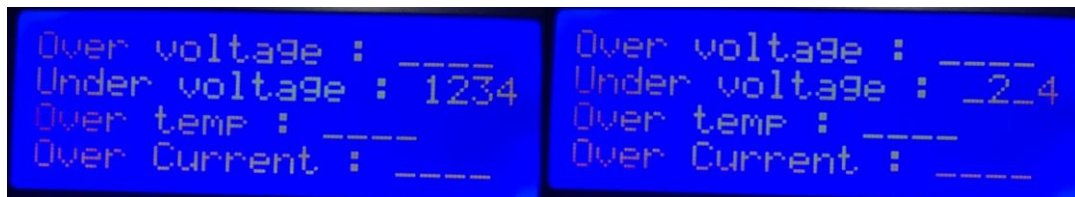
โดยการแสดงผลของจอ LCD เมื่อสามารถตรวจจับสถานะผิดปกติของเซลล์แบตเตอรี่เป็นไปดัง
ภาพที่ 4.15 , 4.16 , 4.17 และ 4.18



ภาพที่ 4.15 หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อสามารถตรวจจับสถานะ Over Current ในระบบเมื่อมีการ
ทำการ Balance และ Discharge



ภาพที่ 4.16 หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อสามารถตรวจจับสถานะ Over Voltage ในระบบที่เซลล์
1,2,3,4 และ 1,3



ภาพที่ 4.17 หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อสามารถตรวจจับสถานะ Under Voltage ในระบบที่เซลล์ 1,2,3,4 และ 2,4



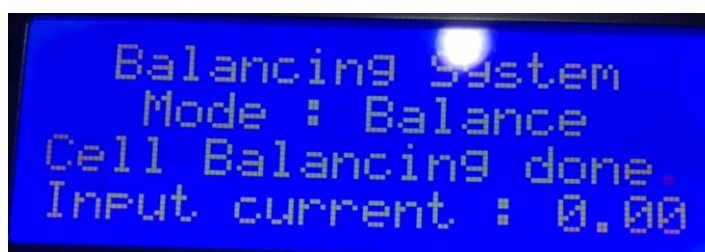
ภาพที่ 4.18 หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อสามารถตรวจจับสถานะ Over Temperature ในระบบที่เซลล์ 1,2,3,4 และ 1,2

4.5 การทดสอบการดำเนินการทำงานของระบบ

ในการดำเนินการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่นั้นจะมีหน้าจอการแสดงผลที่ระบุสถานะการทำงานของระบบเพื่ออำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ในการติดตามการทำงานของระบบโดยมีหน้าการแสดงผลดังภาพ



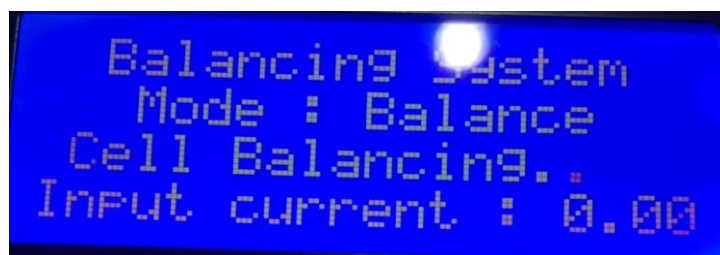
ภาพที่ 4.19 หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อระบบดำเนินการ Discharge และพบเซลล์ที่มีแรงดัน 0 Volt



ภาพที่ 4.20 หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อระบบดำเนินการ Balance และพบเซลล์ที่มีแรงดัน 0 Volt



ภาพที่ 4.21 หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อระบบดำเนินการ Discharge



ภาพที่ 4.22 หน้าจอ LCD การแสดงผลเมื่อระบบดำเนินการ Balance

4.6 ผลการทดสอบการดำเนินการปรับปรุงระบบปรับสมดุล

ในการปรับปรุงระบบปรับสมดุลนั้นผู้วิจัยได้เลือกที่จะเปลี่ยนวิธีปรับสมดุลเพื่อนลบข้อด้อยที่เป็นปัญหาหลักของระบบปรับสมดุลเก่าโดยได้เปลี่ยนจาก Flying capacitor เป็น Buck-Boost Converter โดยสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.5

	Flying Capacitor	Buck-Boost Converter
ความเร็วในการปรับสมดุล	ช้าเมื่อแรงดันต่างกันน้อย	เร็ว
ความซับซ้อนของวงจร	น้อย	มาก อุปกรณ์เยอะ
พลังงานสูญเสียในระบบ	ต่ำ	ค่อนข้างสูง
ความซับซ้อนในการควบคุม	น้อย	มาก

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบวิธีการปรับสมดุลระหว่าง Flying capacitor และ Buck-Boost converter

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาและพัฒนาระบบการจัดการเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขนาด 18650 จำนวน 4 เซลล์ โดยมีการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่เป็นการทำงานหลักของระบบ เนื่องจากการศึกษาพบว่าในเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนนั้นคุณสมบัติมีความจำเพาะในแต่ละเซลล์ทำให้สามารถคายประจุด้วยปริมาณไม่เท่ากันส่งผลให้เซลล์แบตเตอรี่ในระบบเดียวกันสามารถมีความจุไม่เท่ากันทำให้ใช้งานแบตเตอรี่ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพดังนั้นการปรับสมดุลแบตเตอรี่เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานแบตเตอรี่ โดยการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ของระบบจัดการแบตเตอรี่ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมานั้นได้เลือกใช้วิธีการปรับสมดุลด้วยวิธี Buck – Boost Converter ที่มีข้อได้เปรียบเรื่องความเร็วในการปรับสมดุล โดยทำงานควบคู่กับระบบป้องกันสถานะผิดปกติของเซลล์แบตเตอรี่โดยมีการป้องกัน แรงดันสูงเกิน แรงดันต่ำเกิน กระแสสูงเกิน และ อุณหภูมิเกิน ผ่านระบบที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมได้อย่างสะดวก แต่เนื่องจากจากการปรับสมดุลนั้นได้เลือกใช้ Buck – Boost Converter ส่งผลให้ในการปรับสมดุลนั้นมีการสูญเสียพลังงานในการปรับสมดุลค่อนข้างสูงจากการที่ต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งในการเพิ่มแรงดันในการปรับสมดุล

