

ระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม

Multi Cell Li-ion Battery Smart Charger

ธัญชนก ทรงอาวุธ

Thunchanok Song arwut

ภูริชญา โศกทุ่ง

Phurichaya Cokthung

สุทธิภัทร ต่อคุณ

Sudthiphat Torkhun

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

ระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม

Multi Cell Li-ion Battery Smart Charger

โดย

ธัญชนก ทรงอาวุธ

Thunchanok Song arwut

ภูริชญา โศกทุ่ง

Phurichaya Cokthung

สุทธิภัทร ต่อคุณ

Sudthiphat Torkhun

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม
Multi Cell Li-ion Battery Smart Charger

ผู้จัดทำ	นางสาวธัญชนก ทรงอาวุธ	รหัสนักศึกษา	58010569
	นางสาวภุริชญา โศกพุง	รหัสนักศึกษา	58010985
	นายสุทธิภัทร ต่อคุณ	รหัสนักศึกษา	58011347

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง)
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	ระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม		
นักศึกษา	นางสาวธัญชนก ทรงอาวุธ	รหัสนักศึกษา	58010569
	นางสาวภูริชญา โคกท่ง	รหัสนักศึกษา	58010985
	นายสุทธิภัทร ต่อคุณ	รหัสนักศึกษา	58011347
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์		
ปีการศึกษา	2561		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง		

บทคัดย่อ

ได้ทำการออกแบบระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ขนาด 4 เซลล์แบบอนุกรมอย่างเหมาะสม โดยระบบจะทำการวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ และทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการประจุแบตเตอรี่ของแต่ละเซลล์ โดยทำการแยกระบบประจุแบตเตอรี่ออกเป็นทีละเซลล์ ซึ่งแต่ละเซลล์จะถูกประจุให้มีค่าแรงดัน 3.9 โวลต์ จากกระแสที่ใช้ในการประจุเท่ากับ 500 มิลลิแอมป์ และระบบจะทำการวัดเพื่อให้ช่วงเวลาที่แบตเตอรี่แต่ละเซลล์มีค่าแรงดัน 3.9 โวลต์ โดยเร็วที่สุดและชาร์จเสร็จพร้อมกันทั้งหมดทุกเซลล์ พร้อมทั้งมีจอ LCD แสดงสถานะและค่าแรงดันแบตเตอรี่ของแต่ละเซลล์

Thesis Title	Multi Cell Li-ion Battery Smart Charger	
Student	Miss Thunchanok Song-arwut	Student ID 58011569
	Miss Phurichaya Cokthung	Student ID 58010985
	Mr. Sudthiphat Torkhun	Student ID 58011347
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronic Engineering	
Year	2018	
Project Advisor	Associate Professor Jirawath Parnklang	

ABSTRACT

The purpose of this research was to design 4 cell lithium-ion battery charger. The system measures the voltage of each battery cell and analyze appropriate in charge of each battery cell. The separate battery charger systems into individual cells. Each cell will be with the current 500mA until it reach 3.9V. Then the system will measure the voltage in order to more the period that each cell which are charging, reach 3.9V as soon as possible. So, all of the battery can be fully charged at the same time. Moreover, it has a LCD showing the status and the voltage of each cell.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “ระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม” เล่มนี้
ของหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สำเร็จลุล่วง
ไปได้ด้วยดี จากความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาจาก รองศาสตราจารย์ จิรวัดน์ ปานกลาง อาจารย์
ที่ปรึกษาที่คอยช่วยเหลือในการทดลองวงจรและให้คำแนะนำรวมถึงแก้ปัญหาต่างๆเมื่อผลิตชิ้นงาน
ออกมา

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนเงินทุนหลักใน
การทำโครงการ รวมไปถึงเพื่อนๆผู้เป็นกำลังหลักคอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ รวมทั้งช่วยกันในการ
แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการจัดทำทั้งหมดนี้ทำให้ผลของปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ความดีความชอบของปริญญานิพนธ์นี้ขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ได้เอื้อย่นามและ
ไม่ได้เอื้อย่นามทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดใดๆ คณะผู้จัดทำขอน้อมรับคำติชมต่างๆด้วยความยินดียิ่ง

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจและผู้นำผลงาน
นี้ไปใช้งานได้

ธัญชนก ทรงอาวุธ
ภูริชญา โศกทุ่ง
สุทธิภัทร ต่อคุณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตในการจัดทำโครงการ.....	2
1.4 ระยะเวลาในการทำโครงการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการทำงาน	4
2.1 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.2 แผนผังการทำงานระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม.....	4
2.3 หลักการและทฤษฎีที่สำคัญ	5
2.3.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแบตเตอรี่.....	5
2.3.1.1 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	6
2.3.1.2 ประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียม และการใช้งานแต่ละประเภท.....	6
2.3.1.3 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมแต่ละชนิด.....	7
2.3.1.4 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	8
2.3.1.5 ผลของอุณหภูมิกับความเสียหายของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	9
2.3.1.6 การบวมของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	10
2.3.1.7 การยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน.....	11
2.3.2 วงจรชาร์จ (charger).....	12
2.3.2.1 หลักการชาร์จของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	12
2.3.2.2 กราฟความสัมพันธ์ของการประจุแบตเตอรี่	12
2.3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูยโน.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของ Arduino Mega2560.....	15
2.3.4 การแสดงผลด้วยจอ LCD ของ Arduino.....	18
2.3.4.1 ประเภทของ LCD.....	18
2.3.4.2 การเชื่อมต่อ Arduino กับจอ Character LCD.....	18
2.3.5 การเก็บผลการทดลองด้วย SD CARD.....	20
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	23
3.1 การออกแบบวงจรประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน.....	23
3.1.1 กระแสชาร์จอินพุท (Charge Current Sense Input).....	24
3.1.2 ไฟเลี้ยงวงจรชาร์จ (Battery Management Input Supply).....	24
3.2 การออกแบบการส่งชาร์จวงจรและจอแสดงผลค่าแบตเตอรี่.....	25
3.2.1 วงจรการส่งชาร์จวงจรและจอแสดงผลค่าแบตเตอรี่.....	25
3.2.2 SD CARD.....	26
3.3 หลักการทำงานของระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	27
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	31
เอกสารอ้างอิง.....	32
ภาคผนวก.....	33

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาในการทำโครงการ.....	2
2.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆ วัสดุขั้วลบและบวก และการใช้งาน.....	7
2.2 เปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่แต่ละประเภท.....	8
2.3 ข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน.....	9
2.4 ความจุพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเทียบกับค่าเริ่มต้นเมื่อเก็บที่ระดับการประจุ 40% และ 100% และอุณหภูมิ 0-60°C.....	11
2.5 ผลของระดับการคายประจุต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน.....	12
2.6 คุณสมบัติของอายุโน้แต่ละประเภท.....	14
2.7 ตารางขาของจอ LCD 16x2 แบบขนาน.....	19
2.8 ตารางขาของจอ LCD 16x2 แบบอนุกรม.....	20
2.9 ตารางขาของ SD CARD.....	22
3.1 ตารางขา IC MCP73843 และ การใช้งาน.....	24

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้างการทำงานของระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม.....	1
2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม	4
2.2 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน	5
2.3 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ขณะอัดประจุ Li^+ จะเข้าระหว่างชั้นของแกรไฟต์ในขั้วลบ และขณะคายประจุ Li^+ จะเข้าสู่โครงสร้างของวัสดุขั้วบวก	6
2.4 ลำดับเหตุการณ์ตามอนุกรมที่เกี่ยวข้องกับการเกิดความร้อนต่อเนื่องแบบกู่ไม่กลับในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	10
2.5 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	12
2.6 การความสัมพันธ์การชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	13
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอาตุมิโนเบอร์ Atmega2560.....	14
2.8 โครงสร้างของบอร์ด Atmega2560.....	15
2.9 การใช้งาน Character LCD กับ Arduino การเชื่อมต่อแบบขนาน	18
2.10 แสดงขาของจอ LCD 16x2 แบบอนุกรม (I2C).....	19
3.1 Schematic วงจรชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน.....	23
3.2 ลายวงจรชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	23
3.3 Schematic วงจรการส่งข้อมูลและจอแสดงผลค่าแบตเตอรี่.....	25
3.4 ลายวงจรการส่งข้อมูลและจอแสดงผลค่าแบตเตอรี่	25
3.5 Flowchart การทำงานของระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม	26
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่1	27
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่1	27
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่2	28
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่2	28
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่ 3.....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่ 3.....	29
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่ 4.....	30
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่ 4.....	30



บทที่ 1

บทนำ

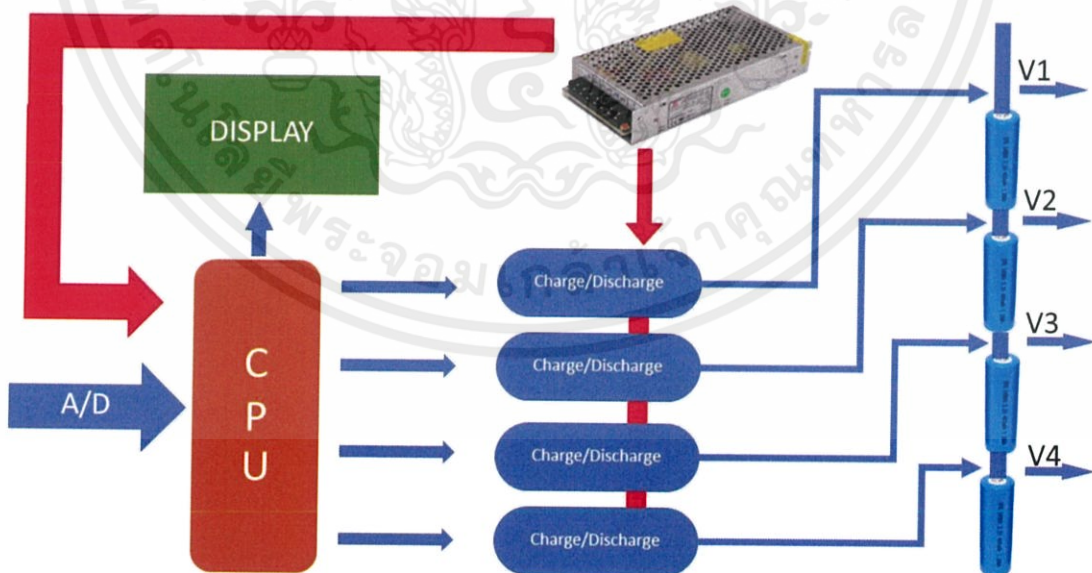
1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันนี้เราปฏิเสธไม่ได้ว่าแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ (Rechargeable battery) เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ถือเป็นตัวแปรสำคัญในการช่วยทำให้ช่องว่างระหว่างการใช้พลังงานและความสามารถในการผลิตพลังงานลดลง โดยเฉพาะการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด เช่น พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและรูปแบบการใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เช่น กล้องถ่ายรูปแบบดิจิทัล โทรศัพท์มือถือ และคอมพิวเตอร์แบบพกพา แบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยผ่านการอัดประจุใหม่ (rechargeable)

และเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีของแบตเตอรี่โดยทั่วไป แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนซึ่งเป็นแบตเตอรี่ชนิดที่ชาร์จได้เป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก มีขนาดเล็ก อายุการใช้งานยาวนาน ราคาต่ำ อัตราส่วนของพลังงานและกำลังไฟฟ้าสูงกว่าเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ

จากความสำคัญข้างต้น จึงมองเห็นความสำคัญในระบบการชาร์จของแบตเตอรี่จึงได้ออกแบบและสร้างวงจรที่ชาร์จแบตเตอรี่ด้วยคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ควบคุมการชาร์จเพื่อให้ระบบการชาร์จมีประสิทธิภาพในการชาร์จเพิ่มมากขึ้น

โครงสร้างการทำงาน



รูปที่ 1.1 โครงสร้างการทำงานของระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาและออกแบบระบบประจุแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่มีการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3 ขอบเขตในการจัดทำโครงการ

สามารถออกแบบวงจรชาร์จประจุแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 ระยะเวลาในการทำโครงการ

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการทำโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี 2561					ปี 2562		
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาปัญหาและหาข้อมูล	→							
2. ศึกษาการทำงานของวงจรและ Arduino		→						
3. ซื่ออุปกรณ์และออกแบบวงจร		→						
4. สร้างชิ้นงานและเขียนโปรแกรมเพื่อเก็บผลลัพธ์			→					
5. วัดคุณสมบัติ วงจร charge			→					
6. จัดทำรายงานและเตรียมตัว Present ชิ้นงาน			→					
7. วิเคราะห์และแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น				→				
8. ทดลองโปรแกรมแสดงค่าและการชาร์จแบตเตอรี่						→		
9. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์								→

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ได้ฝึกการปฏิบัติงานของคณะผู้จัดทำเพื่อเป็นพื้นฐานในการปฏิบัติงานต่อไปในอนาคต รวมถึงการฝึกการทำงานเป็นหมู่คณะ
2. ได้ฝึกวิธีการออกแบบ การคำนวณ และการคิดแบบเชิงวิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ได้บูรณาการความรู้ที่ได้จากการเรียนการสอนในภาคทฤษฎี นำมาใช้ในการปฏิบัติงานใน
ขั้นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

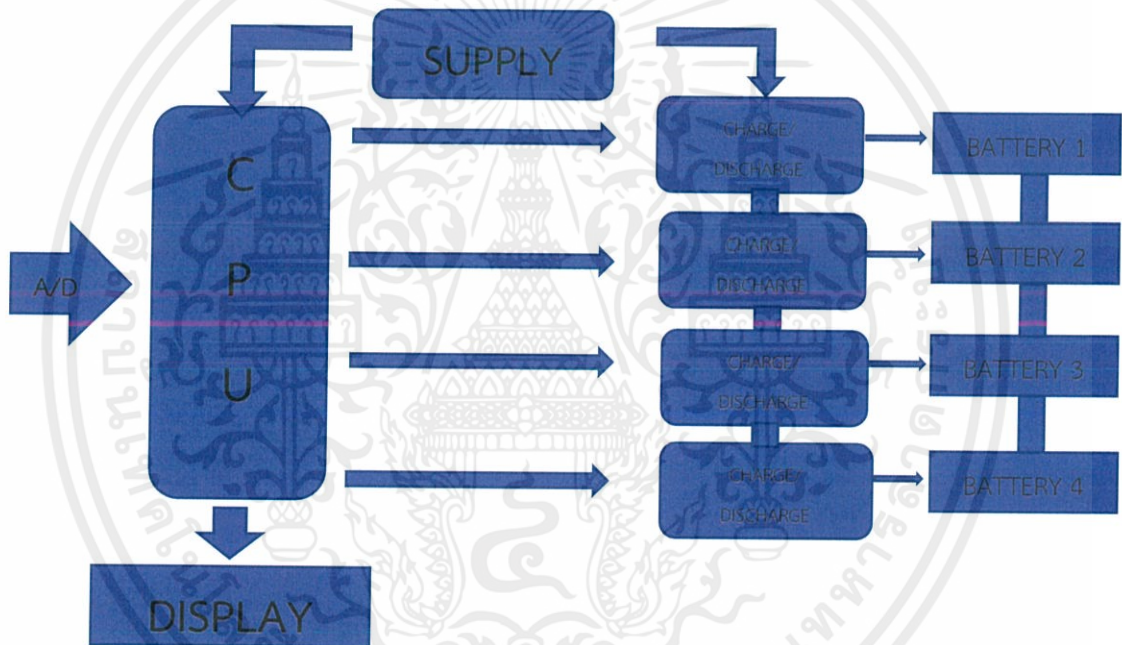
บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการทำงาน

2.1 หลักการและทฤษฎี

ในการออกแบบระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการวัดค่าแรงดันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละเซลล์ และไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการประจุแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ โดยทำการแยกระบบประจุแบตเตอรี่ออกเป็นทีละเซลล์ และคำนวณพัลส์เพื่อส่งให้วงจรชาร์จ ทำการชาร์จในแต่ละเซลล์ และนำค่าแรงดันของแบตเตอรี่ในเซลล์ต่างๆแสดงผลบนจอ LCD

2.2 แผนผังการทำงาน ระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม

ส่วนที่ 1 วัดค่าแรงของแบตเตอรี่ในแต่เซลล์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560

ส่วนที่ 2 ทำการวิเคราะห์ค่าแรงดันของแต่ละเซลล์ และทำการคำนวณปรับความกว้างของพัลส์เพื่อส่งจ่ายให้กับวงจรในแต่ละเซลล์แบตเตอรี่อย่างเหมาะสม

ส่วนที่ 3 วงจรชาร์จ (Charger) ในที่นี้ใช้ IC MCP73843 ในการสร้างวงจรชาร์จ วงจรชาร์จจะรับคำสั่งลจิกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อส่งในการชาร์จ เมื่อมีค่าแรงดันที่ขา Enable Input มากกว่า 1.4 โวลต์ วงจรจะทำการชาร์จ แต่ถ้ามีค่าแรงดันที่ขา Enable Input ต่ำกว่า 0.8 โวลต์ วงจรจะ

หยุดการชาร์จ

ส่วนที่ 4 ส่วนแสดงผล ในที่นี้ใช้ LCD 20x4 ระบบจะแสดงผลค่าแรงดันของแบตเตอรี่ในแต่ละเซลล์

2.3 หลักการและทฤษฎีที่สำคัญ

2.3.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นแหล่งเก็บพลังงานที่มีใช้มานาน โดยพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ได้จากปฏิกิริยาทางเคมีในระบบปิด ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า(Power Density) ที่แบตเตอรี่ สามารถจ่ายได้ ถูกกำหนดด้วยพื้นที่ของอิเล็กโทรด ในขณะที่ความจุของพลังงานไฟฟ้า(Energy Capacity) ถูกกำหนดด้วยปริมาตรของอิเล็กโทรด ส่วนปฏิกิริยาทางเคมีจะส่งผลต่อแรงดัน ชีตจำกัดของความหนาแน่นกระแส (Current Density Limitation) และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่(Life Time) แบตเตอรี่สามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้เป็นสองประเภทคือ

➤ แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ (Primary Battery) เป็นแบตเตอรี่ที่ไม่สามารถประจุ กระแสไฟฟ้าซ้ำได้ เมื่อใช้งานหมดแล้วต้องทิ้ง เช่น Zinc-Carbon, Zinc-Mercury Oxide, Alkaline, Manganese Dioxide, Zinc Chloride, Zinc-Air, Magnesium-Organic Electrolyte, Lithium-Mercury, Lithium-Iodine และ Lithium-Sulphur Dioxide เป็นต้น

➤ แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ (Secondary Battery) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถประจุกระแสไฟฟ้าซ้ำได้ เช่น Lead-Acid, Nickel-Cadmium, Silver-Zinc, Silver-Cadmium, Nickel-Zinc, Cadmium-Air, Zinc-Air, Lithium-Ion และ Lithium-Ion-Polymer เป็นต้น



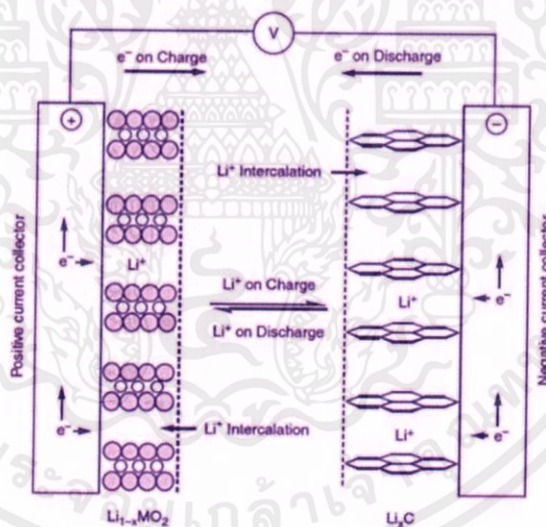
รูปที่ 2.2 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ขั้วลบ มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอนที่มีรูพรุน (เช่น แกรไฟต์) เคลือบบนแผ่นทองแดง ขั้วบวกเป็นลิเทียมเมทัลออกไซด์เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียม และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ประกอบด้วยเกลือของลิเทียม เช่น LiPF_6 หรือ LiBF_4 ในตัวทำละลาย เช่น เอทิลีนคาร์บอเนต (ethylene carbonate) ไดเอทิลคาร์บอเนต (diethyl carbonate) หรือ ไดเมทิลคาร์บอเนต (dimethyl carbonate) ส่วนเยื่อเลือกผ่าน (separator) กั้นระหว่างขั้วทั้งสอง ทำจากพอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) หรือพอลิเอทิลีน (polyethylene, PE)

เมื่อมีการอัดประจุ (charge) ไอออนของลิเทียมจะเคลื่อนออกจากโครงสร้างของขั้วบวก ผ่านเยื่อเลือกผ่าน เข้าสู่ขั้วลบ เกิดเป็นสารประกอบของลิเทียมและคาร์บอน และขณะเดียวกันอิเล็กตรอนจะเคลื่อน จากขั้วบวกสู่ขั้วลบผ่านวงจรภายนอก และขณะเกิดการคายประจุ (discharge) ปฏิกิริยาจะเกิดใน ทางตรงกันข้าม ดังแสดงในรูปที่ 2.3 กระบวนการที่ไอออนของลิเทียมสอดแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้าง ของวัสดุขั้วบวกหรือขั้วลบ เรียกว่า lithium intercalation หรือ lithium insertion



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ขณะอัดประจุ Li^+ จะเข้าระหว่างชั้น ของแกรไฟต์ในขั้วลบ และขณะคายประจุ Li^+ จะเข้าสู่โครงสร้างของวัสดุขั้วบวก

2.3.1.2 ประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียม และการใช้งานแต่ละประเภท

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้ในปัจจุบันมี 6 ประเภทหลัก โดยทั่วไปจะแบ่งตามวัสดุที่ใช้ขั้วบวก ส่วนขั้วลบทำจากแกรไฟต์เป็นหลัก แต่จะมีประเภท LTO (Lithium Titanate) ที่แตกต่างออกไปคือ มีขั้ว

ลบเป็น ลิเทียมไททาเนต ทั้งนี้ เนื่องจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละประเภทมีสมบัติแตกต่างกัน จึงเหมาะสมต่อ การใช้งานที่แตกต่างกันไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆ วัสดุขั้วลบและบวก และการใช้งาน

ประเภทที่	วัสดุขั้วบวก	วัสดุขั้วลบ	การใช้งาน
1	Lithium Cobalt Oxide (LiCoO ₂ , LCO)	แกรไฟต์	โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต แล็บท็อป กล้องดิจิทัล
2	Lithium Manganese Oxide (LiMn ₂ O ₄ , LMO)	แกรไฟต์	เครื่องมือไฟฟ้า (Power tools) อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า
3	Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (Li(Ni,Mn,Co)O ₂ , NMC, NCM)	แกรไฟต์	จักรยานไฟฟ้า อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (มักใช้ในรถไฮบริด) ระบบสำรองไฟฟ้า
4	Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (Li(Ni,Co,Al)O ₂ , NCA)	แกรไฟต์	อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (เช่นที่พบใน Tesla Model S) ระบบสำรองไฟฟ้า
5	Lithium Iron Phosphate (LiFePO ₄ , LFP)	แกรไฟต์	ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า หรือแทนแบตเตอรี่กรดตะกั่วในรถยนต์ (Start-Lighting-Ignition battery) ระบบที่ต้องการกระแสและความทนทานสูง
6	แกรไฟต์ หรือ LMO	Lithium Titanate (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ , LTO)	ระบบสำรองไฟฟ้า ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV)

