



แบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยอดเหรียญ
A VENDING MACHINE MODEL OF MOBILE-PHONE BATTERY
CHARGER



นางสาวกรรณิการ์ แสงไทย รหัส 57362736
นายเสรีรัฐ เณรหล้า รหัส 57363603

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2560



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ แบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยอดเหรียญ
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวกรรณิการ์ แสงไทย รหัส 57362736
 นายเสรีรัฐ เณรหล้า รหัส 57363603
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2560

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร เดชะศิลารักษ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

ชื่อหัวข้อโครงการ	แบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยอดเหรียญ
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวกรรณิการ์ แสงไทย รหัส 57362736
	นายเสรีรัฐ เณรหล้า รหัส 57363603
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

ในโครงการนี้ได้ออกแบบและสร้างแบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยอดเหรียญสำหรับสมาร์ตโฟน แท็บเล็ต และแบตเตอรี่สำรอง โดยออกแบบให้สามารถจ่ายแรงดันคงที่ขนาด 5 V ในขณะที่ผู้ใช้สามารถเลือกค่ากระแสประจุสูงสุด 1 A หรือ 2 A เพื่อให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่ได้ นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดระยะเวลาในการประจุตามจำนวนเงินรวมที่หยอด ซึ่งแบบจำลองสามารถรับเหรียญกษาปณ์ไทยชนิดราคา 1 บาท 2 บาท 5 บาท และ 10 บาท โดยแต่ละเหรียญจะเคลื่อนที่ในรางลำเลียงซึ่งติดตั้งตัวรับรู้แบบใช้แสงจำนวน 4 ตัว เพื่อตรวจจับและส่งสัญญาณให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้นับจำนวนเหรียญของแต่ละชนิดราคา คำนวณจำนวนเงินรวมและระยะเวลาในการประจุ ทั้งนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมการเริ่มและการหยุดประจุผ่านรีเลย์ และแสดงสถานะการทำงานเป็นข้อความบนหน้าจอแอลซีดี

Project title A Vending Machine Model of Mobile-Phone Battery Charger

Name Miss. Kannika Saengthai ID. 57362736

 Mr. Sareerat Nanelume ID. 57363603

Project advisor Asst. Prof. Niphat Jantharamin, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2017

Abstract

This thesis presents a design and construction of a vending machine model of battery charger for mobile phones, tablets and power banks. This charger model provides three regulated levels of 5 V. It is able to limit the charging current to either 1 A or 2 A, which can be selected by the user. The charging time is set in relation to coins inserted into a model slot. This model is capable of sorting and counting coins including calculating their values by using a microcontroller. This machine is designed for sorting 1, 2, 5 and 10-baht Thai coins. Each coin moves along a rail on which four infrared sensors are mounted. Depending on the coin size, the microcontroller obtains the sensor outputs and hence evaluates the sum of the coins in terms of their number and value. The charging time for each choice of the charging current is calculated correspondingly. Hereby, the microcontroller dictates the start as well as the completion of charging process via a relay and displays the operation states as texts on the LCD.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงการขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งเอาใจใส่ในรายละเอียดทุกขั้นตอนของการดำเนินโครงการ โดยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วง รวมถึงแนะนำหลักการเขียนปฏิญญานิพนธ์และตรวจทานแก้ไขอย่างละเอียดจนได้ปฏิญญานิพนธ์เป็นรูปเล่มสมบูรณ์

ขอขอบคุณกรรมการสอบโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริพร เดชะศิลารักษ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย ซึ่งกรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินโครงการ

รวมทั้งขอขอบคุณรัฐบาลไทยที่ได้จัดตั้งกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา (กยศ.) ซึ่งเป็นการสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ให้แก่ นางสาวกรรณิการ์ แสงไทย โดยได้กู้ยืมตั้งแต่ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จนถึงการศึกษาในระดับปริญญาตรี

เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ให้การสนับสนุนในทุกด้านเกี่ยวกับการศึกษาของผู้ดำเนินโครงการ รวมทั้งมอบความรัก ความเมตตา และคอยเป็นกำลังใจให้จนประสบความสำเร็จในวันนี้

ผู้ดำเนินโครงการ

นางสาวกรรณิการ์ แสงไทย

นายเสรีรัฐ เณรหล้า

พฤษภาคม 2561

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน.....	4
2.1.1 คุณสมบัติทางเคมีแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน.....	5
2.1.2 การคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน.....	7
2.1.3 การประจุของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน.....	8
2.2 หลักการประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน.....	11
2.3 วงจรทอนระดับแรงดัน.....	13
2.4 แผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Mega 2560.....	18
2.5 ตัวรับรู้แบบใช้แสง.....	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6 จอแอลซีดี	22
2.7 ไอทิวซี.....	24
2.8 รีเลย์.....	26
บทที่ 3 การสร้างแบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยอดเหรียญ.....	30
3.1 การออกแบบการทำงานของแบบจำลอง	30
3.2 วงจรควบคุมแรงดันและกระแสประจุ	31
3.3 การออกแบบและสร้างส่วนตรวจจับเหรียญ.....	34
3.3.1 ร่างลำเลียงเหรียญ.....	34
3.3.2 การติดตั้งตัวรับรู้	35
3.4 การประมวลผลและแสดงสถานะการทำงาน.....	36
3.4.1 ส่วนประมวลผลการทำงาน	36
3.4.2 หน้าจอแสดงสถานะการทำงาน.....	39
3.5 การทำงานของแบบจำลอง	41
3.6 การประกอบแบบจำลอง	43
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	46
4.1 การทดสอบการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน	46
4.1.1 การคุมค่าแรงดันด้านออก	46
4.1.2 การจำกัดกระแสด้านออก	47
4.1.3 ประสิทธิภาพ	48
4.2 ความถูกต้องในการตรวจจับและคำนวณจำนวนเงิน	50
4.3 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่.....	52

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	54
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	54
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	54
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	55
เอกสารอ้างอิง.....	56
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	57



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน	5
2.2 คุณลักษณะการทำงานโดยทั่วไปของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน	7
2.3 สัญลักษณ์ขาของไอทูนี	24
4.1 ค่าแรงดันและกระแสด้านออกโดยไม่มีการจำกัดกระแส	47
4.2 ค่าแรงดันและกระแสด้านออกเมื่อจำกัดกระแสสูงสุด 1 A.....	47
4.3 ค่าแรงดันและกระแสด้านออกเมื่อจำกัดกระแสสูงสุด 2 A.....	48
4.4 ประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อไม่มีการจำกัดกระแส	49
4.5 ประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อจำกัดกระแสสูงสุด 1 A.....	49
4.6 ประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อจำกัดกระแสสูงสุด 2 A.....	49



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	กระบวนการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในเซลล์ของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน.....6
2.2	การเปรียบเทียบแรงดันกับความจุสำหรับเซลล์ INCP 61/16/78 7 Ah เมื่อคายประจุด้วย กระแสคงที่ ที่ 25°C หลังจากการประจุ (a) 4.1 V (b) 4.2 V ที่กระแส 1 A.....8
2.3	การเปรียบเทียบแรงดันกับพลังงานสำหรับเซลล์ INCP 61/16/78 7 Ah เมื่อคายประจุด้วย กระแสคงที่ ที่ 25°C หลังจากการประจุ (a) 4.1 V (b) 4.2 V ที่กระแส 1 A.....9
2.4	ความจุของเซลล์ INCP 160/61/78 เมื่อใช้งานครบรอบด้วยกระแสคงที่ 1 A และ 6 A สำหรับ การประจุระหว่าง 4.1 V กับ 4.2 V และการคายประจุระหว่าง 2.5 V กับ 3.0 V ที่ 25°C..... 10
2.5	ความจุของเซลล์ INCP 160/61/78 เมื่อประจุที่ 4.1 V กับ 4.2 V และคายประจุที่ 2.5 V กับ 3.0 V ที่ 25°C ที่ 1 A กับ 6 A โดยเซลล์ที่ใช้กระแส 1 A ใช้งานแล้ว 300 รอบ แต่เซลล์ที่ใช้ กระแส 6 A ใช้งานแล้ว 3,000 รอบ..... 10
2.6	ข้อมูลแรงดัน ร้อยละจำนวนประจุ และกระแสประจุ สำหรับเซลล์ชนิด C/LiMnO ₂ และเซลล์ ชนิด C/LiCoO ₂ 18650 ในการประจุแบบกระแสคงที่แรงดันคงที่เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ด้วย กระแสสูงสุดที่ 1.4 A กับ 1.65 A และแรงดันสูงสุดที่ 4.2 V..... 11
2.7	การประจุแบบกระแสคงที่-แรงดันคงที่ (CCCV)..... 12
2.8	แผนภาพวงจรทอนระดับแรงดัน..... 13
2.9	รูปสัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อไม่มีวงจรกรอง..... 13
2.10	วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ปิด..... 15
2.11	วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์เปิด..... 15
2.12	แรงดันและกระแสของตัวเหนี่ยวนำในวงจรทอนระดับแรงดันในสถานะอยู่ตัว..... 16
2.13	ความพลีวของแรงดันด้านออกในวงจรทอนระดับแรงดัน..... 18
2.14	แผงวงจร Arduino รุ่น Mega2560..... 19
2.15	หน่วยประมวลผลกลางของ ATmega2560 ขนาด 100 ขา..... 20
2.16	แผนภาพการใช้งานตัวรับรู้..... 21
2.17	ตัวรับรู้แบบใช้แสง..... 22

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.18 แผนภาพวงจรการทำงานของตัวรับรู้แบบใช้แสง	22
2.19 จอแสดงผลแอลซีดี Hitachi หมายเลข HD44780.....	23
2.20 ไอทิวซี.....	24
2.21 การรับและส่งข้อมูลแบบ I2C BUS.....	25
2.22 การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับจอแอลซีดีผ่านไอทิวซี	25
2.23 การแสดงการเชื่อมต่อของ I2C กับจอแอลซีดี.....	26
2.24 สัญลักษณ์ภายในโครงสร้างของรีเลย์	27
2.25 สภาวะการทำงานของรีเลย์.....	27
2.26 แผงวงจรรีเลย์แบบมีตัวเชื่อมต่อทางแสง.....	28
2.27 แผนภาพวงจรการทำงานของรีเลย์แบบมีตัวเชื่อมต่อทางแสง	29
3.1 แผนภาพการทำงานของเครื่องประยุกต์เทอร์มิสทอร์ที่เคลื่อนที่แบบหยุดเหรียญ.....	30
3.2 แผนภาพวงจรภายในวงจรรวมหมายเลข TL494.....	31
3.3 แผนภาพวงจรควบคุมแรงดันและกระแสประจุ.....	32
3.4 วงจรควบคุมแรงดันและกระแสประจุ	33
3.5 ขนาดของรางลำเลียงเหรียญ	34
3.6 ความกว้างของรางลำเลียงเหรียญ.....	35
3.7 การติดตั้งตัวรับรู้.....	35
3.8 แผนภาพการเชื่อมต่อของแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	36
3.9 ขั้นตอนการคำนวณค่าเงินที่หยุดและเวลาในการประจุ.....	38
3.10 หน้าจอแสดงจำนวนเงินที่หยุดและระยะเวลาการประจุ	40
3.11 การแสดงจำนวนเงินรวมและจำนวนเหรียญแต่ละชนิดราคา.....	40
3.12 หน้าจอแสดงเตรียมการเริ่มทำงานใหม่ของโปรแกรม.....	41
3.13 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง	42
3.14 มุมมองด้านหน้าของแบบจำลอง	43
3.15 การติดตั้งอุปกรณ์ภายในแบบจำลอง	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 มุมมองด้านหลังของแบบจำลอง	45
4.1 การทดสอบการตรวจจับเหรียญและการคำนวณจำนวนเงินเหรียญ	51
4.2 การทดสอบการประจุ่มแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่.....	52
4.3 การทดสอบการประจุ่มแบตเตอรี่สำรอง.....	53



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Phone) เป็นอุปกรณ์สื่อสารที่คนส่วนใหญ่นิยมใช้กันเป็นจำนวนมาก เพื่อเพิ่มความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร โดยคาดว่าภายในปี 2561 สัดส่วนของการใช้สมาร์ทโฟน (Smartphone) จะอยู่ที่ราว 90% ของจำนวนมือถือทั้งหมด ในปัจจุบันเทคโนโลยีของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ออกพัฒนาขึ้นมิใช่เพียงใช้ในการสื่อสารด้วยวิธีการโทรเพียงเท่านั้น ยังสามารถสื่อสารผ่านทางแอปพลิเคชัน (Application) ในรูปแบบสังคมออนไลน์ เช่น เฟซบุ๊ก (Facebook) ไลน์ (Line) อินสตาแกรม (Instagram) แอปพลิเคชันที่เกี่ยวกับความบันเทิง เช่น ฟังเพลง เกมในโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือแอปพลิเคชันในเรื่องของการศึกษา เช่น แปลภาษา เป็นต้น โทรศัพท์จึงถูกใช้งานได้อย่างหลากหลายทำให้โทรศัพท์มือถือถูกพัฒนาเป็นสมาร์ทโฟน จึงทำให้สมาร์ทโฟนถูกใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ดังนั้น ระยะเวลาที่ใช้งานจึงขึ้นอยู่กับแบตเตอรี่ (Battery) ที่เป็นแหล่งสะสมพลังงานของสมาร์ทโฟน ในแต่ละรุ่นของแต่ละยี่ห้อที่มีขนาดของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากัน ด้วยข้อจำกัดด้านรูปลักษณะของสมาร์ทโฟนในปัจจุบัน ทำให้แบตเตอรี่มีขนาดเล็กและบางลง ปริมาณพลังงานของแบตเตอรี่จึงมีจำกัด ส่งผลให้ระยะเวลาการใช้งานสมาร์ทโฟนนั้นสั้นลง ไม่สามารถตอบสนองการใช้งานได้อย่างเพียงพอ สำหรับกรณีที่อยู่นอกสถานที่พักอาศัยหรือสถานที่ทำงานซึ่งโดยทั่วไปโอกาสที่จะพกพาอะแดปเตอร์ (Adapter) สำหรับประจุแบตเตอรี่ติดตัวไปด้วยนั้นค่อนข้างน้อยหรือการใช้แบตเตอรี่สำรอง (Power Bank) ยังคงให้พลังงานที่จำกัด

การมีระบบให้บริการประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่ มีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เพื่อความสะดวกสบายและใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง การให้บริการในรูปแบบนี้สามารถชำระค่าบริการได้หลายรูปแบบ โครงการนี้ได้เลือกใช้บริการชำระค่าบริการแบบหยอดเหรียญโดยจะทำการแปลงค่าของเงินที่หยอดเป็นเวลาคงเหลือที่ใช้ในการประจุโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งเงินเหรียญยังคงเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากความถี่ของค่าเงินเหรียญมากกว่าธนบัตร สามารถกำหนดระยะเวลาการประจุได้อย่างละเอียดและหลากหลายตามความต้องการของผู้ใช้บริการ จึงได้สร้างแบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยอดเหรียญที่สามารถคิดอัตราค่าบริการจากการหยอดเหรียญ ภาชนะโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) รูปแบบการให้บริการประจุแบตเตอรี่ดังกล่าวสร้างขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับผู้ที่ต้องการใช้บริการประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยอดเหรียญ สำหรับสมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และแบตเตอรี่สำรอง โดยสามารถกำหนดระยะเวลาตามจำนวนเงินที่หยอด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) จ่ายแรงดันด้านขาออกคงที่ขนาด 5 V กระแสประจุสูงสุด 1 A และ 2 A
- 2) สามารถรับเหรียญได้ในราคา 1 บาท 2 บาท 5 บาท และ 10 บาท และแสดงผลค่าของเวลาที่คงเหลือในการประจุน้ำจ่อแอลซีดี
- 3) ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของแบบจำลองรวมทั้งแสดงค่าสถานะการทำงานบนหน้าจ่อแอลซีดี

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	พ.ศ. 2560					พ.ศ. 2561			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1) ออกแบบและสร้างวงจรนับและคำนวณค่าของเหรียญที่หยอด									
2) ศึกษาและสร้างวงจรประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่									
3) เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของแบบจำลอง									
4) ทดสอบการทำงานและปรับปรุงชิ้นงาน									
5) สรุปผลและจัดทำรูปเล่มปฏิญานิพนธ์									

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

แบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้นสามารถอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน สามารถทำให้ใช้งานสมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และแบตเตอรี่สำรองได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถกำหนดระยะเวลาประจุได้หลากหลายได้ตามความต้องการ

1.6 งบประมาณ

1) วงจรทอนระดับแรงดัน	100 บาท
2) วงจรควบคุมแรงดันและกระแสประจุ	100 บาท
3) ไมโครคอนโทรลเลอร์	440 บาท
4) ตัวรับรู้แบบใช้แสง จำนวน 4 ตัว	560 บาท
5) หน้าจอแสดงผลแอลซีดี	215 บาท
6) มอดูลสวิตช์	120 บาท
7) มอดูลรีเลย์	75 บาท
8) มอดูลนาฬิกา	90 บาท
9) ค่าถ่ายเอกสาร	300 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองพันบาทถ้วน)	<u>2,000</u> บาท
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การประจุแบตเตอรี่ในโครงการนี้ได้ออกแบบวงจรที่สามารถทำงานโดยการประจุแบตเตอรี่ของสมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และแบตเตอรี่สำรอง ซึ่งแบตเตอรี่ที่เป็นแหล่งเก็บพลังของอุปกรณ์ที่กล่าวมานั้นจะเป็นประเภทแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

2.1 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Li-ion) ประกอบด้วยเซลล์ที่ใช้สารประกอบของลิเทียมเป็นวัสดุในการสร้างขั้วบวกและขั้วลบ โดยแบตเตอรี่จะมีกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของลิเทียม (Li^+) ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบซึ่งเคลื่อนที่ไปมาระหว่างขั้วบวกและขั้วลบในระหว่างการประจุและคายประจุของเซลล์แบตเตอรี่ โดยทั่วไปวัสดุของขั้วบวกเป็นออกไซด์ของโลหะที่มีโครงสร้างเป็นชั้น เช่น ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (LiCoO_2) หรือวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน เช่น ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (LiMn_2O_4) และมีการสะสมกระแสไฟฟ้าที่แผ่นอะลูมิเนียมบาง โดยทั่วไปขั้วลบสร้างจากแกรไฟต์ (Graphite) หรือวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นชั้นและมีการสะสมกระแสไฟฟ้าที่แผ่นทองแดง ในขั้นตอนการประจุและการคายประจุ ไอออนของลิเทียมจะถูกแทรกหรือถูกดึงออกจากช่องว่างเล็กๆระหว่างชั้นอะตอมภายในวัสดุเนื้อสาร

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีค่าพลังงานจำเพาะ (Specific Energy) และค่าความหนาแน่นของพลังงาน (Energy Density) สูง ทำให้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเหมาะสำหรับการใช้งานที่ให้ ความสำคัญกับน้ำหนักหรือปริมาตร แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีอัตราการคายประจุเอง (Self-discharge) ต่ำ มีอายุการใช้งาน (Cycle Life) ยาวนาน และช่วงอุณหภูมิของการทำงานกว้าง ทำให้มีความหลากหลายในด้านการใช้งาน ขนาดและรูปร่างซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ผลิต โดยทั่วไปหนึ่งเซลล์ของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีค่าแรงดันใช้งานอยู่ในช่วง 2.5-4.2 V ซึ่งมากกว่าประมาณสามเท่าของแรงดันที่ได้จากแบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม (NiCd) หรือนิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (NiMH)

อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน คือการเสื่อมสภาพลงเมื่อใช้งานจนแรงดันต่ำกว่า 2 V และปล่อยประจุออกเมื่อเกิดการประจุเกิน (Overcharge) ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนไม่มีกลไกทางเคมีในการจัดการกับการประจุเกินซึ่งแตกต่างจากคุณสมบัติทางเคมีของแบตเตอรี่ชนิดน้ำ โดยทั่วไปแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนจึงต้องมีวงจรและอุปกรณ์ตัดการเชื่อมต่อทาง

กลเพื่อป้องกันการเกิดการคายประจุเกิน (Deep Discharge) และการประจุเกินรวมทั้งสถานะอุณหภูมิสูงเกิน แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนจะมีการสูญเสียความสามารถอย่างถาวรที่อุณหภูมิสูง (65°C) แม้ว่าอัตราการคายประจุต่ำกว่ามากเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดนิเกิลแคดเมียมหรือนิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Ehrlich, G. M., 2002) ข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.1

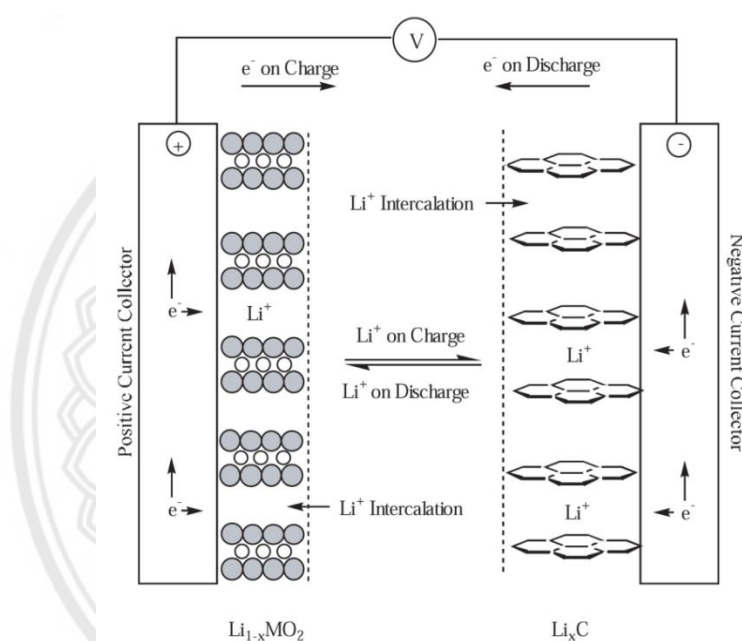
ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Ehrlich, G. M., 2002)

ข้อดี	ข้อเสีย
1) เซลล์ปิดผนึกไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษา	1) ราคาค่อนข้างแพง
2) อายุการใช้งานนาน	2) เสื่อมลงเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง
3) ช่วงอุณหภูมิของการทำงานกว้าง	3) ต้องการวงจรป้องกัน
4) มีอายุการเก็บรักษาได้นาน	4) สูญเสียความจุหรือเกิดความร้อนออกมาเมื่อมีการประจุเกิน
5) อัตราการคายประจุเองต่ำ	5) เมื่อเกิดความเสียหายจะมีการปล่อยประจุและความร้อนออกมา
6) สามารถประจุได้อย่างรวดเร็ว	6) การออกแบบรูปทรงกระบอกจะมีความหนาแน่นของพลังงานต่ำกว่านิเกิลแคดเมียมหรือนิเกิลเมทัลไฮไดรด์
7) ความสามารถในการคายประจุออกมาอัตราที่สูงและกำลังสูง	
8) ประสิทธิภาพทางประจุและพลังงานสูง	
9) พลังงานจำเพาะและความหนาแน่นของพลังงานสูง	
10) ไม่มีผลหน่วยความจำ (Memory Effect)	

2.1.1 คุณสมบัติทางเคมีแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

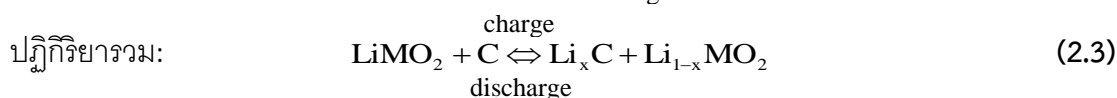
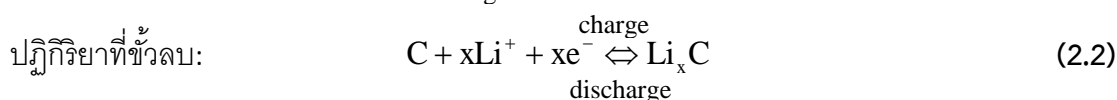
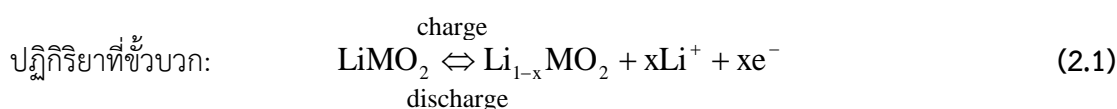
แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่ใช้สารประกอบออกไซด์ของโลหะลิเทียมเป็นวัสดุในการสร้างขั้วบวก ซึ่งได้แก่ ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ และลิเทียมนิกเกิลออกไซด์ (LiNiO₂) แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์เพราะให้ค่าความหนาแน่นพลังงานสูงที่สุด ส่วนขั้วลบใช้คาร์บอนที่มีความพรุนสูง เช่น แกรไฟต์เป็นส่วนประกอบ อิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนใช้เกลือของลิเทียมหรือฟอสเฟตของลิเทียมที่ละลายในสารละลายอินทรีย์ ในขณะที่ตัวกั้น (Separator) นิยมทำมาจากพลาสติก เช่น โพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) หรือ โพลีเอทิลีน (Polyethylene: PE)

ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ โดยขณะที่ประจุ ออกไซด์ของโลหะ ลิเทียมที่ขั้วบวกแตกตัวให้อิออนของลิเทียมและอิเล็กตรอน (e^-) ออกมา อิออนของลิเทียมเคลื่อนที่ ออกจากขั้วบวกผ่านอิเล็กโทรไลต์แล้วแทรกตัวอยู่ในชั้นของคาร์บอนที่ขั้วลบ ส่วนอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ จากขั้วบวกผ่านวงจรภายนอกไปยังขั้วลบเพื่อรวมตัวกับอิออนของลิเทียม และขณะที่คายประจุจะ เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับลิเทียมอิออนและอิเล็กตรอนแยกตัวออกมา อิออนของลิเทียมเคลื่อนที่ออก จากขั้วลบผ่านอิเล็กโทรไลต์ไปยังขั้วบวกและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วลบผ่านวงจรภายนอกไปยัง ขั้วบวกเพื่อรวมตัวกับอิออนของลิเทียมอีกครั้ง (Ehrlich, G. M., 2002) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในเซลล์ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Ehrlich, G. M., 2002)

ปฏิกิริยาของการอัดและคายประจุในเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Ehrlich, G. M., 2002) มีดังนี้



2.1.2 การคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

คุณลักษณะในการทำงานโดยทั่วไปของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ได้ระบุไว้ในตารางที่ 2.2 โดยทั่วไปแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนให้แรงดันสูงอยู่ในช่วง 2.5 – 4.2 V ซึ่งมากกว่าประมาณสามเท่าของแบตเตอรี่ชนิดนิเกิลแคดเมียมหรือนิเกิลเมทัลไฮไดรด์ โดยมีค่าพลังงานจำเพาะมากกว่า 150 Wh/Kg และค่าความหนาแน่นพลังงานมากกว่า 400 Wh/L สามารถคายประจุได้ในอัตราสูงถึง 5C อย่างต่อเนื่องหรือกระแสพัลส์ 25C มีค่าความหนาแน่นของกำลังสูงและมีอัตราการคายประจุเองต่ำนอกจากนี้ยังมีอายุการใช้งานหลายปีและมีช่วงอุณหภูมิในการทำงานกว้างโดยสามารถประจุในช่วงอุณหภูมิ 20°C – 60°C และคายประจุในช่วงอุณหภูมิ -40°C – 65°C (Ehrlich, G. M., 2002)

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะการทำงานโดยทั่วไปของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

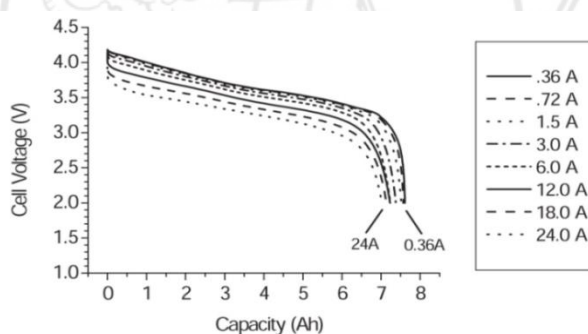
(Ehrlich, G. M., 2002)

คุณลักษณะ	สมรรถนะ
แรงดันของเซลล์ที่ใช้งาน	2.5 V – 4.2 V
ค่าพลังงานจำเพาะ	100 – 158 Wh/kg
ค่าความหนาแน่นของพลังงาน	245 – 430 Wh/L
ความสามารถในการคายประจุ	ใช้งานปกติได้ 1C, สูงสุดได้ 5C
ความสามารถในการจ่ายกระแสพัลส์ (Pulse Rate Capability)	สูงถึง 25C
อายุการใช้งานที่ 100% ของความลึกของการคายประจุ (Depth of Discharge: DoD)	โดยทั่วไป 3,000 รอบการประจุ
อายุการใช้งานที่ 20% – 40% ของความลึกของการคายประจุ	มากกว่า 20,000 รอบการประจุ
อายุการใช้งาน	มากกว่า 5 ปี
อัตราการคายประจุเอง	2% – 10% ต่อเดือน
ช่วงอุณหภูมิในการทำงาน	-40°C – 65°C
ผลหน่วยความจำ (Memory Effect)	ไม่มี
ค่าความหนาแน่นของกำลัง (Power Density)	2,000 – 3,000 W/L
ค่ากำลังเฉพาะ (Specific Power)	700 – 1,300 W/Kg

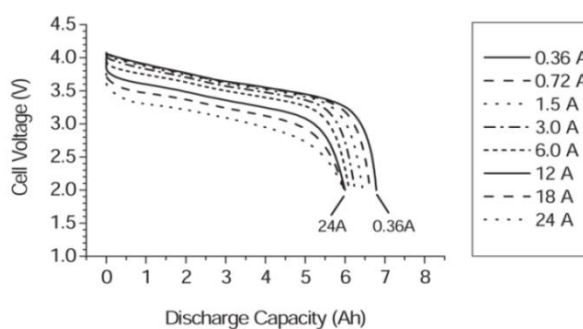
2.1.1 การประจุของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

โดยทั่วไปการประจุเซลล์ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนนิยมใช้หลักการประจุแบบ กระแสคงที่ (Constant Current: CC) หรือกระแสคงที่-แรงดันคงที่ (Constant Current-Constant Voltage: CCCV) โดยใช้วงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่ที่อัตราการประจุต่ำ (0.2C) การประจุแบบ กระแสคงที่ให้ผลเดียวกันกับการประจุแบบกระแสคงที่-แรงดันคงที่ เมื่อแรงดันของเซลล์มีค่าเท่ากับ พิกัดแรงดันแสดงว่าเซลล์ถูกประจุจนเต็ม

โดยทั่วไปแรงดันที่ใช้สำหรับประจุเซลล์ชนิดลิเทียมไอออนอยู่ที่ 4.1 V หรือ 4.2 V ขณะที่เซลล์ชนิดลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์สามารถใช้ได้กับทั้งสองแรงดัน แรงดันสิ้นสุดการประจุส่งผล ต่อสมรรถนะของเซลล์ชนิดลิเทียมนิกเกิลโคบอลต์ออกไซด์ ($\text{LiNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_2$) เมื่อประจุเซลล์ที่ 4.2 V โดยวัสดุขั้วบวกสามารถให้ความจุสูงขึ้น แต่อายุการใช้งานและเสถียรภาพในการสะสมพลังงานลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับประจุเซลล์ด้วยแรงดัน 4.1 V ความจุของเซลล์คาร์บอนลิเทียมนิกเกิลโคบอลต์ ออกไซด์ที่ประจุด้วยแรงดัน 4.1 V และ 4.2 V สำหรับการคายประจุแบบกระแสคงที่แสดงในรูปแบบ ที่ 2.2



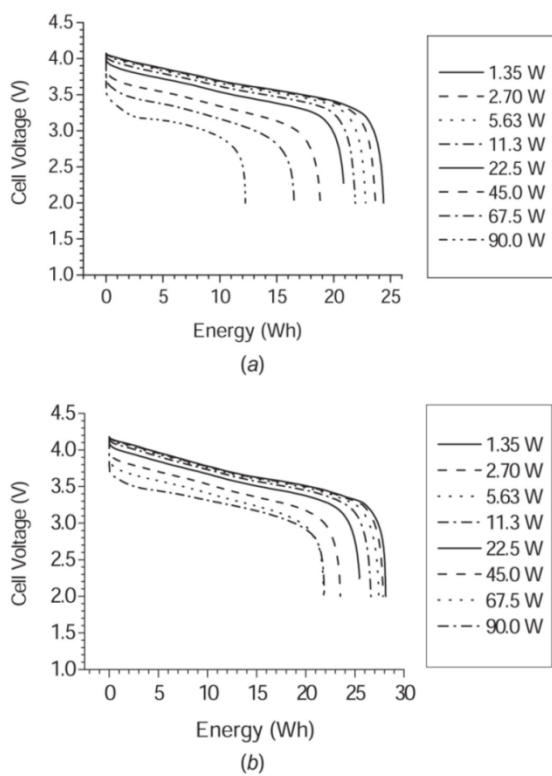
(a)



(b)

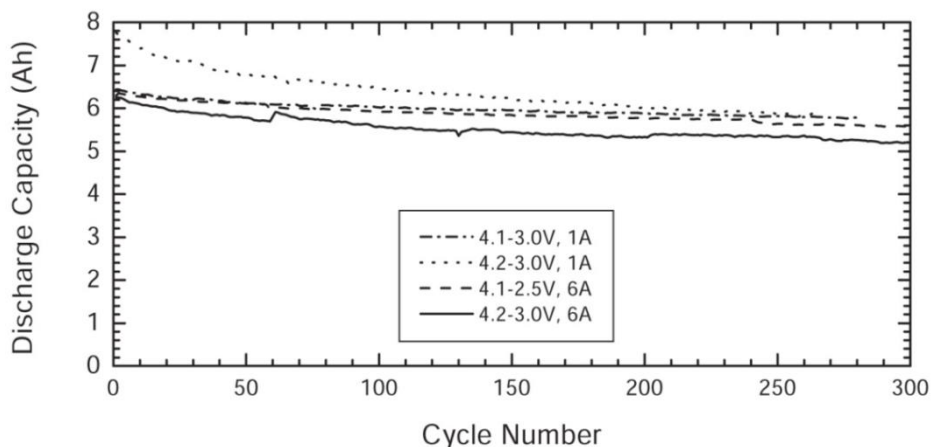
รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบแรงดันกับความจุสำหรับเซลล์ INCP 61/16/78 7 Ah เมื่อคายประจุด้วย กระแสคงที่ ที่ 25°C หลังจากการประจุ (a) 4.1 V (b) 4.2 V ที่กระแส 1 A (Ehrlich, G. M., 2002)

ความสามารถในการจ่ายพลังงานในช่วงการคายประจุด้วยกระแสที่แสดงในรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าที่อัตราการประจุต่ำ (0.1C) เซลล์ที่ถูกประจุด้วยแรงดัน 4.2 V จ่ายพลังงานได้มากกว่าเซลล์ที่ประจุด้วยแรงดัน 4.1 V ประมาณ 14% และที่อัตราการประจุสูง (2C) สามารถให้พลังงานมากกว่า 18% อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้แรงดันการประจุสูงขึ้น ทำให้เซลล์จ่ายพลังงานได้มากขึ้น แต่ส่งผลให้การเสื่อมสภาพของเซลล์สูงขึ้นเช่นกัน

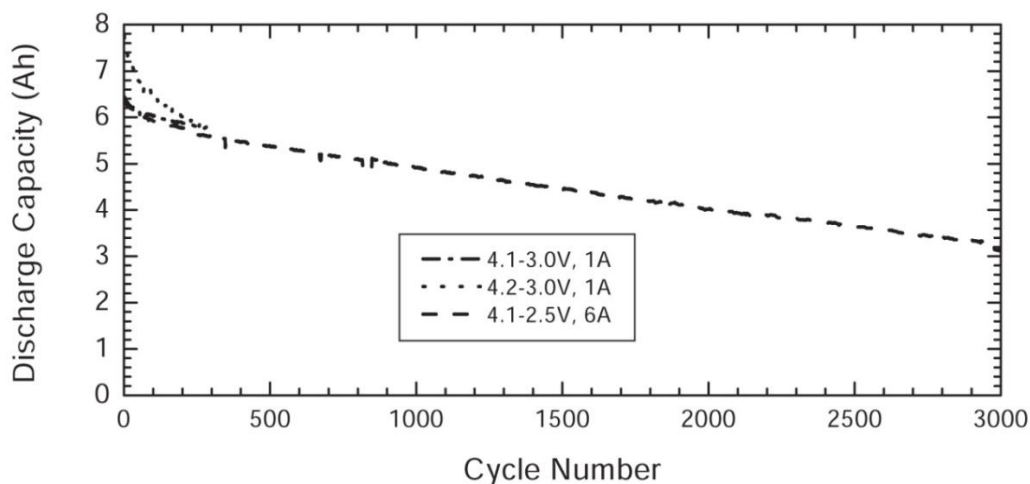


รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบแรงดันกับพลังงานสำหรับเซลล์ INCP 61/16/78 7 Ah เมื่อคายประจุด้วยกระแสที่ 25°C หลังจากการประจุ (a) 4.1 V (b) 4.2 V ที่กระแส 1 A (Ehrlich, G. M., 2002)

ความจุของเซลล์เมื่อคายประจุที่กระแสที่แสดงในรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 จะพบว่าถึงแม้อัตราการเสื่อมสภาพของเซลล์ที่ถูกประจุด้วยแรงดัน 4.2 V มีค่าสูงกว่าในช่วงการใช้งาน 300 รอบ ข้อมูลที่แสดงนี้บอกถึงสมรรถนะของเซลล์ชนิดลิเทียมไอออนที่ใช้อัตราการประจุสูง (6 A) หรืออัตราการประจุต่ำ (1 A) เซลล์ที่ใช้อัตราการประจุต่ำจะให้พลังงานสูงกว่า อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างนี้ลดลงหลังจากใช้งาน 300 รอบ เพราะอัตราการเสื่อมสภาพของเซลล์มีค่าใกล้เคียงกัน