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ศึกษาคุณสมบัติของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน
2. ได้ศึกษาวิธีการปรับสมดุลต่างๆของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน
3. ได้ศึกษาการทำงานและออกแบบระบบการทำงานด้วย Micro Controller
4. ได้ศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่พบการดำเนินการนั้นคือปัญหาเรื่องอุณหภูมิของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสของระบบส่งผลให้เกิด off set ที่แปรผันตามอุณหภูมิของไอซี จึงทำให้การตรวจวัดค่ากระแสไม่แม่นยำและตัว Micro Controller นั้นมีแรงดันระบบ 5 Volt ที่ค่อนข้างไม่เสถียรส่งผลให้แรงดันอ้างอิงสำหรับ Analog to Digital Converter ของระบบไม่เสถียรไปด้วย ส่งผลให้การวัดค่าต่างๆที่เป็นค่า Analog นั้นไม่แม่นยำเท่าที่ควร สามารถแก้ไขได้โดย ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่มีคุณภาพสูงและใช้อุปกรณ์จ่ายไฟภายนอกที่สามารถคงแรงดันได้ในกรณีที่มีโหลดเปลี่ยนไป ในส่วนของการปรับสมดุลเซลล์แบตเตอรี่นั้นมีการสูญเสียพลังงานเยอะในการปรับสมดุล อาจแก้ไขได้โดยเปลี่ยนวิธีการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์นั้นให้เป็น การเชื่อมต่อบน PCB แทน และ ใช้ Heat Sink ระบายความร้อนให้กับไอซี Boost Converter เพื่อลดความต้านทานภายในไอซีที่แปรผันตรงกับอุณหภูมิของไอซี หรือ เปลี่ยนไปใช้ Boost Converter ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Author, **Battery and Fuel Cells**. [Online] ,
Available : <https://tinyurl.com/4yb5j4hf> [Accessed: 21 พฤศจิกายน 2564].
- [2] วรวิศ กอปรสิริพัฒน์.2559, **รู้จักแบตเตอรี่ ตอนที่ 4 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน**. [Online] ,
Available : <https://tinyurl.com/fe7xuvxs> [Accessed: 3 21 พฤศจิกายน 2564].
- [3] lady ada, **Li-Ion (Lithium-Ion) and LiPoly (Lithium Polymer)**. [Online],
Available : <https://tinyurl.com/4syewvx2>
[Accessed: 3 กรกฎาคม 2564].
- [4] Author. 2005. **แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-Ion Battery)**. [Online],
Available : <https://tinyurl.com/xattd3bb>
[Accessed: 3 กรกฎาคม 2564].
- [5] L. W. Yao, and J. A. Aziz, “**Modeling of Lithium Ion Battery with Nonlinear Transfer Resistance,**” IEEE Applied Power Electronics Colloquium (IAPEC), 2011, pp. 104-109
- [6] M.Gholizadeh, and F.R.Salmasi, “**Estimation of State-of-Charge, Unknown Nonlinearities, and State-of-Health of a Lithium-Ion Battery Based on a Comprehensive Unobservable Model,**” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 3, March 2014
- [7] **Journal of Power Sources Battery equalization active methods**, 15 January 2014, Pages 934-949
- [8] Aswinth Raj.2019, **Cell Balancing Techniques and How to Use Them**. [Online], Available: <https://tinyurl.com/43chr6s2> [Accessed: 3 กรกฎาคม 2564].
- [9] MIT Electric Vehicle Team.2008, . **A Guide to Understanding Battery Specifications**. [Online],
Available: http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf
[Accessed: 3 กรกฎาคม 2564].

- [10] Author.2559 . **เครื่องทดสอบและวิเคราะห์แบตเตอรี่ชนิด Deep Cycle**. [Online],
Available: <https://tinyurl.com/wdy6mcun>

- [11] Saksirin Chinnaket.2562, **Active Cell Balancing for efficient Management of Li-ion battery pack**,

- [12] Tuemaster admin.2021, **กฎของโอห์ม (Ohm's Law)-ฟิสิกส์**. [Online]
Available : <https://tinyurl.com/rmaky2sr> [Accessed: 3 กรกฎาคม 2564].

- [13] **Journal of Power Sources Battery equalization active methods**, 3 June 2014,
Pages 603-609

- [14] Author.2021, **Battery Pack Cell Voltage Difference and Solution Part 1 | Battery Monday**. [Online]
Available : <https://tinyurl.com/uknwz52s> [Accessed: 3 กรกฎาคม 2564].

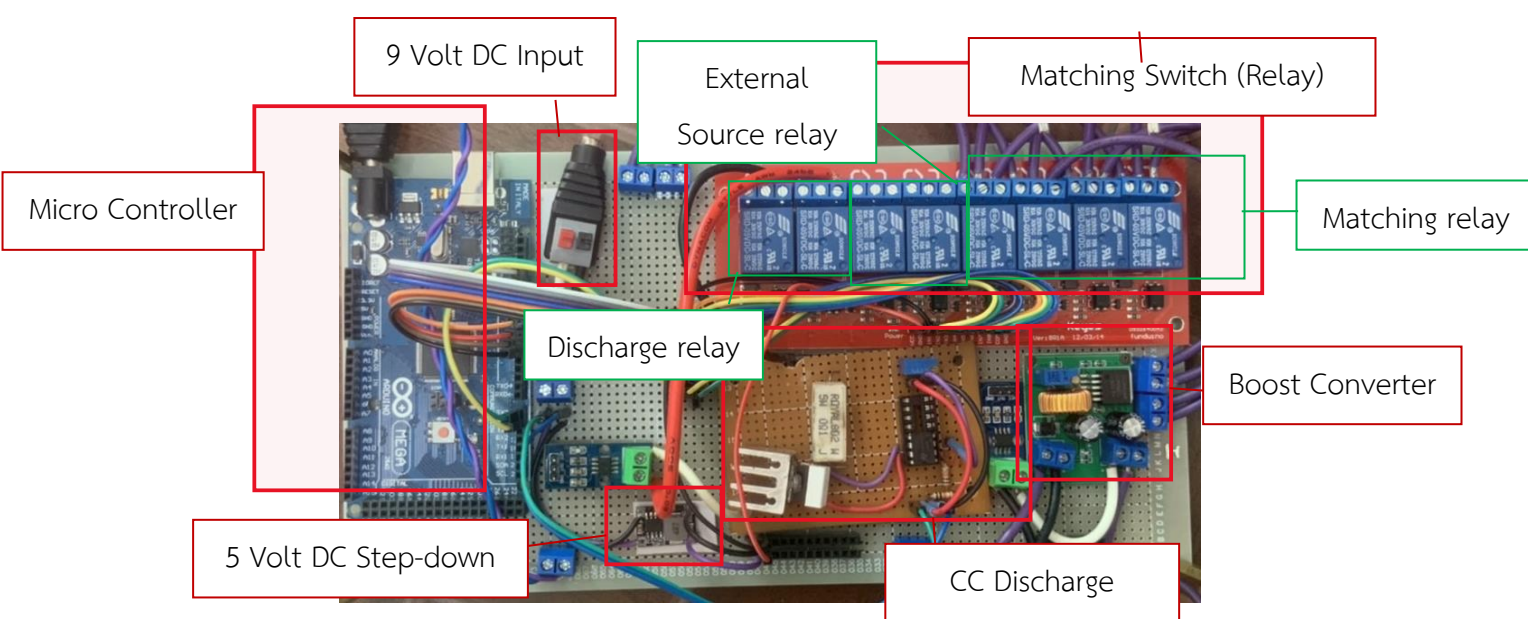
- [15] **รายงานฉบับสมบูรณ์ การวิจัยแบตเตอรี่ต้นแบบสำหรับรถยนต์นั่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า**, 29
กันยายน 2560, Pages 182-187

ภาคผนวก ก.