2.3.1.3 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมแต่ละชนิด

สมบัติของแบตเตอรี่แต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 2.1 นอกจากสมบัติของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เป็นขั้วแล้ว ผู้ผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนยังสามารถออกแบบให้แบตเตอรี่มีสมบัติเด่นด้านความจุพลังงาน กำลังไฟฟ้า หรือจำนวนรอบในการใช้งานได้ด้วย ทำให้สามารถเลือกแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อลักษณะการใช้งาน เช่น ผู้บริโภคต้องการให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาสามารถใช้งานได้ยาวนาน ดังนั้น ผู้ผลิตอุปกรณ์เหล่านี้จะ เลือกใช้แบตเตอรี่ที่ออกแบบให้มีความจุพลังงานสูง หรือหากเลือกแบตเตอรี่เพื่อใช้งานในส่วนไฟฟ้าแบบไร้สาย ผู้ผลิตก็ควรเลือกใช้แบตเตอรี่ที่เน้นด้านกำลังไฟฟ้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่แต่ละประเภท

วัสดุขั้วบวก	หน่วย	LCO หรือ NCA	NMC	LMO		LFP
วัสดุขั้วลบ		แกรไฟต์	แกรไฟต์	แกรไฟต์	LTO	แกรไฟต์
ออกแบบโดยเน้น		ความจุพลังงาน	ความจุพลังงาน หรือกำลังไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	จำนวนรอบ ในการใช้งาน	กำลังไฟฟ้า
ช่วงแรงดันในการใช้งาน (Operating voltage range)	V	2.5-4.2	2.5-4.2	2.5-4.2	1.5-2.8	2.0-3.6
แรงดันเฉลี่ย (Nominal cell voltage)	V	3.6-3.7	3.6-3.7	3.7-3.8	2.3	3.3
ความจุพลังงานต่อน้ำหนัก	Wh/kg	175-240 (cylindrical) 130-450 (pouch)	100-240	100-150	70	60-110
ความจุพลังงานต่อปริมาตร	Wh/L	400-640 (cylindrical) 250-450 (pouch)	250-640	250-350	120	125-250
อัตราการคายประจุอย่างต่อเนื่อง (Continuous discharge rate)	C ²	2-3	2-3 สำหรับ แบตเตอรี่ความจุ พลังงานสูง >30 สำหรับ แบตเตอรี่กำลัง ไฟฟ้าสูง	>30	10	10-125
อายุการใช้งาน ¹	รอบ	500+	500+	500+	4000+	1000+
ช่วงอุณหภูมิที่สามารถอัด ประจุได้	°C	0-45	0-45	0-45	-20-45	0-45
ช่วงอุณหภูมิที่สามารถคาย ประจุได้	°C	-20-60	-20-60	-30-60	-30-60	-30-60
ความปลอดภัย	1-4 (4 = ปลอดภัยที่สุด)	2	3	3	4	4
ราคา	1-4 (4 = ราคา ต่ำที่สุด)	3 (LCO) 2 (NCA)	3	3	1	3

2.3.1.4 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ลิเทียมเป็นวัสดุองค์ประกอบการผลิตแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน เทคโนโลยีการผลิตแบตเตอรี่ด้วยลิเทียมมีจุดเริ่มต้นจากวิจัย ในช่วงปี ค.ศ. 1970 ขณะนั้นเป็นแบตเตอรี่ชนิดใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ลิเทียมมีคุณสมบัติที่เด่นคือ เป็นโลหะที่เบา ให้แรงดันไฟฟ้าสูง และยังมีความหนาแน่นของพลังงานสูงและกำลังไฟฟ้าสูงในน้ำหนักที่เท่ากัน ปัญหาของโลหะลิเทียม (Lithium Metal) ในระยะแรกคือ เรื่องของความปลอดภัยกล่าวคือ ในระหว่างชาร์จไฟมีแนวโน้มที่จะเกิดความไม่เสถียร ทำให้ระเบิดได้ง่าย งานวิจัยในระยะต่อมาจึงได้มีการทดลองเปลี่ยนจากการใช้ลิเทียมในรูปของโลหะมาเป็นรูปของไอออน ซึ่งมีความปลอดภัยมากกว่ามาก ถึงแม้จะให้พลังงานที่น้อยกว่า แบตเตอรี่ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิเทียมไอออนแบบชาร์จกระแสไฟฟ้าซ้ำได้ออกสู่ตลาดในเชิงพาณิชย์เป็นครั้งแรกในปี 1991 โดยบริษัท Sony Corporation จากนั้นก็ได้มีการผลิตแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนออกมามากมาย เพื่อตอบสนองอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หลากหลายประเภทและเป็นกลุ่มแบตเตอรี่ที่มีความนิยมในการใช้งานสูงสุด โดยข้อดีและข้อเสีย ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนสามารถสรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตาราง 2.3 ข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> ❖ ความหนาแน่นของพลังงานและกำลังไฟฟ้าสูง ❖ มีน้ำหนักเบา ❖ อายุการใช้งานนานและวงรอบการใช้งานนานกว่าชนิดอื่น ❖ มีอัตราการคายประจุตัวเองต่ำ (Low Self-discharge) เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ เช่น ต่ำกว่า NiCd และ NiMH ถึงกว่าครึ่ง ❖ การบำรุงรักษาง่าย ไม่ต้องกระตุ้นก่อนการใช้งาน 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ มีการเสื่อมสภาพตามเวลาแม้ว่าไม่มีการใช้งาน แบตเตอรี่ลิเทียมมีอายุการใช้งานประมาณ 2-3 ปี (อายุอาจนานกว่านี้หากชาร์จไว้บางส่วนและเก็บในที่เย็น) ❖ ราคาสูงเมื่อเทียบกับ NiCd และ NiMH

2.3.1.5 ผลของอุณหภูมิกับความเสียหายของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

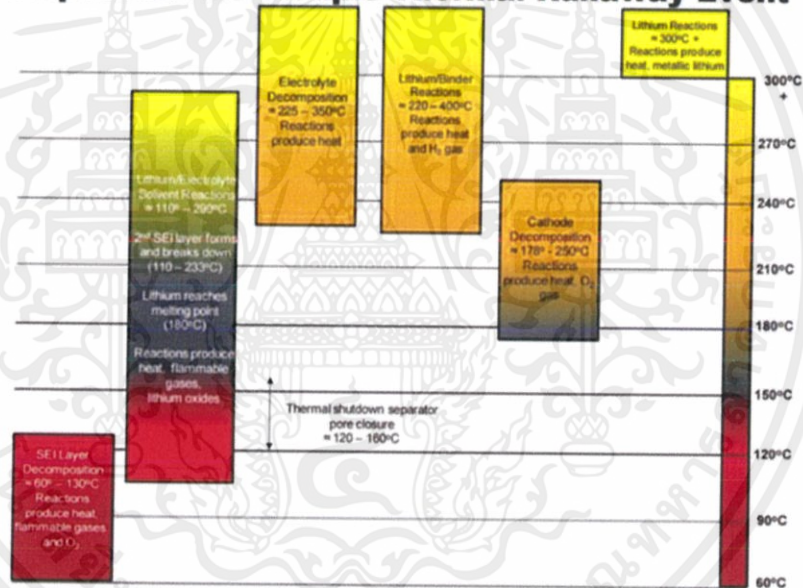
แม้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจะมีความปลอดภัยสูงกว่าแบตเตอรี่ที่ใช้โลหะลิเทียมเป็นขั้ว แต่บางครั้ง ก็อาจมีอันตรายได้เช่นกัน แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอาจเกิดความร้อนสูงได้จากหลายสาเหตุ เช่น การกักเก็บหรือ ใช้งานแบตเตอรี่ในสถานที่ที่มีอุณหภูมิสูง การที่แบตเตอรี่ได้รับแรงกระแทกหรือถูกของมีคมเจาะจนทำให้ได้รับ ความเสียหาย อาจเกิดขึ้นได้ทั้งระหว่างการขนส่งและการใช้งาน หรือแบตเตอรี่อาจมีตำหนิจากขั้นตอนการผลิต เช่น เยื่อเลือกผ่านมีการฉีกขาด หรือมีโลหะปนเปื้อน ทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรจากภายในแบตเตอรี่

นอกจากนี้ ไม่ว่าจะเป็นการอัดหรือคายประจุแบตเตอรี่โดยปกติก็เกิดความร้อนอยู่แล้ว แต่หากแบตเตอรี่ หรือเครื่องประจุแบตเตอรี่ (charger) มีความผิดปกติก็อาจทำให้เกิดอันตรายได้ สาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดไฟไหม้ได้ คือ การที่แบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุเกินกว่าที่รับได้ (overcharge) ซึ่งอาจเกิดในกรณีเช่นเครื่องประจุแบตเตอรี่มีความบกพร่องทำให้ไม่หยุดการอัดประจุแม้ว่าแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเต็มแล้ว หรือแบตเตอรี่เสื่อมสภาพทำให้รับประจุได้น้อยลง สาเหตุอีกประการคือการใช้งานแบตเตอรี่อย่างหนัก เช่น การอัดหรือคายประจุด้วยกระแสสูงเป็นเวลานาน ยิ่งหากใช้ในสถานที่ที่มีอุณหภูมิสูงหรือแบตเตอรี่ไม่สามารถระบายความร้อนได้ดีนั้นก็ยิ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ได้สูง หากแบตเตอรี่มีอุณหภูมิภายในถึง 60°C จะเริ่มมีความร้อนสูงขึ้นที่ขั้วลบและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ มีปฏิกิริยาข้างเคียงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สต่างๆที่อาจติดไฟได้ และเกิดความร้อนขึ้นด้วยส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่องจนในที่สุดอาจเกิดไฟลุกไหม้หรือระเบิดได้ เหตุการณ์ดังกล่าวเรียกว่าการเกิดความร้อน ต่อเนื่องแบบกู่ไม่กลับ (thermal runaway) ในบางกรณีอุณหภูมิอาจเพิ่มสูงถึง 900°C ได้ รูปที่ 2.4 แสดงลำดับเหตุการณ์ต่างๆ ตามอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความร้อนต่อเนื่องแบบกู่ไม่กลับในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

Illustration of Chemical Breakdown of Li-Ion Cell Components in Example Thermal Runaway Event



รูปที่ 2.4 ลำดับเหตุการณ์ตามอุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับการเกิดความร้อนต่อเนื่องแบบกู่ไม่กลับในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.3.1.6 การบวมของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไฮโดรคาร์บอน (C_xH_y) เช่น เอทิลีน (C_2H_4) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นปกติอยู่แล้ว ดังนั้น เราจึงมักพบอาการบวม ในแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพแล้ว อย่างไรก็ตาม การใช้งานบางลักษณะอาจช่วยเร่งให้เกิดแก๊สได้เร็วหรือในปริมาณ ที่สูงขึ้น เช่น การใช้หรือเก็บแบตเตอรี่ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง การอัดประจุไว้นานเต็มหรือเกือบเต็มตลอดเวลา เช่น เวลา ที่เสียบอุปกรณ์ไว้กับเครื่องประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอด และการอัดประจุเกินกว่าที่แบตเตอรี่รับได้ นอกจากนี้ ผู้ผลิต แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจะต้องทำการปิดผนึกแบตเตอรี่เพื่อป้องกันอากาศและความชื้นเข้าไปทำปฏิกิริยากับ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ หากผู้ผลิตปิดผนึกไม่หนาแน่น หรือผนึกมีการเสื่อมสภาพจากความร้อนหรือความชื้นสูง ก็จะทำให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์เสื่อมสภาพ เกิดผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สได้เช่นกัน

ถ้าพบว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนบวมไม่ควรนำมาใช้งานต่อ เนื่องจากอาจเกิดอันตรายได้ (เช่น การเกิดความร้อนต่อเนื่องแบบกู่ไม่กลับ) ผู้ใช้ควรนำเทปพันสายไฟปิดที่ขั้วทั้งสองเพื่อป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร แล้วทิ้งในถังขยะสำหรับซากแบตเตอรี่โดยเฉพาะ เพื่อจะได้มีการนำไปจัดการอย่างปลอดภัยต่อไป

2.3.1.7 การยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

การที่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีอุณหภูมิภายในที่สูงจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพเร็ว ดังนั้น จึงไม่ควรเก็บ และใช้งานแบตเตอรี่ในอุณหภูมิสูง เช่น ไม่ควรเก็บโทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต ไว้ในรถยนต์ที่จอดทิ้งไว้ เป็นต้น การเก็บแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนไว้ในสภาพที่อัดประจุจนเต็มหรือเกือบเต็มตลอดเวลา ก็เร่ง การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ด้วยเช่นกัน ตารางที่ 2.4 แสดงผลของระดับการประจุ (state of charge) และอุณหภูมิ ในการกักเก็บแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนต่อความจุพลังงานที่เหลือเมื่อเทียบกับความจุเริ่มต้น จะเห็นได้ว่า การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ที่เก็บที่อุณหภูมิสูงและอัดประจุจนเต็ม 100% จะตกลงไปมากที่สุด

ตารางที่ 2.4 ความจุพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเทียบกับค่าเริ่มต้นเมื่อเก็บที่ระดับการประจุ 40% และ 100% และอุณหภูมิ 0-60°C

อุณหภูมิ (°C)	ความจุที่เหลือหลังจากเก็บแบตเตอรี่ (Remaining Capacity)	
	เก็บที่ระดับการประจุ 40%	เก็บที่ระดับการประจุ 100%
0	98%	94%
25	96%	80%
40	85%	65%
60	75%	60% (หลังเก็บไว้ 3 เดือน)

การใช้งานแบตเตอรี่อย่างหนัก เช่น การเปิดฟังก์ชันติดตามตำแหน่ง (track location) หรือใช้งานหลายๆ แอปพลิเคชันพร้อมกันก็ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมอายุได้ไวขึ้น เช่นกัน นอกจากนี้ ระดับการคายประจุ (Depth of Discharge; DoD) ก็มีผลต่อจำนวนรอบการใช้งานด้วย หากใช้งานแบตเตอรี่ (คายประจุ) ไปเล็กน้อย เช่น จากเต็ม 100% เหลือ 90% (เรียกว่า 10% DoD) แล้วอัดประจุ กลับเข้าไปใหม่ และทำเช่นนี้เป็นประจำ จะพบว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีอายุการใช้งานที่ยืนยาวกว่าแบตเตอรี่ ที่ใช้งานแบบคายประจุจนหมด (เรียกว่า 100% DoD) แล้วจึงอัดประจุใหม่ ดังแสดงเป็นตัวอย่างในตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

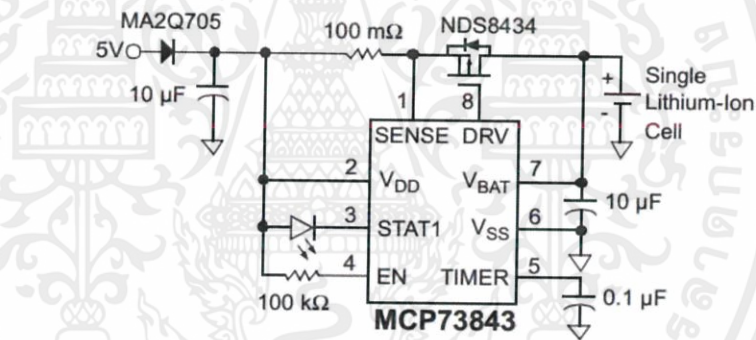
ตารางที่ 2.5 ผลของระดับการคายประจุต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ระดับการคายประจุในแต่ละครั้ง (DoD) (%)	อายุการใช้งาน (ครั้ง)
100	300-500
50	1,200-1,500
25	2,000-2,500
10	3,750-4,700

2.3.2 วงจรชาร์จ (charger)

2.3.2.1 หลักการชาร์จของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

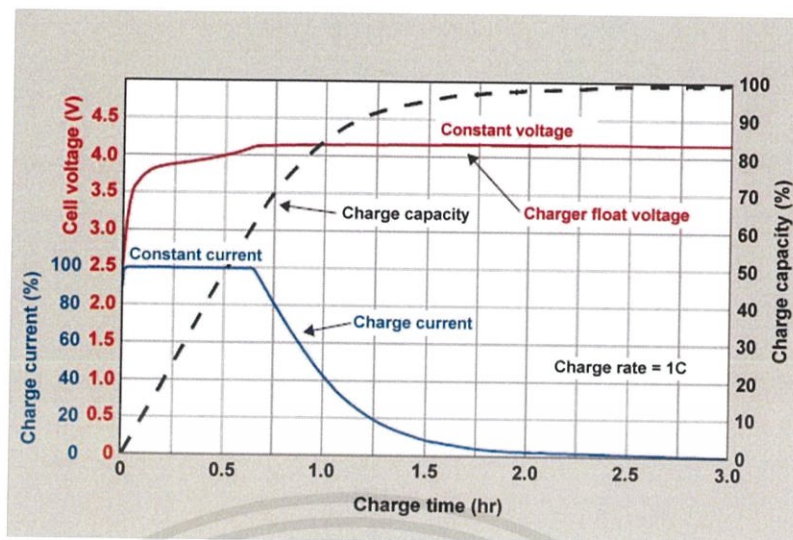
ในที่นี้เราใช้ IC MCP73843 ในการออกแบบวงจรชาร์จ วงจรชาร์จจะรับคำสั่งลจิกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อสั่งในการชาร์จ เมื่อมีค่าแรงดันที่ขา Enable Input มากกว่า 1.4 โวลต์ วงจรจะทำการชาร์จ แต่ถ้ามีค่าแรงดันที่ขา Enable Input ต่ำกว่า 0.8 โวลต์ วงจรจะหยุดการชาร์จ และเมื่อปล่อยไฟเลี้ยงเข้าวงจร และมีแรงดันที่ขา Drive Output น้อยกว่า 4.5 โวลต์ จะทำให้ P-channel MOSFET ทำงาน และทำการประจุให้กับแบตเตอรี่ต่อไป



รูปที่ 2.5 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.3.2.2 กราฟความสัมพันธ์ของการประจุแบตเตอรี่

เมื่อแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีค่าแรงดันที่ 3.6-4.0 โวลต์ ระบบจะประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสคงที่ (Constant Current ,CC) และแรงดันในการประจุแบตเตอรี่ ช่วงนี้จะมีอัตราเพิ่มขึ้น และเมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันมากกว่า 4.0 โวลต์ ระบบจะประจุแบตเตอรี่ด้วยแรงดันคงที่ (Constant Voltage ,CV)



รูปที่ 2.6 การความสัมพันธ์การชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูยโน

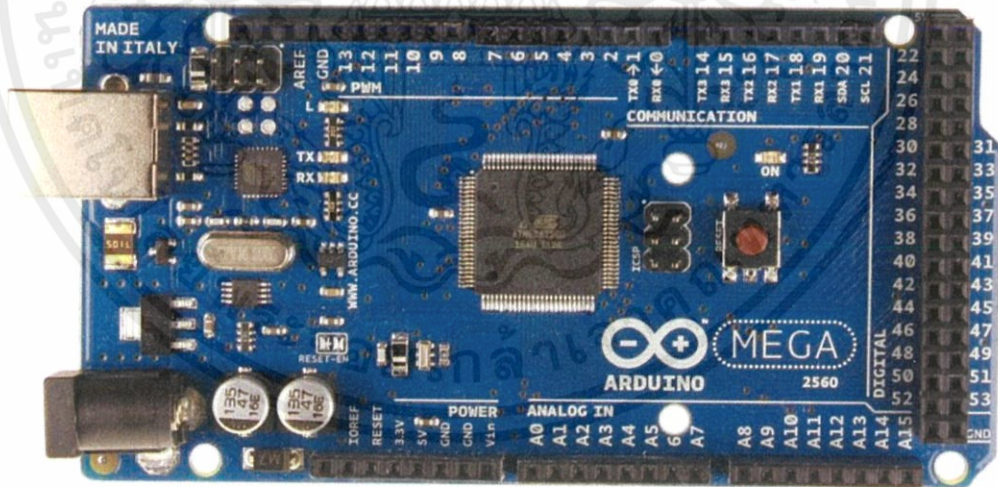
อาดูยโน เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้เอวีอา (Automatic Voltage Regulator: AVR) ขนาดเล็กเป็นตัวประมวลผลและสั่งงานเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์ใช้งานต่างๆ ได้มากมาย ทั้งในรูปแบบที่เป็นการทำงานตัวเดียวอิสระ หรือ เชื่อมต่อสั่งงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่า อาดูยโน สนับสนุนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ใช้งานต่างๆ ได้มากมาย ทั้งแบบดิจิทัลและแบบอนาล็อก เช่น การรับค่าจากสวิทช์ การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า และอุปกรณ์ตรวจจับตัวตรวจจับแบบต่างๆ เป็นต้น รวมไปถึงการควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุต (Output) ต่างๆ ตั้งแต่ แอลอีดี หลอดไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า และรีเลย์ เป็นต้น โดยระบบฮาร์ดแวร์ของอาดูยโนสามารถสร้างและประกอบขึ้นใช้งานได้เอง ในกรณีที่ผู้ใช้พอมีความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์อยู่บ้างหรือสามารถซื้อแผงวงจรสำเร็จดังรูปที่ 2.7 มีการผลิตออกจำหน่ายกันในราคาไม่แพง สำหรับเรื่องของโปรแกรมที่จะใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนานั้น สามารถบันทึกมาใช้งานได้ไม่เสียค่าใช้จ่ายโดยอาดูยโนมีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมและมีเอกสารข้อมูลรวมทั้งตัวอย่างต่างๆ ให้ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเรียนรู้เป็นจำนวนมาก เนื่องจากอาดูยโนเป็นระบบการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์แบบโอเพนซอร์ส (Open source) ซึ่งมีการตีพิมพ์เอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องออกมาเผยแพร่ให้ได้รับรู้เป็นระยะๆ รวมทั้งการเปิดเผยซอร์ซโค้ด (Source code) และตัวอย่างต่างๆ ให้ผู้ใช้งานนำไปใช้งาน หรือ พัฒนาต่อยอดต่อยอดได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้คนทั่วไปให้ความสนใจและนำไปศึกษาทดลองใช้งานกันมากมาย มีการนำไปดัดแปลงและสร้างเป็นโครงการแบบต่างๆ กันเป็นจำนวนมาก จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้เริ่มต้นที่สามารถนำเอาตัวอย่างใช้ประยุกต์กับโครงการต่างๆ อาดูยโนมีการผลิตมาเยอะมากจนมีหลายรุ่นออกมา ซึ่งแต่ละรุ่นได้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถแตกต่างกันตามแต่ละรุ่นไปและในแต่ละรุ่นขนาดก็ไม่เท่ากัน สามารถนำไปใช้งานได้ตามความเหมาะสมของชิ้นงานนั้นๆ เปรียบเทียบคุณสมบัติของแต่ละรุ่นตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของอาดุยโน้แต่ละประเภท

	Processor					Input / Output						Power				Connectivity					
	Family	SRAM	FLASH	EEPROM	Clock	Digital IO	Analog In	ADC Bits	PWM	UART	Analog Out	DAC Bits	VCC	Vin Range	SV	3V3	Serial	USB-Serial	I2C	Ethernet	USB-host
Arduino UNO R3	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	8	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	No	No	No
Arduino UNO SMD	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	8	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	No	No	No
Arduino Mega 2560 R3	ATmega2560	8k	256k	4k	16MHz	54	16	10	14	4	N/A	N/A	5V	7-18V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	No	No	No
Arduino Mega ADK	ATmega2560	8k	256k	4k	16MHz	54	16	10	14	4	N/A	N/A	5V	7-18V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	MAX3421E	No	No
Arduino Leonardo	ATmega32U4	2.5k	32k	1k	16MHz	25	12	10	7	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	Built-in	1	No	No	No
Arduino Mini OS	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	8	1	N/A	N/A	5V	7V-9V	Yes	No	N/A	1	No	No	No
Arduino Pro Mini 328 - 3.3V	ATmega328	2k	32k	1k	8MHz	14	6	10	8	1	N/A	N/A	3.3V	5V-12V	No	Yes	N/A	1	No	No	No
Arduino Pro Mini 328 - 5V	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	8	1	N/A	N/A	5V	7V-12V	Yes	No	N/A	1	No	No	No
Arduino Ethernet with PoE module	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	9	6	10	4	1	N/A	N/A	5V	6-18V	Yes	Yes	N/A	1	No	No	No
Arduino Ethernet without PoE module	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	9	6	10	4	1	N/A	N/A	5V	6-18V	Yes	Yes	N/A	1	No	No	No
Arduino DUE	SAM3X8E	90k	512k	N/A	84MHz	70	12	12	12	4	2	12	3.3V	7-12V	No	VC C	Built-in	2	No	Yes	No