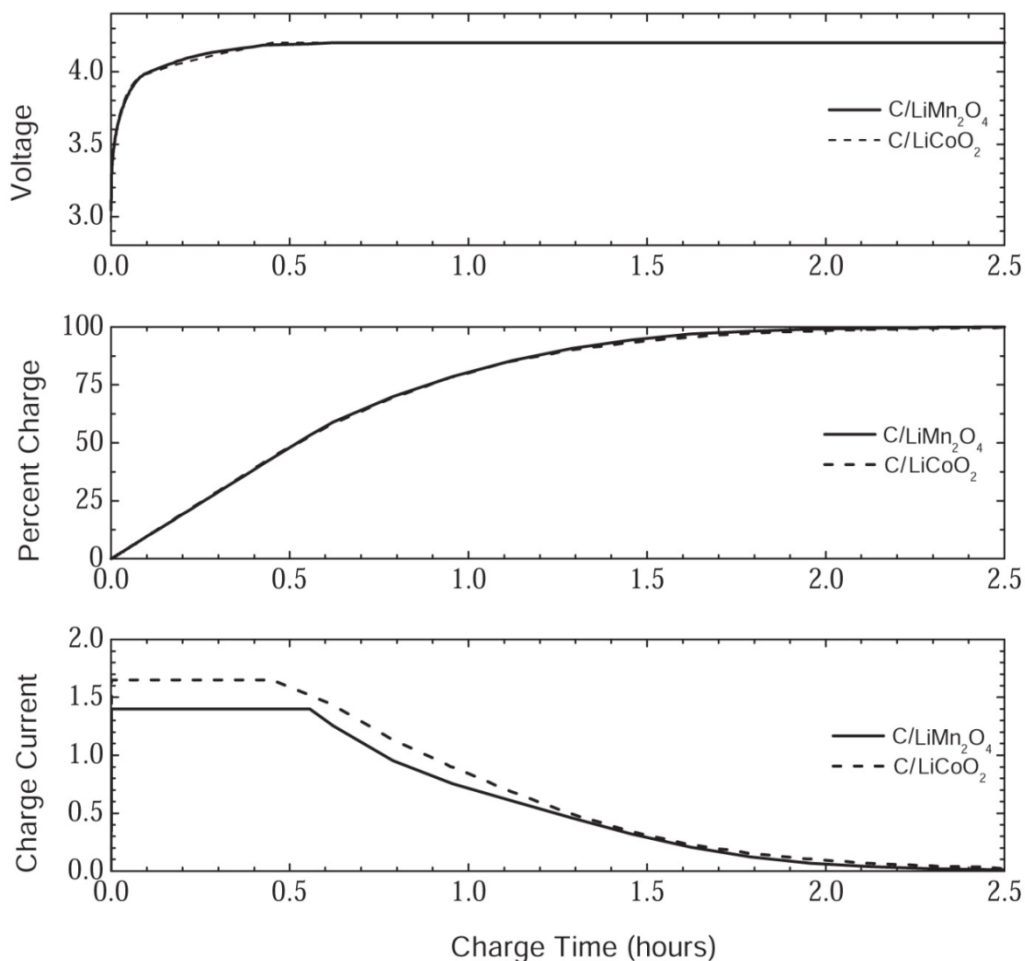
รูปที่ 2.4 ความจุของเซลล์ INCP 160/61/78 เมื่อใช้งานครบรอบด้วยกระแสคงที่ 1 A และ 6 A สำหรับการประจุระหว่าง 4.1 V กับ 4.2 V และการคายประจุระหว่าง 2.5 V กับ 3.0 V ที่ 25°C (Ehrlich, G. M., 2002)



รูปที่ 2.5 ความจุของเซลล์ INCP 160/61/78 เมื่อประจุที่ 4.1 V กับ 4.2 V และคายประจุที่ 2.5 V กับ 3.0 V ที่ 25°C ที่ 1 A กับ 6 A โดยเซลล์ที่ใช้กระแส 1 A ใช้งานแล้ว 300 รอบ แต่เซลล์ที่ใช้กระแส 6 A ใช้งานแล้ว 3,000 รอบ (Ehrlich, G. M., 2002)

ในรูปที่ 2.6 แสดงข้อมูลของแรงดัน ร้อยละจำนวนประจุ และกระแสสำหรับการประจุแบบกระแสคงที่-แรงดันคงที่ของเซลล์คาร์บอนลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ 18650 ที่ 1.4 A โดยจำกัดแรงดันประจุที่ 4.2 V และเซลล์คาร์บอนลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่ 1.65 A และ 4.2 V ในขณะที่เซลล์ถูกประจุในช่วงกระแสคงที่ จำนวนประจุเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นจนกระทั่งขณะแรงดันเซลล์เข้าใกล้ 4.2 V ในช่วงแรงดันประจุคงที่ กระแสมีค่าลดลงจนเซลล์ถูกประจุจนเต็ม เซลล์ชนิดลิเทียมไอออนมี

ประสิทธิภาพทางด้านประจุสูง (99.9%) และมีประสิทธิภาพทางด้านพลังงานสูง (95 – 98%) เพราะในปฏิกิริยาเคมีของเซลล์ไม่มีกระบวนการสร้างแก๊สดังที่พบในเซลล์ที่มีน้ำ



รูปที่ 2.6 ข้อมูลแรงดัน ร้อยละจำนวนประจุ และกระแสประจุ สำหรับเซลล์ชนิด C/LiMnO₂ และเซลล์ชนิด C/LiCoO₂ 18650 ในการประจุแบบกระแสคงที่แรงดันคงที่เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ด้วยกระแสสูงสุดที่ 1.4 A กับ 1.65 A และแรงดันสูงสุดที่ 4.2 V (Ehrlich, G. M., 2002)

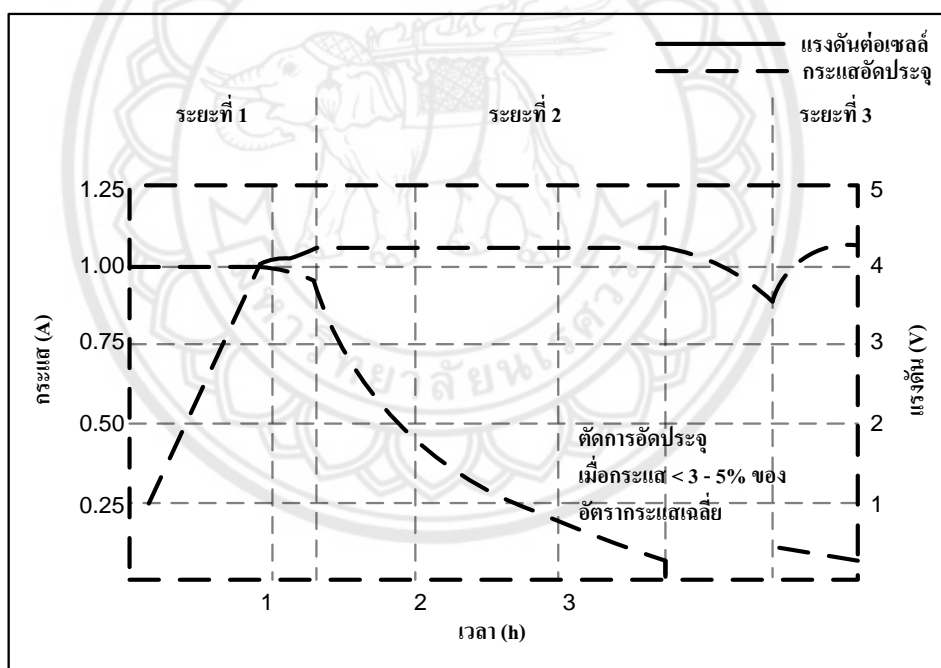
2.2 หลักการประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

เซลล์ชนิดลิเทียมไอออนส่วนใหญ่ถูกประจุที่แรงดัน $4.2 \text{ V} \pm 0.05 \text{ V}$ (วงจรควบคุมการประจุ จะตัดวงจรที่ 4.3 V หรือหากอุณหภูมิขึ้นถึง 90°C) กระบวนการประจุแบ่งออกเป็น 3 ระยะดังนี้

ระยะที่ 1: การประจุด้วยกระแสคงที่ โดยจำกัดค่ากระแสสูงสุด จนเซลล์มีแรงดันสูงถึงค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งกระแสประจุที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 1 เท่าของค่าความจุแบตเตอรี่ (1C)

ระยะที่ 2: การประจุด้วยแรงดันคงที่ เพื่อให้แรงดันของแต่ละเซลล์ในแบตเตอรี่มีค่าสูงถึงระดับแรงดันสูงสุด ในช่วงนี้กระแสประจุมีค่าลดลงซึ่งแสดงด้วยเส้นประในรูปที่ 2.13 จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะประจุเต็มเมื่อกระแสประจุมีค่าต่ำกว่า 3 - 5% ของอัตรากระแสเฉลี่ยแล้วจึงตัดวงจรการประจุ

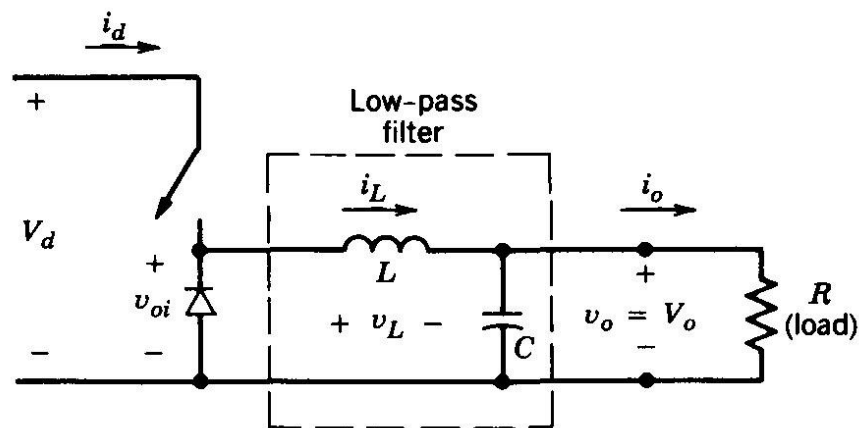
ระยะที่ 3: การประจุแบบเติมเต็มเป็นครั้งคราว (Occasional Topping Charge) หลังจากที่แรงดันแบตเตอรี่ลดลงหลังจากตัดวงจรการประจุแล้ว เพื่อรักษาแรงดันของแบตเตอรี่ให้เต็มอยู่ตลอดเวลาด้วยการเติมประจุประมาณ 1 ครั้งทุก 500 ชั่วโมง (Buchman, I., 2011)



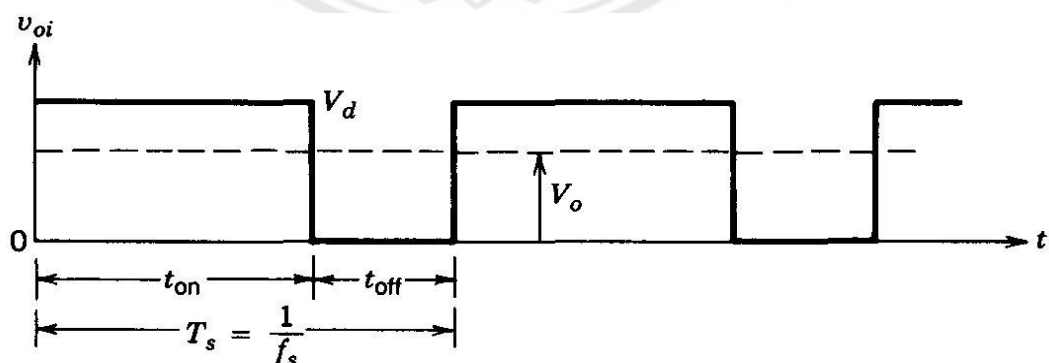
รูปที่ 2.7 การประจุแบบกระแสคงที่-แรงดันคงที่ (CCCV) (Buchman, I., 2011)

2.3 วงจรทอนระดับแรงดัน

โครงสร้างวงจรพื้นฐานที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่สำหรับโครงการนี้จะใช้วงจรทอนระดับแรงดัน (Step-Down Converter หรือ Buck Converter) มีหน้าที่สร้างแรงดันด้านออกที่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าแรงดันด้านเข้า นิยมนำไปใช้ในแหล่งจ่ายกำลังกระแสตรงและการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง แผนภาพวงจรทอนระดับแรงดันซึ่งมีโพลเป็นตัวต้านทานแสดงได้ดังรูปที่ 2.8 แรงดันด้านออกถูกกรองสัญญาณ (ทำให้เรียบ) ด้วยวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ สมมติให้สวิตช์มีคุณสมบัติในอุดมคติ และแรงดันด้านเข้ามีค่าคงที่ ถ้าไม่มีวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำแรงดันด้านออกจะเท่ากับแรงดันตกคร่อมไดโอด v_{oi} ซึ่งมีรูปคลื่นสัญญาณเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งหน้าสัมผัสของสวิตช์ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 แผนภาพวงจรทอนระดับแรงดัน (Mohan et al., 2003)



รูปที่ 2.9 รูปสัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อไม่มีวงจรกรอง

(Mohan et al., 2003)

ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุอย่างละหนึ่งตัวสามารถลดการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของสัญญาณด้านออกได้โดยกำจัดส่วนประกอบฮาร์มอนิกที่ปนอยู่ในสัญญาณ v_{oi} โดยมีเป้าหมายคือให้เหลือเฉพาะส่วนประกอบกระแสตรงหรือค่าเฉลี่ยของ v_{oi} (นั่นคือ V_o) ไปสู่โหลด เราคำนวณค่าเฉลี่ยของแรงดันด้านออกในรูปของดิวิต์ไซเคิลได้ดังนี้

$$V_o = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_{oi} dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{t_{on}} V_d dt = \frac{t_{on}}{T_s} V_d = DV_d \quad (2.4)$$

โดยที่ V_o คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันด้านออก (V)

V_d คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันด้านเข้า (V)

D คือ ค่าดิวิต์ไซเคิล

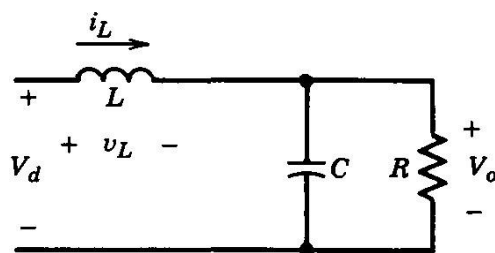
t_{on} คือ ระยะเวลาที่สวิตช์นำกระแสใน 1 คาบสวิตซิง (s)

T_s คือ คาบสวิตซิง (s) $= 1/f_s$

f_s คือ ความถี่สวิตซิง (Hz)

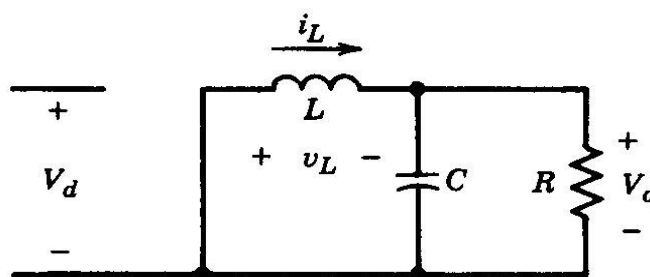
จะเห็นว่า การปรับเปลี่ยนค่าดิวิต์ไซเคิลของสวิตช์จะทำให้เราสามารถควบคุม V_o ได้ สำหรับการวิเคราะห์การทำงานในสถานะอยู่ตัวของวงจรทอนระดับแรงดัน เราสมมติให้ตัวเก็บประจุมีค่าสูง ซึ่งสอดคล้องกับการใช้งานจริงทั่วไปที่ต้องการให้แรงดันด้านออกมีค่าเกือบคงที่ และพิจารณาการทำงานของวงจรในแบบวิธีการนำกระแสต่อเนื่อง (Continuous Conduction Mode: CCM) นั่นคือไม่มีช่วงใดที่กระแสของตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ ($i_L > 0$)

การทำงานของวงจรทอนระดับแรงดันในขณะที่สวิตช์นำกระแสแสดงได้ด้วยวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.10 เมื่อสวิตช์นำกระแสในช่วงระยะเวลา t_{on} ไดโอดได้รับไบแอสย้อน ส่งผลให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นบวก ทำให้กระแสของตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น จึงเกิดการสะสมพลังงานในตัวเหนี่ยวนำ ในช่วงนี้แหล่งกำเนิดจ่ายพลังงานให้กับตัวเหนี่ยวนำและโหลด



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ปิด (Mohan et al., 2003)

การทำงานของวงจรทอนระดับแรงดันในขณะสวิตช์ไม่นำกระแสแสดงได้ด้วยวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์เปิด (Mohan et al., 2003)

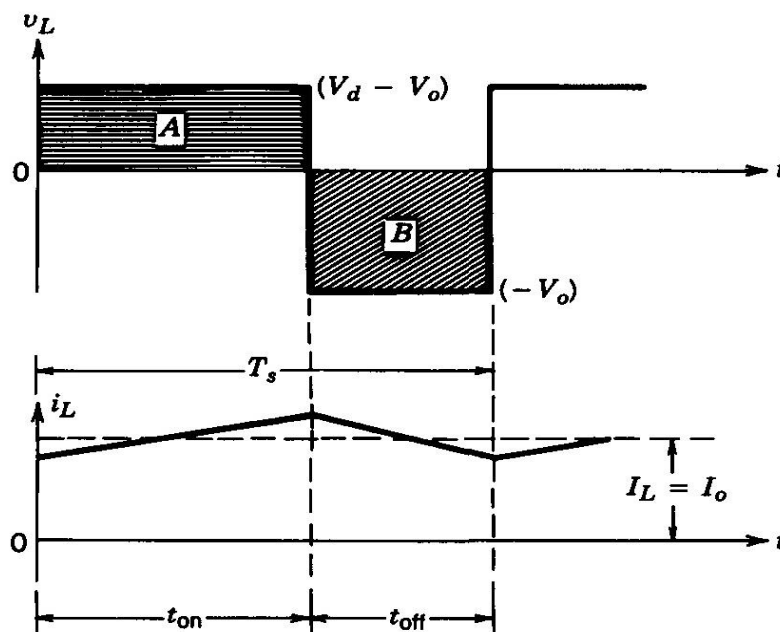
ในขณะสวิตช์หยุดนำกระแสเป็นระยะเวลา t_{off} พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำจะทำให้ไดโอดนำกระแส (ทำหน้าที่เป็นไดโอดฟรีวิลลิง) กระแสของตัวเหนี่ยวนำจึงยังคงไหลต่อเนื่องโดยไหลผ่านไดโอดเพื่อส่งผ่านพลังงานที่สะสมไว้ไปยังโหลด ในช่วงนี้แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นลบ กระแสของตัวเหนี่ยวนำมีค่าลดลงแบบเชิงเส้นดังรูปที่ 2.12

ในสถานะอยู่ตัว ค่าเฉลี่ยของแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำต้องเป็นศูนย์

$$\int_0^{T_s} v_L dt = \int_0^{t_{on}} v_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} v_L dt = 0$$

$$(V_d - V_o)t_{on} = V_o(T_s - t_{on})$$

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{t_{on}}{T_s} = D \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.12 แรงดันและกระแสของตัวเหนี่ยวนำในวงจรทอนระดับแรงดันในสถานะอยู่ตัว
(Mohan et al., 2003)

ถ้าไม่พิจารณากำลังสูญเสียในตัวแปลงผันฯ จะได้กำลังด้านเข้า (P_{in}) มีค่าเท่ากับกำลังด้านออก (P_{out})

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= P_{out} \\
 V_d I_d &= V_o I_o \\
 \frac{V_o}{V_d} &= \frac{I_d}{I_o} = D
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

โดยที่ I_o คือ ค่าเฉลี่ยของกระแสด้านออก (A)