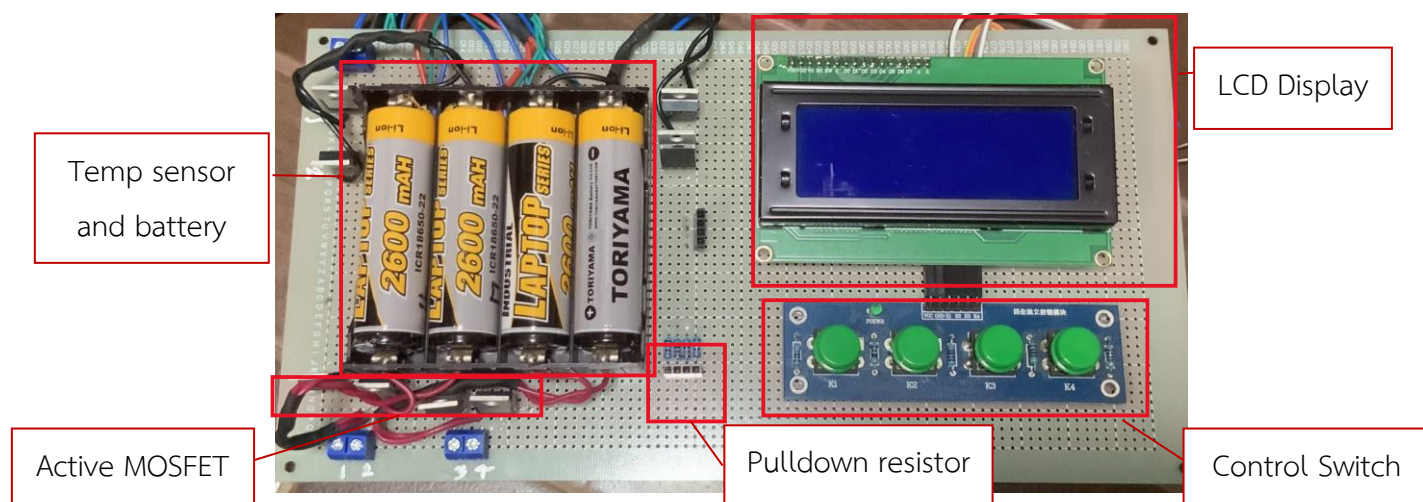
แสดงรูปลักษณะภายนอกของของระบบการจัดการแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนขนาด 18650

จำนวน 4 เซลล์

ระบบจัดการแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนจำนวน 4 เซลล์มีอุปกรณ์หลักๆที่ใช้ในการทำงานคือ Micro controller , Step-down converter , Boost converter , Discharger และ Relay ดังภาพที่ ก.1 และมีการทำงานเบื้องต้นในส่วนของการแสดงผล การควบคุม และ ชองแบตเตอรี่ โดยใช้ MOSFET LCD Display , Control Switch , Temp sensor และ Pulldown resistor ดังภาพที่ ก.2



ภาพที่ ก.1 รูปลักษณะภายนอกของระบบจัดการแบตเตอรี่ในส่วนของการทำงานเบื้องหลัง



ภาพที่ ก.2 รูปลักษณะภายนอกของระบบจัดการแบตเตอรี่ในส่วนของการทำงานเบื้องต้น

ภาคผนวก ข.

ข้อโค้ดในการเริ่มต้นระบบ

```

1 #include <Wire.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3
4 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); // Set the LCD address to 0x27 for a 20 chars and 4 line display

```

บรรทัดที่ 1-2 Include Library
 บรรทัดที่ 3 Initiate LCD Display

```

1 //analog input pin
2
3 #define cell1_volt_m A1
4 #define cell2_volt_m A2
5 #define cell3_volt_m A3
6 #define cell4_volt_m A4
7
8 #define discharge_current_m A6
9 #define inboost_current_m A7
10 #define cell1_temp_m A11
11 #define cell2_temp_m A12
12 #define cell3_temp_m A13
13 #define cell4_temp_m A14
14 //define analog_sw_m A10
15
16 ///////////////////////////////////////////////////
17
18 //digital output pin
19
20 #define cell1_active 37 // /* MOSFET */
21 #define cell2_active 35 //***Off while balance/discharge : On for voltage check***
22
23 #define cell3_active 33
24 #define cell4_active 31 //
25
26 #define cell1_pos 10 // /* RELAY */
27 #define cell2_pos 11
28 #define cell3_pos 12
29 #define cell4_pos 13 //
30
31 #define protect_relay 0
32 #define external_source 14 // 1 control signal for 2 relay module (+,-)
33 #define discharge_relay 15 // 1 control signal for 2 relay module (+,-)
34
35 #define relayOp_off LOW //Waiting for relay module characteristic
36 #define relayOp_on HIGH
37
38 #define relayOp_receive LOW //common close
39 #define relayOp_release HIGH //common open
40
41 //define mosfetOp_off LOW // n-channel mosfet
42 //define mosfetOp_on HIGH
43
44 #define mosfetOp_off HIGH // p-channel mosfet
45 #define mosfetOp_on LOW

```

บรรทัดที่ 1-45 Define pins

```

1 typedef struct
2 {
3     uint8_t source_active ; // 1 balance module
4     uint8_t source_pos ;
5     uint8_t sink_active ;
6     uint8_t sink_pos ;
7
8     } match_op ;
9
10 match_op matchcondition_release[4] = {          // source => sink    cell number    p_key    pin active/position
11     { cell1_active , cell1_pos , 101 , 101 }, // cell 1 => cell x { Cell no.1 => index[0]          (5,10) }
12     { cell2_active , cell2_pos , 101 , 101 }, // cell 2 => cell x { Cell no.2 => index[1]          (6,11) }
13     { cell3_active , cell3_pos , 101 , 101 }, // cell 3 => cell x { Cell no.3 => index[2]          (7,12) }
14     { cell4_active , cell4_pos , 101 , 101 } // cell 4 => cell x { Cell no.4 => index[3]          (8,13) }
15 };
16
17 match_op matchcondition_receive[4] = {          // source => sink    cell number    p_key    pin active/position
18     { 101 , 101 , cell1_active , cell1_pos }, // cell x => cell 1 { Cell no.1 => index[0]          (5,10) }
19     { 101 , 101 , cell2_active , cell2_pos }, // cell x => cell 2 { Cell no.2 => index[1]          (6,11) }
20     { 101 , 101 , cell3_active , cell3_pos }, // cell x => cell 3 { Cell no.3 => index[2]          (7,12) }
21     { 101 , 101 , cell4_active , cell4_pos } // cell x => cell 4 { Cell no.4 => index[3]          (8,13) }

```

บรรทัดที่ 1-8 Define pattern structure
 บรรทัดที่ 10-21 Condition Structure

```

40 void setup()
41 {
42
43     //test_val(); //only use for system def and test
44
45     Serial.begin(9600);
46
47     pin_init();
48     sw_init();
49
50     lcd_system_init();
51     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2) , sw1 , FALLING);
52     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3) , sw2 , FALLING);
53     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(19) , sw3 , FALLING);
54     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(18) , sw4 , FALLING); //back
55
56
57
58 }