รูปที่ 2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอาดุยโน้เบอร์ Atmega2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของ Arduino Mega2560



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของบอร์ด Atmega2560

จากรูปที่ 2.8 เป็นโครงสร้างของบอร์ด ATmega2560 ซึ่งมีอุปกรณ์และลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้

- หมายเลข 1 คือ ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอก สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งแบบกระแสไฟฟ้าสลับและกระแสไฟฟ้าตรง สามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้า 7 โวลต์ ถึง 12 โวลต์
- หมายเลข 2 คือ ขั้วเชื่อมต่อสายยูเอสบี
- หมายเลข 3 คือ ขั้วเชื่อมต่อสายยูเอสบีสำหรับติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยใช้ FT232RL มีวงจรสำหรับตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้า เพื่อสลับการใช้งานแหล่งจ่ายจากยูเอสบีไปเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าได้เอง โดยอัตโนมัติ โดยเมื่อไม่ได้ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า บอร์ดจะใช้ไฟจากพอร์ต ยูเอสบีเป็นแหล่งจ่ายในการทำงาน แต่เมื่อมีการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า จะสลับไปใช้แหล่งจ่ายจาก แหล่งจ่ายไฟฟ้าเองโดยอัตโนมัติ
- หมายเลข 4 คือ แอลอีดี VEXT ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการต่อใช้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้า
- หมายเลข 5 คือ แอลอีดี +VCC ใช้แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟฟ้าของบอร์ด โดยเมื่อบอร์ดต่อใช้งานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะแสดงสถานะโดยการให้ แอลอีดี VEXT และ แอลอีดี +VCC ติดสว่างพร้อมกันทั้งคู่ แต่ถ้าบอร์ดใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพอร์ตยูเอสบี จะแสดงสถานะโดยการให้แอลอีดี +VCC ติดสว่างเพียงดวงเดียว
- หมายเลข 6 คือ แอลอีดี แสดงสถานะของอาร์เอ็กซ์ และทีเอ็กซ์ ใช้สำหรับแสดงการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างบอร์ด ATmega2560 กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตยูเอสบี

- หมายเลข 7 คือ แอลอีดี D13 ใช้สำหรับแสดงการทำงานของบูทโพลเดอร์ และใช้ทดสอบการทำงานของบอร์ดจากการควบคุมของขา D13 ทำงานด้วยลอจิก 1 และหยุดทำงานด้วยลอจิก 0
- หมายเลข 8 คือ สวิตช์รีเซต
- หมายเลข 9 คือ ขั้วต่อในการดาวน์โหลดโปรแกรม
- หมายเลข 10 คือ ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3.3 โวลต์ ถึง 5 โวลต์
- หมายเลข 11, 12 คือ ขั้วต่อสัญญาณอนาล็อก
- หมายเลข 13, 14, 15 คือ ขั้วต่อสัญญาณดิจิทัล
- หมายเลข 16 คือ ขั้วต่อสัญญาณดิจิทัล

Power

Arduino Mega สามารถเชื่อมรับพลังงานโดยการเชื่อมต่อ micro USB connector หรือจาก power supply จากภายนอกได้ โดยแหล่งพลังงานจะถูกเลือกโดยอัตโนมัติ

แหล่งจ่ายจากภายนอกสามารถมาได้จาก AC-to-DC adapter หรือจากแบตเตอรี่ โดยต่อเข้ากับ 2.1mm center-positive plug ไปยังช่องเสียบแหล่งจ่าย และการต่อเข้ากับแบตเตอรี่สามารถทำได้โดยการต่อเข้ากับ GND และ Vin pin header ของ power connector

บอร์ดสามารถทำงานได้ในช่วงแรงดัน 6 ถึง 20 volts ถ้า แหล่งจ่ายมีค่าต่ำกว่า 7 V อาจส่งผลให้ 5 V pin มีแรงดันที่ต่ำกว่า 5V และ บอร์ดอาจจะไม่เสถียร แต่ถ้าหากแรงดันมีค่าสูงกว่า 12 V อาจส่งผลให้บอร์ด Overheat และอาจทำให้บอร์ดเสียหายได้ ดังนั้นช่วงแรงดันที่เหมาะสมกับบอร์ดคือ 7 V ถึง 12 V

- Vin เป็น input voltage ของบอร์ด Arduino โดยใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก
- 5V เป็น output pin ที่ควบคุม 5 V จากบอร์ด
- 3V3 เป็น 3.3 volt supply ที่สร้างขึ้นจาก regulator บนบอร์ด และให้กระแสได้สูงสุด 50 mA
- GND เป็น ground pin
- IOREF เป็น pin ที่ให้ voltage reference กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเลือกค่าแรงดัน

ให้กับ shield ที่มาเชื่อมต่อกับบอร์ด

Memory

ATmega2560 มีหน่วยความจำ 256 KB (8 KB ใช้สำหรับ bootloader) มีหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม (EEPROM) 4 กิโลไบต์ มีหน่วยความจำแรม (SRAM) 8 กิโลไบต์

Input and Output

ในแต่ละ digital pins ทั้ง 54 pins บนบอร์ด Arduino Uno สามารถเป็นได้ทั้ง input และ output โดยจะทำงานที่แรงดัน 5 V และให้กระแสสูงสุด 40 mA

ฟังก์ชันอื่นๆเพิ่มเติม

- Serial: 0 (Rx) และ 1(Tx); Serial 1: 19(Rx) และ 18 (Tx); Serial 2: 17 (Rx) และ 16(Tx); Serial 3:15 (Rx) และ 14 (Tx) ใช้สำหรับรับ (Rx) และส่ง(Tx) TTL serial data โดย pin 0 และ 1 จะถูกเชื่อมต่อไปยัง corresponding pins ของ ATmega16U2 USB-to-TTL serial chip
- External Interrupts: 2 (interrupt 0) , 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), 21 (interrupt 2). pins เหล่านี้สามารถที่จะกำหนดค่าที่เรียก interrupt ในค่าต่างๆ, ขอบขาขึ้นและลง หรือเปลี่ยนแปลงค่า
- PWM: 2 ถึง 13 และ 44 ถึง 46 ให้ output PWM output 8-bits
- SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS) ใช้สำหรับรองรับการสื่อสารแบบ SPI โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกันกับ ICSP header ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับ Uno, Duemilanove และ Diecimila
- LED 13 : เป็น build-in LED ที่เชื่อมต่อกับ digital pin 13 เมื่อ pin มีค่าเป็น HIGH LED จะติด , แต่เมื่อ pin เป็น LOW LED จะดับ
- TWI : 20 (SDA) and 21 (SCL). รองรับการทำงานต่อแบบ TWI(I2C)
- บอร์ด Mega2560 มี 16 analog inputs แต่ละ pins ให้ความละเอียด 10 bits
- AREF. แรงดันอ้างอิง สำหรับ analog input
- Reset ใช้ในการ reset ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทั่วไปจะใช้โดยการเพิ่มปุ่ม reset ไว้บน sheild เพื่อป้องกันปุ่มที่อยู่บนบอร์ด

Communication

Arduino Uno สามารถสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ ,Arduino ตัวอื่นๆ หรือ microcontroller ได้ โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอร์ด คือ ATmega32U4 จะให้การสื่อสารแบบอนุกรม UART TTL (5V) ซึ่งมีอยู่ใน pins 0 (Rx) และ 1 (Tx) นอกจากนี้ 32U4 สามารถใช้การสื่อสารแบบอนุกรมผ่าน USB และจะปรากฏเป็น COMport เสมือนไปยัง Software แต่อย่างไรก็ตามต้องใช้ไฟล์.inf บนระบบปฏิบัติการ Windows แต่ OSX และ Linux สามารถ recognize ได้โดยอัตโนมัติ

Programming

Arduino Uno สามารถรองรับการโปรแกรมด้วย Arduino Software โดยสามารถใช้ได้ทั้งในระบบปฏิบัติการ Windows , Mac OS X และ Linux

2.3.4 การแสดงผลด้วยจอ LCD ของ Arduino

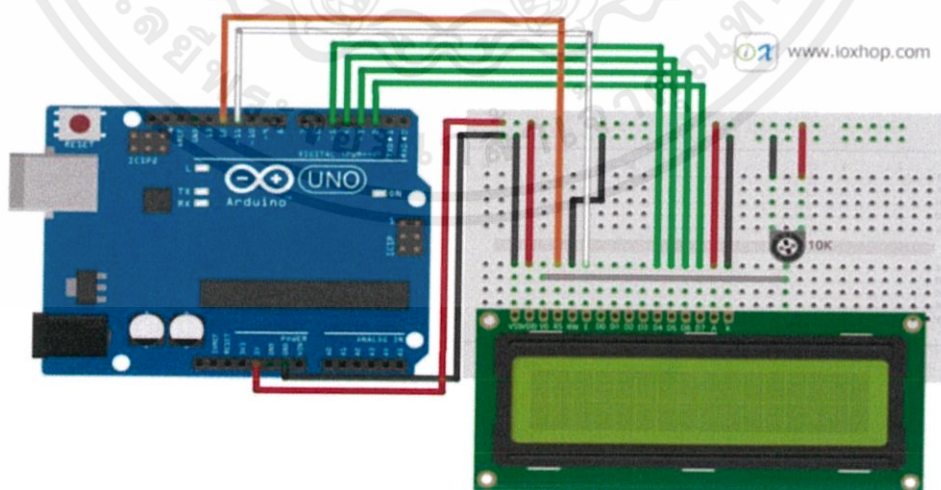
2.3.4.1 ประเภทของ LCD

จอ LCD แบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ๆ ตามลักษณะการแสดงผลดังนี้

1. Character LCD เป็นจอที่แสดงผลเป็นตัวอักษรตามช่องแบบตายตัว เช่นจอ LCD ขนาด 16x2 หมายถึงใน 1 แถวมีตัวอักษรใส่ได้ 16 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัดให้ใช้งาน ส่วน 20x4 จะหมายถึงใน 1 แถวมี ตัวอักษรใส่ได้ 20 ตัว และมีทั้งหมด 4 บรรทัด
2. Graphic LCD เป็นจอที่สามารถกำหนดได้ว่าจะให้แต่ละจุดบนหน้าจอขึ้นแสง หรือปล่อยแสงออกไป ทำให้อจอนี้สามารถสร้างรูปขึ้นมาบนหน้าจอได้ การระบุขนาดจะระบุในลักษณะของจำนวนจุด (Pixels) ในแต่ละแนว เช่น 128x64 หมายถึงจอที่มีจำนวนจุดตามแนวนอน 128 จุด และมีจุดตามแนวตั้ง 64 จุด

2.3.4.2 การเชื่อมต่อ Arduino กับจอ Character LCD

1. การเชื่อมต่อแบบขนาน-เป็นการเชื่อมต่อจอ LCD เข้ากับบอร์ด Arduino โดยตรง โดยจะแบ่งเป็นเชื่อมต่อแบบ 4 บิต และการเชื่อมต่อแบบ 8 บิต ใน Arduino จะนิยมเชื่อมต่อแบบ 4 บิต เนื่องจากใช้ต่อน้อยกว่า
 2. การเชื่อมต่อแบบอนุกรม-เป็นการเชื่อมต่อกับจอ LCD ผ่านโมดูลแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อกับจอ LCD จากแบบขนานมาเป็นการเชื่อมต่อแบบอื่นที่ใช้สายน้อยกว่า เช่น การใช้โมดูล I2C Serial Interface จะเป็นการนำโมดูลเชื่อมเข้ากับตัวจอ LCD แล้วใช้บอร์ด Arduino เชื่อมต่อกับบอร์ดโมดูลผ่านโปรโตคอล I2C ทำให้ใช้สายเพียง 4 เส้นก็สามารถทำให้หน้าจอแสดงผลข้อความต่างๆออกมาได้
- การเชื่อมต่อ Arduino กับจอ LCD แบบขนาน
การเชื่อมต่อแบบขนาน 4 บิต สามารถต่อได้ตามวงจรด้านล่างนี้



รูปที่ 2.9 การใช้งาน Character LCD กับ Arduino การเชื่อมต่อแบบขนาน

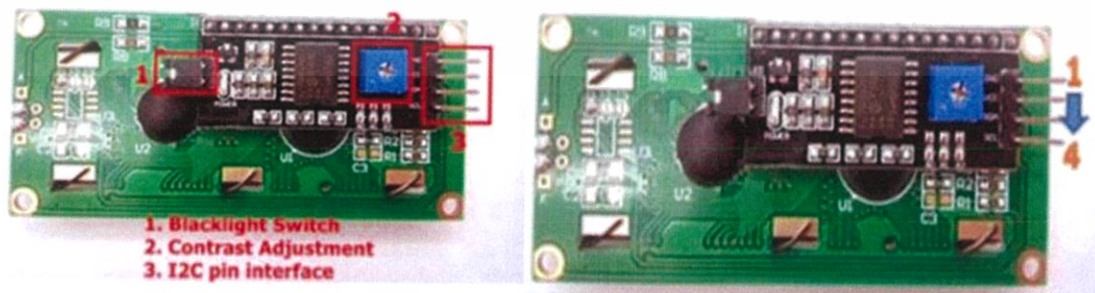
เมื่อต่อวงจรเรียบร้อยแล้วต่อสาย USB เข้ากับบอร์ด Arduino จะเห็นกล่องสี่เหลี่ยมทั้งหมด 16 ตัว (หากเป็นจอ 16x2) ในบรรทัดแรกหากไม่พบกล่องให้รับความชัดได้จาก VR ที่ต่ออยู่กับขา V0

ตารางที่ 2.7 ตารางขาของจอ LCD 16x2 แบบขนาน

Pin No	Symbol	Description
1	VSS/GND	Ground
2	VDD	+5VDC
3	VO/VEE	LCD Control สำหรับปรับความเข้มของตัวอักษร
4	RS	Register Select เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกเขียนอ่านข้อมูลในรีจิสเตอร์
5	RW	Read/Write เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกโหมดเขียนหรืออ่านข้อมูล
6	E/EN	Enable เป็นขาอินพุตสำหรับสัญญาณ Pulse เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูล
7	DB0	Data Pins 8-Bit
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
15	A	(LED+) เป็นขา Vcc สำหรับ LED backlight (5V)
16	K	(LED-) เป็นขา Gnd สำหรับ LED backlight (Gnd)

- การเชื่อมต่อ Arduino กับจอ LCD แบบอนุกรม

จอ LCD ที่มีการเชื่อมแบบ I2C หรือเรียกอีกอย่างว่าการเชื่อมต่อแบบ Serial เป็นจอ LCD ธรรมดาทั่วไป ที่มาพร้อมกับบอร์ด I2C Bus ที่ทำให้การใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้นและมาพร้อมกับ VR สำหรับปรับความเข้มของจอใน รูปแบบ I2C ใช้ขาในการเชื่อมต่อกับ Arduino เพียง 4 ขา (แบบ Parallel ใช้ 16 ขา) ซึ่งทำให้ใช้งานได้ง่ายและ สะดวกมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.10 ขาของจอ LCD 16x2 แบบอนุกรม (I2C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ตารางขาของจอ LCD แบบอนุกรม

Arduino UNO R3	LCD (I2C)
GND	GND (Pin 1)
+5VDC	VCC (Pin 2)
A4 (SDA)	SDA (Pin 3 Serial Data)
A5 (SCL)	SCL (Pin 4 Serial Clock)

2.3.5 การเก็บผลการทดลองด้วย SD CARD

ข้อมูลทั่วไปของ SD Card

SD Card หรือเรียกชื่อเต็มๆ ว่า Secure Digital Card นั้นนิยมนำมาใช้กับอุปกรณ์พกพาขนาดเล็กต่างๆ หลายประเภท ไม่ว่าจะเป็น โทรศัพท์มือถือ, กล้องดิจิทัล หรือเครื่องพีดีเอ โดยที่ SD Card นั้นพัฒนาขึ้นมาอยู่บนพื้นฐานของการัดหน่วยความจำแบบ MMC Card โดยจะมีความกว้างและยาวเท่ากัน นั่นคือมีความยาว 32 มิลลิเมตร และกว้าง 24 มิลลิเมตร แต่จะมีความหนาที่มากกว่า MMC Card อยู่เล็กน้อย นั่นคือมีความหนา 2.1 มิลลิเมตร โดยทาง บริษัท Toshiba ได้เพิ่มความสามารถทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ทำหน้าที่เข้ารหัสข้อมูลเข้าไปในเทคโนโลยีเดิมของ MMC Card และยังใส่เทคนิคพิเศษที่เรียกว่า DRM (Digital Rights Management) ซึ่งเป็นตัวจัดการเกี่ยวกับเรื่องของลิขสิทธิ์ของข้อมูลมาให้ นอกจากนั้นที่ด้านข้างของ SD Card ยังมีสวิตช์ล๊อคสำหรับป้องกันการเขียนข้อมูลทับเอาไว้ให้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม SD Card ก็ยังมีข้อเสียเปรียบ MMC Card อยู่บ้าง เช่นเรื่องของการสูญเสียพื้นที่ข้อมูลไปโดยเปล่าประโยชน์ กล่าวคือในกรณีของ SD Card ในทุกๆ 64MB จะมีอัตราการสูญเสียพื้นที่ข้อมูลไปประมาณ 1.5MB ในขณะที่ MMC Card ในทุกๆ 64MB จะมีอัตราการสูญเสียพื้นที่ข้อมูลไปเพียงประมาณ 0.5MB เท่านั้น ซึ่งถือว่าต่างกันมากกว่า 3 เท่าเลยทีเดียว

โดยทั่วไปแล้ว ความเร็วในการทำงานของ SD Card จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ ระดับปกติ และ ระดับ High Speed ที่มีอัตราการโอนถ่ายข้อมูลที่เร็วกว่าระดับปกติ ซึ่ง SD Card แบบ High Speed นั้นมักจะถูกนำไปใช้กับงานที่ต้องการความเร็วสนการโอนถ่ายข้อมูลสูงกว่าปกติ เช่นในการใช้งานโหมดถ่ายภาพวิดีโอ หรือภาพต่อเนื่องในกล้องดิจิทัลบางรุ่น หากผู้ใช้ต้องการให้ภาพที่ออกมาดูต่อเนื่องนุ่มนวล ก็ต้องเลือกใช้ SD Card แบบ High Speed เนื่องจากในการใช้งานรูปแบบดังกล่าวย่อมต้องมีจำนวนข้อมูลที่โอนถ่ายในระยะเวลาสั้นๆ มากกว่าปกติ

อุปกรณ์ที่มีสล็อตสำหรับใส่ SD Card ก็มักจะนำ MMC Card ไปใส่ได้ด้วย เนื่องจาก MMC Card มีความกว้างยาวเท่ากันกับ SD Card เพียงแต่จะบางกว่าเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุปกรณ์ใดที่มีสล็อตสำหรับใส่ MMC Card จะไม่สามารถนำ SD Card ไปใส่ได้ เนื่องจาก SD Card มีความหนา

เกินกว่าที่จะใส่ได้ และหากต้องการนำ SD Card ไปใส่ในสล็อตของ CompactFlash หรือ PC Card ก็ยังสามารถทำได้ โดยใช้ Adapter เป็นตัวแปลง

สล็อตของ SD Card ของอุปกรณ์บางอย่างหรือบางรุ่น สามารถรองรับการใช้งาน SDIO ได้ ด้วย โดยเฉพาะอุปกรณ์จำพวกเครื่องพีดีเอ, พ็อคเก็ตพีซีหรืออาจจะเป็นโทรศัพท์มือถือ และ โน้ตบุ๊ก บางรุ่น ซึ่งถ้าหากอุปกรณ์ใดสามารถรองรับการใช้งาน SDIO ได้ ก็จะสามารถนำอุปกรณ์เสริมพิเศษ ต่างๆ ที่ต่อผ่านทาง SDIO มาใช้งานได้ ไม่ว่าจะเป็นตัวรับสัญญาณจีพีเอส, Wi-Fi, บลูทูธ, อินฟราเรด , โมเด็ม, เครื่องอ่านบาร์โค้ด, วิทยุเอฟเอ็ม หรือแม้แต่กล้องดิจิทัลก็สามารถนำมาเชื่อมต่อได้ เป็นต้น

ระดับความเร็วของ SD Card

หน่วยวัดความเร็วในการทำงานของ SD Card นิยมใช้กันอยู่ 2 แบบคือ กิโลไบต์ต่อวินาที (KByte/s) และ เมกกะไบต์ต่อวินาที (MByte/s) และตัวคูณความเร็ว มักจะแทนด้วยตัว "x" ซึ่งเป็น ทำนองเดียวกันกับโทรศัพท์ซีดีรอม โดยที่ "x" แต่ละหน่วยนั้น จะใช้แทนอัตราความเร็ว 150KByte/s ยกตัวอย่างเช่น

1x = 150KByte/s

2x = 300KByte/s

4x = 600KByte/s

10x = 1.5Mbyte/s

16x = 2.4Mbyte/s

32x = 4.8Mbyte/s

66x = 9.9Mbyte/s

133x = 19.95Mbyte/s

ผู้ผลิตแบ่งกลุ่มของ SD Card ตามความเร็วในการทำงานออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- 1.ระดับเริ่มต้น หมายถึง รุ่นที่มีความเร็วตั้งแต่ 1x ไปจนถึง 16x เหมาะกับที่มีกล้องดิจิทัลคอมแพ็คแบบธรรมดา ไม่มีฟังก์ชันการถ่ายภาพที่มากมาย หรือถ่ายภาพด้วยความละเอียดไม่มาก
- 2.ระดับมืออาชีพ หมายถึง รุ่นที่มีความเร็วตั้งแต่ 32x ไปจนถึง 66x (เช่น SD Card ยี่ห้อ SanDisk รุ่น Ultra)
- 3.ระดับสูงสุด หมายถึง รุ่นที่มีความเร็วอย่างน้อย 66x ไปจนถึง 133x (เช่น SD Card ยี่ห้อ SanDisk รุ่น Ultra II, Extreme และ Extreme III)

สำหรับผู้ใช้ที่มีการถ่ายภาพเป็นอาชีพ มีกล้องราคาแพงประสิทธิภาพสูง ถ่ายภาพในโหมดพิเศษบ่อยๆ หรือถ่ายภาพที่มีขนาดใหญ่เป็นพิเศษ ก็ควรจะเลือก SD Card ในกลุ่มระดับมืออาชีพ หรือระดับสูงสุด ก็จะช่วยให้การใช้งานเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ข้อมูลเชิงเทคนิคของ SD Card