I_d คือ ค่าเฉลี่ยของกระแสด้านเข้า (A)

จะพบว่าค่าเฉลี่ยของแรงดันด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันด้านเข้า วงจรทอนระดับแรงดันจึงทำตัวเสมือนเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC Transformer) โดยปรับดิวิตีไซเคิล ($0 \leq D \leq 1$) ในวงจรทอนระดับแรงดัน ค่าเฉลี่ยของกระแสของตัวเหนี่ยวนำ I_L มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของกระแสด้านออก I_o เพราะค่าเฉลี่ยของกระแสของตัวเก็บประจุในสถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์

ค่าประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดันหาได้จากสมการที่ (2.7)

$$\eta = \frac{P_o}{P_d} = \frac{V_o I_o}{V_d I_d} \quad (2.7)$$

ความพลัวของแรงดันด้านออก (Output Voltage Ripple) แสดงดังรูปที่ 2.13 และคำนวณได้ โดยพิจารณาให้ส่วนความพลัวของ i_L ไหลผ่านตัวเก็บประจุ และค่าเฉลี่ยของ i_L ไหลไปที่โหลด

จากรูปที่ 2.13 เราสามารถประมาณค่ายอดถึงยอด (Peak-to-Peak Value) ของความพลัวของแรงดันด้านออก (ΔV_o) ได้จาก

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta i_L}{2} \cdot \frac{T_s}{2} \right)$$

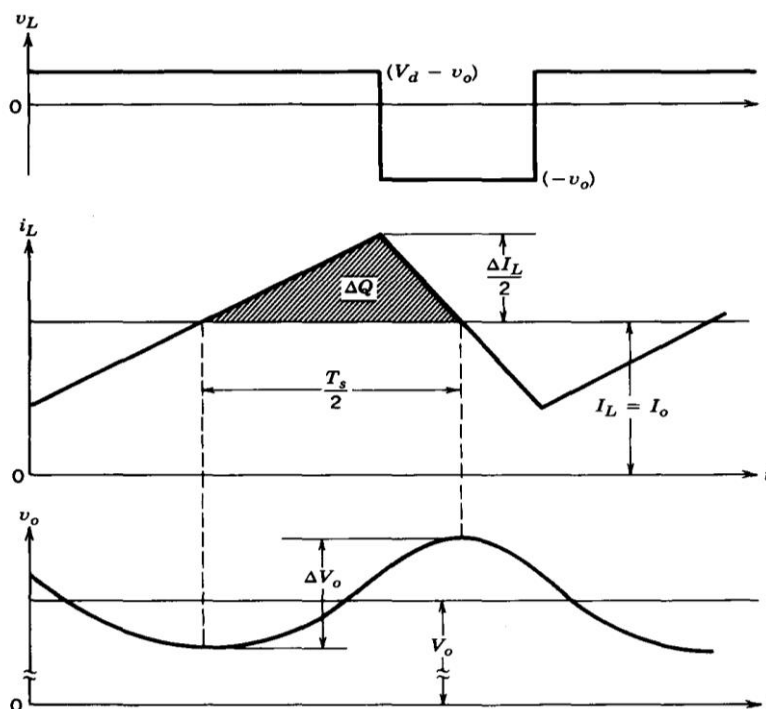
พิจารณาช่วง t_{off}

$$\Delta i_L = \frac{V_o}{L} (1-D) T_s$$

แทนค่า Δi_L ใน ΔV_o จะได้

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1}{8} \frac{(1-D) T_s^2}{LC} = \frac{1}{8} \frac{(1-D)}{LC f_s^2} \quad (2.8)$$

จะเห็นว่าที่ค่าตัวชี้ไขเคลค่าหนึ่ง ๆ ความพลัวของแรงดันด้านออกแปรผกผันกับค่าความเหนี่ยวนำ L และค่าความจุ C และแปรผกผันกับความถี่สวิตชิ่งยกกำลังสอง นั่นคือเราสามารถลดความต้องการในการกรองสัญญาณแรงดันด้านออกได้โดยเพิ่มความถี่สวิตชิ่ง อย่างไรก็ตามผลที่ตามมาคือกำลังสูญเสียในสวิตช์จะเพิ่มขึ้น (Mohan et al., 2003)



รูปที่ 2.13 ความพลีวของแรงดันด้านออกในวงจรทอนระดับแรงดัน (Mohan et al., 2003)

2.4 แผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Mega 2560

การควบคุมการเริ่มและหยุดประจุแบตเตอรี่จะถูกกำหนดด้วย Arduino ซึ่งจะใช้แผงวงจร Arduino รุ่น Mega 2560 จัดอยู่ในตระกูล AVR และมีขนาด 100 ขา ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ หมายเลข ATmega2560 แสดงดังรูปที่ 2.14 เป็นแผงวงจร Arduino ที่ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้อินพุตและเอาต์พุตมากกว่า Arduino รุ่นอื่นๆ เช่น งานที่ต้องรับสัญญาณจากตัวรับรู้ หรือควบคุมมอเตอร์เซอร์โวหลายๆตัว โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นแพลตฟอร์ม (Platform) ของอินพุตและเอาต์พุต (I/O) ที่เพียงพอกับการใช้งานและการเรียนรู้ และมีการพัฒนาแบบ Open source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ แผงวงจรถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้น จึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นใช้งาน ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวแผงวงจร หรือโปรแกรมต่อได้ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกเข้ามาที่ขา I/O ของแผงวงจร หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับแผงวงจรเสริม (Shield) ประเภทต่างๆ เช่น X Bee Shield, Music Shield, Relay Shield, Wireless Shield, GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับแผงวงจร Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้โดยตัวแผงวงจรมีคำสั่งที่ใช้ควบคุมพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต ไม่ว่าจะเป็นพอร์ตดิจิตอล พอร์ตแอนะล็อกพีดีบีเบิลยูเอ็มและพอร์ตอนุกรมซึ่งแผงวงจร Arduino ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับสัญญาณจากภายนอกและส่งสัญญาณไปควบคุม

อุปกรณ์ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ตัวแผงวงจรออกแบบจากไมโครคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยวและมีโปรแกรมพัฒนาสำหรับเขียนโปรแกรมให้แผงวงจร Arduino สามารถรับสัญญาณจากสวิทช์หรือตัวรับรู้และควบคุมหลอดไฟมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆ แผงวงจร Arduino สามารถทำงานอิสระหรือทำงานติดต่อกับโปรแกรมที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ (Arduino. 2017)

แผงวงจร Arduino รุ่น Mega 2560 ใช้สถาปัตยกรรมของเอวีอาร์ (AVR) ขนาด 8 bits โดยเป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit, CPU) แบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) มีสถาปัตยกรรมการต่อหน่วยความจำแบบฮาร์วาร์ด (Harvard) ซึ่งแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกันโดยเด็ดขาดดังแสดงในรูปที่ 2. โดยใช้หน่วยความจำแบบแฟลช (Flash) สำหรับเป็นหน่วยความจำโปรแกรม ซึ่งมีความจุมากกว่ารุ่น Arduino รุ่น Uno R3 ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมเข้าไปได้มากกว่าในความเร็วของ MCU ที่เท่ากัน และใช้หน่วยความจำแบบ SRAM สำหรับหน่วยความจำข้อมูลและนอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลเอาไว้ได้โดยไม่จำเป็นต้องมีไฟเลี้ยงอีกด้วย



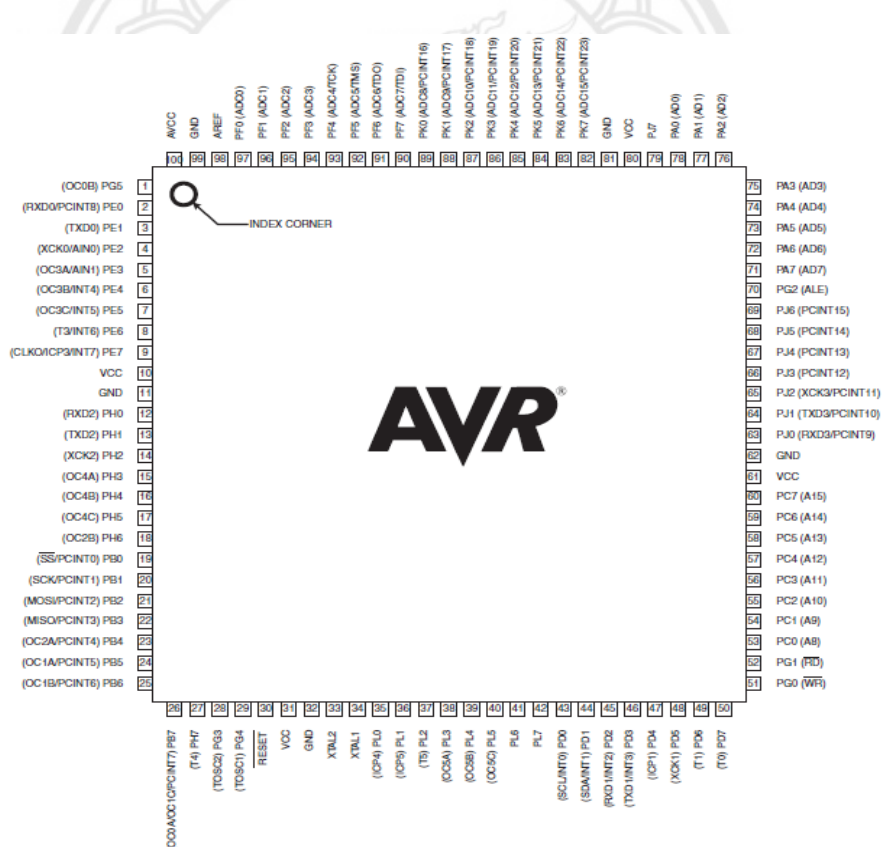
รูปที่ 2.14 แผงวงจร Arduino รุ่น Mega2560

ที่มา : www.arduitronics.com

แผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น Mega2560 มีคุณสมบัติเด่นดังนี้

- 1) ทำงานได้ตั้งแต่ย่านแรงดัน 1.8-5.5 V แรงดันของระบบอยู่ที่ 5 V
- 2) หน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM ขนาด 8 kb
- 3) หน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 4 kb
- 4) สนับสนุนการเชื่อมต่อแบบ I2C bus
- 5) พอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบดิจิตอลจำนวน 54 ช่อง
- 6) พอร์ตเอาต์พุตแบบแอนะล็อกจำนวน 16 ช่อง
- 7) วงจรสื่อสารอนุกรม
- 8) สนับสนุนช่องสัญญาณสำหรับสร้าง สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม (PWM) จำนวน 14 ช่อง

ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น Mega2560 ที่ใช้ในโครงงานนี้ทำหน้าที่เป็นส่วนประมวลผลสัญญาณที่รับมาจากตัวรับรู้ และทำงานตามโปรแกรมที่เขียนไว้ เพื่อควบคุมการตัดต่อวงจรผ่านรีเลย์

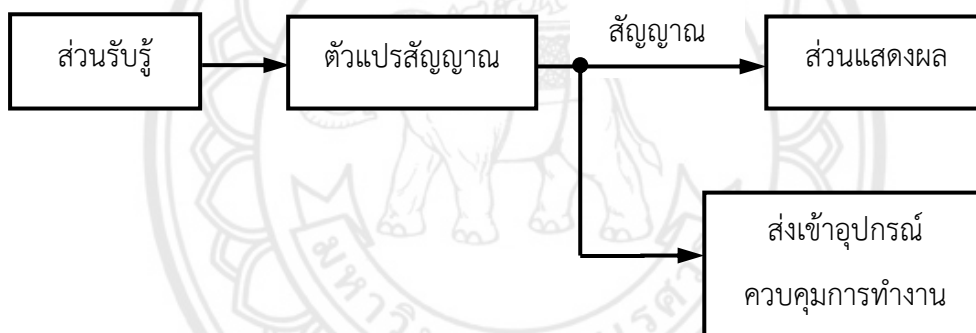


รูปที่ 2.15 หน่วยประมวลผลกลางของ ATmega2560 ขนาด 100 ขา

ที่มา : www.atmel.com

2.5 ตัวรับรู้แบบใช้แสง

ระยะเวลาในการประจุแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับค่าเงินเหรียญที่หยอด ซึ่งเหรียญนั้นจะถูกตรวจจับด้วย ตัวรับรู้ (Sensor) ซึ่งประกอบด้วยส่วนรับรู้ (Sensing Part) ทำหน้าที่ตรวจจับปริมาณของตัวแปรต่างๆที่ต้องการทราบค่า เช่น อุณหภูมิ การเคลื่อนที่ แสงสว่าง เป็นต้น แต่ส่วนรับรู้เพียงอย่างเดียวไม่สามารถบอกค่าที่ต้องการวัดได้ จึงจำเป็นต้องมีส่วนแปลงพลังงาน (Transducing Part) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้จากการตรวจจับมาเป็นปริมาณที่สามารถเข้าใจได้เรียกว่า ตัวแปรสัญญาณ (Signal Converter) โดยทำหน้าที่แปลงพลังงานจากรูปหนึ่งให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง เช่น แปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า ในการนำตัวรับรู้ไปใช้งานแสดงได้ดังแผนภาพในรูปที่ 2.16 ส่วนรับรู้ทำการตรวจวัดและให้ตัวแปรสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งถูกส่งไปเข้ากระบวนการทางไฟฟ้าขั้นต่อไป เช่น การขยายสัญญาณ แล้วจึงได้อาต์พุตออกมาแสดงผลหรือนำไปใช้งานในด้านอื่นๆ ตามต้องการ (ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง, 2552)



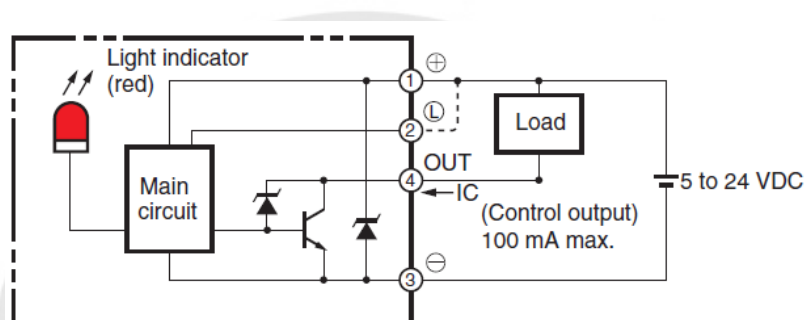
รูปที่ 2.16 แผนภาพการใช้งานตัวรับรู้ (ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง, 2552)

ในโครงงานนี้ตัวรับรู้แบบใช้แสง (Photoelectric Sensor) ซึ่งต้องการไฟเลี้ยงเป็นไฟกระแสตรงขนาด 5-24 Vdc ระยะการตรวจจับระหว่างช่องว่างขนาด 0.5 cm และมีขาในการเชื่อมต่อทั้งหมด 4 ขา ดังแสดงในรูปที่ 2.17 โดยมีตัวส่งแสงและตัวรับแสงอยู่ภายใน เมื่อมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแสงที่มากระทบกับตัวรับแสง ตัวรับรู้จะส่งสัญญาณเอาต์พุตซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงที่ได้รับผ่านตัวรับแสง ตัวรับรู้ชนิดนี้สามารถตรวจจับการปรากฏขึ้นหรือการหายไปของวัตถุ สามารถตรวจจับการสะท้อน โดยมีส่วนประกอบหลักแสดงดังรูปที่ 2.18 โดยในโครงงานนี้ใช้ตัวรับรู้ดังกล่าวในการตรวจจับเหรียญกษาปณ์ ซึ่งสามารถตรวจจับวัตถุได้แม่นยำโดยไม่ต้องสัมผัสกับเหรียญ



รูปที่ 2.17 ตัวรับรู้แบบใช้แสง

ที่มา : www.fromfactory.net



รูปที่ 2.18 แผนภาพวงจรการทำงานของตัวรับรู้แบบใช้แสง

ที่มา : www.fromfactory.net

ตัวรับรู้แบบใช้แสงสามารถตรวจจับวัตถุได้ทุกประเภท มีอายุการใช้งานได้ยาวนาน เวลาในการตอบสนองที่ดีที่สุดจึงเหมาะที่จะใช้ตรวจจับประเภทที่มีความถี่ในการตรวจจับสูง เช่น ใช้ในการวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ทั้งเชิงเส้นและเชิงมุม อย่างไรก็ตามตัวรับรู้ชนิดนี้มีข้อจำกัดในการตรวจจับวัตถุโปร่งใสและวัตถุที่มีสีแตกต่างกันมากเนื่องจากความสามารถในการสะท้อนหรือดูดกลืนแสงในแต่ละสีแตกต่างกันนอกจากนี้ยังต้องระวังเรื่องความสะอาดของเลนส์ของตัวรับรู้ (ที่งานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2552)

2.6 จอแอลซีดี

การแสดงผลค่าเงินเหรียญที่หยอดและเวลาที่คงเหลือในการประจําแบตเตอรี่จะแสดงบนหน้าจอลiquid crystal display (LCD) นั้นมีตัว

ควบคุม (Controller) รวมไว้ในตัว ซึ่งสามารถส่งรหัสคำสั่งควบคุมการทำงานของจอแสดงผลแอลซีดีผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

โดยในส่วนของการควบคุมจอแสดงผลแอลซีดีเป็น Hitachi หมายเลข HD44780 ดังแสดงในรูปที่ 2.19 และขาในการเชื่อมต่อระหว่างจอแสดงผลแอลซีดีกับไมโครคอนโทรลเลอร์มีดังนี้

- 1) GND เป็นกราวด์ใช้ต่อระหว่างกราวด์ของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์กับแอลซีดี
- 2) VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับแอลซีดีขนาด +5 VDC
- 3) VO ใช้ปรับความสว่างของหน้าจอลซีดี
- 4) RS ใช้บอกตัวควบคุมให้ทราบว่ารหัสที่ส่งมาทางขา DB0-DB7 นั้นเป็นคำสั่งหรือข้อมูล
- 5) R/W ใช้เลือกระหว่างการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับตัวควบคุม
- 6) E เป็นขา Enable หรือ Chips Select เพื่อกำหนดการทำงานของตัวควบคุม
- 7) DB0-DB7 เป็นขาสัญญาณข้อมูล (Data) ใช้สำหรับเขียนหรืออ่านข้อมูลและคำสั่งกับตัวควบคุม (บริษัท วินัสซัพพลาย จำกัด, 2555)

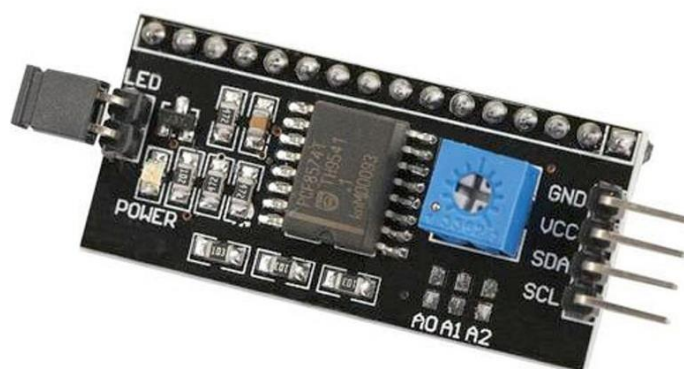


รูปที่ 2.19 จอแสดงผลแอลซีดี Hitachi หมายเลข HD44780 (บริษัท วินัสซัพพลาย จำกัด, 2555)