```

บรรทัดที่ 40-50 Initiate System
 บรรทัดที่ 51-54 Assign Interrupt


```

2  /*global variable*/
3  //uint8_t (0-255)
4  uint8_t cell_match_boost[2] = {0,0};
5  uint8_t cell_match_cap[2] = {0,0};      /*cell matching*/
6  uint8_t cell_match_deactivate[2] = {0,0};
7
8  uint8_t sw_k1 = 0 , sw_k2 = 0 , sw_k3 = 0 , sw_k4 = 0 ; /*for interrupt switch*/
9  uint8_t page_status = 0 ; /*lcd initial page*/
10
11  uint8_t cell_resting = 0 ;
12  uint8_t loop_resting = 0 ;
13
14  uint8_t bal_count = 0 ;
15  uint8_t dis_count = 0 ;
16
17  bool flag = false ; //lcd flag => true if completed ui function
18  bool status_balancing = false ;
19  bool bal_end = false ;
20  bool balanced_stat = false ;
21  |
22  //float /*for calculated vlaue from sensor*/
23  float cell1_volt , cell2_volt , cell3_volt , cell4_volt ; // require cal from uint16_t raw value [cellx_volt (voltage raw value)]
24  float cell_volt_list[4] ;
25  uint16_t celltemp[5] = {0,0,0,0,0} ;
26  float cell_volt[4] = {0,0,0,0} ;
27  uint8_t cell1_temp , cell2_temp , cell3_temp , cell4_temp ; // require cal from uint16_t raw value [cellx_temp (temperature raw value)]
28  float sys_current , inboost_current , discharge_current ; // require cal from uint16_t raw value [xxxx_current (current raw value)]
29  float avr_volt , avr_upper , avr_lower ;
30  float discharge_voltage ;
31
32  /*Balancing System Configuration*/
33  bool inBal_Source = true ; // true = internal , false = external
34  bool acpVol_50 = true ; // true = acceptable voltage dif is 20mV, false = acceptable voltage dif is 10mV
35  bool no_voltage = false ; // true = 0v cell detected , false = no 0v cell detected
36  bool op_mode_bal = true ; // select system operation mode
37
38  float volt_diff = 0.05 ; //0.1 at dynamic 0.05 at static
39
40  /*protection system*/
41
42  float current_limit = 1.3 ;
43  float overvolt_limit = 4.24 , undervolt_limit = 3.00 ;
44  uint8_t temperature_limit = 40 ; //default = 40
45
46  bool ov1 = false , ov2 = false , ov3 = false , ov4 = false , uv1 = false , uv2 = false , uv3 = false , uv4 = false
47      ,ot1 = false , ot2 = false , ot3 = false , ot4 = false
48      ,oc = false ;
49
50  static char ov_warn[20] = "Over voltage : ____" //15=1 16=2 17=3 18=4
51      , uv_warn[20] = "Under voltage : ____" //16=1 17=2 18=3 19=4
52      , oc_warn[20] = "Over Current : ____" //15=0 16=0 17=C
53      , ot_warn[20] = "Over temp : ____" ; //12=1 13=2 14=3 15=4

```

บรรทัดที่ 2-53 Assign Global Variable

ภาคผนวก ค.

ข้อโค้ดในการตรวจวัดค่าสถานะต่างๆในระบบ

```

23 void voltage_check() //with out delay
24 {
25     static uint16_t volt_measure[4] = {10101,10101,10101,10101} ; //initiate reading value for identify sensor status
26
27     volt_measure[0] = analogRead(cell1_volt_m) ;
28     volt_measure[1] = analogRead(cell2_volt_m) ;
29     volt_measure[2] = analogRead(cell3_volt_m) ;
30     volt_measure[3] = analogRead(cell4_volt_m) ;
31
32     double volt1_measure = volt_measure[0] * (5.0/1023) ;
33     double volt2_measure = volt_measure[1] * (5.0/1023) ;
34     double volt3_measure = volt_measure[2] * (5.0/1023) ;
35     double volt4_measure = volt_measure[3] * (5.0/1023) ;
36
37     //*****voltage correction*****
38
39     double x_1 = (0.0490 * volt1_measure) ; // out1 //Direct measure
40     double x_2 = (0.0480 * volt2_measure) ; // out2
41     double x_3 = (0.0478 * volt3_measure) ; // out3
42     double x_4 = (0.0475 * volt4_measure) ; // out4
43
44     cell1_volt = volt1_measure - x_1 ; //Real part
45     cell2_volt = volt2_measure - x_2 ;
46     cell3_volt = volt3_measure - x_3 ;
47     cell4_volt = volt4_measure - x_4 ;
48
49     discharge_voltage = cell1_volt ;
50
51     avr_volt = (cell1_volt + cell2_volt + cell3_volt + cell4_volt) / 4.0 ; //acpVol_50
52     avr_upper = avr_volt + (volt_diff/2.0) ;
53     avr_lower = avr_volt - (volt_diff/2.0) ;
54
55
56     if(((avr_lower<=cell1_volt)&&(cell1_volt<=avr_upper))&&((avr_lower<=cell2_volt)&&(cell2_volt<=avr_upper))&&((avr_lower<=cell3_volt)&&(cell3_volt<=avr_upper))&&((avr_lower<=cell4_volt)&&(cell4_volt<=avr_upper)))
57     {
58         balanced_stat = true ;
59     }
60     else
61     {
62         balanced_stat = false ;
63     }
64
65     cell_volt[0] = cell1_volt ;
66     cell_volt[1] = cell2_volt ;
67     cell_volt[2] = cell3_volt ;
68     cell_volt[3] = cell4_volt ;
69
70     //*****

```

```

152 void current_check() //with out delay
153 {
154     int count = 150;
155     const int VOLTAGE_REF = 5; // Reference voltage for analog read
156     uint16_t value ;
157     double inboost_current_cal = 0.0 , discharge_current_cal = 0.0 ;
158
159     if(op_mode_bal == true){
160         for(uint8_t i = 0 ; i <= count ; i++)
161         {
162             value = analogRead(inboost_current_m) - 520 ; //0A = 520 5A = 320
163             inboost_current_cal += value * (4.971/200.0) ;
164         }
165
166         inboost_current = (inboost_current_cal/count) + 0.482 ; //
167     }
168     else{
169         for(uint8_t i = 0 ; i <= count ; i++)
170         {
171             value = analogRead(discharge_current_m) - 520 ; //0A = 520 5A = 320
172             discharge_current_cal += value * (4.971/200.0) ;
173         }
174
175         discharge_current = (discharge_current_cal/count) + 0.482 ; //
176     }

```

บรรทัดที่ 23-70 Voltage Measurement
 บรรทัดที่ 152-176 Current Measurement

```

228 void temp_check()
229 {
230     static uint16_t celltemp[5] = {0,0,0,0,0} ;
231
232     celltemp[0] = analogRead(cell11_temp_m) ;
233     celltemp[1] = analogRead(cell11_temp_m) ;
234     celltemp[2] = analogRead(cell12_temp_m) ;
235     celltemp[3] = analogRead(cell13_temp_m) ;
236     celltemp[4] = analogRead(cell14_temp_m) ;
237
238     for (uint8_t i = 1; i <= 4; i++)
239     {
240         uint16_t val = celltemp[i] ;
241         float mv = ( val / 1023.0) * 5000 ;
242         float temp = mv / 10 ;
243         celltemp[i] = temp ;
244     }
245
246     cell11_temp = celltemp[1] ; //Real part *limit at 40 deg C*
247     cell12_temp = celltemp[2] ;
248     cell13_temp = celltemp[3] ;
249     cell14_temp = celltemp[4] ;

```

บรรทัดที่ 228-249 Temperature Measurement

ภาคผนวก ง.