- ขนาด 24 x 32 x 2.1 มิลลิเมตร
- น้ำหนัก 2 กรัม
- ปริมาตร 1,612 ลูกบาศก์มิลลิเมตร
- จำนวนขาขั้วต่อ (Pins) 9Pins
- ความเร็วสูงสุดของสัญญาณนาฬิกา 25MHz
- ความเร็วสูงสุดในการโอนถ่ายข้อมูล 19.95Mbyte/s (133x : ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ด้านบน)
- ระดับแรงดันไฟที่สามารถใช้งานได้ 2.7 ถึง 3.6 โวลต์
- ระดับอุณหภูมิที่สามารถใช้งานได้ 0 ถึง 60 องศาเซลเซียส (-32 ถึง 140 องศาฟาเรนไฮต์)
- ระดับอุณหภูมิที่สามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้ -20 ถึง 85 องศาเซลเซียส (-4 ถึง 185 องศาฟาเรนไฮต์)
- รองรับการถอดการ์ดและใส่การ์ดได้ไม่น้อยกว่า 10,000 รอบ
- สวิตช์ล๊อคที่ด้านข้างของตัวการ์ด สำหรับป้องกันการเขียนข้อมูลทับ
- มีระบบการรักษาความปลอดภัยแบบ SDMI (Security Digital Music Initiative)
- มีขนาดความจุให้เลือกตั้งแต่ 64, 128, 256, 512MB และ 1, 2GB
- ค่า Shock Resistance 2000 G (เท่ากับการปล่อยลงสู่พื้นจากระดับความสูง 10 ฟุต)
- ฟังก์ชัน DRM (Digital Rights Management) ช่วยจัดการเกี่ยวกับเรื่องลิขสิทธิ์ของข้อมูล

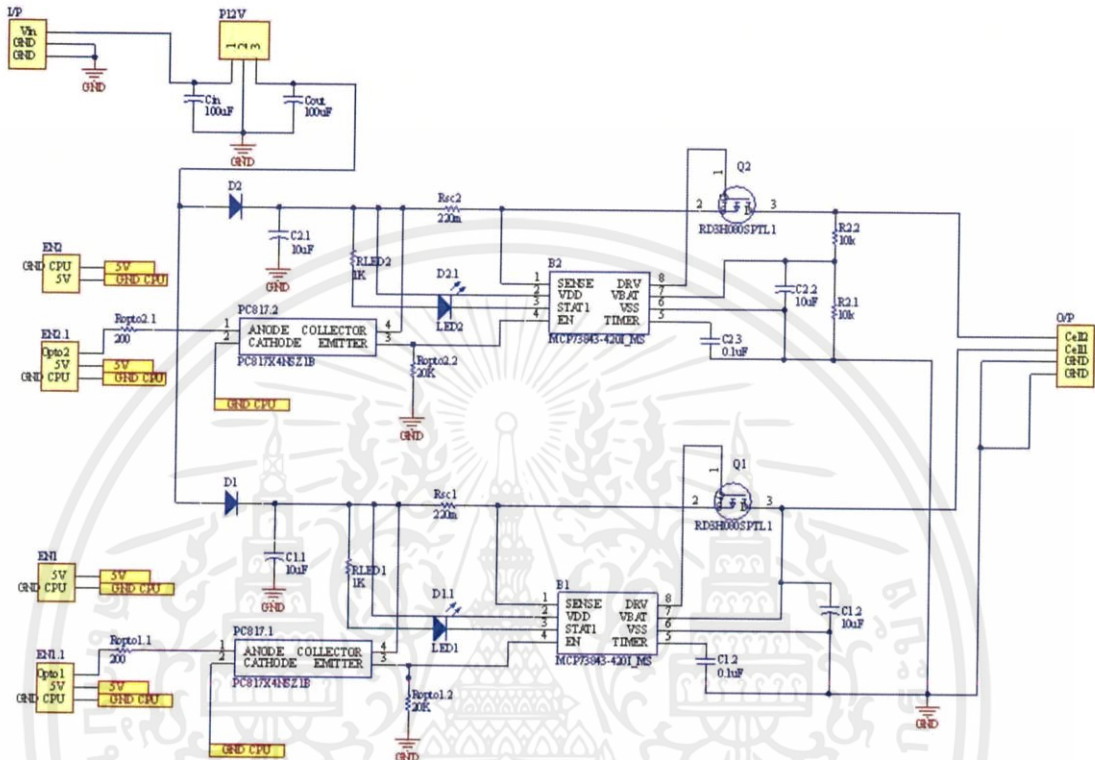
ตารางที่ 2.9 ตารางขาของ SD CARD

Arduino Mega 2560	SD CARD
3.3 V	3.3 V
GND	GND
5 V	5 V
Pin 53	CS
Pin 52	SCK
Pin 51	MOSI
Pin 50	MISO

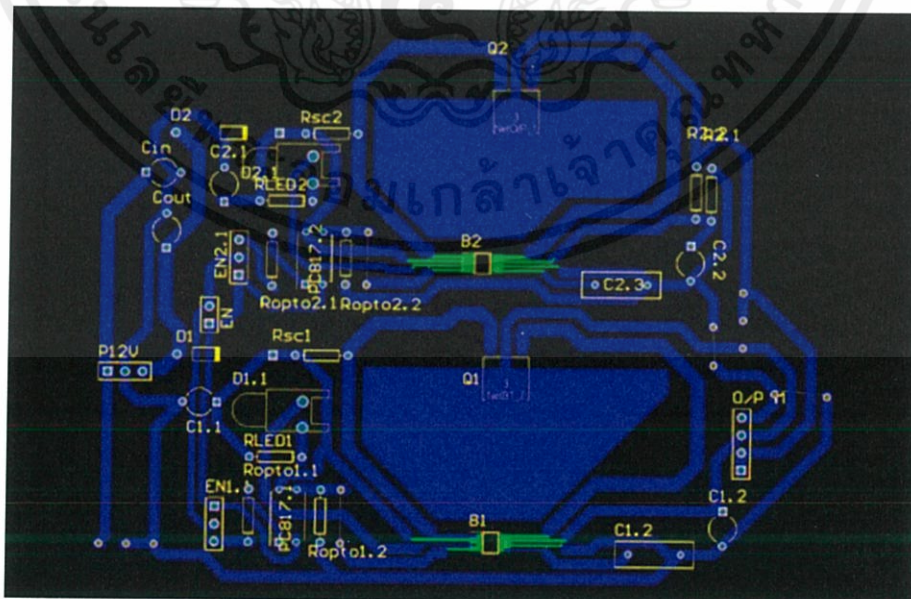
บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบวงจรประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน



รูปที่ 3.1 Schematic วงจรประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน



รูปที่ 3.2 ลายวงจรประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบการประจุแบตเตอรี่ ด้วย IC MCP73843

ตารางที่ 3.1 ตารางขา IC MCP73843 และ การใช้งาน

ลำดับขาของ MCP73843	ชื่อ	การใช้งาน
1	SENSE	กระแสชาร์จ อินพุท (Charge Current Sense Input)
2	VDD	ไฟเลี้ยงวงจรชาร์จ (Battery Management Input Supply)
3	STAT1	ตัวแสดงสถานะการชาร์จ (Charge Status Output)
4	EN	ลอจิก (Logic Enable)
5	TIMER	ตั้งเวลา (Timer Set)
6	VSS	อ้างอิงการจัดการ การชาร์จ 0 โวลต์ (Battery Management 0V Reference)
7	VBAT	แรงดันชาร์จ (Battery Voltage Sense)
8	DRV	ไดรฟ์ เอาท์พุท (Drive Output)

3.1.1 กระแสชาร์จอินพุท (Charge Current Sense Input)

กระแส (Fast Charge) ถูกกำหนด โดยแรงดันที่ตกคร่อมตัวตัวต้านทาน (R_{sense}) ดังนั้นการออกแบบกระแสชาร์จจึงต้องคำนวณความต้านทาน (R_{sense}) จาก

$$R_{sense} = \frac{V_{FCS}}{I_{RED}} = \frac{0.11 \text{ V}}{500 \text{ mA}} = 220 \text{ m}\Omega \quad (3.1)$$

เมื่อ I_{RED} คือ กระแส (Fast Charge) ที่เรากำหนด

3.1.2 ไฟเลี้ยงวงจรชาร์จ (Battery Management Input Supply)

แหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรชาร์จ MCP73843 สามารถออกแบบและควบคุมการจ่ายไฟได้ตามสมการต่อไปนี้

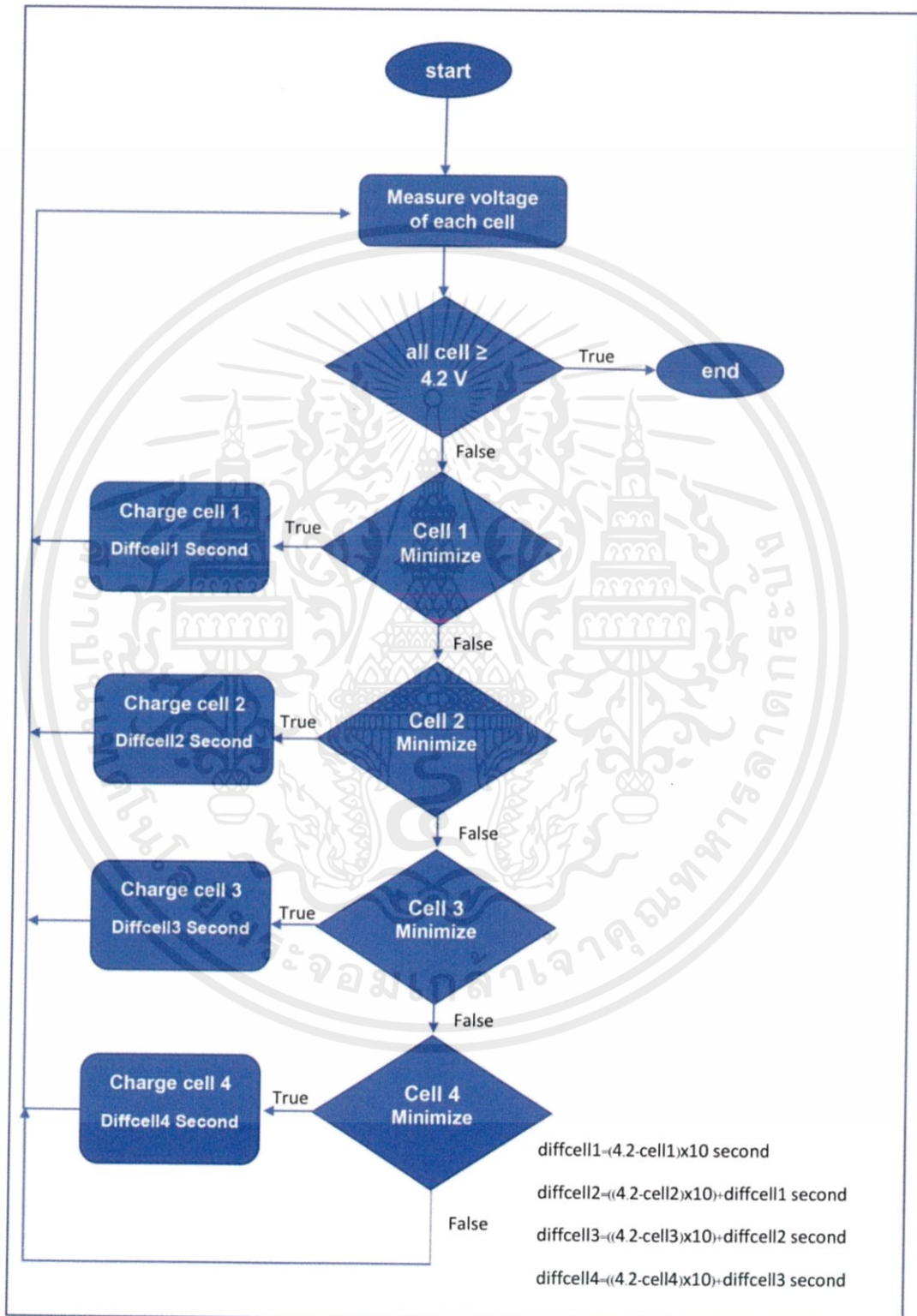
$$[V_{REG} (\text{Typ}) + 0.3\text{V}] \text{ ถึง } 12\text{V} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 SD CARD

เพื่อเก็บข้อมูลผลการทดลองและนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3.3 หลักการทำงานของระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม



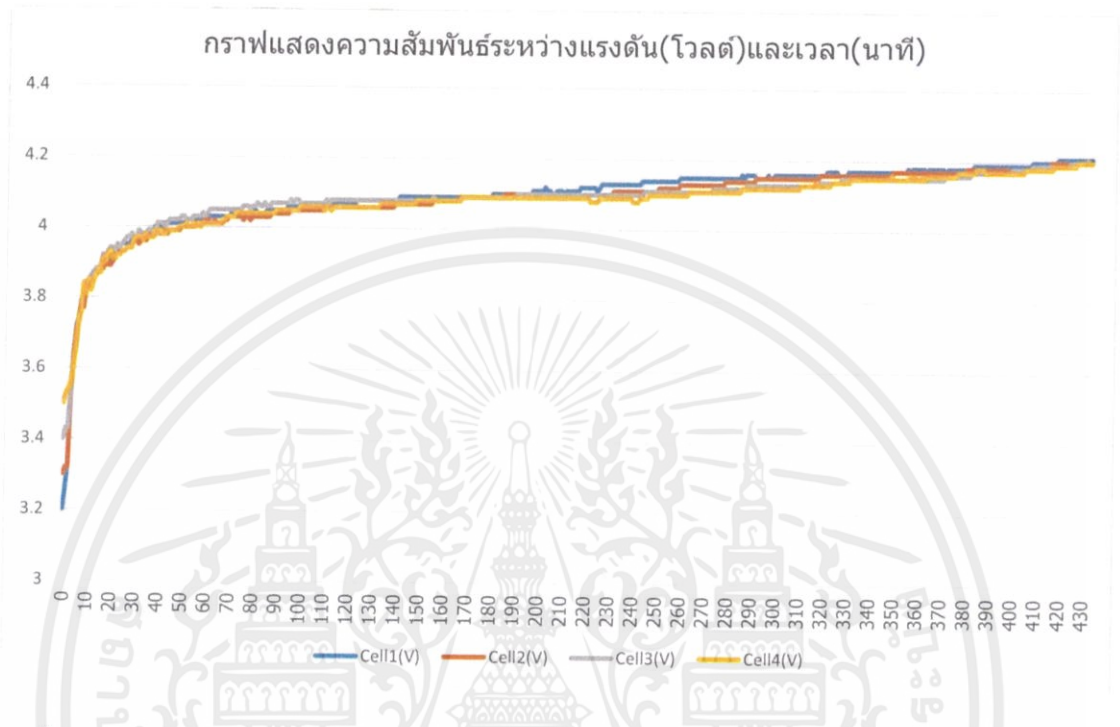
รูปที่ 3.5 Flowchart การทำงานของระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

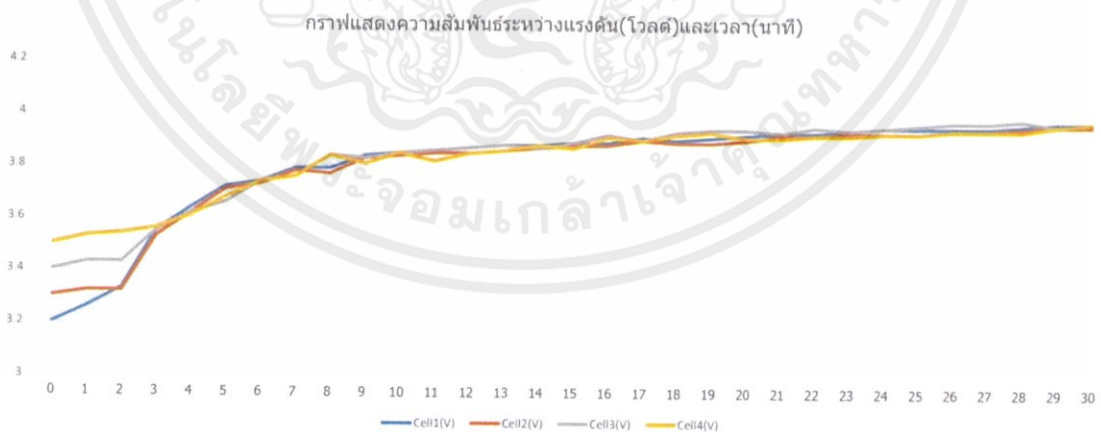
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการทดลองครั้งที่ 1 กรณี Cell 1 = 3.2 V, Cell 2 = 3.3 V, Cell 3 = 3.4 V, Cell 4 = 3.5 V

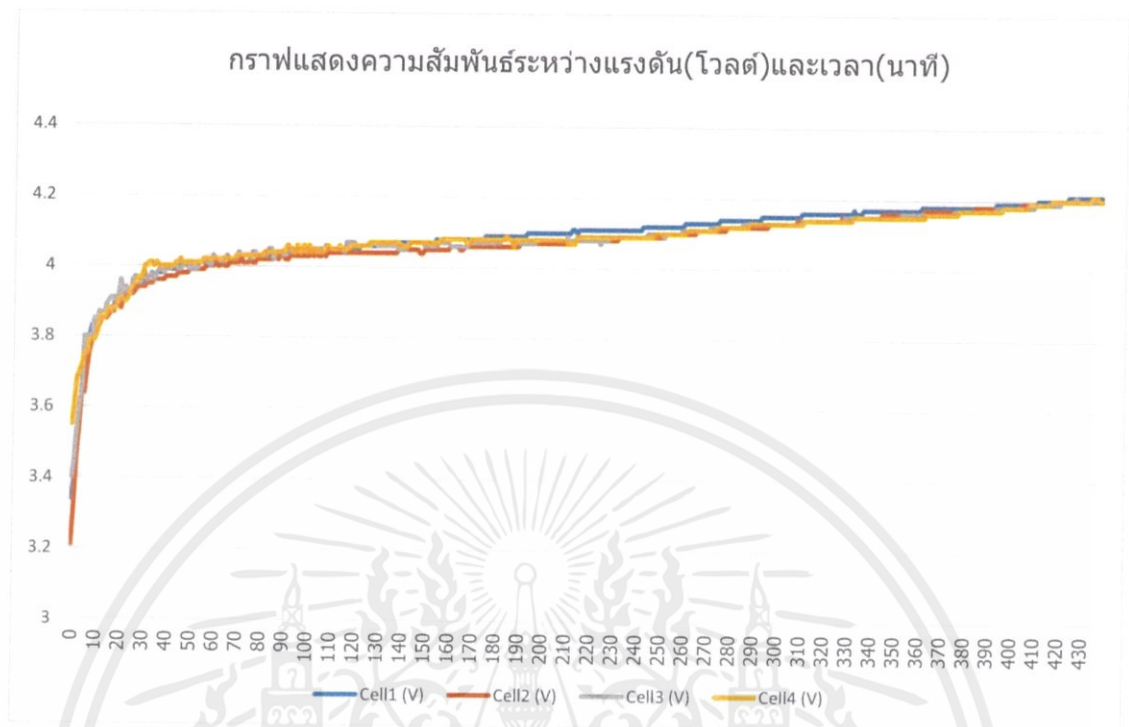


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่1

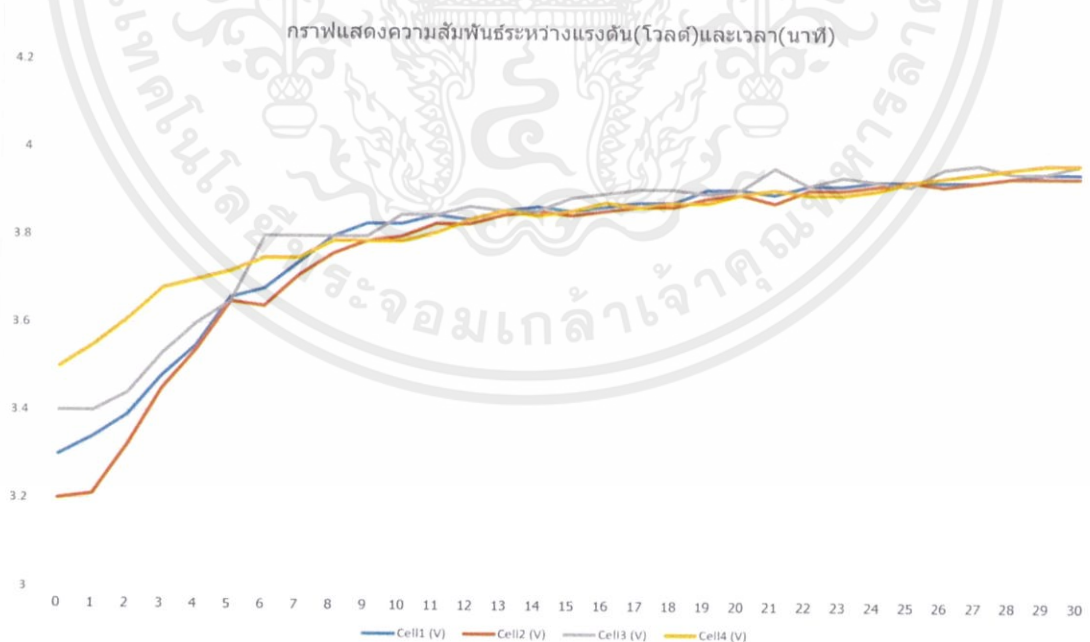


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่1

ผลการทดลองครั้งที่ 2 กรณี Cell 1 = 3.3 V, Cell 2 = 3.2 V, Cell 3 = 3.4 V, Cell 4 = 3.5 V



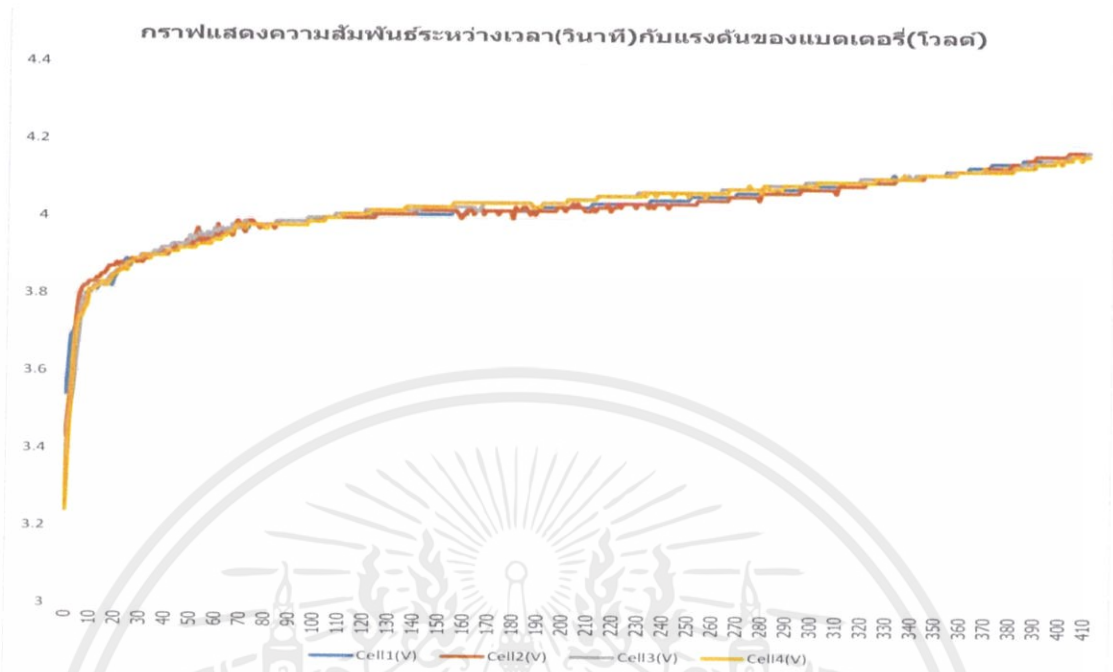
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่ 2