การเชื่อมต่อสัญญาณขาข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับจอแอลซีดี สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ การเชื่อมต่อแบบ 8 bit (DB0-DB7) และการเชื่อมต่อแบบ 4 bit (DB4-DB7) ซึ่งทั้งสองแบบแตกต่างกันเพียงจำนวนขาที่ใช้คือ 8 หรือ 4 ขา โดยสามารถทำงานได้เหมือนกัน อย่างไรก็ตามการส่งข้อมูลแบบ 4 ขา ช้ากว่าแบบ 8 ขา แต่ไม่ได้ช้ามากจนสังเกตได้ด้วยสายตา ดังนั้น โดยทั่วไปการต่อกับ Arduino จึงนิยมต่อเพียง 4 ขา หรือ 4 bit เท่านั้น เพื่อประหยัดขาในการต่อใช้งานไปไว้ต่อกับอุปกรณ์อื่น (บริษัท วินัสซัพพลาย จำกัด, 2555)

2.7 ไอทูซี

จอแอลซีดีที่มีการเชื่อมต่อแบบ I2C หรือเรียกอีกอย่างว่าการเชื่อมต่อแบบอนุกรม ซึ่งเป็นจอแอลซีดีธรรมดาทั่วไปที่ติดตั้งกับแผงวงจร I2C Bus ทำให้มีการใช้งานได้ที่สะดวกยิ่งขึ้น และมีตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อสำหรับปรับความเข้มของจอ การเชื่อมต่อระหว่าง I2C กับไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้จำนวน 4 ขา (แบบขนานใช้ 16 ขา) แสดงดังรูปที่ 2.20



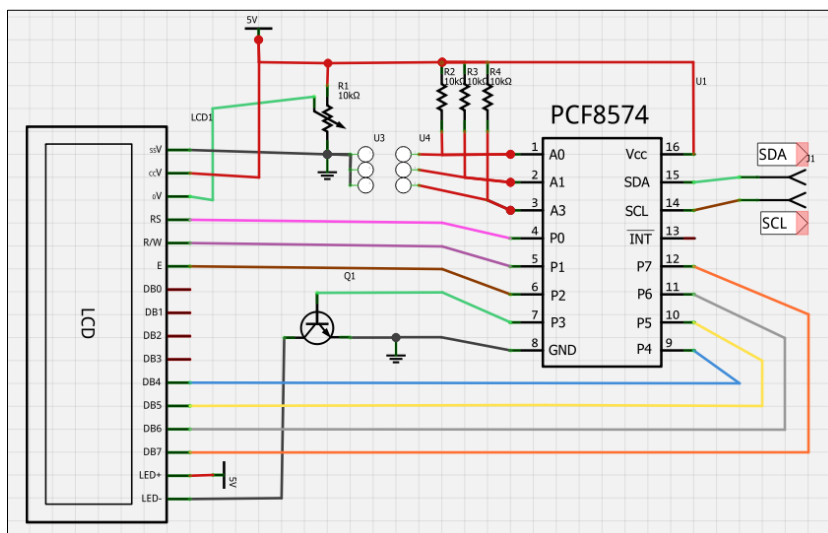
รูปที่ 2.20 ไอทูซี (บริษัท วินัสซัพพลาย จำกัด, 2555)

ในการควบคุมหรือสั่งงาน โดยทั่วไปจอแอลซีดีจะมีส่วนควบคุม (Controller) อยู่ในตัวแล้วสามารถส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของจอแอลซีดี (I2C) เช่นเดียวกับกับจอแอลซีดีแบบธรรมดาคือรหัสคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมนั้นเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่รูปแบบในการรับส่งข้อมูลสำหรับการส่งข้อมูลรูปแบบ I2C ที่ใช้ขาเพียง 4 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อเท่านั้น แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ขาของไอทูซี (บริษัท วินัสซัพพลาย จำกัด, 2555)

ขาเชื่อมต่อ	สัญลักษณ์	คำอธิบาย
1	GND	กราวด์ของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์กับจอแอลซีดี
2	VCC	ไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับจอแอลซีดี มีขนาด +5 Vdc
3	SDA	ขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล
4	SCL	ขาสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งข้อมูล

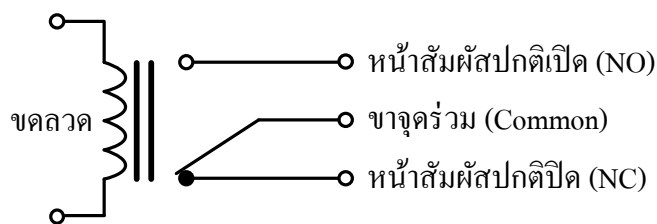
รูปที่ 2.23 จะเห็นได้ว่าจอแอลซีดีและแผงวงจร I2C ได้มีการเชื่อมต่อขาสำหรับการรับส่งข้อมูลเป็นแบบ 4 บิต ขาที่เชื่อมต่อไว้คือ ขา P4 > DB4, P5 > DB5, P6 > DB6, P7 > DB7 และขา P2 > E (Enable), P1 > R/W, P0 > RS รวมไปถึงตัวต้านทานสำหรับปรับค่าความเข้มของตัวอักษร และ Switch Backlight



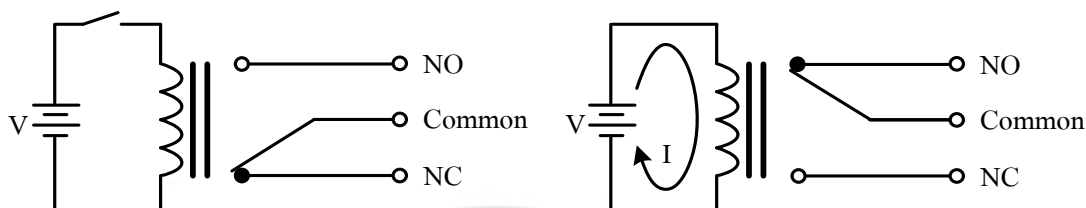
รูปที่ 2.23 การแสดงการเชื่อมต่อของ I2C กับจอแอลซีดี (บริษัท วินัสซัพพลาย จำกัด, 2555)

2.8 รีเลย์

การต่อและตัดวงจรประจุสำหรับการประจุแบตเตอรี่จะใช้ รีเลย์ (Relay) ซึ่งมีทำหน้าที่ตัดต่อวงจรเช่นเดียวกับสวิตช์ รีเลย์มีหลายชนิดและหลายขนาดขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น รีเลย์ขนาดเล็ก ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รีเลย์ขนาดใหญ่ ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น โครงสร้างภายในของรีเลย์โดยทั่วไปประกอบด้วยขดลวด หน้าสัมผัส ปกติปิด (Normally Close หรือ NC) และหน้าสัมผัสปกติเปิด (Normally Open หรือ NO) ในสภาวะปกติ หน้าสัมผัสปกติปิดเชื่อมต่อกับขาคู่ร่วม (Common) ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ในขณะที่ยังไม่มีกระแสให้ขดลวดของรีเลย์ หน้าสัมผัสปกติปิดกับขาคู่ร่วมยังต่อถึงกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดของรีเลย์ อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะดึงขาคู่ร่วมมาต่อกับหน้าสัมผัสปกติเปิดทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลจากหน้าสัมผัสปกติเปิดไปยังขาคู่ร่วมได้ และเมื่อกระแสที่จ่ายให้ขดลวดหยุดไหลขาคู่ร่วมจะถูกสปริงดึงกลับไปติดกับหน้าสัมผัสปกติปิดดั้งเดิม (บ้านอิเล็กทรอนิกส์, 2554) ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ภายในโครงสร้างของรีเลย์ (บ้านอิเล็กทรอนิกส์, 2554)



(ก) สภาวะปกติ

(ข) สภาวะทำงาน

รูปที่ 2.25 สภาวะการทำงานของรีเลย์ (บ้านอิเล็กทรอนิกส์, 2554)

การใช้งานรีเลย์โดยทั่วไปคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้

- 1) ชนิดและจำนวนหน้าสัมผัสภายในตัวรีเลย์
- 2) แรงดันใช้งานหรือแรงดันที่ทำให้รีเลย์ทำงานได้ สามารถดูได้ที่ตัวรีเลย์ ซึ่งจะระบุค่าแรงดันใช้งานไว้ เช่น 12 VDC หมายถึงต้องใช้แรงดันแรงดันกระแสตรง 12 V เท่านั้น ซึ่งหากใช้มากกว่านี้จะส่งผลให้ขดลวดภายในตัวรีเลย์อาจขาดได้หรือหากใช้แรงดันต่ำกว่ามาก ๆ อาจทำให้รีเลย์ไม่ทำงาน ในส่วนของการต่อวงจรนั้นสามารถต่อเข้ากับขั้วใดก็ได้ เพราะรีเลย์จะไม่ระบุขั้วต่อไว้ (นอกจากรีเลย์ชนิดพิเศษ)
- 3) การใช้งานกระแสผ่านหน้าสัมผัส จะมีการระบุค่าไว้ที่ตัวรีเลย์ เช่น 10 A 220 VAC หมายถึงหน้าสัมผัสของรีเลย์นั้นสามารถทนกระแสได้ 10 A ที่ 220 VAC แต่ในการใช้งานจริง ควรให้รีเลย์ทำงานต่ำกว่าระดับกระแสพิกัด เนื่องจากหากมีกระแสมากจะยิ่งมีผลทำให้หน้าสัมผัสของรีเลย์นั้นเสียหายได้เร็วขึ้น

ในโครงการนี้ได้เลือกใช้แผงวงจรรีเลย์แบบมีตัวเชื่อมต่อทางแสง (Opto-Isolator) สำหรับตัดต่อวงจรในโครงการประกอบด้วยรีเลย์ 2 ตัวดังรูปที่ 2.26 ซึ่งแต่ละตัวสามารถรองรับกระแสได้สูงถึง 10 A และใช้งานได้ทั้งกับไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งรับแรงดันกระแสตรง 5 V และมีหลอด

แอลอีดีแสดงสถานะการทำงานของรีเลย์แต่ละตัว ซึ่งมีการป้องกันวงจรควบคุมออกจากวงจรกำลัง ด้วยตัวเชื่อมต่อด้วยแสงเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากการทำงานของอุปกรณ์

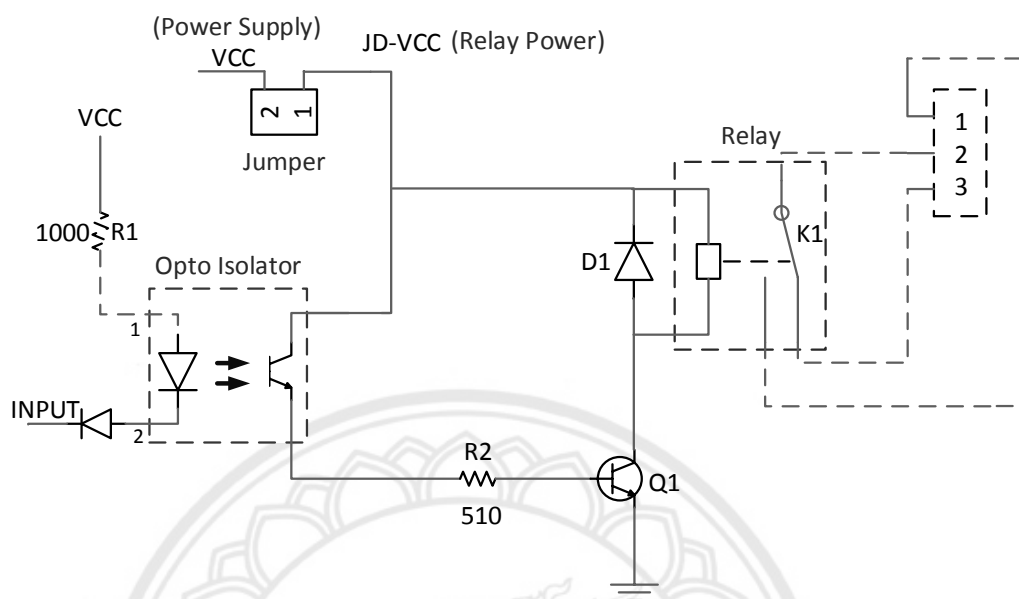
การใช้งานที่แผงวงจรของรีเลย์จะมีตัวเชื่อมสำหรับเชื่อมต่อไฟเลี้ยงวงจรของวงจรควบคุม (VCC) เข้ากับไฟเลี้ยงชุดรีเลย์ (JD-VCC) ซึ่งหากอุปกรณ์ที่ไปควบคุมโหลดต่าง ๆ นั้นไม่ได้สร้างสัญญาณรบกวนมากนัก เราสามารถใช้งานมอดูลนี้โดยป้อนสัญญาณจากวงจรควบคุมให้กับขา VCC IN1 IN2 และ GND ได้โดยตรง อย่างไรก็ตามจากการใช้ VCC ของวงจรควบคุม ป้อนให้กับ JD-VCC ทำให้ทั้งระบบยังคงต้องใช้กราวด์อ้างอิงร่วมกัน ซึ่งหากใช้งานเพื่อควบคุมไฟสูง กระแสสูง หรืออุปกรณ์ประเภทขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดการรบกวนได้ง่ายควรทำการแยกไฟเลี้ยงรีเลย์ออกจากไฟเลี้ยงวงจรด้วยการปลดตัวเชื่อมต่อไฟเลี้ยง ดังกล่าว แล้วทำการจ่ายไฟเลี้ยงที่เป็นอิสระต่อวงจรควบคุมเข้าสู่ขา JD-VCC และ GND แทน โดยในการควบคุมของภาคควบคุม จะป้อนสัญญาณควบคุมผ่านขา IN1-IN8 และขา VCC โดยไม่ต้องเชื่อมต่อ GND ของฝั่งควบคุม



รูปที่ 2.26 แผงวงจรรีเลย์แบบมีตัวเชื่อมต่อทางแสง

ที่มา : www.arduitronics.com

แผนภาพการเชื่อมต่อของแผงวงจรรีเลย์แบบมีตัวเชื่อมต่อทางแสงแสดงได้ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แผนภาพวงจรการทำงานของรีเลย์แบบมีตัวเชื่อมต่อทางแสง

ที่มา : <https://arduino-info.wikispaces.com/RelayIsolation>

การทำงานของรีเลย์ เริ่มด้วยการจ่ายไฟเลี้ยงเข้าที่ตัวเชื่อมต่อทางแสง (Opto-Isolator) และขดลวดของรีเลย์ การป้อนอินพุตด้วยลอจิก 0 ทำให้วงจรภายในตัวเชื่อมต่อทางแสงเริ่มทำงาน นั่นคือมีความต่างศักย์ตกคร่อมไดโอดเปล่งแสง ทำให้เกิดการไบแอสไปหน้า ส่งผลทำให้ไดโอดเกิดการเปล่งแสงไปตกกระทบบั๊กที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ที่อยู่ภายในตัวเชื่อมต่อทางแสง ทรานซิสเตอร์จึงนำกระแส เกิดกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R2 เข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 ส่งผลให้เกิดการนำกระแส จึงเกิดความต่างศักย์ที่ขดลวดของรีเลย์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวด ส่งผลให้รีเลย์มีการเปลี่ยนสถานะของหน้าสัมผัส

บทที่ 3

การสร้างแบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยุดเหรียญ

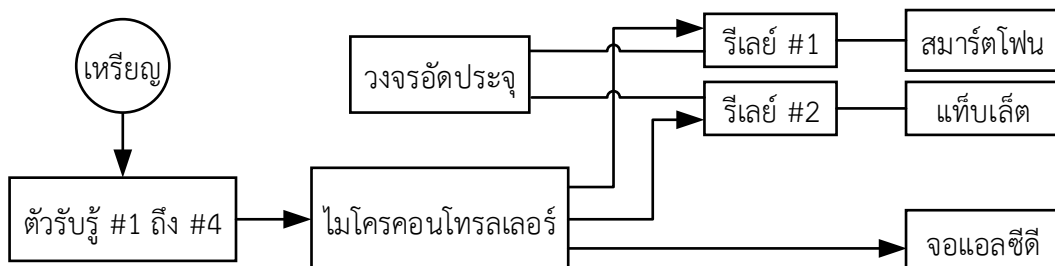
ในบทนี้ได้อธิบายถึงหลักการทำงานของแบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยุดเหรียญ การออกแบบและสร้างส่วนของวงจรควบคุมการประจุ และส่วนของการตรวจนับเหรียญ รวมทั้งอธิบายการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลและการแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี

3.1 การออกแบบการทำงานของแบบจำลอง

แผนภาพการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยุดเหรียญจะถูกควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการตรวจนับเหรียญเพื่อคำนวณค่าเงินเหรียญที่หยอด และส่วนของวงจรประจุซึ่งทำหน้าที่ประจุแบตเตอรี่

เหรียญที่ถูกกำหนดจะเคลื่อนที่ไปตามรางลำเลียงเหรียญที่มีการติดตั้งตัวรับรู้ ซึ่งมีหน้าที่ในการตรวจนับเหรียญแล้วส่งสัญญาณลอจิก 0 ไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลเป็นค่าเงินเหรียญที่หยอดและระยะเวลาการประจุแบตเตอรี่โดยแสดงค่าบนหน้าจอแอลซีดี พร้อมทั้งควบคุมการทำงานของรีเลย์ในการเริ่มและหยุดการประจุ

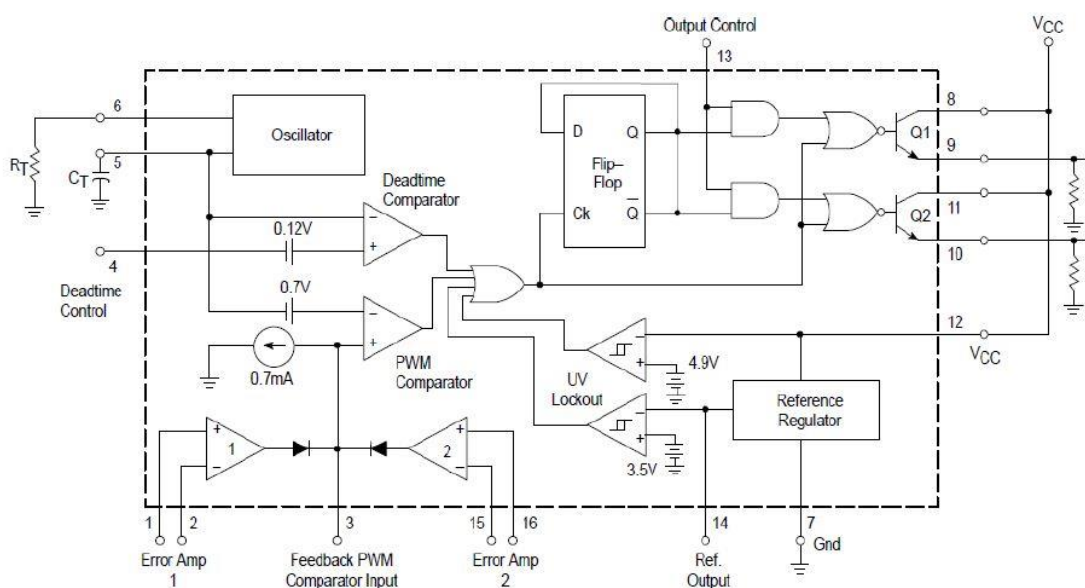
วงจรประจุจะจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาดคงที่ 5 V กระแสประจุสูงสุด 1 A หรือ 2 A วงจรประจุจะเริ่มทำงานเมื่อมีการกดปุ่มเลือกค่ากระแสประจุสูงสุด โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมการทำงานของรีเลย์ต่อวงจรเพื่อทำการประจุ และตัดวงจรเพื่อหยุดการประจุเมื่อครบเวลาที่กำหนดจากการหยุดเหรียญ