ซอสโค้ดในการตรวจจับและป้องกันสถานะผิดปกติต่างๆในระบบ

```

72 | //*****Protection*//*****
73 |
74 | if((cell1_volt<undervolt_limit||cell2_volt<undervolt_limit||cell3_volt<undervolt_limit||cell4_volt<undervolt_limit||cell1_volt>=overvolt_limit||cell2_volt>=overvolt_limit||cell3_volt>=overvolt_limit||cell4_volt>=overvolt_limit)
75 | {
76 |     bool cell1_ov = false , cell2_ov = false , cell3_ov = false , cell4_ov = false ;
77 |
78 |     if(cell1_volt != 0){uv1 = cell1_volt <= undervolt_limit ; ov1 = cell1_volt >= overvolt_limit ;}
79 |     else if(cell1_volt == 0){cell1_ov = true;}
80 |     if(cell2_volt != 0){uv2 = cell2_volt <= undervolt_limit ; ov2 = cell2_volt >= overvolt_limit ;}
81 |     else if(cell2_volt == 0){cell2_ov = true;}
82 |     if(cell3_volt != 0){uv3 = cell3_volt <= undervolt_limit ; ov3 = cell3_volt >= overvolt_limit ;}
83 |     else if(cell3_volt == 0){cell3_ov = true;}
84 |     if(cell4_volt != 0){uv4 = cell4_volt <= undervolt_limit ; ov4 = cell4_volt >= overvolt_limit ;}
85 |     else if(cell4_volt == 0){cell4_ov = true;}
86 |
87 |
88 |     if((uv1 == true) || (uv2 == true) || (uv3 == true) || (uv4 == true) || (ov1 == true) || (ov2 == true) || (ov3 == true) || (ov4 == true)){
89 |
90 |         //for debug
91 |         if(uv1){Serial.println("Cell 1 is undervoltage");}
92 |         uv_warn[14] = '.' ;}
93 |         else if(uv2){uv_warn[16] = '.' ;}
94 |         if(uv2){Serial.println("Cell 2 is undervoltage");}
95 |         uv_warn[17] = '2' ;}
96 |         else if(uv3){uv_warn[17] = '.' ;}
97 |         if(uv3){Serial.println("Cell 3 is undervoltage");}
98 |         uv_warn[18] = '3' ;}
99 |         else if(uv4){uv_warn[18] = '.' ;}
100 |         if(uv4){Serial.println("Cell 4 is undervoltage");}
101 |         uv_warn[19] = '4' ;}
102 |         else if(uv4){uv_warn[19] = '.' ;}
103 |
104 |         if(ov1){Serial.println("Cell 1 is overvoltage");}
105 |         ov_warn[15] = '1' ;}
106 |         else if(ov1){ov_warn[15] = '.' ;}
107 |         if(ov2){Serial.println("Cell 2 is overvoltage");}
108 |         ov_warn[16] = '2' ;}
109 |         else if(ov2){ov_warn[16] = '.' ;}
110 |         if(ov3){Serial.println("Cell 3 is overvoltage");}
111 |         ov_warn[17] = '3' ;}
112 |         else if(ov3){ov_warn[17] = '.' ;}
113 |         if(ov4){Serial.println("Cell 4 is overvoltage");}
114 |         ov_warn[18] = '4' ;}
115 |         oc_warn[18] = '.' ;} //*****
116 |         else if(ov4){ov_warn[18] = '.' ;}
117 |
118 |         delay(100);
119 |
120 |         lcd_protect();
121 |     }
122 |
123 |
124 |
125 |
126 |
127 | //*****Protection*//*****
128 |
129 | if(inboost_current > current_limit)
130 | {
131 |     oc = inboost_current > current_limit ;
132 |
133 |     if(oc)
134 |     {
135 |         Serial.println("Over current at in_booster");
136 |         oc_warn[15] = 'B' ;
137 |         oc_warn[16] = 'A' ;}
138 |         oc_warn[17] = 'L' ;
139 |     }
140 |     else if(!oc)
141 |     {
142 |         oc_warn[15] = '.' ;
143 |         oc_warn[16] = '.' ;
144 |         oc_warn[17] = '.' ;
145 |     } //oc_warn[20] = "Over Current : ____" //15=O 16=C 17=C
146 |
147 |     delay(100);
148 |
149 |     lcd_protect();
150 | }
151 |
152 | if(discharge_current > current_limit)
153 | {
154 |     oc = discharge_current > current_limit ;
155 |
156 |     if(oc)
157 |     {
158 |         Serial.println("Over current at in_booster");
159 |         oc_warn[15] = 'D' ;
160 |         oc_warn[16] = 'I' ;
161 |         oc_warn[17] = 'S' ;
162 |     }
163 |     else if(!oc)
164 |     {
165 |         oc_warn[15] = '.' ;
166 |         oc_warn[16] = '.' ;
167 |         oc_warn[17] = '.' ;
168 |     } //oc_warn[20] = "Over Current : ____" //15=O 16=C 17=C
169 |
170 |     delay(100);
171 |
172 |     lcd_protect();
173 | }
174 |
175 |
176 |
177 |
178 |
179 |
180 |
181 |
182 |
183 |
184 |
185 |
186 |
187 |
188 |
189 |
190 |
191 |
192 |
193 |
194 |
195 |
196 |
197 |
198 |
199 |
200 |
201 |
202 |
203 |
204 |
205 |
206 |
207 |
208 |
209 |
210 |
211 |
212 |
213 |
214 |
215 |
216 |
217 |
218 |
219 |
220 |
221 |
222 |
223 |

```

บรรทัดที่ 72-121 Voltage Protection
 บรรทัดที่ 177-223 Current Protection

```

251 //*****Protection******
252
253 if(cell1_temp > temperature_limit || cell2_temp > temperature_limit || cell3_temp > temperature_limit || cell4_temp > temperature_limit )
254 {
255     ot1 = cell1_temp > temperature_limit ;
256     ot2 = cell2_temp > temperature_limit ;
257     ot3 = cell3_temp > temperature_limit ;
258     ot4 = cell3_temp > temperature_limit ;
259
260     if(ot1){Serial.println("Cell 1 is Overtemperature");
261         ot_warn[12] = '1' ;}
262     else if(!ot1){ot_warn[12] = '_' ;}
263     if(ot2){Serial.println("Cell 2 is Overtemperature");
264         ot_warn[13] = '2' ;}
265     else if(!ot2){ot_warn[13] = '_' ;}
266     if(ot3){Serial.println("Cell 3 is Overtemperature");
267         ot_warn[14] = '3' ;}
268     else if(!ot3){ot_warn[14] = '_' ;}
269     if(ot4){Serial.println("Cell 4 is Overtemperature");
270         ot_warn[15] = '4' ;}
271     else if(!ot4){ot_warn[15] = '_' ;}
272
273
274 //ot_warn[20] = "Over temp : ____" ;    //12=1 13=2 14=3 15=4
275
276     delay(100);
277
278     lcd_protect();
279 }

```

บรรทัดที่ 251-279 Temperature Protection

```

1 void lcd_protect () // manual restart only
2 {
3     volatile unsigned long p_i = 0 ;
4
5     for( p_i ; p_i < 4294967295 ; p_i++)
6     {
7         deactivate_balancing () ;
8
9         lcd.clear () ; // clearn previous values from screen
10
11         lcd.setCursor (0, 0) ; //character zero, line 1
12         lcd.print (ov_warn ) ; //15=1 16=2 17=3 18=4
13
14         lcd.setCursor (0, 1) ;
15         lcd.print (uv_warn ) ; //17=1 18=2 19=3 20=4
16
17         lcd.setCursor (0, 2) ;
18         lcd.print (ot_warn ) ; //12=1 13=2 14=3 15=4
19
20         lcd.setCursor (0, 3) ;
21         lcd.print (oc_warn ) ; //16=1 17=2 18=3 19=4
22
23         if(p_i >= 4294900000 )
24         {
25             p_i = 0 ;
26         }
27
28         delay (3000) ;
29         lcd.clear () ;
30         lcd_tbdelay (100) ;
31     }

```

บรรทัดที่ 1-31 Protection Display

ภาคผนวก จ.