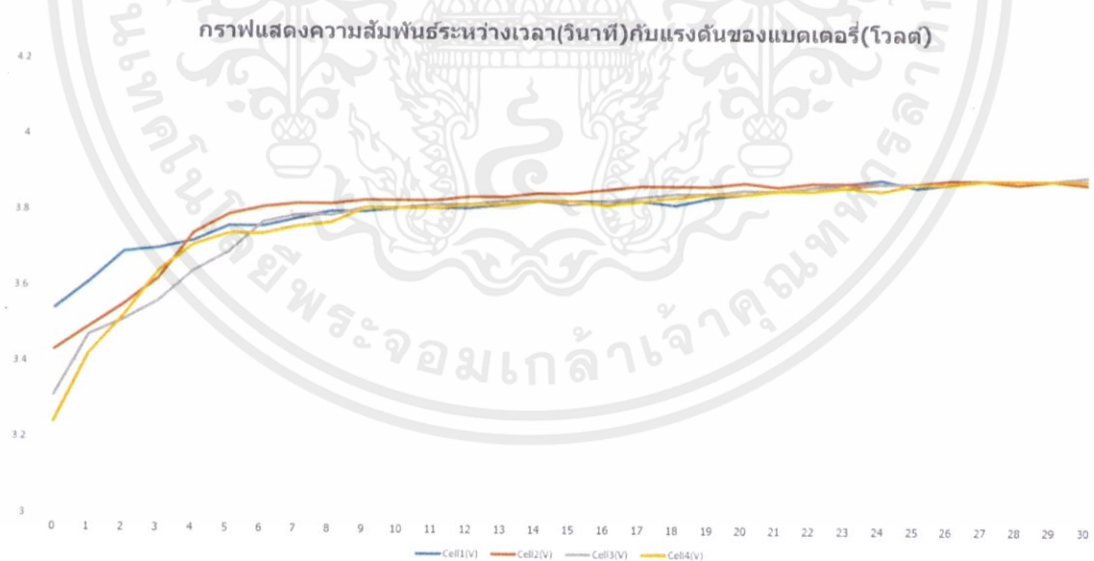
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 3 กรณี Cell 1 = 3.5 V, Cell 2 = 3.4 V, Cell 3 = 3.3 V, Cell 4 = 3.2 V



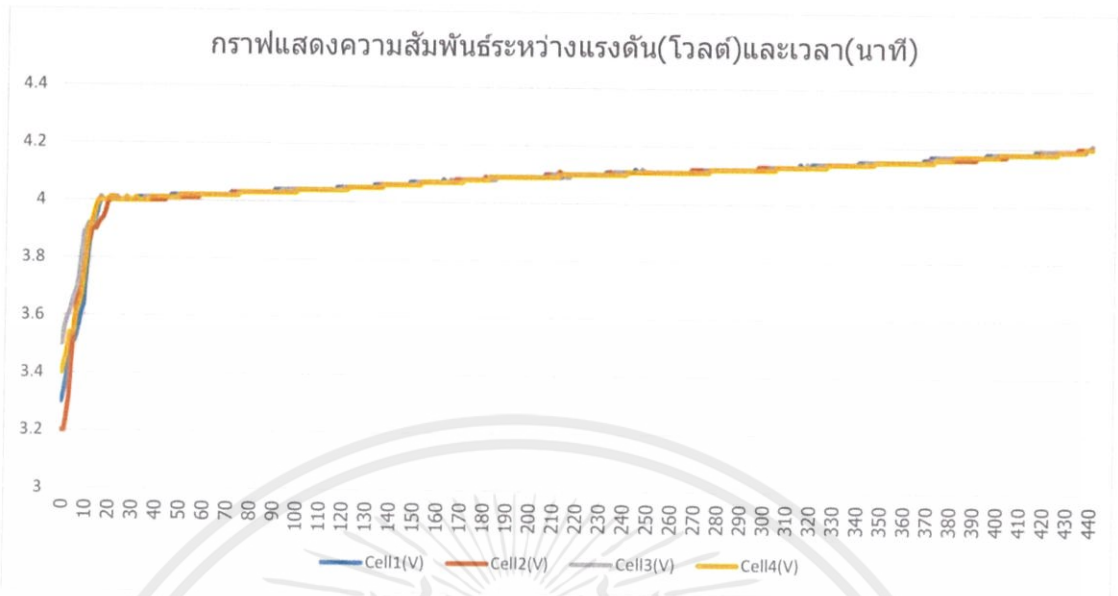
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่ 3



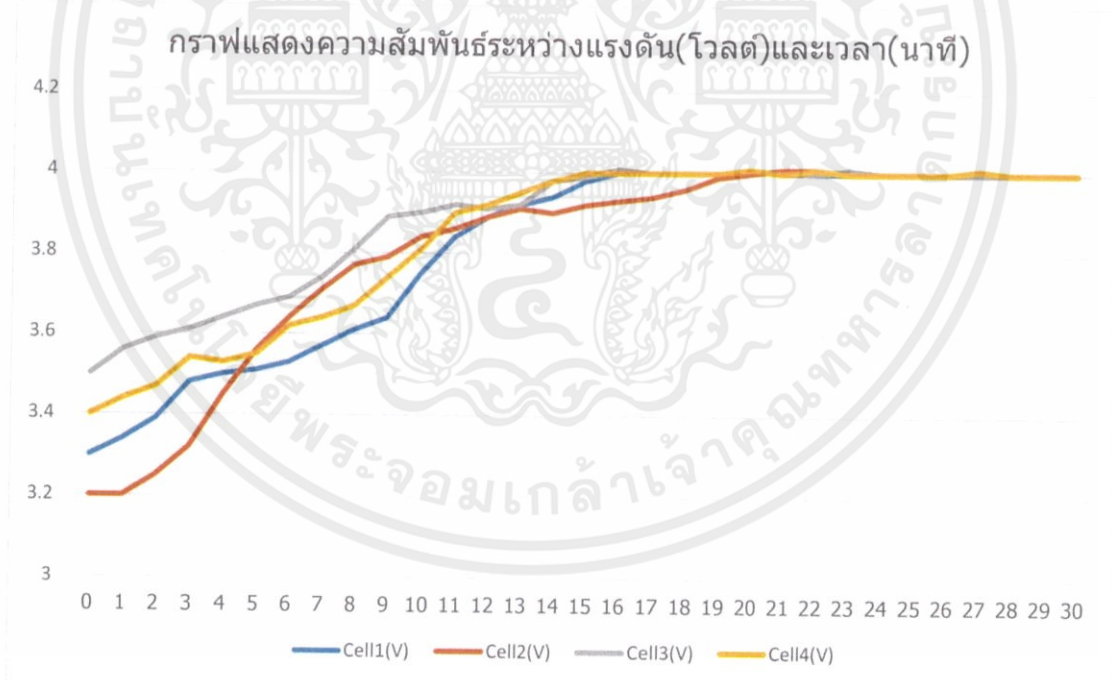
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 4 กรณี Cell 1 = 3.2 V, Cell 2 = 3.3 V, Cell 3 = 3.5 V, Cell 4 = 3.4 V



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่ 4



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ แรงดันของแบตเตอรี่ (โวลต์) ของผลการทดลองครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ระบบประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลายเซลล์แบบเหมาะสมนี้ใช้ IC MCP73843 ในการประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน สามารถบอกค่าแรงดันแบตเตอรี่ และ สถานะแบตเตอรี่ได้ แบตเตอรี่ที่นำมาประจุมีค่า 3.2V 3.3V 3.4V 3.5V ซึ่งการประจุแบตเตอรี่ทั้ง 4 ก้อนนี้ ใช้เวลาการประจุแบตเตอรี่ทั้งหมด 8 ชั่วโมง พบว่า ในช่วง 20 นาทีแรก แรงดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 3.2V ไปจนถึง 3.9V แรงดันของแบตเตอรี่ทุกก้อนจะมีค่าเท่ากันคือ 3.9 โวลต์ และ ทั้ง 4 ก้อน จะประจุแบตเตอรี่ไปพร้อมๆกันจนถึง 4.2 แบตเตอรี่จะเต็ม

5.2 อุปสรรคและปัญหา

5.2.1 ลายเส้นวงจรมีขนาดเล็ก จึงทำให้การกัดปรินท์ทำได้ยาก

5.2.2 แบตเตอรี่มีความเสื่อมเร็ว จึงทำให้ผลการทดลองอาจจะคลาดเคลื่อนได้

5.3 คำแนะนำ

5.2.1 ควรออกแบบลาย PCB และการวางอุปกรณ์ให้เหมาะสม

5.2.2 ควรศึกษาวงจร และหลักการออกแบบให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ก่อนการออกแบบจริง