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยุดเหรียญ

3.2 วงจรควบคุมแรงดันและกระแสประจุ

ในการสร้างวงจรควบคุมแรงดันและกระแสประจุผู้ดำเนินโครงการได้เลือกใช้ TL494 ซึ่งสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของ Tip 32C โดยใช้หลักการมอดูเลตความกว้างพัลส์หรือพีดับเบิลยูเอ็ม แผนภาพวงจรภายในของ TL494 แสดงดังรูปที่ 3.2 สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มนี้สร้างจากการนำสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อย (Sawtooth Waveform) ที่เกิดจากวงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) มาเปรียบเทียบกับสัญญาณควบคุมที่เกิดจากวงจรรขยายความผิดพลาด (Error Amplifier) 2 วงจร เพื่อให้ความกว้างของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มเปลี่ยนแปลงได้ ส่งผลให้ค่าตัวที่เซเคลเปลี่ยนแปลงเช่นกัน โดยสามารถปรับความถี่ของสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อยได้ด้วยการเลือกค่าของตัวเก็บประจุ C_T และตัวต้านทาน R_T ที่ต่อกับขาที่ 5 และ 6 ตามลำดับ นอกจากนี้ TL494 ยังให้แรงดันคงที่ 5 V ออกมายังขาที่ 14 ซึ่งใช้เป็นแรงดันอ้างอิงในการควบคุมแรงดันและกระแสประจุ โดย TL494 สามารถรับแรงดันเข้ามาผ่านขาที่ 12 (V_{CC}) ในช่วง 7 – 40 V



รูปที่ 3.2 แผนภาพวงจรภายในในวงจรรวมหมายเลข TL494

แผนภาพวงจรควบคุมแรงดันและกระแสประจุที่ออกแบบและสร้างขึ้นในโครงการนี้แสดงดังรูปที่ 3.3 ในการควบคุมแรงดันประจุผู้ดำเนินโครงการได้เลือกใช้วงจรรขยายความผิดพลาดตัวที่ 1 โดยขาที่ 1 รับแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R_V เข้ามาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่ขาที่ 2 เพื่อจำกัดแรงดันประจุไม่ให้สูงเกินค่าที่ออกแบบไว้ ในส่วนการควบคุมกระแสประจุผู้ดำเนินโครงการได้เลือกใช้

ดังนั้น หากต้องการแรงดันประจุที่ 5 V จึงเลือกใช้ตัวต้านทาน R_T เท่ากับ 12 k Ω

การกำหนดค่าสูงสุดของกระแสประจุทำได้โดยเลือกค่าความต้านทาน R_T ที่ทำให้เกิดกระแส เท่ากับค่าที่ออกแบบไว้คือ 1 A และ 2 A ซึ่งหาจากสมการที่ (3.2) โดยกำหนดแรงดัน V_{ref} เท่ากับ 5 V ซึ่งต่อกับขา V_{ref} (ขาที่ 14) การหาค่า R_T โดยใช้การแบ่งแรงดันที่ขาที่ 15 ซึ่งทำให้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R_T เท่ากับแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 0.1 Ω จะได้

$$0.1 \cdot I_{out} = \left(\frac{R_T}{12000 + R_T} \right) \cdot V_{ref}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad R_T = \frac{1200 \cdot I_{out}}{V_{ref} - 0.1 \cdot I_{out}} \quad (3.2)$$

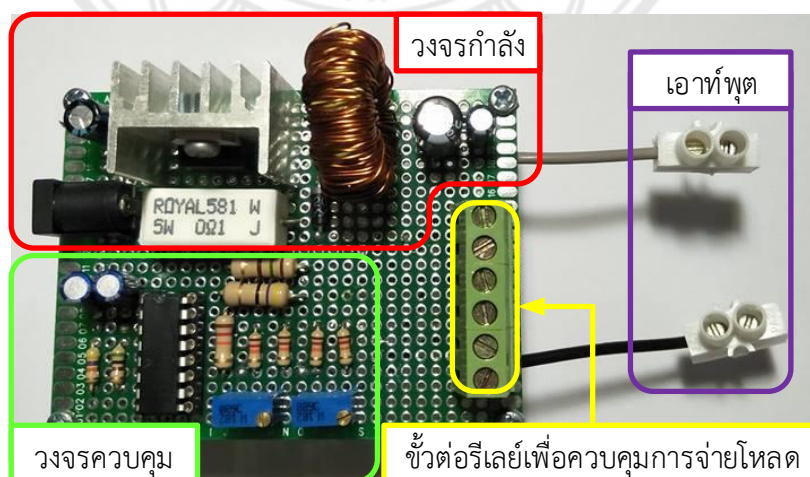
โดยที่ I_{out} คือ กระแสประจุ (A)

V_{ref} คือ แรงดันอ้างอิง (= 5 V)

ที่ $I_{out} = 1$ A จะได้ $R_T = 244.9 \Omega \approx 244 \Omega$

ที่ $I_{out} = 2$ A จะได้ $R_T = 500 \Omega$

ในที่นี้ได้เลือกใช้ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ขนาด 1 k Ω เพื่อปรับค่าความต้านทาน R_T ให้อยู่ในช่วงที่ออกแบบได้ โดยวงจรควบคุมแรงดันและกระแสประจุแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



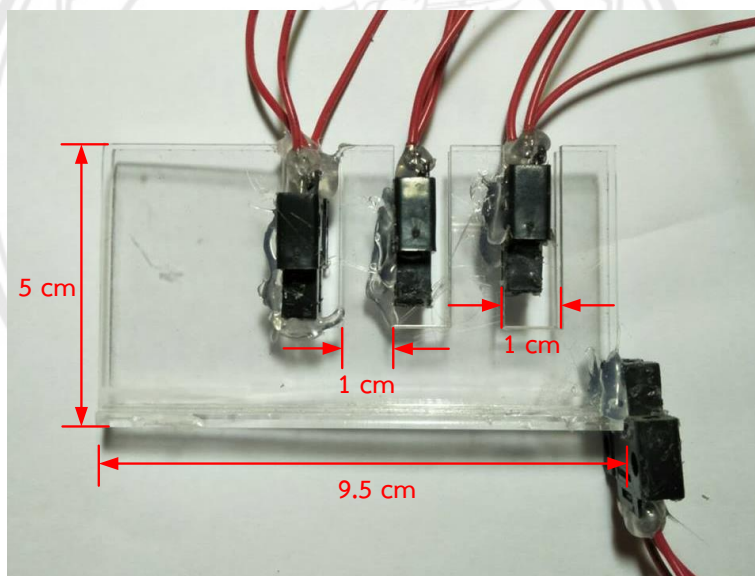
รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมแรงดันและกระแสประจุ

3.3 การออกแบบและสร้างส่วนตรวจจับเหรียญ

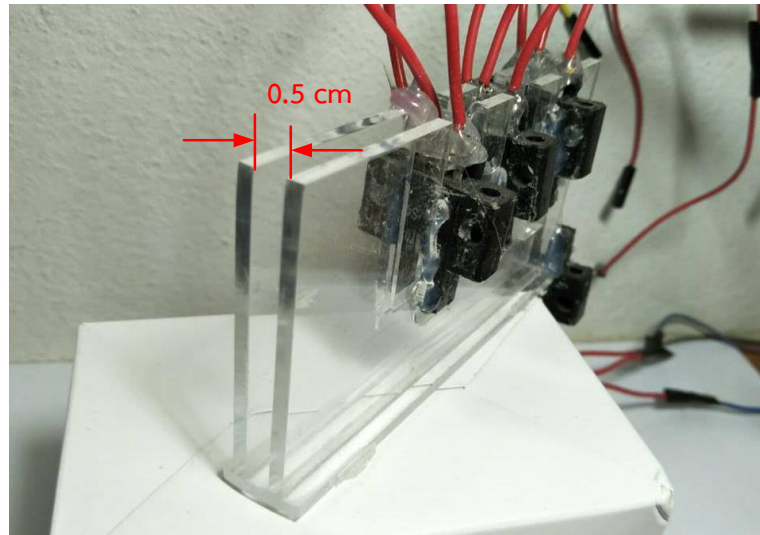
ส่วนของการตรวจจับเหรียญมีไว้สำหรับรองรับการหยอดเหรียญเพื่อกำหนดระยะเวลาในการประจุ โดยผู้ดำเนินโครงการได้ออกแบบส่วนของรางลำเลียงเหรียญและของส่วนของการติดตั้งตัวรับรู้

3.3.1 รางลำเลียงเหรียญ

รางลำเลียงเหรียญทำจากแผ่นอะคริลิกที่มีความหนา 0.2 cm เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อและนำมาทำเป็นโครงสร้างได้ง่าย โดยนำมาสร้างรางลำเลียงเหรียญที่มีความยาว 9.5 cm สูง 5 cm เพื่อให้มีสูงพอสำหรับการติดตั้งตัวรับรู้ที่มีเหรียญเคลื่อนที่ผ่าน ในโครงสร้างของรางลำเลียงจะเว้นช่องว่างไว้จำนวน 4 ช่องสำหรับการติดตั้งตัวรับรู้ แต่ละช่องมีความกว้าง 1 cm ดังรูปที่ 3.5 และรางลำเลียงมีช่องสำหรับการลำเลียงเหรียญขนาด 0.5 cm ดังรูปที่ 3.6 เพื่อให้เหรียญกลิ้งในรางผ่านตัวรับรู้



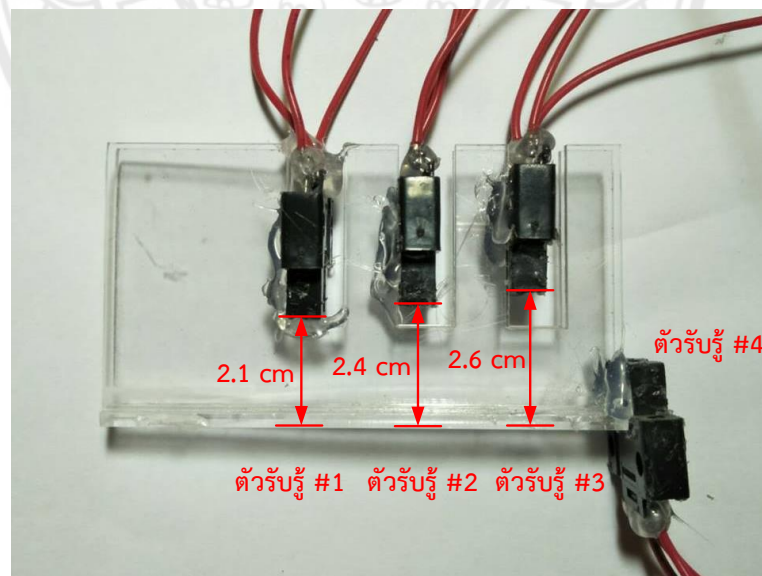
รูปที่ 3.5 ขนาดของรางลำเลียงเหรียญ



รูปที่ 3.6 ความกว้างของรางลำเลียงเหรียญ

3.3.2 การติดตั้งตัวรับรู้

การเคลื่อนที่ของแต่ละเหรียญในรางลำเลียงเหรียญนั้นจะถูกตรวจจับด้วยตัวรับรู้ ซึ่งโครงการนี้จะใช้ตัวรับรู้จำนวน 4 ตัว ติดตั้งที่ระดับความสูงที่ต่างกัน เนื่องจากแต่ละเหรียญมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เท่ากันดังรูปที่ 3.7



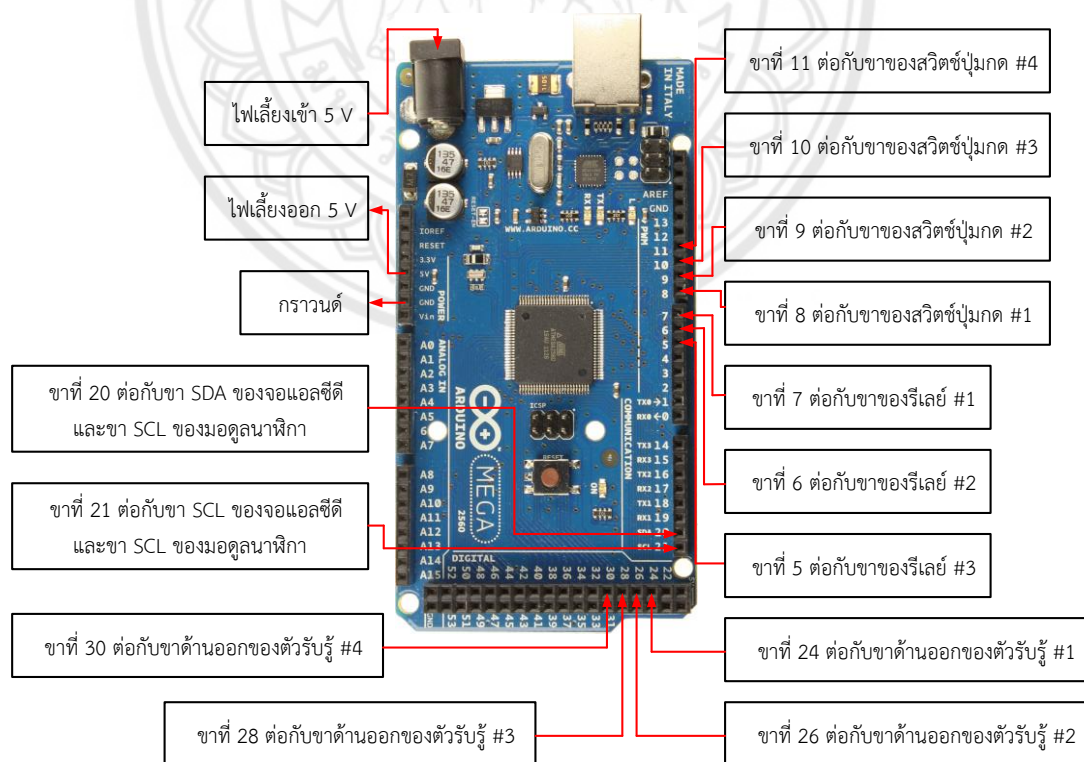
รูปที่ 3.7 การติดตั้งตัวรับรู้

ตัวรับรู้ #1 ถูกติดตั้งที่ความสูง 2.1 cm เพื่อตรวจจับการกลิ้งผ่านของเหรียญ 2 บาท 5 บาท และ 10 บาท ส่วนตัวรับรู้ #2 ถูกติดตั้งที่ความสูง 2.4 cm จะทำการตรวจจับการกลิ้งผ่านของเหรียญ 5 บาท และ 10 บาท ตัดผ่าน ในขณะที่ตัวรับรู้ #3 ถูกติดตั้งที่ความสูง 2.6 cm จะทำการตรวจจับการกลิ้งผ่านของเหรียญ 10 บาท เท่านั้น และตัวรับรู้ #4 สามารถตรวจจับทุกเหรียญที่เคลื่อนที่ผ่านเพราะถูกติดตั้งบริเวณด้านล่างของรางลำเลียง เนื่องจากการติดตั้งด้านบนจะไม่สามารถทำให้เหรียญ 10 บาทเคลื่อนที่ผ่านได้เพราะเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ 10 บาท มีระยะความยาวมากกว่าระยะความสูงของการติดตั้งตัวรับรู้ที่ 4

3.4 การประมวลผลและแสดงสถานะการทำงาน

3.4.1 ส่วนประมวลผลการทำงาน

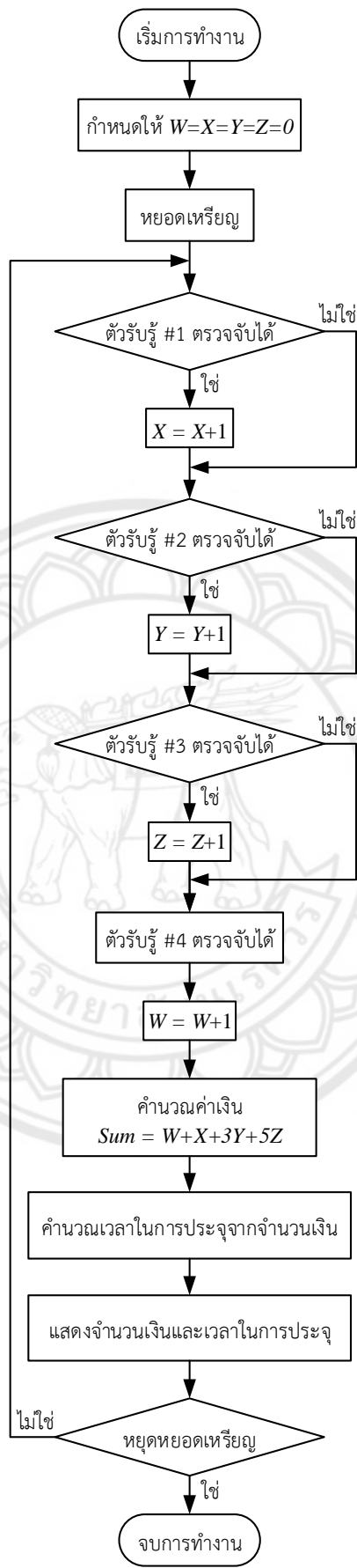
การทำงานของแบบจำลองเครื่องประจําแบบเตอรีโทรศัพทเคลื่อนที่แบบหยอดเหรียญถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino รุ่น Mega 2560 ทั้งในส่วนของการตรวจนับการคํานวนค่าเงินรวมและระยะเวลาในการประจํา การเริ่มและหยุดประจําผ่านรีเลย์ และการแสดงสถานะการทำงานบนหน้าจอลซีดีรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนภาพการเชื่อมต่อของแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

พอร์ตที่ 6 และ 7 เชื่อมต่อกับรีเลย์เพื่อทำการเริ่มและหยุดการทำงานของวงจรประจุ พอร์ตที่ 8 และ 9 เชื่อมต่ออยู่กับสวิตช์ปุ่มกดเพื่อควบคุมการเริ่มทำงานของวงจรประจุสำหรับการ จำกัดกระแส 1 A และ 2 A ตามลำดับ พอร์ตที่ 10 และ 11 เชื่อมต่ออยู่กับสวิตช์ปุ่มกดเพื่อแสดง จำนวนเหรียญทั้งหมดที่ถูกหยอดในแบบจำลองพร้อมทั้งแสดงค่าเงินรวม และการกลับไปเริ่ม โปรแกรมใหม่ตามลำดับ พอร์ตที่ 20 และ 21 ใช้ควบคุมการแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี ซึ่งมาจากการประมวลผล ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รับค่ามาจากการตรวจจับเหรียญ และควบคุมการทำงานของ มอดูลนาฬิกา DS3231 เพื่อให้การจับเวลาของไมโครคอนโทรลเลอร์มีความผิดพลาดน้อยที่สุด พอร์ตที่ 24, 26, 28 และ 2 เป็นพอร์ตที่รับค่าจากการตรวจจับเหรียญ 1 บาท 2 บาท 5 บาท และ 10 บาท ตามลำดับ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าสัญญาณดิจิทัลที่เป็นลอจิก 0 มาจากการที่ เหรียญตัดผ่านตัวรับรู้