ซอสโค้ดการควบคุมระบบ และ เลือกโหมดการทำงาน

```

68 void lcd_main ()
69 {
70     flag = false ;
71     page_status = 1 ;
72
73     //lcd.clear(); // clearn previous values from screen
74     lcd.setCursor (0, 0);
75     lcd.print ("      Main menu      " );
76
77     lcd.setCursor (0, 1);
78     lcd.print ("1:Start Operation " );
79
80     lcd.setCursor (0, 2);
81     lcd.print ("2:Check Cells status" );
82
83     lcd.setCursor (0, 3);
84     lcd.print ("3:Setup System      " );
85
86     lcd_tbdelay (650);
87
88     flag = true ;
89
90 }

92 void lcd_op ()    /// 1.25 sec per loop
93 {
94     flag = false ;
95     page_status = 2 ;
96
97     if( (balanced_stat == false) && (no_voltage == false) && (op_mode_bal == true) )
98     {
99         balancing ();
100     }
101     else if( (op_mode_bal == true) && ((balanced_stat == true) || (no_voltage == true)) )
102     {
103         deactivate_balancing ();
104     }
105     else if (op_mode_bal == false)
106     {
107         discharge ();
108     }
109     lcd.setCursor (0, 0); //character zero, line 1
110     lcd.print (" Balancing System " );
111
112     lcd.setCursor (0, 1);
113     if (op_mode_bal == true)
114     {
115         lcd.print (" Mode : Balance " );
116     }
117     else
118     {
119         lcd.print (" Mode : Discharge " );
120     }
121

```

```

124 lcd.setCursor (0, 2);
125 if(no_voltage == false)
126 {
127     if((balanced_stat == false) && (op_mode_bal == true))
128     {
129         lcd.print (" Cell Balancing      ");
130     }
131     else if((balanced_stat == true) && (op_mode_bal == true))
132     {
133         lcd.print ("Cell Balancing done " );
134     }
135     else if(op_mode_bal == false)
136     {
137         lcd.print ("Cell Voltage : " );
138         lcd.setCursor (16, 2);
139         lcd.print (discharge_voltage );    ///default
140     }
141 }
142 else if(no_voltage == true)
143 {
144     lcd.print ("0V Cell Detected" );
145 }
146 lcd.setCursor (0, 3);
147
148 if(op_mode_bal == true)
149 {
150     lcd.print ("Input current : " );
151     lcd.setCursor (16, 3);
152     lcd.print (inboost_current );    ///default
153 }
154 else
155 {
156     //lcd.print("
157     lcd.print ("Dis current : " );
158     lcd.setCursor (16, 3);
159     lcd.print (discharge_current );    ///default
160 }
161
162 //lcd.print(cell1_temp); ///dynamic var test
163
164 lcd_tbdelay (200);
165
166
167 lcd.setCursor (0, 2);
168 if(no_voltage == false)
169 {
170     if((balanced_stat == false) && (op_mode_bal == true))
171     {
172         lcd.print (" Cell Balancing.      ");
173     }
174     else if((balanced_stat == true) && (op_mode_bal == true))
175     {
176         lcd.print ("Cell Balancing done.");
177     }
178     else if(op_mode_bal == false)
179     {
180         lcd.setCursor (16, 2);
181         lcd.print (discharge_voltage );    ///default
182     }
183 }
184 else if(no_voltage == true)
185 {
186     lcd.print ("0V Cell Detected. ");
187 }
188
189 if(op_mode_bal == true)
190 {
191     lcd.setCursor (16, 3);
192     lcd.print (inboost_current );    ///default
193 }
194 else
195 {
196     lcd.setCursor (16, 3);
197     lcd.print (discharge_current );    ///default
198 }
199 //lcd.print(cell1_temp); ///dynamic var test
200
201 lcd_tbdelay(200);
202

```

```

206     lcd.setCursor (0, 2);
207     if(no_voltage == false)
208     {
209         if((balanced_stat == false) && (op_mode_bal == true))
210         {
211             lcd.print(" Cell Balancing.. ");
212             }
213         else if((balanced_stat == true) && (op_mode_bal == true))
214         {
215             lcd.print("Cell Balancing done ");
216         }
217         else if(op_mode_bal == false)
218         {
219             lcd.setCursor (16, 2);
220             lcd.print(discharge_voltage);  ////default
221         }
222     }
223     else if(no_voltage == true)
224     {
225         lcd.print("0V Cell Detected..");
226     }
227
228     if(op_mode_bal == true)
229     {
230         lcd.setCursor (16, 3);
231         lcd.print(inboost_current);  ////default
232     }
233     else
234     {
235         lcd.setCursor (16, 3);
236         lcd.print(discharge_current);  ////default
237     }
238     //lcd.print(cell1_temp); ///dynamic var test
239
240     lcd_tbdelay(200);

244     lcd.setCursor (0, 2);
245     if(no_voltage == false)
246     {
247         if((balanced_stat == false) && (op_mode_bal == true))
248         {
249             lcd.print(" Cell Balancing... ");
250         }
251         else if((balanced_stat == true) && (op_mode_bal == true))
252         {
253             lcd.print("Cell Balancing done.");
254         }
255         else if(op_mode_bal == false)
256         {
257             lcd.setCursor (16, 2);
258             lcd.print(discharge_voltage);  ////default
259         }
260     }
261     else if(no_voltage == true)
262     {
263         lcd.print("0V Cell Detected... ");
264     }
265
266
267     if(op_mode_bal == true)
268     {
269         lcd.setCursor (16, 3);
270         lcd.print(inboost_current);  ////default
271     }
272     else
273     {
274         lcd.setCursor (16, 3);
275         lcd.print(discharge_current);  ////default
276     }
277     //lcd.print(cell1_temp); ///dynamic var test
278
279     lcd_tbdelay(200);

```



```

283     lcd.setCursor (0, 2);
284     if(no_voltage == false)
285     {
286         if((balanced_stat == false) && (op_mode_bal == true))
287         {
288             lcd.print (" Cell Balancing.... " );
289         }
290         else if((balanced_stat == true) && (op_mode_bal == true))
291         {
292             lcd.print ("Cell Balancing done " );
293         }
294         else if(op_mode_bal == false)
295         {
296             lcd.setCursor (16, 2);
297             lcd.print (discharge_voltage );    ///default
298         }
299     }
300     else if(no_voltage == true)
301     {
302         lcd.print ("0V Cell Detected...." );
303     }
304
305     if(op_mode_bal == true)
306     {
307         lcd.setCursor (16, 3);
308         lcd.print (inboost_current );    ///default
309     }
310     else
311     {
312         lcd.setCursor (16, 3);
313         lcd.print (discharge_current );    ///default
314     }
315     //lcd.print(cell1_temp); ///dynamic var test
316
317     lcd_tbdelay (200); //1000 per loop
318     ++bal_count ;
319     //-----
320
321     flag = true ;
322
323 }