5.2.3 แบตเตอรี่ที่นำมาทดลอง ควรมีการตรวจสอบ ให้มั่นใจว่ายังสามารถใช้ได้ ไม่เสื่อมสภาพ ผลที่ได้จากการทดลองจะได้ไม่คลาดเคลื่อนมากเกินไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] “arduinoคืออะไร.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.thaieasyelec.com>
- [2] “ศึกษาข้อมูลของบอร์ด Arduino Mega2560.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://mbeddedweekly.blogspot.com/2014/08/arduino-mega2560.html>
- [3] “แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www2.mtec.or.th>
- [4] “ข้อดีของลิเทียมไอออน.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.thaicharger.com>
- [5] “SD CARD.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.thaimobilecenter.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Smart Charger Arduino Code

```
#include <SPI.h>

#include <SD.h>

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,20,4);

File dataFile;

String filename = "celllog2.csv";

const int chipSelect = 53;

unsigned long NextLog;

unsigned long TimeLog;

unsigned long ShowTime;

int a,b,c,d;

int en1 = 9;

int en2 = 8;

int en3 = 7;

int en4 = 6;

float aa,bb,cc,dd,cell1,cell2,cell3,cell4,aaa,bbb,ccc,ddd;

float diff,delayms;

float diffcell1,diffcell2,diffcell3,diffcell4;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void setup()
{
  lcd.begin();

  lcd.backlight();

  lcd.setCursor(6,0);

  lcd.print("Multi Cell");

  lcd.setCursor(3,1);

  lcd.print("Li-ion Battery");

  lcd.setCursor(4,2);

  lcd.print("Smart Charger");

  delay(3000);

  lcd.clear();

  NextLog = 1;

  pinMode(en1,OUTPUT);

  pinMode(en2,OUTPUT);

  pinMode(en3,OUTPUT);

  pinMode(en4,OUTPUT);

  digitalWrite(en1,LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
digitalWrite(en2,LOW);

digitalWrite(en3,LOW);

digitalWrite(en4,LOW);

Serial.begin(9600);

if (SD.begin())

{

Serial.println("SD card is ready to use.");

} else

{

Serial.println("SD card initialization failed");

return;

}

}

void dataLog(){

dataFile = SD.open(filename, FILE_WRITE);

while(1){

if (dataFile) {

Serial.println("Write");

dataFile.print(NextLog);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

dataFile.print(",");

dataFile.print(cell1);

dataFile.print(",");

dataFile.print(cell2);

dataFile.print(",");

dataFile.print(cell3);

dataFile.print(",");

dataFile.println(cell4);

dataFile.close();

NextLog += 1;

break;

}

else {

Serial.println("error opening datalog.txt");

return;

}

}

}

}

void loop()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{  
  
    ShowTime = millis();  
  
    TimeLog = ShowTime/60000;  
  
    if( TimeLog == NextLog )  
  
    {  
  
        dataLog();  
  
    }  
  
    a=analogRead(A0);  
    b=analogRead(A1);  
    c=analogRead(A2);  
    d=analogRead(A3);  
    //Serial.println(a);  
    aa=a*(5.0/1023.0);  
    bb=b*(5.0/1023.0);  
    cc=c*(5.0/1023.0);  
    dd=d*(5.0/1023.0);  
  
    aaa=aa;  
  
    bbb=bb*(1+(10000/10000));  
  
    ccc=cc*(1+(20000/10000));  
  
    ddd=dd*(1+(30000/10000));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cell1=aaa;
```

```
cell2=bbb-aaa;
```

```
cell3=ccc-bbb;
```

```
cell4=ddd-ccc;
```

```
diffcell1=(4.2-cell1)*10000;
```

```
diffcell2=((4.2-cell2)*10000)+diffcell1;
```

```
diffcell3=((4.2-cell3)*10000)+diffcell2;
```

```
diffcell4=((4.2-cell4)*10000)+diffcell3;
```

```
lcd.clear();
```

```
lcd.setCursor(0,0);
```

```
lcd.print("CELL1 = ");
```

```
lcd.print(cell1);
```

```
lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("CELL2 = ");
```

```
lcd.print(cell2);
```

```
lcd.setCursor(0,2);

lcd.print("CELL3 = ");

lcd.print(cell3);

lcd.setCursor(0,3);

lcd.print("CELL4 = ");

lcd.print(cell4);

if (cell1 <= 3.2)
{
  lcd.setCursor(13,0);
  lcd.print("EMPTY ");
}
else if( 3.2 < cell1 < 4.2 )
{
  lcd.setCursor(13,0);

  lcd.print("CHARGE");
}

if (cell1 > 4.2)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
lcd.setCursor(13,0);

lcd.print("FULL ");

}

if (cell2 <= 3.2)

{

lcd.setCursor(13,1);

lcd.print("EMPTY ");

}

else if( 3.2 < cell2 < 4.2 )

{

lcd.setCursor(13,1);

lcd.print("CHARGE");

}

if (cell2 > 4.2)

{

lcd.setCursor(13,1);

lcd.print("FULL ");

}

}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (cell3 <= 3.2)

{

    lcd.setCursor(13,2);

    lcd.print("EMPTY ");

}

else if( 3.2 < cell3 < 4.2 )

{

    lcd.setCursor(13,2);

    lcd.print("CHARGE");

}

if (cell3 > 4.2)

{

    lcd.setCursor(13,2);

    lcd.print("FULL ");

}

if (cell4 <= 3.2)

{

    lcd.setCursor(13,3);

    lcd.print("EMPTY ");

}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
else if( 3.2 < cell4 < 4.2 )

{

    lcd.setCursor(13,3);

    lcd.print("CHARGE");

}

if (cell4 > 4.2 )

{

    lcd.setCursor(13,3);

    lcd.print("FULL ");

}

Serial.println(aaa);

Serial.println(bbb);

Serial.println(ccc);

Serial.println(ddd);

Serial.print("cell1 :");

Serial.println(cell1);

Serial.print("cell2 :");

Serial.println(cell2);

Serial.print("cell3 :");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Serial.println(cell3);

Serial.print("cell4 :");

Serial.println(cell4);

Serial.print("diffcell1 :");

Serial.println(diffcell1);

Serial.print("diffcell2 :");

Serial.println(diffcell2);

Serial.print("diffcell3 :");

Serial.println(diffcell3);

Serial.print("diffcell4 :");

Serial.println(diffcell4);

if ((cell1 <= cell2) && (cell1 <= cell3) && (cell1 <= cell4))
{

digitalWrite(en1,HIGH);

digitalWrite(en2,LOW);

digitalWrite(en3,LOW);

digitalWrite(en4,LOW);

delay(diffcell1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

else if ((cell2 <= cell1) && (cell2 <= cell3) && (cell2 <= cell4))

{

digitalWrite(en1,LOW);

digitalWrite(en2,HIGH);

digitalWrite(en3,LOW);

digitalWrite(en4,LOW);

delay(diffcell2);

}

else if ((cell3 <= cell1) && (cell3 <= cell2) && (cell3 <= cell4))

{

digitalWrite(en1,LOW);

digitalWrite(en2,LOW);

digitalWrite(en3,HIGH);

digitalWrite(en4,LOW);

delay(diffcell3);

}

else if ((cell4 <= cell1) && (cell4 <= cell2) && (cell4 <= cell3))

{

digitalWrite(en1,LOW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(en2,LOW);

digitalWrite(en3,LOW);

digitalWrite(en4,HIGH);

delay(diffcell4);

}

else if ((cell4 >= 4.2) && (cell3 >= 4.2) && (cell2 >= 4.2) && (cell1 >= 4.2))

{

digitalWrite(en1,LOW);

digitalWrite(en2,LOW);

digitalWrite(en3,LOW);

digitalWrite(en4,LOW);

}

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Advanced Single or Dual Cell Lithium-Ion/ Lithium-Polymer Charge Management Controllers

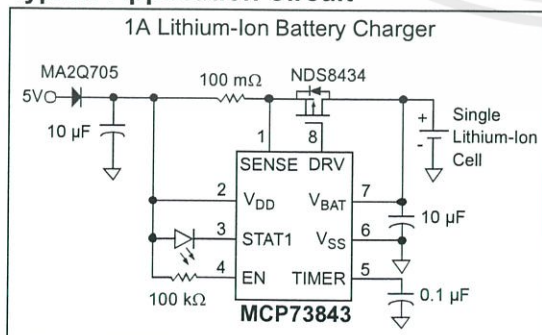
Features

- Linear Charge Management Controllers
- High-Accuracy Preset Voltage Regulation:
 - $\pm 0.5\%$ (max)
- Four Preset Voltage Regulation Options:
 - 4.1V - MCP73841-4.1, MCP73843-4.1
 - 4.2V - MCP73841-4.2, MCP73843-4.2
 - 8.2V - MCP73842-8.2, MCP73844-8.2
 - 8.4V - MCP73842-8.4, MCP73844-8.4
- Programmable Charge Current
- Programmable Safety Charge Timers
- Preconditioning of Deeply Depleted Cells
- Automatic End-of-Charge Control
- Optional Continuous Cell Temperature Monitoring (MCP73841 and MCP73842)
- Charge Status Output for Direct LED Drive
- Automatic Power-Down when Input Power Removed
- Temperature Range: -40°C to 85°C
- Packaging: MSOP-10 - MCP73841, MCP73842
MSOP-8 - MCP73843, MCP73844

Applications

- Lithium-Ion/Lithium-Polymer Battery Chargers
- Personal Data Assistants
- Cellular Telephones
- Hand-Held Instruments
- Cradle Chargers
- Digital Cameras
- MP3 Players

Typical Application Circuit



Description

The MCP7384X family of devices are highly advanced linear charge management controllers for use in space-limited, cost-sensitive applications. The MCP73841 and MCP73842 combine high accuracy, constant-voltage, constant-current regulation, cell preconditioning, cell temperature monitoring, advanced safety timers, automatic charge termination and charge status indication in space-saving, 10-pin MSOP packages. The MCP73841 and MCP73842 provide complete, fully-functional, stand-alone charge management solutions.

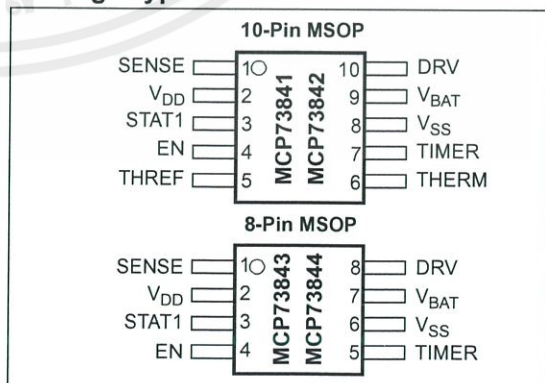
The MCP73843 and MCP73844 employ all the features of the MCP73841 and MCP73842, with the exception of the cell temperature monitor. The MCP73843 and MCP73844 are offered in 8-pin MSOP packages.

The MCP73841 and MCP73843 are designed for applications utilizing single-cell Lithium-Ion or Lithium-Polymer battery packs. Two preset voltage regulation options are available (4.1V and 4.2V) for use with either coke or graphite anodes. The MCP73841 and MCP73843 operate with an input voltage range of 4.5V to 12V.

The MCP73842 and MCP73844 are designed for applications utilizing dual series cell Lithium-Ion or Lithium-Polymer battery packs. Two preset voltage regulation options are available (8.2V and 8.4V). The MCP73842 and MCP73844 operate with an input voltage range of 8.7V to 12V.

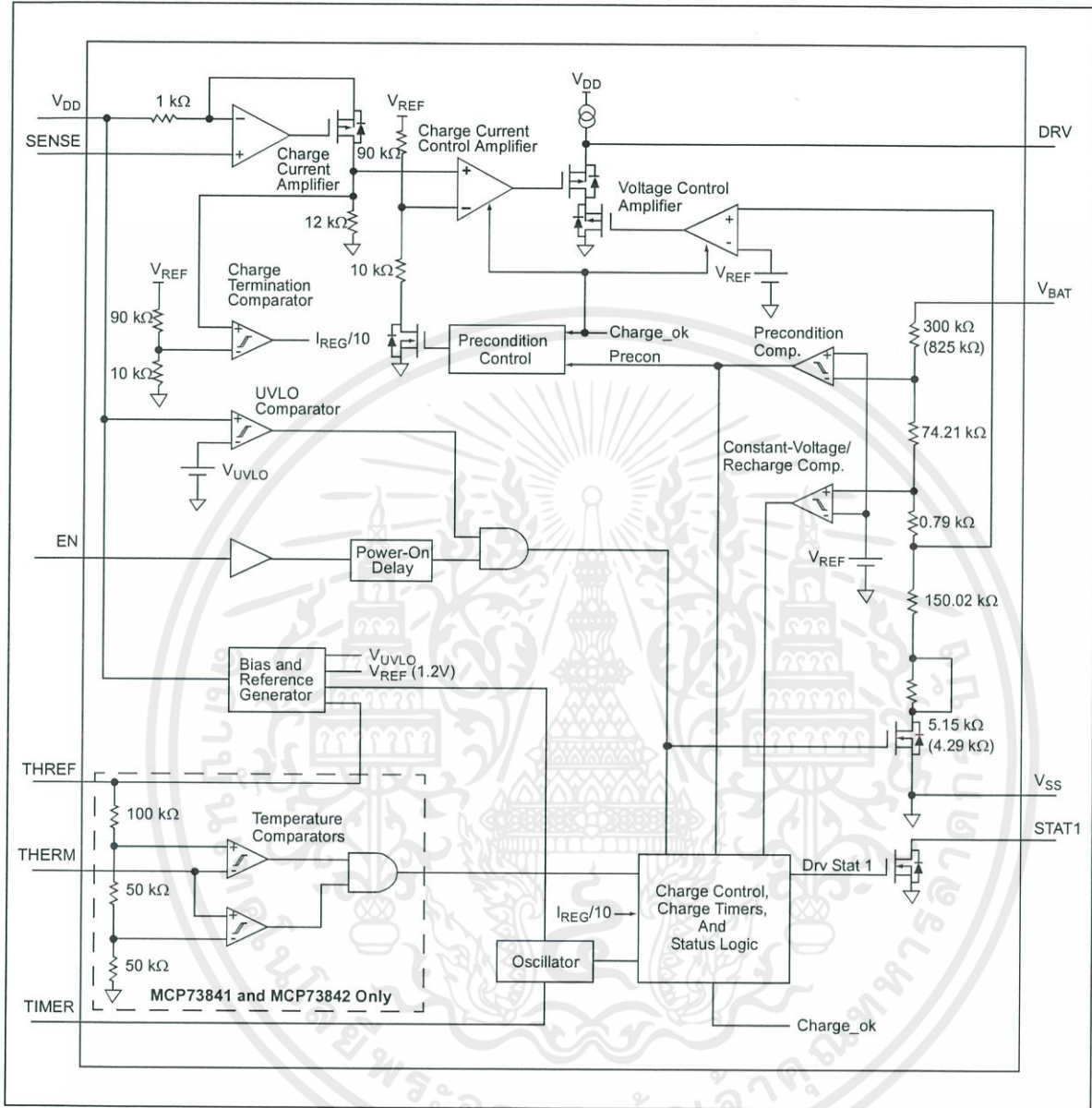
The MCP7384X family of devices are fully specified over the ambient temperature range of -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$.

Package Types



MCP73841/2/3/4

Functional Block Diagram



1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

***Notice:** Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Absolute Maximum Ratings †

V _{DD}	13.5V
All inputs and outputs w.r.t. V _{SS}	-0.3 to (V _{DD} +0.3)V
Current at DRV Pin	±4 mA
Current at STAT1 Pin	±30 mA
Maximum Junction Temperature, T _J	150°C
Storage temperature	-65°C to +150°C
ESD protection on all pins:	
Human Body Model (1.5 kΩ in Series with 100 pF).....	≥ 2 kV
Machine Model (200 pF, No Series Resistance).....	200V

DC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for V_{DD} = [V_{REG}(Typ)+0.3V] to 12V, T_A = -40°C to +85°C. Typical values are at +25°C, V_{DD} = [V_{REG}(Typ) + 1V].

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Supply Input						
Supply Voltage	V _{DD}	4.5	-	12	V	
MCP73841, MCP73843 MCP73842, MCP73844		8.7	-	12	V	
Supply Current	I _{SS}	-	0.25	4	μA	Disabled
		-	0.75	4	mA	Operating V _{DD} = V _{REG} (Typ)+1V
UVLO Start Threshold	V _{START}	4.25	4.45	4.60	V	V _{DD} Low-to-High
MCP73841, MCP73843 MCP73842, MCP73844		8.45	8.65	8.90	V	V _{DD} Low-to-High
UVLO Stop Threshold	V _{STOP}	4.20	4.40	4.55	V	V _{DD} High-to-Low
MCP73841, MCP73843 MCP73842, MCP73844		8.40	8.60	8.85	V	V _{DD} High-to-Low
Voltage Regulation (Constant-Voltage Mode)						
Regulated Output Voltage	V _{REG}	4.079	4.1	4.121	V	V _{DD} = [V _{REG} (Typ)+1V], I _{OUT} = 10 mA, T _A = -5°C to +55°C
MCP73841-4.1, MCP73843-4.1		4.179	4.2	4.221	V	V _{DD} = [V _{REG} (Typ)+1V], I _{OUT} = 10 mA, T _A = -5°C to +55°C
MCP73841-4.2, MCP73843-4.2		8.159	8.2	8.241	V	V _{DD} = [V _{REG} (Typ)+1V], I _{OUT} = 10 mA, T _A = -5°C to +55°C
MCP73842-8.2, MCP73844-8.2		8.358	8.4	8.442	V	V _{DD} = [V _{REG} (Typ)+1V], I _{OUT} = 10 mA, T _A = -5°C to +55°C
MCP73842-8.4, MCP73844-8.4						
Line Regulation	$ \frac{\Delta V_{BAT}}{V_{BAT}} / \frac{\Delta V_{DD}}{V_{DD}} $	-	0.025	0.25	%/V	V _{DD} = [V _{REG} (Typ)+1V] to 12V, I _{OUT} = 10 mA
Load Regulation	$ \frac{\Delta V_{BAT}}{V_{BAT}} $	-	0.01	0.25	%	I _{OUT} = 10 mA to 150 mA, V _{DD} = [V _{REG} (Typ)+1V]
Supply Ripple Attenuation	PSRR	-	-58	-	dB	I _{OUT} = 10 mA, 100 Hz
		-	-42	-	dB	I _{OUT} = 10 mA, 1 kHz
		-	-30	-	dB	I _{OUT} = 10 mA, 10 kHz
Output Reverse Leakage Current	I _{DISCHARGE}	-	0.4	1	μA	V _{DD} Floating, V _{BAT} = V _{REG} (Typ)
Current Regulation (Fast Charge Constant-Current Mode)						
Fast Charge Current Regulation Threshold	V _{FCS}	100	110	120	mV	V _{DD} - V _{SENSE} , T _A = -5°C to +55°C

MCP73841/2/3/4

DC CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(Typ) + 0.3V]$ to 12V, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$. Typical values are at $+25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = [V_{REG}(Typ) + 1V]$.

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Preconditioning Current Regulation (Trickle Charge Constant-Current Mode)						
Precondition Current Regulation Threshold	V_{PCS}	5	10	15	mV	$V_{DD} - V_{SENSE}$, $T_A = -5^\circ\text{C}$ to $+55^\circ\text{C}$
Precondition Threshold Voltage	V_{PTH}					
MCP73841-4.1, MCP73843-4.1		2.70	2.80	2.90	V	V_{BAT} Low-to-High
MCP73841-4.2, MCP73843-4.2		2.75	2.85	2.95	V	V_{BAT} Low-to-High
MCP73842-8.2, MCP73844-8.2		5.40	5.60	5.80	V	V_{BAT} Low-to-High
MCP73842-8.4, MCP73844-8.4		5.50	5.70	5.90	V	V_{BAT} Low-to-High
Charge Termination						
Charge Termination Threshold	V_{TCS}	4	7	10	mV	$V_{DD} - V_{SENSE}$, $T_A = -5^\circ\text{C}$ to $+55^\circ\text{C}$
Automatic Recharge						
Recharge Threshold Voltage	V_{RTH}					
MCP73841, MCP73843		V_{REG}^- 300 mV	V_{REG}^- 200 mV	V_{REG}^- 100 mV	V	V_{BAT} High-to-Low
MCP73842, MCP73844		V_{REG}^- 600 mV	V_{REG}^- 400 mV	V_{REG}^- 200 mV	V	V_{BAT} High-to-Low
External MOSFET Gate Drive						
Gate Drive Current	I_{DRV}	-	2	-	mA	Sink, CV Mode
		-	-0.5	-	mA	Source, CV Mode
Gate Drive Minimum Voltage	V_{DRVMIN}	-	-	1.0	V	$V_{DD} = 4.5V$
Gate - Source Clamp Voltage	V_{GS}	-7.0	-	-4.5	V	$V_{DD} = 12.0V$
Thermistor Reference - MCP73841, MCP73842						
Thermistor Reference Output Voltage	V_{THREF}	2.475	2.55	2.625	V	$T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = V_{REG}(Typ) + 1V$, $I_{THREF} = 0$ mA
Temperature Coefficient	TC_{THREF}	-	± 50	-	ppm/ $^\circ\text{C}$	
Thermistor Reference Source Current	I_{THREF}	200	-	-	μA	
Thermistor Reference Line Regulation	$(\Delta V_{THREF} / V_{THREF}) / \Delta V_{DD}$	-	0.1	0.25	%/V	$V_{DD} = [V_{REG}(Typ) + 1V]$ to 12V
Thermistor Reference Load Regulation	$\Delta V_{THREF} / V_{THREF}$	-	0.01	0.10	%	$I_{THREF} = 0$ mA to 0.20 mA
Thermistor Comparator - MCP73841, MCP73842						
Upper Trip Threshold	V_{T1}	1.18	1.25	1.32	V	
Upper Trip Point Hysteresis	V_{T1HYS}	-	-50	-	mV	
Lower Trip Threshold	V_{T2}	0.59	0.62	0.66	V	
Lower Trip Point Hysteresis	V_{T2HYS}	-	80	-	mV	
Input Bias Current	$ I_{BIAS} $	-	-	2	μA	
Status Indicator						
Sink Current	I_{SINK}	4	7	12	mA	
Low Output Voltage	V_{OL}	-	200	400	mV	$I_{SINK} = 1$ mA
Input Leakage Current	I_{LK}	-	0.01	1	μA	$I_{SINK} = 0$ mA, $V_{STAT1} = 12V$

MCP73841/2/3/4

DC CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(Typ)+0.3V]$ to 12V, $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$. Typical values are at $+25^\circ C$, $V_{DD} = [V_{REG}(Typ) + 1V]$.

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Enable Input						
Input High-Voltage Level	V_{IH}	1.4	-	-	V	
Input Low-Voltage Level	V_{IL}	-	-	0.8	V	
Input Leakage Current	I_{LK}	-	0.01	1	μA	$V_{ENABLE} = 12V$

AC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(Typ)+0.3V]$ to 12V, $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$. Typical values are at $+25^\circ C$, $V_{DD} = [V_{REG}(Typ)+1V]$.

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
UVLO Start Delay	t_{START}	-	-	5	msec	V_{DD} Low-to-High
Current Regulation						
Transition Time Out of Preconditioning	t_{DELAY}	-	-	1	msec	$V_{BAT} < V_{PTH}$ to $V_{BAT} > V_{PTH}$
Current Rise Time Out of Preconditioning	t_{RISE}	-	-	1	msec	I_{OUT} Rising to 90% of I_{REG}
Fast Charge Safety Timer Period	t_{FAST}	1.1	1.5	1.9	Hours	$C_{TIMER} = 0.1 \mu F$
Preconditioning Current Regulation						
Preconditioning Charge Safety Timer Period	t_{PRECON}	45	60	75	Minutes	$C_{TIMER} = 0.1 \mu F$
Charge Termination						
Elapsed Time Termination Period	t_{TERM}	2.2	3.0	3.8	Hours	$C_{TIMER} = 0.1 \mu F$
Status Indicators						
Status Output turn-off	t_{OFF}	-	-	200	μsec	$I_{SINK} = 10 \text{ mA}$ to 0 mA
Status Output turn-on	t_{ON}	-	-	200	μsec	$I_{SINK} = 0 \text{ mA}$ to 10 mA

TEMPERATURE SPECIFICATIONS

Electrical Specifications: Unless otherwise specified, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(Typ)+0.3V]$ to 12V. Typical values are at $+25^\circ C$, $V_{DD} = [V_{REG}(Typ)+1.0V]$.

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Temperature Ranges						
Specified Temperature Range	T_A	-40		+85	$^\circ C$	
Operating Temperature Range	T_A	-40		+125	$^\circ C$	
Storage Temperature Range	T_A	-65		+150	$^\circ C$	
Thermal Package Resistances						
Thermal Resistance, MSOP-10	θ_{JA}		113		$^\circ C/W$	4-Layer JC51-7 Standard Board, Natural Convection
Thermal Resistance, MSOP-8	θ_{JA}		206		$^\circ C/W$	Single-Layer SEMI G42-88 Board, Natural Convection

MCP73841/2/3/4

2.0 TYPICAL PERFORMANCE CURVES

Note: The graphs and tables provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs or tables, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore outside the warranted range.

Note: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = [V_{REG}(Typ) + 1V]$, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$.

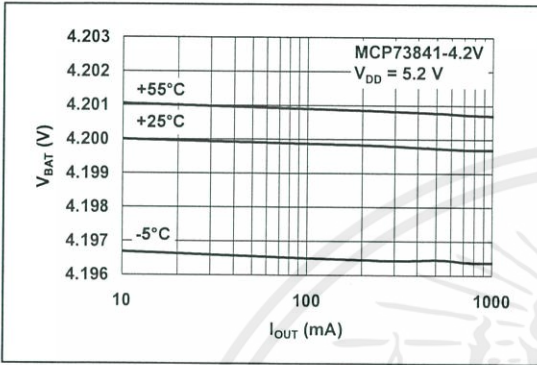


FIGURE 2-1: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Charge Current (I_{OUT}).

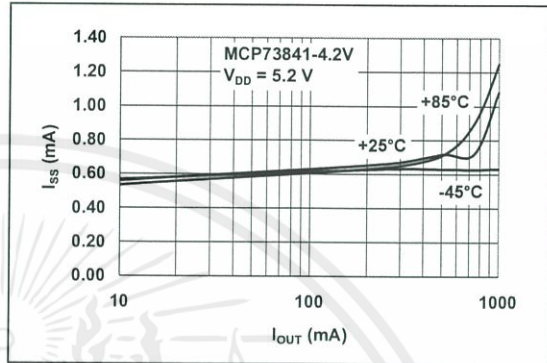


FIGURE 2-4: Supply Current (I_{SS}) vs. Charge Current (I_{OUT}).

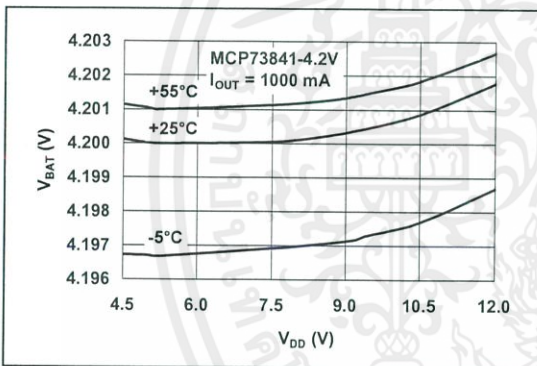


FIGURE 2-2: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

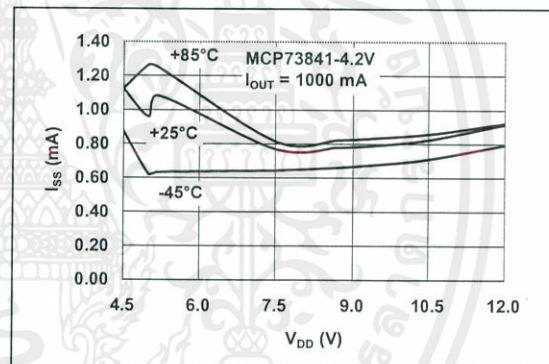


FIGURE 2-5: Supply Current (I_{SS}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

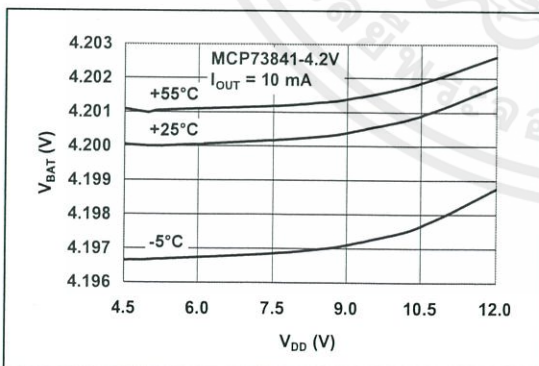


FIGURE 2-3: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

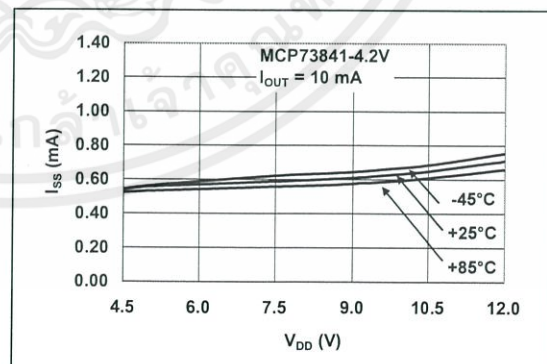


FIGURE 2-6: Supply Current (I_{SS}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

MCP73841/2/3/4

Note: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = [V_{REG}(Typ) + 1V]$, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$.

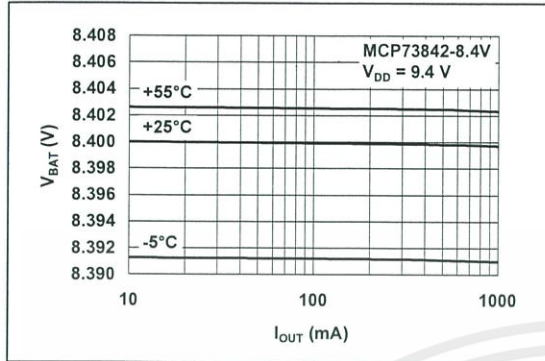


FIGURE 2-7: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Charge Current (I_{OUT}).

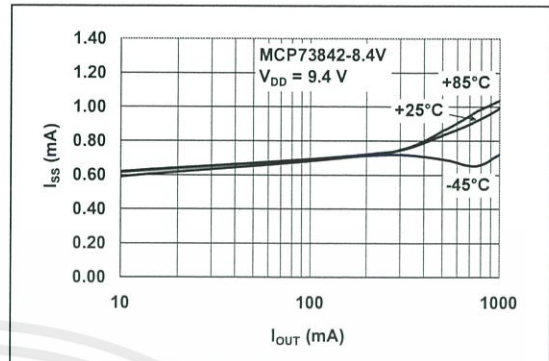


FIGURE 2-10: Supply Current (I_{SS}) vs. Charge Current (I_{OUT}).

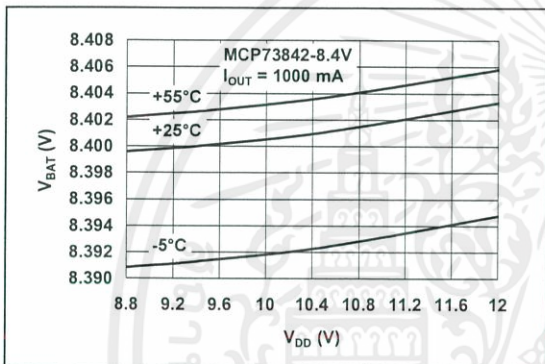


FIGURE 2-8: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

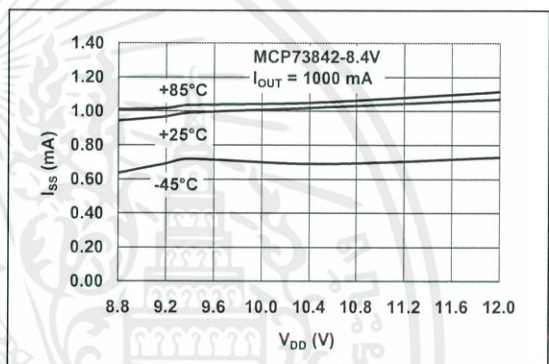


FIGURE 2-11: Supply Current (I_{SS}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

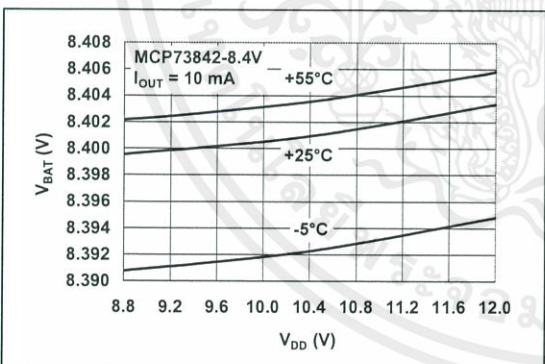


FIGURE 2-9: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

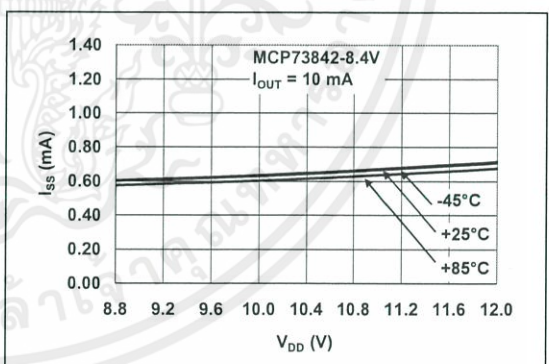


FIGURE 2-12: Supply Current (I_{SS}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

MCP73841/2/3/4

Note: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = [V_{REG}(Typ) + 1V]$, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$.

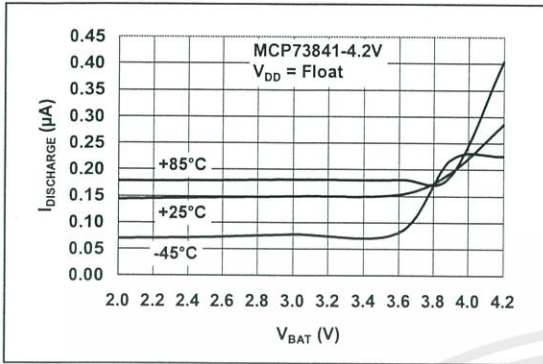


FIGURE 2-13: Output Reverse Leakage Current ($I_{DISCHARGE}$) vs. Battery Voltage (V_{BAT}).

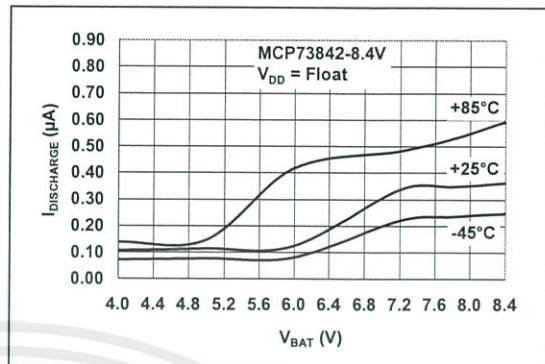


FIGURE 2-16: Output Reverse Leakage Current ($I_{DISCHARGE}$) vs. Battery Voltage (V_{BAT}).

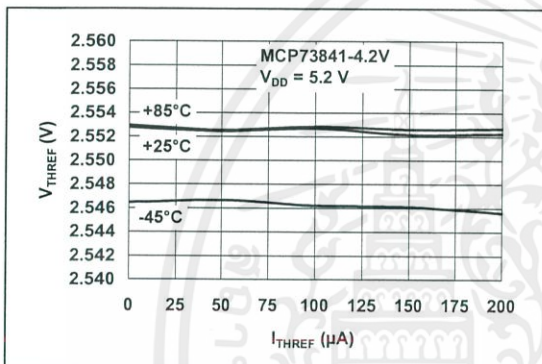


FIGURE 2-14: Thermistor Reference Voltage (V_{THREF}) vs. Thermistor Bias Current (I_{THREF}).

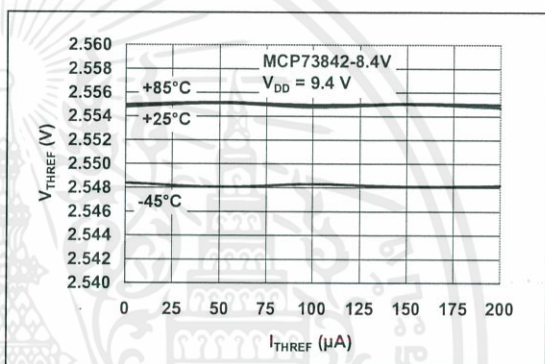


FIGURE 2-17: Thermistor Reference Voltage (V_{THREF}) vs. Thermistor Bias Current (I_{THREF}).

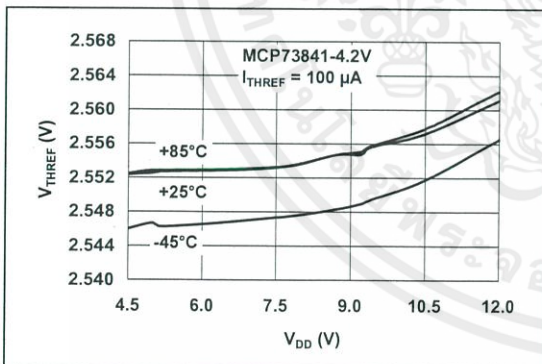


FIGURE 2-15: Thermistor Reference Voltage (V_{THREF}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

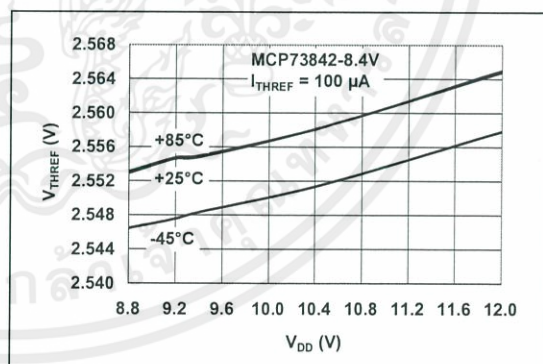


FIGURE 2-18: Thermistor Reference Voltage (V_{THREF}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

MCP73841/2/3/4

Note: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = [V_{REG}(Typ) + 1V]$, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$.

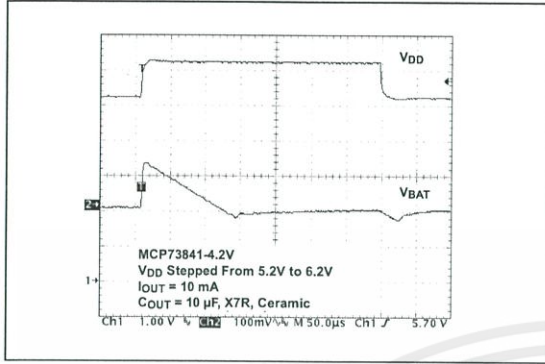


FIGURE 2-19: Line Transient Response.

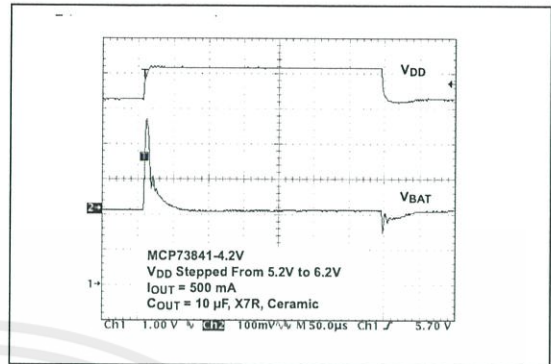


FIGURE 2-22: Line Transient Response.

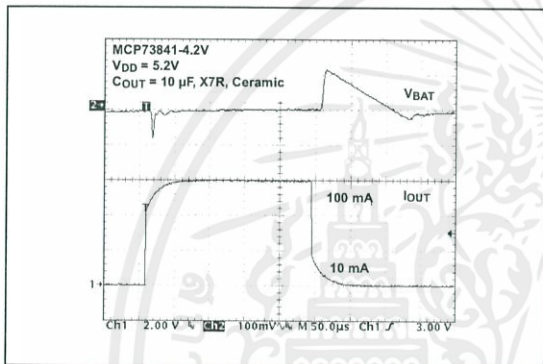


FIGURE 2-20: Load Transient Response.

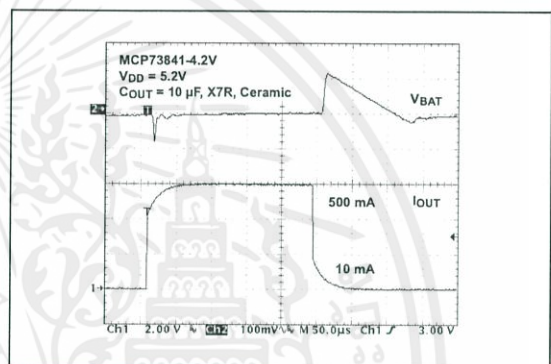


FIGURE 2-23: Load Transient Response.

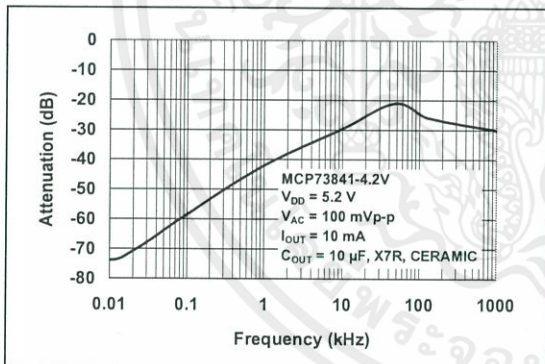


FIGURE 2-21: Power Supply Ripple Rejection.

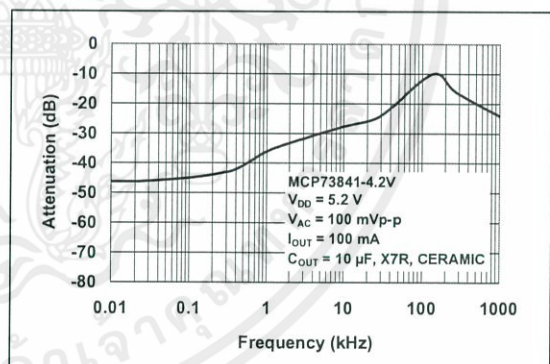


FIGURE 2-24: Power Supply Ripple Rejection.

MCP73841/2/3/4

3.0 PIN DESCRIPTIONS

The descriptions of the pins are listed in Table 3-1.

TABLE 3-1: PIN DESCRIPTION TABLE

MCP73841, MCP73842 Pin No.	MCP73843, MCP73844 Pin No.	Name	Function
1	1	SENSE	Charge Current Sense Input
2	2	V _{DD}	Battery Management Input Supply
3	3	STAT1	Charge Status Output
4	4	EN	Logic Enable
5	—	THREF	Cell Temperature Sensor Bias
6	—	THERM	Cell Temperature Sensor Input
7	5	TIMER	Timer Set
8	6	V _{SS}	Battery Management 0V Reference
9	7	V _{BAT}	Battery Voltage Sense
10	8	DRV	Drive Output

3.1 Charge Current Sense Input (SENSE)

Charge current is sensed via the voltage developed across an external precision sense resistor. The sense resistor must be placed between the supply voltage (V_{DD}) and the external pass transistor (Q1). A 220 mΩ sense resistor produces a fast charge current of 500 mA, typically.

3.2 Battery Management Input Supply (V_{DD})

A supply voltage of [V_{REG}(Typ) + 0.3V] to 12V is recommended. Bypass to V_{SS} with a minimum of 4.7 μF.

3.3 Charge Status Output (STAT1)

Current limited, open-drain drive for direct connection to a LED for charge status indication. Alternatively, a pull-up resistor can be applied for interfacing to a host microcontroller.

3.4 Logic Enable (EN)

Input to force charge termination, initiate charge, clear faults or disable automatic recharge.

3.5 Cell Temperature Sensor Bias (THREF)

Voltage reference to bias external thermistor for continuous cell temperature monitoring and prequalification.

3.6 Cell Temperature Sensor Input (THERM)

Input for an external thermistor for continuous cell-temperature monitoring and pre-qualification. Apply a voltage equal to 0.85V to disable temperature-sensing.

3.7 Timer Set (TIMER)

All safety timers are scaled by C_{TIMER}/0.1 μF.

3.8 Battery Management 0V Reference (V_{SS})

Connect to negative terminal of battery.

3.9 Battery Voltage Sense (V_{BAT})

Voltage sense input. Connect to positive terminal of battery. Bypass to V_{SS} with a minimum of 4.7 μF to ensure loop stability when the battery is disconnected. A precision internal resistor divider regulates the final voltage on this pin to V_{REG}.

3.10 Drive Output (DRV)

Direct output drive of an external P-channel MOSFET for current and voltage regulation.

4.0 DEVICE OVERVIEW

The MCP7384X family of devices are highly advanced, linear charge management controllers. Figure 4-1 depicts the operational flow algorithm from charge initiation to completion and automatic recharge.

4.1 Charge Qualification and Preconditioning

Upon insertion of a battery or application of an external supply, the MCP7384X family of devices automatically perform a series of safety checks to qualify the charge. The input source voltage must be above the undervoltage lockout threshold, the enable pin must be above the logic-high level and the cell temperature monitor must be within the upper and lower thresholds. The cell temperature monitor applies to both the MCP73841 and MCP73842, with the qualification parameters being continuously monitored. Deviation beyond the limits automatically suspends or terminates the charge cycle.

Once the qualification parameters have been met, the MCP7384X initiates a charge cycle. The charge status output is pulled low throughout the charge cycle (see Table 5-1 for charge status outputs). If the battery voltage is below the preconditioning threshold (V_{PTH}), the MCP7384X preconditions the battery with a trickle-charge. The preconditioning current is set to approximately 10% of the fast charge regulation current. The preconditioning trickle-charge safely replenishes deeply depleted cells and minimizes heat dissipation in the external pass transistor during the initial charge cycle. If the battery voltage has not exceeded the preconditioning threshold before the preconditioning timer has expired, a fault is indicated and the charge cycle is terminated.

4.2 Constant-Current Regulation – Fast Charge

Preconditioning ends and fast charging begins, when the battery voltage exceeds the preconditioning threshold. Fast charge regulates to a constant-current, I_{REG} , based on the supply voltage minus the voltage at the SENSE input (V_{FCS}) developed by the drop across an external sense resistor (R_{SENSE}). Fast charge continues until the battery voltage reaches the regulation voltage (V_{REG}); or until the fast charge timer expires. In this case, a fault is indicated and the charge cycle is terminated.

4.3 Constant-Voltage Regulation

When the battery voltage reaches the regulation voltage (V_{REG}), constant-voltage regulation begins. The MCP7384X monitors the battery voltage at the V_{BAT} pin. This input is tied directly to the positive terminal of the battery. The MCP7384X is offered in four fixed-voltage versions for single or dual series cell battery packs with either coke or graphite anodes:

- 4.1V (MCP73841-4.1, MCP73843-4.1)
- 4.2V (MCP73841-4.2, MCP73843-4.2)
- 8.2V (MCP73842-8.2, MCP73844-8.2)
- 8.4V (MCP73842-8.4, MCP73844-8.4)

4.4 Charge Cycle Completion and Automatic Re-Charge

The MCP7384X monitors the charging current during the constant-voltage regulation phase. The charge cycle is considered complete when the charge current has diminished below approximately 7% of the regulation current (I_{REG}) or the elapsed timer has expired.

The MCP7384X automatically begins a new charge cycle when the battery voltage falls below the recharge threshold (V_{RTH}), assuming all the qualification parameters are met.

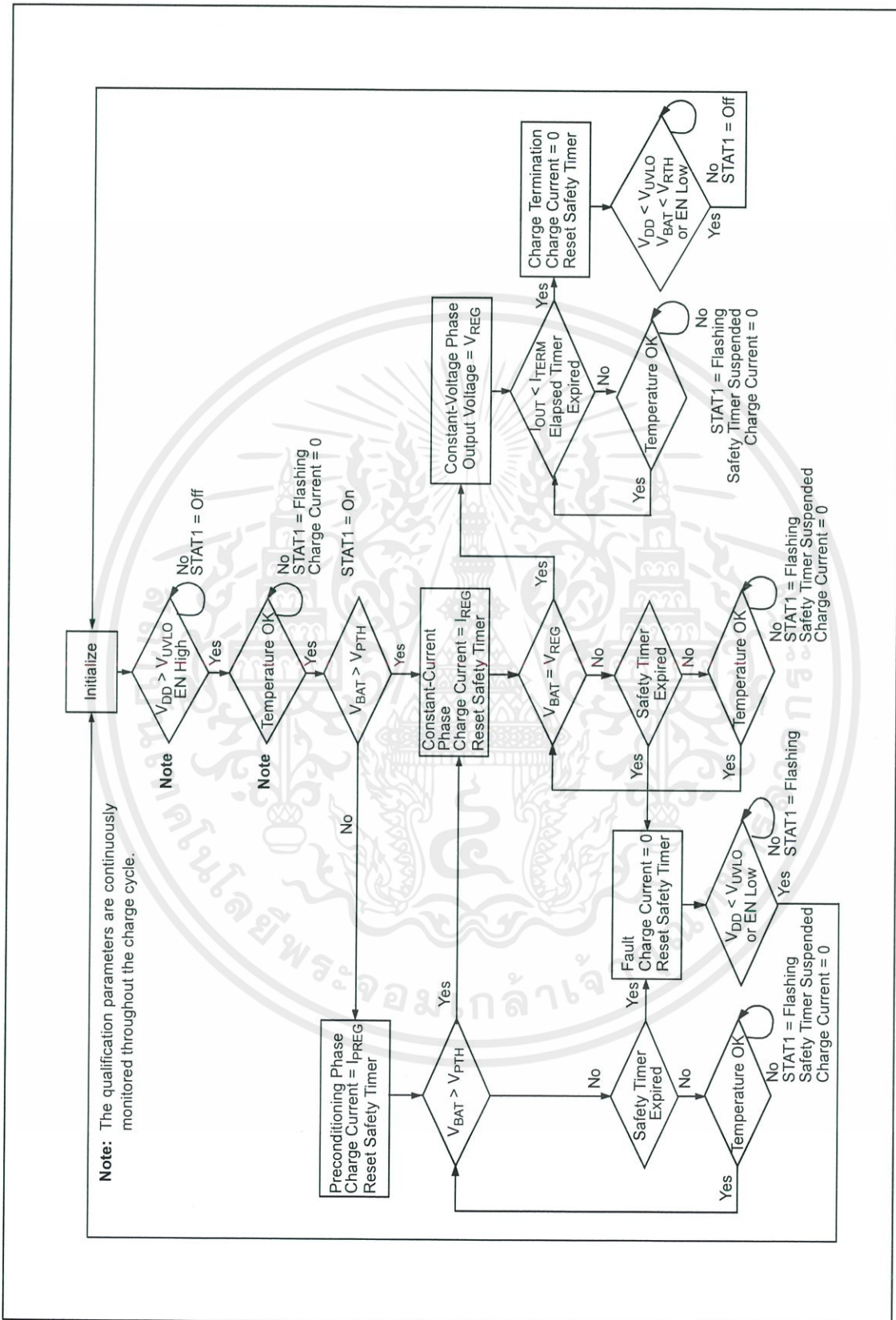


FIGURE 4-1: Operational Flow Algorithm - MCP73841 and MCP73842.

5.0 DETAILED DESCRIPTION

5.1 Analog Circuitry

5.1.1 CHARGE CURRENT SENSE INPUT (SENSE)

Fast charge current regulation is maintained by the voltage drop developed across an external sense resistor (R_{SENSE}) applied to the SENSE input pin. The following formula calculates the value for R_{SENSE} :

$$R_{SENSE} = \frac{V_{FCS}}{I_{REG}}$$

where:
 I_{REG} is the desired fast charge current in amps

The preconditioning trickle-charge current and the charge termination current are scaled to approximately 10% and 7% of I_{REG} , respectively.

5.1.2 BATTERY MANAGEMENT INPUT SUPPLY (V_{DD})

The V_{DD} input is the input supply to the MCP7384X. The MCP7384X automatically enters a power-down mode if the voltage on the V_{DD} input falls below the undervoltage lockout voltage (V_{STOP}). This feature prevents draining the battery pack when the V_{DD} supply is not present.

5.1.3 CELL TEMPERATURE SENSOR BIAS (THREF)

A 2.55V voltage reference is provided to bias an external thermistor for continuous cell temperature monitoring and pre-qualification. A ratio metric window comparison is performed at threshold levels of $V_{THREF}/2$ and $V_{THREF}/4$. Cell temperature monitoring is provided by both the MCP73841 and MCP73842.

5.1.4 CELL TEMPERATURE SENSOR INPUT (THERM)

The MCP73841 and MCP73842 continuously monitor temperature by comparing the voltage between the THERM input and V_{SS} with the upper and lower temperature thresholds. A negative or positive temperature coefficient (NTC or PTC) thermistor and an external voltage divider typically develop this voltage. The temperature-sensing circuit has its own reference, to which it performs a ratio metric comparison. Therefore, it is immune to fluctuations in the supply input (V_{DD}). The temperature-sensing circuit is removed from the system when V_{DD} is not applied, eliminating additional discharge of the battery pack.

Figure 6-1 depicts a typical application circuit with connection of the THERM input. The resistor values of R_{T1} and R_{T2} are calculated with the following equations.

For NTC thermistors:

$$R_{T1} = \frac{2 \times R_{COLD} \times R_{HOT}}{R_{COLD} - R_{HOT}}$$

$$R_{T2} = \frac{2 \times R_{COLD} \times R_{HOT}}{R_{COLD} - 3 \times R_{HOT}}$$

For PTC thermistors:

$$R_{T1} = \frac{2 \times R_{COLD} \times R_{HOT}}{R_{HOT} - R_{COLD}}$$

$$R_{T2} = \frac{2 \times R_{COLD} \times R_{HOT}}{R_{HOT} - 3 \times R_{COLD}}$$

where:
 R_{COLD} and R_{HOT} are the thermistor resistance values at the temperature window of interest.

Applying a voltage equal to 0.85V to the THERM input disables temperature monitoring.

5.1.5 TIMER SET INPUT (TIMER)

The TIMER input programs the period of the safety timers by placing a timing capacitor (C_{TIMER}) between the TIMER input pin and V_{SS} . Three safety timers are programmed via the timing capacitor.

The preconditioning safety timer period:

$$t_{PRECON} = \frac{C_{TIMER}}{0.1\mu F} \times 1.0 \text{Hours}$$

The fast charge safety timer period:

$$t_{FAST} = \frac{C_{TIMER}}{0.1\mu F} \times 1.5 \text{Hours}$$

The elapsed time termination period:

$$t_{TERM} = \frac{C_{TIMER}}{0.1\mu F} \times 3.0 \text{Hours}$$

The preconditioning timer starts after qualification and resets when the charge cycle transitions to the constant-current, fast charge phase. The fast charge and elapsed timers start once the MCP7384X transitions from preconditioning. The fast charge timer resets when the charge cycle transitions to the constant-voltage phase. The elapsed timer will expire and terminate the charge if the sensed current does not diminish below the termination threshold.

MCP73841/2/3/4

5.1.6 BATTERY VOLTAGE SENSE (V_{BAT})

The MCP7384X monitors the battery voltage at the V_{BAT} pin. This input is tied directly to the positive terminal of the battery. The MCP7384X is offered in four fixed-voltage versions for single or dual series cell battery packs, with either coke or graphite anodes:

- 4.1V (MCP73841-4.1, MCP73843-4.1)
- 4.2V (MCP73841-4.2, MCP73843-4.2)
- 8.2V (MCP73842-8.2, MCP73844-8.2)
- 8.4V (MCP73842-8.4, MCP73844-8.4)

5.1.7 DRIVE OUTPUT (DRV)

The MCP7384X controls the gate drive to an external P-channel MOSFET. The P-channel MOSFET is controlled in the linear region regulating current and voltage supplied to the cell. The drive output is automatically turned off when the voltage on the V_{DD} input falls below the undervoltage lockout voltage (V_{STOP}).

5.2 Digital Circuitry

5.2.1 CHARGE STATUS OUTPUT (STAT1)

A status output provides information on the state-of-charge. The current-limited, open-drain output can be used to illuminate an external LED. Optionally, a pull-up resistor can be used on the output for communication with a host microcontroller. Table 5-1 summarizes the state of the status output during a charge cycle.

TABLE 5-1: STATUS OUTPUTS

Charge Cycle State	Stat1
Qualification	OFF
Preconditioning	ON
Constant-Current Fast Charge	ON
Constant-Voltage	ON
Charge Complete	OFF
Safety Timer Fault	Flashing (1 Hz, 50% duty cycle)
Cell Temperature Invalid	Flashing (1 Hz, 50% duty cycle)
Disabled - Sleep mode	OFF
Battery Disconnected	OFF

The flashing rate (1 Hz) is based off a timer capacitor (C_{TIMER}) of 0.1 μ F. The rate will vary based on the value of the timer capacitor.

5.2.2 LOGIC ENABLE (EN)

The logic-enable input pin (EN) can be used to terminate a charge anytime during the charge cycle, initiate a charge cycle or initiate a recharge cycle.

Applying a logic-high input signal to the EN pin, or tying it to the input source, enables the device. Applying a logic-low input signal disables the device and terminates a charge cycle. When disabled, the device's supply current is reduced to 0.25 μ A, typically.

6.0 APPLICATIONS

The MCP7384X is designed to operate in conjunction with either a host microcontroller or in stand-alone applications. The MCP7384X provides the preferred charge algorithm for Lithium-Ion and Lithium-Polymer

cells: constant-current followed by constant-voltage. Figure 6-1 depicts a typical stand-alone application circuit, while Figure 6-2 depicts the accompanying charge profile.

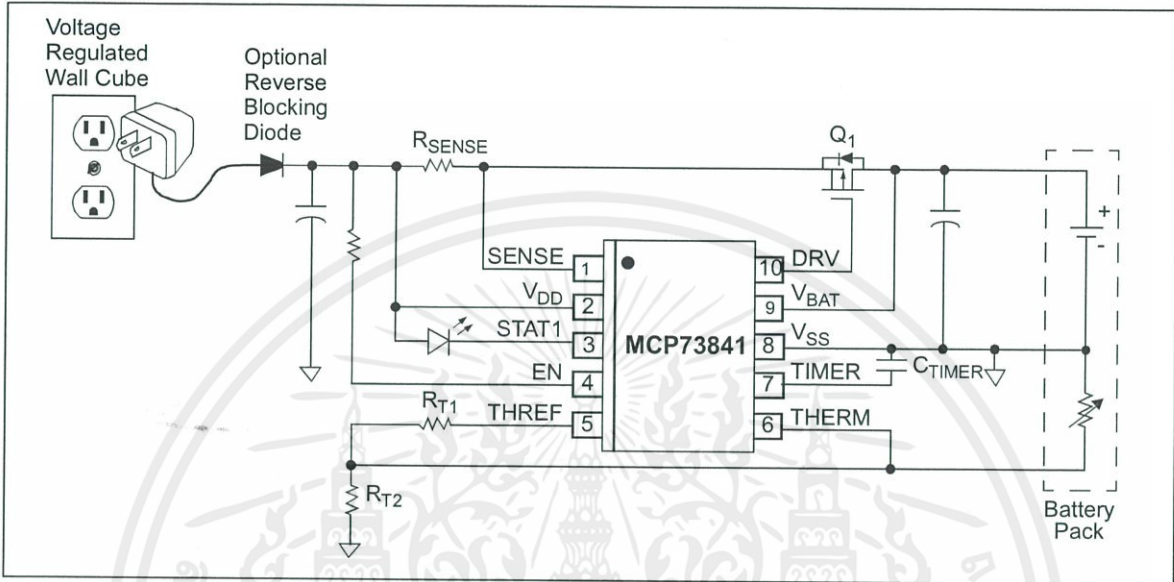


FIGURE 6-1: Typical Application Circuit.

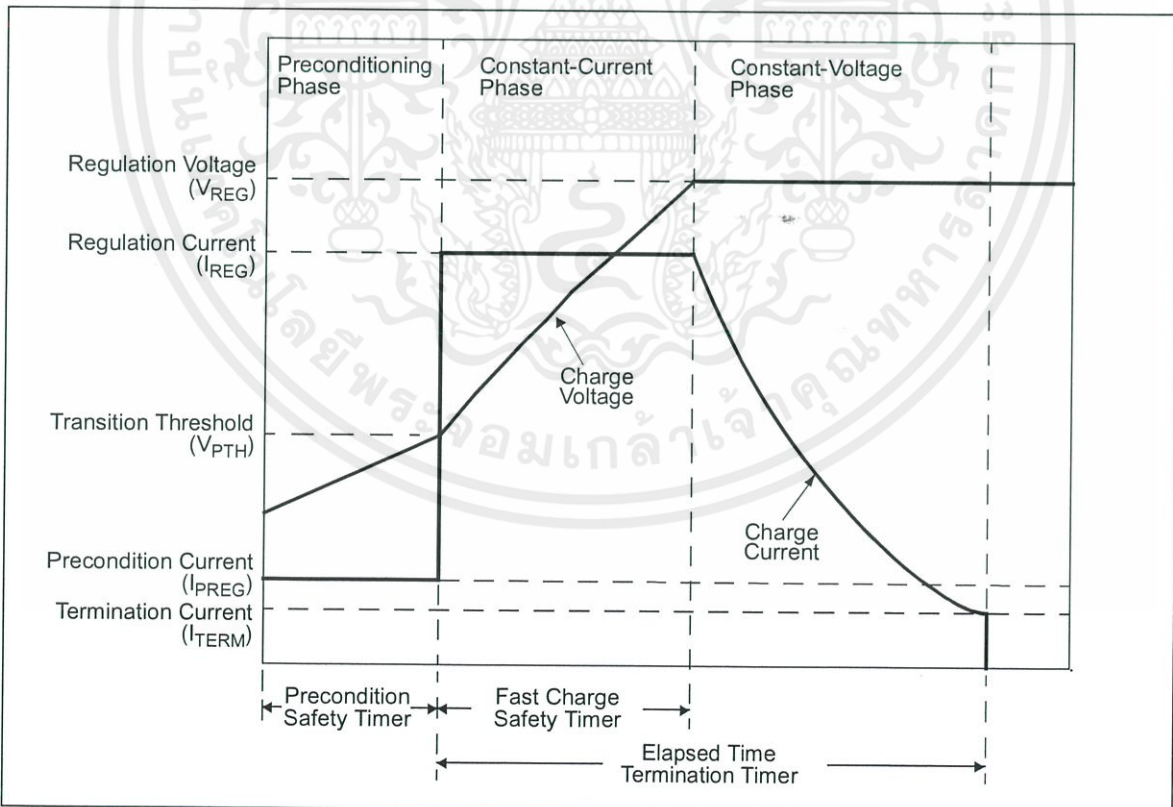


FIGURE 6-2: Typical Charge Profile.

MCP73841/2/3/4

6.1 Application Circuit Design

Due to the low efficiency of linear charging, the most important factors are thermal design and cost, which are a direct function of the input voltage, output current and thermal impedance between the external P-channel pass transistor and the ambient cooling air. The worst-case situation occurs when the device has transitioned from the preconditioning phase to the constant-current phase. In this situation, the P-channel pass transistor has to dissipate the maximum power. A trade-off must be made between the charge current, cost and thermal requirements of the charger.

6.1.1 COMPONENT SELECTION

Selection of the external components in Figure 6-1 are crucial to the integrity and reliability of the charging system. The following discussion is intended to be a guide for the component selection process.

6.1.1.1 Sense Resistor

The preferred fast charge current for Lithium-Ion cells is at the 1C rate, with an absolute maximum current at the 2C rate. For example, a 500 mAh battery pack has a preferred fast charge current of 500 mA. Charging at this rate provides the shortest charge cycle times without degradation to the battery pack performance or life.

The current sense resistor (R_{SENSE}) is calculated by:

$$R_{SENSE} = \frac{V_{FCS}}{I_{REG}}$$

Where:
 I_{REG} is the desired fast charge current.

For the 500 mAh battery pack example, a standard value 220 m Ω , 1% resistor provides a typical fast charge current of 500 mA and a maximum fast charge current of 551 mA. Worst-case power dissipation in the sense resistor is:

$$PowerDissipation = 220m\Omega \times 551mA^2 = 66.8mW$$

A Panasonic[®] ERJ-6RQFR22V, 220 mW, 1%, 1/8W resistor in a standard 0805 package is more than sufficient for this application.

A larger value sense resistor will decrease the fast charge current and power dissipation in both the sense resistor and external pass transistor, but will increase charge cycle times. Design trade-offs must be considered to minimize space while maintaining the desired performance.