```

```

325 void lcd_check ()
326 {
327     flag = false ;
328     page_status = 3 ;
329
330     lcd.setCursor (0, 0);
331     lcd.print ("Voltage; c1|c2|c3|c4" );
332
333     lcd.setCursor (0, 1);
334     lcd.print (" ");
335
336     lcd.setCursor (1, 1);
337     lcd.print (cell1_volt );
338     lcd.setCursor (5, 1);
339     lcd.print ("|");
340
341     lcd.setCursor (6, 1);
342     lcd.print (cell2_volt );
343     lcd.setCursor (10, 1);
344     lcd.print ("|");
345
346     lcd.setCursor (11, 1);
347     lcd.print (cell3_volt );
348     lcd.setCursor (15, 1);
349     lcd.print ("|");
350
351     lcd.setCursor (16, 1);
352     lcd.print (cell4_volt );
353
354     lcd.setCursor (0, 2);
355     lcd.print ("T");
356
357     lcd.setCursor (1, 2);
358     lcd.print (" ");
359     lcd.setCursor (2, 2);
360     lcd.print (cell1_temp );
361     lcd.setCursor (4, 2);
362     lcd.print ("C");
363     lcd.setCursor (5, 2);
364     lcd.print ("|");
365
366     lcd.setCursor (6, 2);
367     lcd.print (" ");
368     lcd.setCursor (7, 2);
369     lcd.print (cell2_temp );
370     lcd.setCursor (9, 2);
371     lcd.print ("C");
372     lcd.setCursor (10, 2);
373     lcd.print ("|");
374
375     lcd.setCursor (11, 2);
376     lcd.print (" ");
377     lcd.setCursor (12, 2);
378     lcd.print (cell3_temp );
379     lcd.setCursor (14, 2);
380     lcd.print ("C");
381     lcd.setCursor (15, 2);
382     lcd.print ("|");
383
384     lcd.setCursor (16, 2);
385     lcd.print (" ");
386     lcd.setCursor (17, 2);
387     lcd.print (cell4_temp );
388     lcd.setCursor (19, 2);
389     lcd.print ("C");
390
391     if(inBal_Source == true)
392     {
393         digitalWrite (external_source ,relayOp_off );
394         //layout "Icap:x.xxIboost:x.xx"
395         lcd.setCursor (0, 3); //character zero, line 1
396         lcd.print ("BalSource=>Internal" );
397     }
398     else if(inBal_Source == false)
399     {
400         digitalWrite (external_source ,relayOp_on );
401         lcd.setCursor (0, 3); //character zero, line 1
402         lcd.print ("BalSource=>External" );
403     }
404
405     lcd_tbdelay (500);
406
407     flag = true ;
408 }

```

```

411 void lcd_system_config ()
412 {
413
414     flag = false ;
415     page_status = 4 ;
416
417     lcd.setCursor (0, 3);
418     lcd.print ("Boost Output : 4.2 V" );
419
420     if(inBal_Source == true)
421     {
422         lcd.setCursor (0, 0); //character zero, line 1
423         lcd.print ("BalSource=>Internal" );
424     }
425     else if(inBal_Source == false)
426     {
427         lcd.setCursor (0, 0); //character zero, line 1
428         lcd.print ("BalSource=>External" );
429     }
430
431     if(acpVol_50 == true)
432     {
433         lcd.setCursor (0, 1); //character zero, line 1
434         lcd.print ("Bal.mode : fast " );
435     }
436     else if(acpVol_50 == false)
437     {
438         lcd.setCursor (0, 1); //character zero, line 1
439         lcd.print ("Bal.mode : normal " );
440     }
441
442     if(op_mode_bal == true) |
443     {
444         lcd.setCursor (0, 2); //character zero, line 1
445         lcd.print ("Mode : Balance " );
446     }
447     else if(op_mode_bal == false)
448     {
449         lcd.setCursor (0, 2); //character zero, line 1
450         lcd.print ("Mode : Discharge " );
451     }
452
453     lcd_tbdelay (1000);
454
455     flag = true ;
456
457 void page_check ()
458 {
459     flag = false ;
460
461     if(page_status == 1)
462     {
463         lcd_main ();
464     }
465     else if(page_status == 2)
466     {
467         lcd_op ();
468     }
469     else if(page_status == 3)
470     {
471         lcd_check ();
472     }
473     else if(page_status == 4)
474     {
475         lcd_system_config ();
476     }
477 }
478
479 ...

```

บรรทัดที่ 68-90	Main Menu
บรรทัดที่ 92-323	Operation Menu
บรรทัดที่ 325-407	Status Monitor Menu
บรรทัดที่ 411-455	Configuration Menu
บรรทัดที่ 459-479	Page Check


```

1 void matching_cell ()
2 {
3     uint8_t i, j, cell_match_boost_op [2] ;
4
5     digitalWrite (cell1_active , mosfetOp_off ); //4.140 3.641
6     digitalWrite (cell2_active , mosfetOp_off );
7     digitalWrite (cell3_active , mosfetOp_off );
8     digitalWrite (cell4_active , mosfetOp_off ); /* MOSFET */ //
9
10
11     cell_match_boost_op [0] = cell_match_boost [0] - 1 ; // energy release cell (source)
12     cell_match_boost_op [1] = cell_match_boost [1] - 1 ; // energy receive cell
13
14     i = cell_match_boost_op [0] ; // i = release cell
15
16     matchcell_op .source_active = matchcondition_release [i].source_active ;
17     matchcell_op .source_pos = matchcondition_release [i].source_pos ;
18
19     i = cell_match_boost_op [1] ; // i = release cell
20
21     matchcell_op .sink_active = matchcondition_receive [i].sink_active ;
22     matchcell_op .sink_pos = matchcondition_receive [i].sink_pos ;

```

บรรทัดที่ 1-22 Assign Matched Pin

```

1 void balancing()
2 {
3     bal_con :
4     status_balancing = false ;
5
6     voltage_check();
7     current_check();
8     temp_check();
9
10    matching_cal();
11    matching_cell();
12
13    bal_end = false ;
14
15    for(bal_count ; bal_count <= 180;)
16    {
17        if(bal_count < 180)
18        {
19            status_balancing = true ;
20
21            //depend on system
22            digitalWrite(matchcell_op.source_pos,relayOp_release);
23            digitalWrite(matchcell_op.sink_pos,relayOp_receive);
24
25            digitalWrite(matchcell_op.source_active,mosfetOp_on);
26            digitalWrite(matchcell_op.sink_active,mosfetOp_on);
27
28            if((cell_volt[cell_match_boost[1]-1]>=(avr_upper+0.01)) || (cell_volt[cell_match_boost[0]-1]<=(avr_lower-0.01)))
29            {
30                bal_count = 180 ;
31                deactivate_balancing();
32
33                status_balancing = false ;
34
35                for(int i = 1; i <= 30 ;i++)
36                {
37                    cell_resting = i ;
38                    lcd_tbdelay(1000);
39                }
40
41                cell_resting = 0 ;
42
43                lcd_tbdelay(20);
44            }
45        }
46    }

```

```

47 else if(bal_count >= 180) //(180 = 3 min)
48 {
49     status_balancing = false ;
50     deactivate_balancing();
51
52     lcd_tbdelay(20);
53
54 if((balanced_stat == true) && ((cell_volt[cell_match_boost[1]-1] >= avr_upper) || (cell_volt[cell_match_boost[0]-1] <= avr_lower))){
55     bal_count = 0 ;
56     goto loop_flag ;}
57 else if((balanced_stat == false) && ((cell_volt[cell_match_boost[1]-1] >= avr_upper) || (cell_volt[cell_match_boost[0]-1] <= avr_lower))){
58 {
59     loop_resting = 1 ;
60
61     for(loop_resting ; loop_resting <= 30 ; loop_resting++){
62 {
63         lcd_tbdelay(1000);
64     }
65
66     loop_resting = 0 ;
67     bal_count = 0 ;
68 }
69 else/**if cells are fake bal(sink cell dynamicc voltage == avr_lower)*///
70 {
71     bal_end = true ;
72     lcd_tbdelay(20);
73     bal_count = 0 ;
74     goto bal_con ;
75 }
76
77 goto loop_flag ;
78 }
79 }
80
81 status_balancing = false ;
82
83 loop_flag :
84
85 bal_end = true ;
86
87 }
88
89 void deactivate_balancing()
90 {
91     lcd_tbdelay(20);
92
93     digitalWrite(cell1_active , mosfetOp_off); // n-mos cant check voltage while mosfet are off but p-mos can
94     digitalWrite(cell2_active , mosfetOp_off);
95     digitalWrite(cell3_active , mosfetOp_off);
96     digitalWrite(cell4_active , mosfetOp_off); /* MOSFET */ //
97
98     Serial.println(" System status => \"Balancing deactivated !!\" ");
99 }

```

บรรทัดที่ 1-87 Balancing

บรรทัดที่ 89-98 Deactivate Balancing

ภาคผนวก ข.