6.1.1.2 External Pass Transistor

The external P-channel MOSFET is determined by the gate-to-source threshold voltage, input voltage, output voltage and fast charge current. Therefore, the selected P-channel MOSFET must satisfy the thermal and electrical design requirements.

Thermal Considerations

The worst-case power dissipation in the external pass transistor occurs when the input voltage is at the maximum and the device has transitioned from the preconditioning phase to the constant-current phase. In this case, the power dissipation is:

$$PowerDissipation = (V_{DDMAX} - V_{PTHMIN}) \times I_{REGMAX}$$

Where:
 V_{DDMAX} is the maximum input voltage.
 I_{REGMAX} is the maximum fast charge current.
 V_{PTHMIN} is the minimum transition threshold voltage.

Power dissipation with a 5V, $\pm 10\%$ input voltage source, 220 m Ω , 1% sense resistor is:

$$PowerDissipation = (5.5V - 2.75V) \times 551mA = 1.52W$$

Utilizing a Fairchild[™] NDS8434 or an International Rectifier IRF7404 mounted on a 1in² pad of 2 oz. copper, the junction temperature rise is 75°C, approximately. This would allow for a maximum operating ambient temperature of 75°C.

By increasing the size of the copper pad, a higher ambient temperature can be realized, or a lower value sense resistor could be utilized.

Alternatively, different package options can be utilized for more or less power dissipation. Again, design trade-offs should be considered to minimize size while maintaining the desired performance.

Electrical Considerations

The gate-to-source threshold voltage and $R_{DS(ON)}$ of the external P-channel MOSFET must be considered in the design phase.

The worst-case V_{GS} provided by the controller occurs when the input voltage is at the minimum and the fast charge current regulation threshold is at the maximum. The worst-case V_{GS} is:

$$V_{GS} = V_{DRVMAX} - (V_{DDMIN} - V_{FCSMAX})$$

Where:
 V_{DRVMAX} is the maximum sink voltage at the V_{DRV} output
 V_{DDMIN} is the minimum input voltage source
 V_{FCSMAX} is the maximum fast charge current regulation threshold

Worst-case V_{GS} with a 5V, $\pm 10\%$ input voltage source and a maximum sink voltage of 1.0V is:

$$V_{GS} = 1.0V - (4.5V - 120mV) = -3.38V$$

At this worst-case (V_{GS}) the $R_{DS(ON)}$ of the MOSFET must be low enough as to not impede the performance of the charging system. The maximum allowable $R_{DS(ON)}$ at the worst-case V_{GS} is:

$$R_{DS(ON)} = \frac{V_{DDMIN} - V_{FCSMAX} - V_{BATMAX}}{I_{REGMAX}}$$

$$R_{DS(ON)} = \frac{4.5V - 120(115)mV - 4.221V}{551(581)mA} = 288m\Omega$$

The Fairchild NDS8434 and International Rectifier IRF7404 both satisfy these requirements.

6.1.1.3 EXTERNAL CAPACITORS

The MCP7384X are stable with or without a battery load. In order to maintain good AC stability in the Constant-Voltage mode, a minimum capacitance of 4.7 μ F is recommended to bypass the V_{BAT} pin to V_{SS} . This capacitance provides compensation when there is no battery load. Additionally, the battery and interconnections appear inductive at high frequencies. These elements are in the control feedback loop during Constant-Voltage mode. Therefore, the bypass capacitance may be necessary to compensate for the inductive nature of the battery pack.

Virtually any good quality output filter capacitor can be used, independent of the capacitor's minimum ESR (Effective Series Resistance) value. The actual value of the capacitor and its associated ESR depends on the forward transconductance (g_m) and capacitance of the external pass transistor. A 4.7 μ F tantalum or aluminum electrolytic capacitor at the output is usually sufficient to ensure stability for up to a 1A output current.

6.1.1.4 REVERSE-BLOCKING PROTECTION

The optional reverse-blocking protection diode, depicted in Figure 6-1, provides protection from a faulted or shorted input, or from a reversed-polarity input source. Without the protection diode, a faulted or shorted input would discharge the battery pack through the body diode of the external pass transistor.

If a reverse-protection diode is incorporated into the design, it should be chosen to handle the fast charge current continuously at the maximum ambient temperature. In addition, the reverse-leakage current of the diode should be kept as small as possible.

6.1.1.5 ENABLE INTERFACE

In the stand-alone configuration, the enable pin is generally tied to the input voltage. The MCP7384X automatically enters a Low-power mode when voltage on the V_{DD} input falls below the undervoltage lockout voltage (V_{STOP}), reducing the battery drain current to 0.4 μ A, typically.

6.1.1.6 CHARGE STATUS INTERFACE

A status output provides information on the state of charge. The current-limited, open-drain output can be used to illuminate an external LED. Refer to Table 5-1 for a summary of the state of the status output during a charge cycle.

6.2 PCB Layout Issues

For optimum voltage regulation, place the battery pack as close as possible to the device's V_{BAT} and V_{SS} pins. This is recommended to minimize voltage drops along the high current-carrying PCB traces.

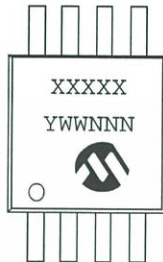
If the PCB layout is used as a heatsink, adding many vias around the external pass transistor can help conduct more heat to the back plane of the PCB, thus reducing the maximum junction temperature.

MCP73841/2/3/4

7.0 PACKAGING INFORMATION

7.1 Package Marking Information

8-Lead MSOP (MCP73843, MCP73844)



Example:



10-Lead MSOP (MCP73841, MCP73842)



Example:

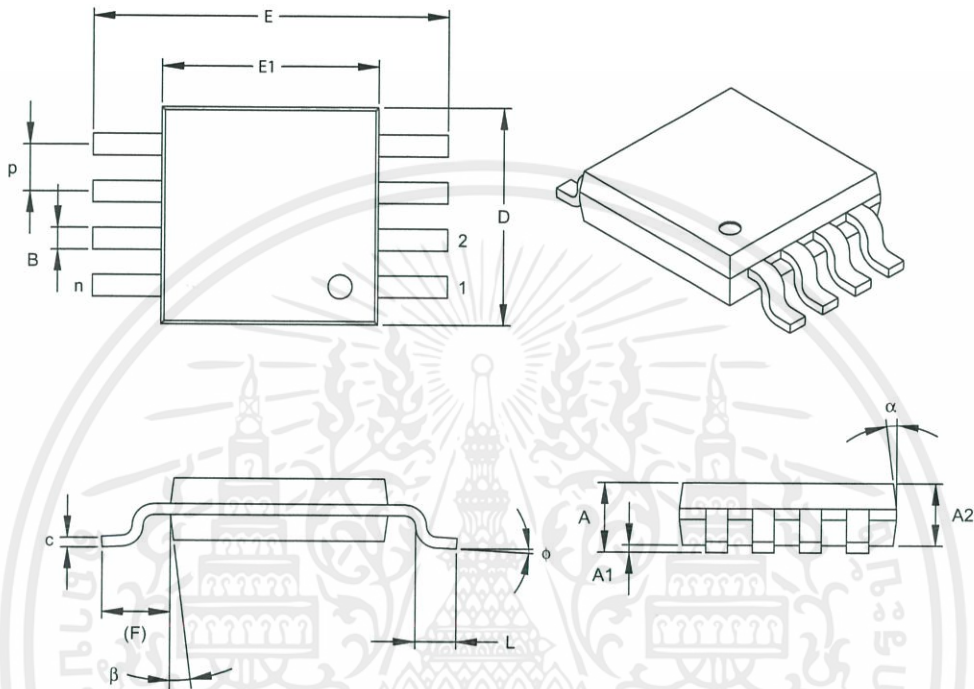


Legend:	XX...X	Customer-specific information
	Y	Year code (last digit of calendar year)
	YY	Year code (last 2 digits of calendar year)
	WW	Week code (week of January 1 is week '01')
	NNN	Alphanumeric traceability code
	(e3)	Pb-free JEDEC designator for Matte Tin (Sn)
	*	This package is Pb-free. The Pb-free JEDEC designator (e3) can be found on the outer packaging for this package.
Note:	In the event the full Microchip part number cannot be marked on one line, it will be carried over to the next line, thus limiting the number of available characters for customer-specific information.	

MCP73841/2/3/4

8-Lead Plastic Micro Small Outline Package (MS) (MSOP)

Note: For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	INCHES			MILLIMETERS*		
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
Number of Pins	n		8			8	
Pitch	P	.026 BSC			0.65 BSC		
Overall Height	A	-	-	.043	-	-	1.10
Molded Package Thickness	A2	.030	.033	.037	0.75	0.85	0.95
Standoff	A1	.000	-	.006	0.00	-	0.15
Overall Width	E	.193 TYP.			4.90 BSC		
Molded Package Width	E1	.118 BSC			3.00 BSC		
Overall Length	D	.118 BSC			3.00 BSC		
Foot Length	L	.016	.024	.031	0.40	0.60	0.80
Footprint (Reference)	F	.037 REF			0.95 REF		
Foot Angle	φ	0°	-	8°	0°	-	8°
Lead Thickness	c	.003	.006	.009	0.08	-	0.23
Lead Width	B	.009	.012	.016	0.22	-	0.40
Mold Draft Angle Top	α	5°	-	15°	5°	-	15°
Mold Draft Angle Bottom	β	5°	-	15°	5°	-	15°

*Controlling Parameter

Notes:

Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .010" (0.254mm) per side.

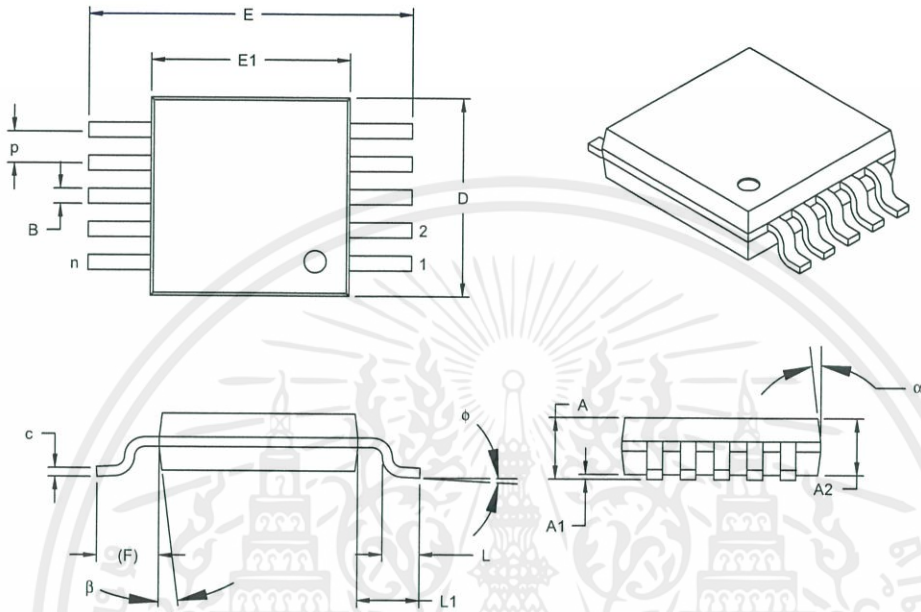
JEDEC Equivalent: MO-187

Drawing No. C04-111

MCP73841/2/3/4

10-Lead Plastic Micro Small Outline Package (UN) (MSOP)

Note: For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	INCHES			MILLIMETERS*		
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
Number of Pins	n		10			10	
Pitch	P		.020 TYP			0.50 TYP	
Overall Height	A	-	-	.043	-	-	1.10
Molded Package Thickness	A2	.030	.033	.037	0.75	0.85	0.95
Standoff	A1	.000	-	.006	0.00	-	0.15
Overall Width	E		.193 BSC			4.90 BSC	
Molded Package Width	E1		.118 BSC			3.00 BSC	
Overall Length	D		.118 BSC			3.00 BSC	
Foot Length	L	.016	.024	.031	0.40	0.60	0.80
Footprint	F		.037 REF			0.95 REF	
Foot Angle	phi	0°	-	8°	0°	-	8°
Lead Thickness	c	.003	-	.009	0.08	-	0.23
Lead Width	B	.006	.009	.012	0.15	0.23	0.30
Mold Draft Angle Top	alpha	5°	-	15°	5°	-	15°
Mold Draft Angle Bottom	beta	5°	-	15°	5°	-	15°

*Controlling Parameter

Notes:

Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .010" (0.254mm) per side.

JEDEC Equivalent: MO-187

Drawing No. C04-021

8.0 REVISION HISTORY

Revision D (January 2013)

Added a note to each package outline drawing.





PRODUCT IDENTIFICATION SYSTEM

To order or obtain information, e.g., on pricing or delivery, refer to the factory or the listed sales office.

PART NO.	XXX	X	XX	Examples:
Device	Preset Voltage Options	Temperature Range	Package	
Device	MCP73841:	Single-cell charge controller with temperature monitor		a) MCP73841-410I/UN: 4.1V Preset Voltage
	MCP73841T:	Single-cell charge controller with temperature monitor, Tape and Reel		b) MCP73841T-410I/UN: 4.1V Preset Voltage, Tape and Reel
	MCP73842:	Dual series cells charge controller with temperature monitor		c) MCP73841-420I/UN: 4.2V Preset Voltage
	MCP73842T:	Dual series cells charge controller with temperature monitor, Tape and Reel		d) MCP73841T-420I/UN: 4.2V Preset Voltage, Tape and Reel
	MCP73843:	Single-cell charge controller		a) MCP73842-820I/UN: 8.2V Preset Voltage
	MCP73843T:	Single-cell charge controller, Tape and Reel		b) MCP73842T-820I/UN: 8.2V Preset Voltage, Tape and Reel
	MCP73844:	Dual series cells charge controller		c) MCP73842-840I/UN: 8.4V Preset Voltage
	MCP73844T:	Dual series cells charge controller, Tape and Reel		d) MCP73842T-840I/UN: 8.4V Preset Voltage, Tape and Reel
Preset Voltage Regulation Options	410 = 4.1V 420 = 4.2V 820 = 8.2V 840 = 8.4V			a) MCP73843-410I/MS: 4.1V Preset Voltage
Temperature Range	I = -40°C to +85°C (Industrial)			b) MCP73843T-410I/MS: 4.1V Preset Voltage, Tape and Reel
Package	MS = Plastic Micro Small Outline (MSOP), 8-lead UN = Plastic Micro Small Outline (MSOP), 10-lead			c) MCP73843-420I/MS: 4.2V Preset Voltage
				d) MCP73843T-420I/MS: 4.2V Preset Voltage, Tape and Reel
				a) MCP73844-820I/MS: 8.2V Preset Voltage
				b) MCP73844T-820I/MS: 8.2V Preset Voltage, Tape and Reel
				c) MCP73844-840I/MS: 8.4V Preset Voltage
				d) MCP73844T-840I/MS: 8.4V Preset Voltage, Tape and Reel

Sales and Support

Data Sheets

Products supported by a preliminary Data Sheet may have an errata sheet describing minor operational differences and recommended workarounds. To determine if an errata sheet exists for a particular device, please contact one of the following:

1. Your local Microchip sales office
2. The Microchip Worldwide Site (www.microchip.com)

Please specify which device, revision of silicon and Data Sheet (include Literature #) you are using.

Customer Notification System

Register on our web site (www.microchip.com/cn) to receive the most current information on our products.

NOTES:



Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break Microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is provided only for your convenience and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. MICROCHIP MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES OF ANY KIND WHETHER EXPRESS OR IMPLIED, WRITTEN OR ORAL, STATUTORY OR OTHERWISE, RELATED TO THE INFORMATION, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ITS CONDITION, QUALITY, PERFORMANCE, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR PURPOSE. Microchip disclaims all liability arising from this information and its use. Use of Microchip devices in life support and/or safety applications is entirely at the buyer's risk, and the buyer agrees to defend, indemnify and hold harmless Microchip from any and all damages, claims, suits, or expenses resulting from such use. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any Microchip intellectual property rights.

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, dsPIC, FlashFlex, KEELOQ, KEELOQ logo, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PIC³² logo, rPIC, SST, SST Logo, SuperFlash and UNI/O are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

FilterLab, Hampshire, HI-TECH C, Linear Active Thermistor, MTP, SEEVAL and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Silicon Storage Technology is a registered trademark of Microchip Technology Inc. in other countries.

Analog-for-the-Digital Age, Application Maestro, BodyCom, chipKIT, chipKIT logo, CodeGuard, dsPICDEM, dsPICDEM.net, dsPICworks, dsSPEAK, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, HI-TIDE, In-Circuit Serial Programming, ICSP, Mindi, MiWi, MPASM, MPF, MPLAB Certified logo, MPLIB, MPLINK, mTouch, Omniscent Code Generation, PICC, PICC-18, PICDEM, PICDEM.net, PICkit, PICtail, REAL ICE, rLAB, Select Mode, SQI, Serial Quad I/O, Total Endurance, TSHARC, UniWinDriver, WiperLock, ZENA and Z-Scale are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

SQTP is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

GestIC and ULPP are registered trademarks of Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG, a subsidiary of Microchip Technology Inc., in other countries.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2003-2013, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.

ISBN: 9781620769027

Microchip received ISO/TS-16949:2009 certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona; Gresham, Oregon and design centers in California and India. The Company's quality system processes and procedures are for its PIC® MCUs and dsPIC® DSCs, KEELOQ® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, nonvolatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001:2000 certified.

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
= ISO/TS 16949 =**



MICROCHIP

Worldwide Sales and Service

AMERICAS

Corporate Office
 2355 West Chandler Blvd.
 Chandler, AZ 85224-6199
 Tel: 480-792-7200
 Fax: 480-792-7277
 Technical Support:
<http://www.microchip.com/support>
 Web Address:
www.microchip.com

Atlanta

Duluth, GA
 Tel: 678-957-9614
 Fax: 678-957-1455

Boston

Westborough, MA
 Tel: 774-760-0087
 Fax: 774-760-0088

Chicago

Itasca, IL
 Tel: 630-285-0071
 Fax: 630-285-0075

Cleveland

Independence, OH
 Tel: 216-447-0464
 Fax: 216-447-0643

Dallas

Addison, TX
 Tel: 972-818-7423
 Fax: 972-818-2924

Detroit

Farmington Hills, MI
 Tel: 248-538-2250
 Fax: 248-538-2260

Indianapolis

Noblesville, IN
 Tel: 317-773-8323
 Fax: 317-773-5453

Los Angeles

Mission Viejo, CA
 Tel: 949-462-9523
 Fax: 949-462-9608

Santa Clara

Santa Clara, CA
 Tel: 408-961-6444
 Fax: 408-961-6445

Toronto

Mississauga, Ontario,
 Canada
 Tel: 905-673-0699
 Fax: 905-673-6509

ASIA/PACIFIC

Asia Pacific Office
 Suites 3707-14, 37th Floor
 Tower 6, The Gateway
 Harbour City, Kowloon
 Hong Kong
 Tel: 852-2401-1200
 Fax: 852-2401-3431

Australia - Sydney

Tel: 61-2-9868-6733
 Fax: 61-2-9868-6755

China - Beijing

Tel: 86-10-8569-7000
 Fax: 86-10-8528-2104

China - Chengdu

Tel: 86-28-8665-5511
 Fax: 86-28-8665-7889

China - Chongqing

Tel: 86-23-8980-9588
 Fax: 86-23-8980-9500

China - Hangzhou

Tel: 86-571-2819-3187
 Fax: 86-571-2819-3189

China - Hong Kong SAR

Tel: 852-2943-5100
 Fax: 852-2401-3431

China - Nanjing

Tel: 86-25-8473-2460
 Fax: 86-25-8473-2470

China - Qingdao

Tel: 86-532-8502-7355
 Fax: 86-532-8502-7205

China - Shanghai

Tel: 86-21-5407-5533
 Fax: 86-21-5407-5066

China - Shenyang

Tel: 86-24-2334-2829
 Fax: 86-24-2334-2393

China - Shenzhen

Tel: 86-755-8864-2200
 Fax: 86-755-8203-1760

China - Wuhan

Tel: 86-27-5980-5300
 Fax: 86-27-5980-5118

China - Xian

Tel: 86-29-8833-7252
 Fax: 86-29-8833-7256

China - Xiamen

Tel: 86-592-2388138
 Fax: 86-592-2388130

China - Zhuhai

Tel: 86-756-3210040
 Fax: 86-756-3210049

ASIA/PACIFIC

India - Bangalore
 Tel: 91-80-3090-4444
 Fax: 91-80-3090-4123

India - New Delhi

Tel: 91-11-4160-8631
 Fax: 91-11-4160-8632

India - Pune

Tel: 91-20-2566-1512
 Fax: 91-20-2566-1513

Japan - Osaka

Tel: 81-6-6152-7160
 Fax: 81-6-6152-9310

Japan - Tokyo

Tel: 81-3-6880-3770
 Fax: 81-3-6880-3771

Korea - Daegu

Tel: 82-53-744-4301
 Fax: 82-53-744-4302

Korea - Seoul

Tel: 82-2-554-7200
 Fax: 82-2-558-5932 or
 82-2-558-5934

Malaysia - Kuala Lumpur

Tel: 60-3-6201-9857
 Fax: 60-3-6201-9859

Malaysia - Penang

Tel: 60-4-227-8870
 Fax: 60-4-227-4068

Philippines - Manila

Tel: 63-2-634-9065
 Fax: 63-2-634-9069

Singapore

Tel: 65-6334-8870
 Fax: 65-6334-8850

Taiwan - Hsin Chu

Tel: 886-3-5778-366
 Fax: 886-3-5770-955

Taiwan - Kaohsiung

Tel: 886-7-213-7828
 Fax: 886-7-330-9305

Taiwan - Taipei

Tel: 886-2-2508-8600
 Fax: 886-2-2508-0102

Thailand - Bangkok

Tel: 66-2-694-1351
 Fax: 66-2-694-1350

EUROPE

Austria - Wels
 Tel: 43-7242-2244-39
 Fax: 43-7242-2244-393

Denmark - Copenhagen

Tel: 45-4450-2828
 Fax: 45-4485-2829

France - Paris

Tel: 33-1-69-53-63-20
 Fax: 33-1-69-30-90-79

Germany - Munich

Tel: 49-89-627-144-0
 Fax: 49-89-627-144-44

Italy - Milan

Tel: 39-0331-742611
 Fax: 39-0331-466781

Netherlands - Druenen

Tel: 31-416-690399
 Fax: 31-416-690340

Spain - Madrid

Tel: 34-91-708-08-90
 Fax: 34-91-708-08-91

UK - Wokingham

Tel: 44-118-921-5869
 Fax: 44-118-921-5820