ข้อโค้ดในการดึงกระแสเซลล์แบตเตอรี่

```

1 void discharge() |
2 {
3   voltage_check();
4   current_check();
5   temp_check();
6
7   if(balanced_stat == false)
8   {
9     Serial.print("  System status => \"Discharging\"  ");
10  }
11  else if(balanced_stat == true)
12  {
13    Serial.print("  System status => \"Discharge done!!\"  ");
14  }
15
16  Serial.println(dis_count);
17
18  if(dis_count < 144) // 1.25 sec per loop (144 = 3 min)
19  {
20    digitalWrite(cell1_pos,relayOp_release);
21    digitalWrite(discharge_relay,relayOp_on); // system mode select
22
23    digitalWrite(cell1_active,mosfetOp_on); // cell 1 slot depend on system
24
25    ++dis_count ;
26
27    if(cell1_volt == (undervolt_limit + 0.05)) //<<<<<<< rest the cell for check
28    {
29      lcd_tbdelay(30000); // wait for 30 sec
30      page_status = 3 ;
31    }
32  }
33  else if(dis_count >= 144) //(144 = 3 min)
34  {
35    dis_count = 0 ;
36    deactivate_discharge();
37  }
38 }
39
40 void deactivate_discharge()
41 {
42   digitalWrite(cell1_active,mosfetOp_off); // cell 1 slot depend on system
43   digitalWrite(cell1_pos,relayOp_receive);
44   digitalWrite(discharge_relay,relayOp_off); // system mode select
45
46   Serial.println("  System status => \"Discharging deactivated !!\"  ");
47 }
48

```

บรรทัดที่ 1-38	Discharge
บรรทัดที่ 40-46	Deactivate Discharge

ภาคผนวก ก.

ข้อโค้ดในการขัดจังหวะของสวิทช์และการหน่วงเวลา

```

22 void lcd_tdelay(unsigned long func_time)
23 {
24     long timer_count = millis() + func_time ;
25     bool timer_check = false ;
26     static uint8_t prev_page_status = page_status ;
27
28     voltage_check();
29     temp_check();
30     current_check();
31
32     check:
33
34     if(prev_page_status != page_status)
35     {
36         prev_page_status = page_status ;
37         lcd.clear(); // clearn previous values from screen
38     }
39     else if ( flag == false )
40     {
41         goto skip ;
42     }
43
44     prev_page_status = page_status ;
45     page_check();
46
47     skip:
48
49     if ( millis() >= timer_count )
50     {
51         timer_check = !timer_check ;
52     }
53
54     if( timer_check == false )
55     {
56         voltage_check();
57         temp_check();
58         current_check();
59         goto check ;
60     }
61 }
62
63

```

บรรทัดที่ 2-63 Delay function

```

3 void sw1() // pin2
4 {
5     static unsigned long last_interrupt_time_1 = 0; // switch debouncing
6     unsigned long interrupt_time_1 = millis();
7
8     if (interrupt_time_1 - last_interrupt_time_1 > 200)
9     {
10         userInterface_control_sw1();
11
12         //Serial.print("status : K1 >> "); // interrupt debug
13         //Serial.println(sw_k1);
14     }
15
16     last_interrupt_time_1 = interrupt_time_1;
17 }
18
19 void sw2() // pin3
20 {
21     static unsigned long last_interrupt_time_2 = 0; // switch debouncing
22     unsigned long interrupt_time_2 = millis();
23
24     if (interrupt_time_2 - last_interrupt_time_2 > 200)
25     {
26         userInterface_control_sw2();
27
28         //Serial.print("status : K2 >> "); // interrupt debug
29         //Serial.println(sw_k2);
30     }
31
32     last_interrupt_time_2 = interrupt_time_2;
33 }
34
35 void sw3() // pin19
36 {
37     static unsigned long last_interrupt_time_3 = 0; // switch debouncing
38     unsigned long interrupt_time_3 = millis();
39
40     if (interrupt_time_3 - last_interrupt_time_3 > 200)
41     {
42         userInterface_control_sw3();
43
44         //Serial.print("status : K3 >> "); // interrupt debug
45         //Serial.println(sw_k3);
46     }
47
48     last_interrupt_time_3 = interrupt_time_3;
49 }
50

```

บรรทัดที่ 3-17 SW1 Debouncing
 บรรทัดที่ 19-30 SW2 Debouncing
 บรรทัดที่ 35-49 SW3 Debouncing


```

51 void sw4() // pin18
52 {
53     static unsigned long last_interrupt_time_4 = 0;          // switch debouncing
54     unsigned long interrupt_time_4 = millis();
55
56     if (interrupt_time_4 - last_interrupt_time_4 > 200)
57     {
58         userInterface_control_sw4();
59
60         //Serial.print("status : K4 >> ");    // interrupt debug
61         //Serial.println(sw_k4);
62     }
63
64     last_interrupt_time_4 = interrupt_time_4;
65 }
66
67 void userInterface_control_sw1() //Interrupt sub function for sw1
68 {
69     if(page_status == 1) //go to start balance
70     {
71         page_status = 2 ;
72     }
73     else if(page_status == 4)
74     {
75         inBal_Source = !inBal_Source ;
76     }
77 }
78
79 void userInterface_control_sw2() //Interrupt sub function for sw2
80 {
81     if(page_status == 1) //go to check cell status
82     {
83         page_status = 3 ;
84     }
85     else if(page_status == 4)
86     {
87         acpVol_50 = !acpVol_50;
88
89         if(acpVol_50 == true)
90         {
91             volt_diff = 0.05 ;
92         }
93         else if(acpVol_50 == false)
94         {
95             volt_diff = 0.01 ;
96         }
97     }
98 }
99
100 void userInterface_control_sw3() //Interrupt sub function for sw3
101 {
102     if(page_status == 1) //go to system configuration
103     {
104         page_status = 4 ;
105     }
106     else if(page_status == 4)
107     {
108         op_mode_bal = !op_mode_bal ;
109     }
110 }
111
112 void userInterface_control_sw4() //Interrupt sub function for sw4
113 {
114     if(page_status == 2)
115     {
116         deactivate_balancing() ;
117         deactivate_discharge() ;
118         page_status = 1 ;
119         bal_count = 0 ;
120         dis_count = 0 ;
121     }
122     else if(page_status == 3)
123     {
124         deactivate_balancing() ;
125         deactivate_discharge() ;
126         page_status = 1 ;
127     }
128     else if(page_status == 4)
129     {
130         deactivate_balancing() ;
131         deactivate_discharge() ;
132         page_status = 1 ;
133     }

```

บรรทัดที่	51-65	SW4 Debouncing
บรรทัดที่	67-77	SW1 UI Function
บรรทัดที่	79-98	SW2 UI Function
บรรทัดที่	100-110	SW3 UI Function
บรรทัดที่	112-133	SW4 UI Function

ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ-สกุล	นายเนติธร ปรีชาพัฒนานนท์
วัน เดือน ปีเกิด	12 มกราคม พ.ศ. 2542
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย พ.ศ. 2559 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า
ระดับอุดมศึกษา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า พ.ศ. 2563 สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ทุนการศึกษา	-ไม่มี-
ประวัติการฝึกอบรม	-ไม่มี-
ผลงานที่ได้รับตีพิมพ์	-ไม่มี-