ขั้นตอนการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 เมื่อหยอด เหรียญผ่านช่องรับเหรียญ เหรียญจะกลิ้งผ่านตัวรับรู้ #1 เป็นลำดับแรก หากเป็นเหรียญ 2 บาท 5 บาท และ 10 บาท ตัวรับรู้จะสามารถตรวจจับได้และโปรแกรมจะเพิ่มค่า X ขึ้นอีกหนึ่ง หากเป็น เหรียญ 1 บาท ตัวแปร X จะไม่ถูกเพิ่มค่า ต่อมาเหรียญจะกลิ้งผ่านตัวรับรู้ #2 ซึ่งหากเป็นเหรียญ 5 บาท และ 10 บาท ตัวรับรู้จะสามารถตรวจจับได้และโปรแกรมจะเพิ่มค่า Y ขึ้นอีกหนึ่ง หากเป็น เหรียญ 1 บาท และ 2 บาท ตัวแปร Y จะไม่ถูกเพิ่มค่า ถัดมาเหรียญจะกลิ้งผ่านตัวรับรู้ #3 ซึ่ง ตรวจจับได้เฉพาะเหรียญ 10 บาทเท่านั้น และโปรแกรมจะเพิ่มค่า Z ขึ้นอีกหนึ่ง หากเป็นเหรียญอื่น ตัวแปร Z จะไม่ถูกเพิ่มค่า และเมื่อเหรียญกลิ้งมาถึงตัวรับรู้ #4 ที่อยู่ปลายราง ซึ่งสามารถตรวจจับ ทุกเหรียญได้ โปรแกรมจะเพิ่มค่า W ขึ้นอีกหนึ่ง



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการคำนวณค่าเงินที่หยุดและเวลาในการประจุ

จากนั้นโปรแกรมจะนำค่าจากตัวแปรที่ได้มาหาจำนวนเงินรวมได้จากสมการ

$$Sum = W + X + 3Y + 5Z \quad (3.3)$$

โดยที่ Sum คือ จำนวนเงินที่หยอด (บาท)

X คือ ตัวแปรแทนการตรวจจับของตัวรับรู้ #1

Y คือ ตัวแปรแทนการตรวจจับของตัวรับรู้ #2

Z คือ ตัวแปรแทนการตรวจจับของตัวรับรู้ #3

W คือ ตัวแปรแทนการตรวจจับของตัวรับรู้ #4

หลังจากได้จำนวนเงินรวมแล้วโปรแกรมจะทำการแปลงจำนวนเงินเป็นระยะเวลาในการประจู่ โดยในโครงงานนี้กำหนดอัตราการแปลงจำนวนเงินเป็นระยะเวลาการประจู่คือ 1 บาท/นาที สำหรับการเลือกกระแสประจู่สูงสุด 1 A และแปลงจำนวนเงินเป็นระยะเวลาการประจู่สำหรับการเลือกกระแสประจู่สูงสุด 2 A โดยคิดเป็น 2 บาท/นาที ซึ่งจะแสดงจำนวนเงินและระยะเวลาการประจู่บนหน้าจอแอลซีดี

3.4.2 หน้าจอแสดงสถานะการทำงาน

หลังจากการประมวลผลเพื่อนับและคำนวณค่าเงินโดยไม่โครคอนโทรลเลอร์ ผู้ใช้บริการสามารถดูจำนวนเงินที่หยอดไปทั้งหมดและระยะเวลาการประจู่แบบเตอร์รี่ได้ทางหน้าจอแอลซีดี เมื่อเริ่มเปิดใช้งานแบบจำลองหน้าจอจะแสดงสถานะรอการหยอดเหรียญดังรูปที่ 3.10(ก) เมื่อเริ่มหยอดเหรียญ หน้าจอจะเปลี่ยนเป็นการแสดงค่าเงินที่หยอดและระยะเวลาการประจู่สำหรับกระแสประจู่สูงสุด 1 A และ 2 A พร้อมทั้งบอกให้ผู้ใช้บริการเลือกค่ากระแสที่ต้องการประจู่ ในที่นี้ได้แสดงการหยอดเหรียญ 1 บาท จำนวน 1 เหรียญ ดังรูปที่ 3.10(ข) หลังจากกดปุ่มเลือกค่ากระแสประจู่สูงสุดแล้วหน้าจอจะแสดงระยะเวลาการประจู่และแสดงการจับเวลาการประจู่ซึ่งในตัวอย่างนี้ได้เลือกค่ากระแสประจู่สูงสุด 2 A ดังรูปที่ 3.10(ค) หลังจากครบเวลาการประจู่แล้ว หน้าจอจะแสดงสถานะสิ้นสุดการประจู่ดังรูปที่ 3.10(ง) แล้วหน้าจอจะแสดงสถานะรอการทำงานครั้งต่อไป

```
A Vending Machine
Model for Charging
Mobile Phone Battery
Please insert coins!
```

(ก) สถานะรอการหยอดเหรียญ

```
Money paid: 1 baht
Gain 0:01:00 for 1 A
or 0:00:30 for 2 A
Pick Imax for start!
```

(ข) จำนวนเงินที่หยอดและระยะเวลาการประจุ

```
Charging in progress
Time gained 0:00:30
Time elapsed 0:00:00
```

(ค) ระยะเวลาการประจุและการจับเวลาการประจุ

```
Charging time is up!
Time gained 0:00:30
Time elapsed 0:00:30
```

(ง) การแสดงผลเมื่อสิ้นสุดการประจุ

รูปที่ 3.10 หน้าจอแสดงจำนวนเงินที่หยอดและระยะเวลาการประจุ

นอกจากนี้ยังสามารถดูจำนวนเหรียญแต่ละชนิดราคาที่ยอดไปแล้วได้โดยการกดปุ่ม “จำนวนเงินและเหรียญ” ซึ่งจะทำให้หน้าจอแสดงจำนวนเหรียญของเหรียญชนิด 1 บาท 2 บาท 5 บาท และ 10 บาท ทั้งหมดที่ยอดและผลรวมของจำนวนเงิน ดังรูปที่ 3.11

```
Sum of Money & Coins
Money paid: 18 baht
1THB: 1 2THB: 1
5THB: 1 10THB: 1
```

รูปที่ 3.11 การแสดงจำนวนเงินรวมและจำนวนเหรียญแต่ละชนิดราคา

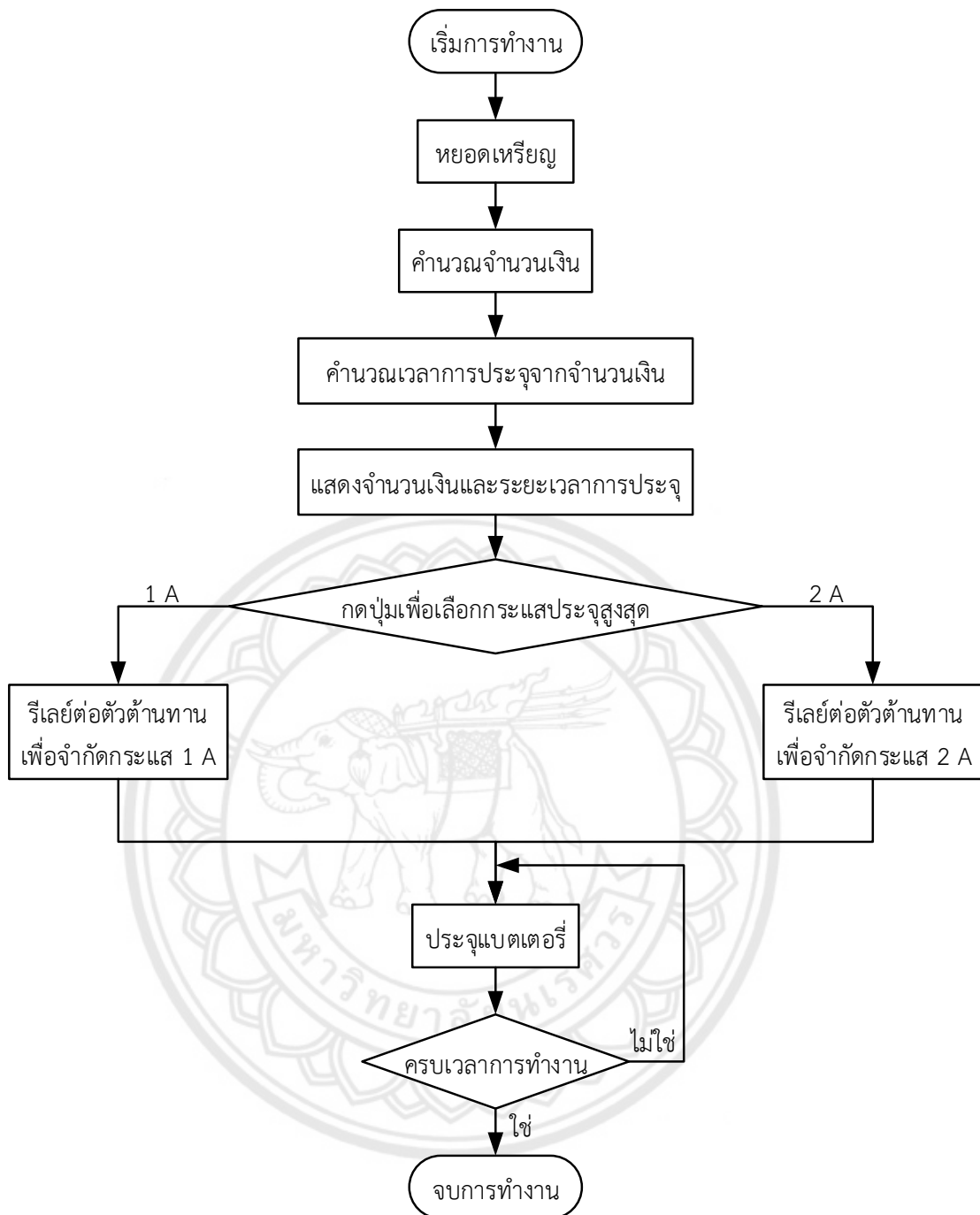
นอกจากนี้ผู้ใช้บริการยังสามารถกดปุ่ม “ตั้งใหม่” (Reset) ในกรณีที่โปรแกรมเกิดปัญหาหรือข้อผิดพลาด หรือต้องการล้างจำนวนเงินและจำนวนเหรียญที่หยอดหน้าจอแอลซีดีจะแสดงสถานะดังรูปที่ 3.12 จากนั้นจะกลับสู่หน้าจอแสดงสถานะรอการหยอดเหรียญอีกครั้งดังรูปที่ 3.10(ก)



รูปที่ 3.12 หน้าจอแสดงเตรียมการเริ่มทำงานใหม่ของโปรแกรม

3.5 การทำงานของแบบจำลอง

ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองแสดงดังรูปที่ 3.13 การใช้งานแบบจำลองจะเริ่มต้นเมื่อผู้ใช้บริการหยอดเหรียญผ่านช่องรับเหรียญ โปรแกรมจะคำนวณจำนวนเงินจากเหรียญที่หยอดทั้งหมด จากนั้นจะคำนวณระยะเวลาการประจุให้ผู้ใช้บริการเลือกตามค่ากระแสประจุสูงสุด ทั้งนี้โปรแกรมจะคำนวณระยะเวลาการประจุโดยใช้อัตรา 1 บาท ต่อ 1 นาทีสำหรับการเลือกกระแสประจุสูงสุด 1 A และใช้อัตรา 2 บาท ต่อ 1 นาทีสำหรับการเลือกกระแสประจุสูงสุด 2 A แล้วแสดงจำนวนและระยะเวลาการประจุนบนหน้าจอแอลซีดี ผู้ใช้สามารถกดปุ่มเลือกกระแสประจุสูงสุด 1 A หรือ 2 A ได้ตามความต้องการ หลังจากนั้นวงจรประจุจะเริ่มทำงานโดยจ่ายแรงดันคงที่ขนาด 5 V และกระแสประจุสูงสุดตามที่ผู้ใช้เลือก และหน้าจอแอลซีดีจะแสดงระยะเวลาการประจุ เมื่อครบระยะเวลาการประจุแล้ววงจรจะหยุดการประจุ และแบบจำลองจะกลับไปยังสถานะรอการหยอดเหรียญเพื่อรอการใช้งานครั้งถัดไป

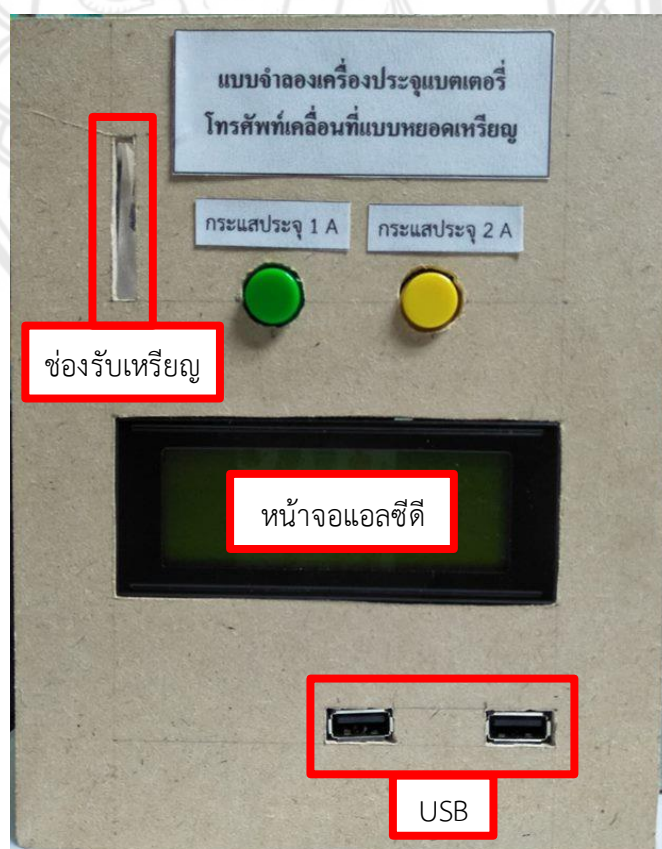


รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง

3.6 การประกอบแบบจำลอง

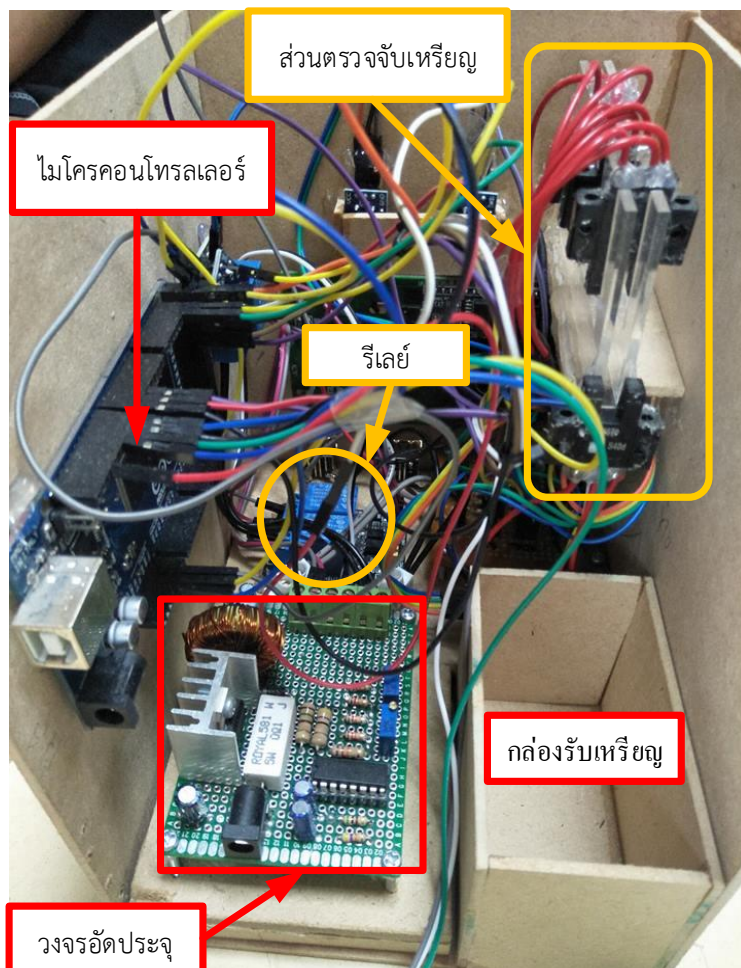
ในโครงการนี้ได้ออกแบบและสร้างแบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยุดเหรียญขึ้นมา โดยประกอบอุปกรณ์แต่ละส่วนเข้าด้วยกัน ซึ่งด้านหน้าของแบบจำลองเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำหนดกระแสประจุสูงสุดและจอแอลซีดีสำหรับแสดงสถานะการทำงาน ดังรูปที่ 3.14 ซึ่งประกอบด้วย

- 1) ช่องใส่เหรียญ สำหรับการใส่เหรียญลงไปในรางลำเลียง
- 2) ปุ่มเลือกกระแสประจุสูงสุด ใช้สำหรับกดเลือกกระแสประจุสูงสุด 1 A หรือ 2 A และเริ่มการประจุแบตเตอรี่
- 3) หน้าจอแอลซีดี ใช้แสดงจำนวนเงินทั้งหมดที่หยุดและแสดงระยะเวลาการประจุแบตเตอรี่รวมทั้งสถานะการทำงานอื่นๆ
- 4) ขั้วต่อโพล ในที่นี้ใช้ขั้วสนุกรมเอนกประสงค์หรือยูเอสบี (Universal Serial Bus, USB) ซึ่งสามารถต่อกับอุปกรณ์ได้หลากหลายชนิด และสามารถต่อกับสายยูเอสบีเอนกประสงค์ (Universal USB) ที่สามารถเชื่อมต่อกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้หลายรุ่น



รูปที่ 3.14 มุมมองด้านหน้าของแบบจำลอง

ภายในแบบจำลองประกอบด้วย วงจรควบคุมแรงดันและกระแสประจุ ส่วนตรวจจับเหรียญ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino รุ่น Mega 2560 และแผงรีเลย์ซึ่งรับคำสั่งจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตัดต่อการประจุของวงจรควบคุมแรงดันและกระแสประจุ ซึ่งแสดงได้ดังรูป ที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การติดตั้งอุปกรณ์ภายในแบบจำลอง

มุมมองด้านหลังของแบบจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 ซึ่งมีปุ่ม “จำนวนเงินและเหรียญ” สำหรับดูผลรวมของจำนวนเหรียญแต่ละชนิดราคาและสวิตช์ที่มีไว้สำหรับการปรับตั้งโปรแกรมใหม่ของแบบจำลอง นอกจากนี้ยังมีช่องไว้สำหรับการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงจากอะแดปเตอร์เพื่อจ่ายไฟกับวงจรควบคุมการประจุ



รูปที่ 3.16 มุมมองด้านหลังของแบบจำลอง

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบแบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยอดเหรียญ หลังจากที่ได้สร้างแบบจำลองเรียบร้อยแล้วจึงทดสอบการทำงานของแบบจำลองโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

- 1) การทดสอบการทำงานของวงจรตอนระดับแรงดัน เพื่อทดสอบความสามารถในการคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแสต้านออกตามที่ได้ออกแบบไว้ และหาค่าประสิทธิภาพของวงจร
- 2) การตรวจสอบความถูกต้องในการนับเหรียญ รวมทั้งการคำนวณจำนวนเงินที่หยอด จากการประมวลผลและแสดงค่าด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้จากการแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี

4.1 การทดสอบการทำงานของวงจรตอนระดับแรงดัน

วงจรตอนระดับแรงดันถูกทดสอบการคุมค่าแรงดันและการจำกัดกระแสต้านออกให้เป็นไปตามค่าที่ออกแบบไว้ จากการกำหนดค่า R_V และ R_I ตามลำดับ รวมทั้งหาค่าประสิทธิภาพของวงจร

4.1.1 การคุมค่าแรงดันต้านออก

การคุมค่าแรงดันต้านออกในโครงการนี้มีเป้าหมายเพื่อรักษาระดับแรงดันต้านออกไว้ที่ 5 V ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของ R_V ที่เลือกโดยพิจารณาค่าแรงดันและกระแสต้านออกเมื่อเทียบกับโหลดตัวต้านทาน 5 ค่า คือ 2Ω 2.5Ω 3.3Ω 5Ω และ 10Ω ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นว่าค่าแรงดันที่ได้จากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการจำกัดไว้ ส่งผลให้มีค่ากระแสไหลผ่านโหลดตัวต้านทานเป็นไปตามกฎของโอห์มและจะเห็นว่าหากไม่มีการจำกัดกระแสและความต้านทานของโหลดต่ำกว่า 5Ω จะมีกระแสไหลผ่านโหลดสูงกว่า 1 A

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันและกระแสต้านออกโดยไม่มีกำกักระแส

โหลด (Ω)	V_{LOAD} (V)	I_{LOAD} (A)	ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแรงดัน
∞ (ไม่มีโหลด)	4.999	-	0.02
10	4.960	0.496	0.80
5	4.975	0.995	0.50
3.3	4.841	1.467	3.18
2.5	4.755	1.902	4.90
2	4.748	2.374	5.04

4.1.2 การกำกักระแสต้านออก

การกำกัค่ากระแสต้านออกมีเป้าหมายเพื่อป้องกันไม่ให้กระแสประจุมัค่าสูงจนทำให้แบตเตอรี่เสียหายหรือเสื่อมไว ซึ่งค่ากระแสที่ถูกกำกันั้นขึ้นอยู่กับค่าของ R_L ที่เลือก พิจารณาค่าแรงดันและกระแสต้านออกเมื่อต่อกับโหลดตัวต้านทาน 5 ค่า คือ 2Ω 2.5Ω 3.3Ω 5Ω และ 10Ω โดยผลการทดสอบการกำกักระแสสูงสุด 1 A แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันและกระแสต้านออกเมื่อกำกักระแสสูงสุด 1 A

โหลด (Ω)	V_{LOAD} (V)	I_{LOAD} (A)	หมายเหตุ
∞ (ไม่มีโหลด)	4.999	-	
10	4.980	0.498	
5	4.905	0.981	
3.3	3.293	0.998	กระแสถูกกำกั
2.5	2.500	1.000	กระแสถูกกำกั
2	2.020	1.010	กระแสถูกกำกั

ในกรณีนี้กระแสที่ไหลผ่านโหลดตัวต้านทานถูกกำกัให้ไหลไม่เกิน 1 A ซึ่งเกิดขึ้นได้โดยวงจรสร้างแรงดันที่ตกร้อมตัวต้านทานน้อยลงตามกฎของโอห์ม ในขณะที่ผลการทดสอบการกำกักระแสสูงสุด 2 A แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันและกระแสต้านออกเมื่อจำกัดกระแสสูงสุด 2 A

โหลด (Ω)	V_{LOAD} (V)	I_{LOAD} (A)	หมายเหตุ
∞ (ไม่มีโหลด)	4.999	-	
10	4.950	0.495	
5	4.905	0.981	
3.3	4.831	1.464	
2.5	4.755	1.902	
2	3.856	1.928	กระแสถูกจำกัด

ในกรณีนี้กระแสที่ไหลผ่านโหลดตัวต้านทานถูกจำกัดให้ไหลไม่เกิน 2 A ซึ่งเกิดได้โดยวงจรสร้างแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานน้อยลงเช่นเดียวกับกรณีการจำกัดกระแส 1 A

4.1.3 ประสิทธิภาพ

การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดัน ใช้แหล่งจ่ายพลังงานผ่านอะแดปเตอร์ขนาดแรงดันคงที่ 9 V กระแสสูงสุด 2 A ในการทดสอบนี้มีการคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแสต้านออก โดยต่อกับตัวต้านทาน 5 ค่า คือ 2 Ω 2.5 Ω 3.3 Ω 5 Ω และ 10 Ω แล้ววัดค่าแรงดันและกระแสทั้งด้านเข้าและด้านออกเพื่อนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.4 - 4.6

จากสมการที่ (2.7) เราสามารถหาค่าประสิทธิภาพ (η) ของวงจรทอนระดับแรงดันได้จากสมการที่ (4.1)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{V_{LOAD} I_{LOAD}}{V_{in} I_{in}} \times 100 \quad (4.1)$$

โดยที่ V_{LOAD} คือ แรงดันตกคร่อมโหลด (V)

I_{LOAD} คือ กระแสที่ไหลผ่านโหลด (A)

V_{in} คือ แรงดันด้านเข้าของวงจรทอนระดับแรงดัน (V)

I_{in} คือ กระแสด้านเข้าของวงจรทอนระดับแรงดัน (A)

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อไม่มีการจำกัดกระแส

โหลด (Ω)	V_{LOAD} (V)	I_{LOAD} (A)	V_{in} (V)	I_{in} (A)	η (%)
10	4.96	0.496	9	0.36	75.93
5	4.975	0.995	9	0.72	76.39
3.3	4.841	1.467	9	1.20	65.76
2.5	4.755	1.902	9	1.86	54.03
2	4.020	2.010	9	1.96	45.81

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อจำกัดกระแสสูงสุด 1 A

โหลด (Ω)	V_{LOAD} (V)	I_{LOAD} (A)	V_{in} (V)	I_{in} (A)	η (%)
10	4.980	0.498	9	0.37	74.48
5	4.905	0.981	9	0.76	70.35
3.3	3.293	0.998	9	0.66	55.33
2.5	2.500	1.000	9	0.58	47.89
2	2.020	1.010	9	0.53	42.77

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อจำกัดกระแสสูงสุด 2 A

โหลด (Ω)	V_{LOAD} (V)	I_{LOAD} (A)	V_{in} (V)	I_{in} (A)	η (%)
10	4.950	0.495	9	0.36	75.63
5	4.905	0.981	9	0.72	74.26
3.3	4.831	1.464	9	1.22	64.41
2.5	4.755	1.902	9	1.86	54.03
2	3.856	1.928	9	1.91	43.25

ผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้อะแดปเตอร์ขนาดแรงดันคงที่ 9 V กระแส 2 A เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแส ในกรณีการคุมค่าแรงดันแบบไม่จำกัดกระแสและกรณีที่มีการจำกัดกระแสสูงสุด 1 A และ 2 A พบว่าค่าประสิทธิภาพของวงจรเมื่อมีการต่อโหลดตัวต้านทานที่มีค่าสูงจะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าขณะที่ต่อโหลดตัวต้านทานที่มีค่าต่ำกว่า เนื่องจากการจำกัดกระแสทำให้กำลังด้านออกมีค่าต่ำและการจำกัดกระแสที่มีค่าต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพของวงจรต่ำลง

4.2 ความถูกต้องในการตรวจนับและคำนวณจำนวนเงิน

ในส่วนนี้ได้ทำการทดสอบความถูกต้องในการตรวจนับเหรียญแต่ละชนิดราคาและการคำนวณจำนวนเงินจากเหรียญที่ยอด โดยหยอดเหรียญไปในรางลำเลียงที่ติดตั้งตัวรับรู้ เหรียญจะกลิ้งตกลงไปในกล่องรับเหรียญ และหน้าจอแอลซีดีแสดงจำนวนเงินรวม โดยเตรียมเหรียญชนิดราคา 1 บาท 2 บาท 5 บาท และ 10 บาท จำนวนชนิดละ 2 เหรียญ และหยอดเหรียญตามลำดับดังนี้

ลำดับที่ 1 หยอดเหรียญชนิดราคา 10 บาทเหรียญแรก เมื่อเหรียญตกลงไปในกล่องรับเหรียญ หน้าจอแสดงจำนวนเงินรวมเท่ากับ 10 บาท ดังรูปที่ 4.1(ก)

ลำดับที่ 2 หยอดเหรียญชนิดราคา 10 บาทเหรียญที่สอง เมื่อเหรียญตกลงไปในกล่องรับเหรียญ หน้าจอแสดงจำนวนเงินรวมเท่ากับ 20 บาท ดังรูปที่ 4.1(ข)

ลำดับที่ 3 หยอดเหรียญชนิดราคา 5 บาทเหรียญแรก เมื่อเหรียญตกลงไปในกล่องรับเหรียญ หน้าจอแสดงจำนวนเงินรวมเท่ากับ 25 บาท ดังรูปที่ 4.1(ค)

ลำดับที่ 4 หยอดเหรียญชนิดราคา 5 บาทเหรียญที่สอง เมื่อเหรียญตกลงไปในกล่องรับเหรียญ หน้าจอแสดงจำนวนเงินรวมเท่ากับ 30 บาท ดังรูปที่ 4.1(ง)

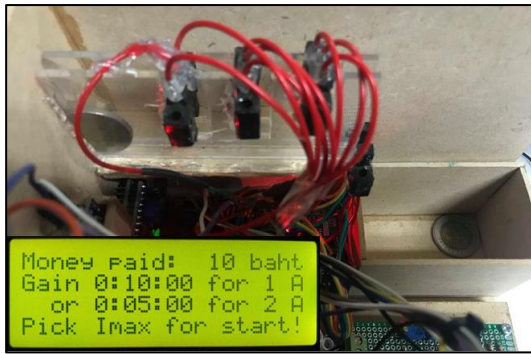
ลำดับที่ 5 หยอดเหรียญชนิดราคา 2 บาทเหรียญแรก เมื่อเหรียญตกลงไปในกล่องรับเหรียญ หน้าจอแสดงจำนวนเงินรวมเท่ากับ 32 บาท ดังรูปที่ 4.1(จ)

ลำดับที่ 6 หยอดเหรียญชนิดราคา 2 บาทเหรียญที่สอง เมื่อเหรียญตกลงไปในกล่องรับเหรียญ หน้าจอแสดงจำนวนเงินรวมเท่ากับ 34 บาท ดังรูปที่ 4.1(ฉ)

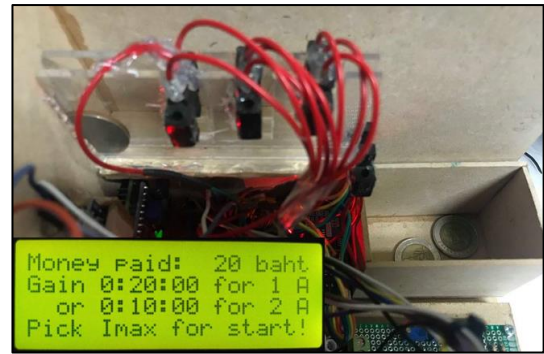
ลำดับที่ 7 หยอดเหรียญชนิดราคา 1 บาทเหรียญแรก เมื่อเหรียญตกลงไปในกล่องรับเหรียญ หน้าจอแสดงจำนวนเงินรวมเท่ากับ 35 บาท ดังรูปที่ 4.1(ช)

ลำดับที่ 8 หยอดเหรียญชนิดราคา 5 บาทเหรียญที่สอง เมื่อเหรียญตกลงไปในกล่องรับเหรียญ หน้าจอแสดงจำนวนเงินรวมเท่ากับ 36 บาท ดังรูปที่ 4.1(ซ)

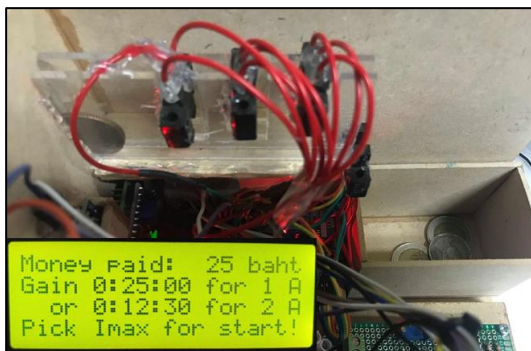
จากผลการทดสอบ พบว่า แบบจำลองสามารถทำการตรวจนับและคำนวณจำนวนเงินเหรียญได้อย่างถูกต้อง



(ก) หยอดเหรียญ 10 บาทเหรียญแรก



(ข) หยอดเหรียญ 10 บาทเหรียญที่สอง



(ค) หยอดเหรียญ 5 บาทเหรียญแรก



(ง) หยอดเหรียญ 5 บาทเหรียญที่สอง



(จ) หยอดเหรียญ 2 บาทเหรียญแรก



(ฉ) หยอดเหรียญ 2 บาทเหรียญที่สอง



(ช) หยอดเหรียญ 1 บาทเหรียญแรก

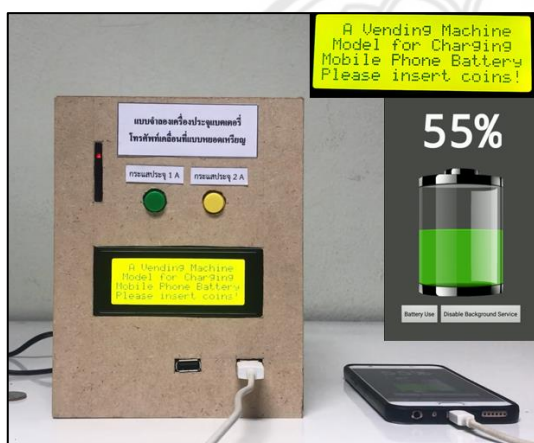


(ซ) หยอดเหรียญ 1 บาทเหรียญที่สอง

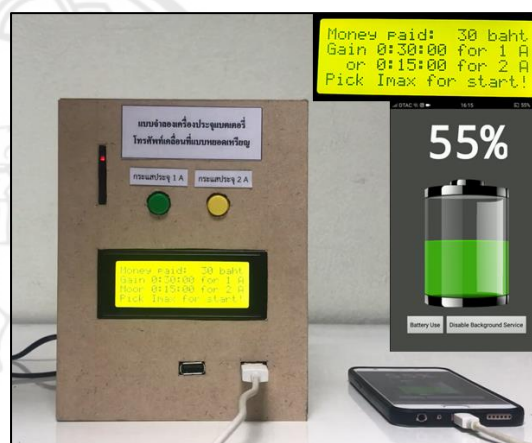
รูปที่ 4.1 การทดสอบการตรวจจับเหรียญและการคำนวณจำนวนเงินเหรียญ

4.3 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่

ในส่วนนี้ได้ทำการทดสอบใช้งานแบบจำลองในการประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสประจุสูงสุด 1 A สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ และกระแสประจุสูงสุด 2 A สำหรับแบตเตอรี่สำรอง ในการทดสอบการทำงานของแบบจำลองสำหรับการประจุแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งความจุคงเหลืออยู่ที่ 55% ดังรูปที่ 4.2(ก) ผู้ดำเนินโครงการได้หยุดเหรียญรวมเป็นเงิน 30 บาท ซึ่งได้ระยะเวลาการประจุ 30 นาทีสำหรับกระแสประจุสูงสุด 1 A ดังรูปที่ 4.2(ข) หลังจากกดปุ่มเลือกกระแสประจุสูงสุด 1 A แบบจำลองเริ่มจับเวลาและเริ่มการประจุแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.2(ค) เมื่อครบเวลาการประจุแบบจำลองหยุดการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความจุคงเหลือของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 68% ดังรูปที่ 4.2 (ง)



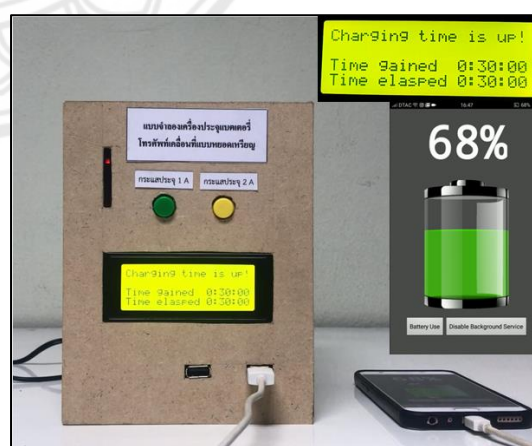
(ก) สถานะรอการทำงาน



(ข) หยุดเหรียญเป็นจำนวนเงิน 30 บาท



(ค) เริ่มประจุแบตเตอรี่พร้อมเริ่มจับเวลา



(ง) สิ้นสุดการประจุ

รูปที่ 4.2 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่

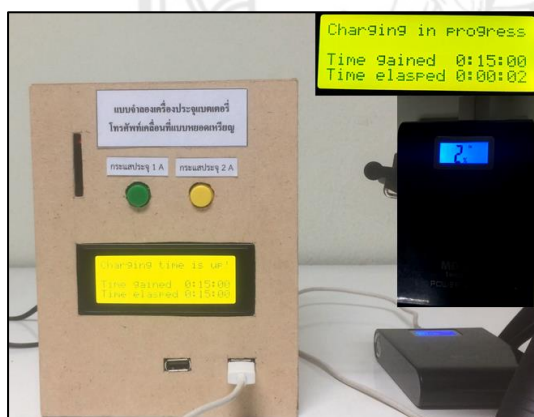
จากนั้นผู้ดำเนินโครงการได้ทดสอบการทำงานของแบบจำลองสำหรับการประจุแบตเตอรี่สำรอง ซึ่งขณะนั้นมีความจุคงเหลืออยู่ที่ 2% ดังรูปที่ 4.3(ก) หลังจากหยอดเหรียญรวมเป็นเงิน 30 บาท ซึ่งจะได้ระยะเวลาในการประจุเป็นเวลา 15 นาทีสำหรับกระแสประจุสูงสุด 2 A ดังรูปที่ 4.3(ข) หลังจากกดปุ่มเลือกกระแสประจุสูงสุด 2 A แบบจำลองเริ่มจับเวลาและเริ่มการประจุแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.3(ค) เมื่อครบเวลาการประจุ แบบจำลองหยุดการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความจุคงเหลือของแบตเตอรี่สำรองมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 11% ดังรูปที่ 4.3(ง)



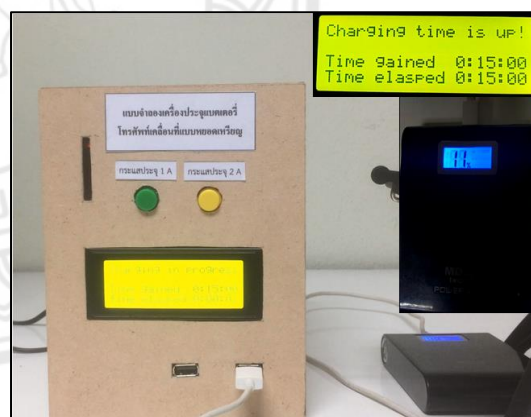
(ก) สถานะรอการทำงาน



(ข) หยอดเหรียญเป็นจำนวนเงิน 30 บาท



(ค) เริ่มประจุแบตเตอรี่พร้อมเริ่มจับเวลา



(ง) สิ้นสุดการประจุ

รูปที่ 4.3 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่สำรอง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงการสามารถสรุปผล และชี้แจงปัญหาในการดำเนินงาน รวมทั้งเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา และให้ข้อเสนอแนะในการนำโครงการไปพัฒนาต่อไปดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในโครงการนี้ได้ออกแบบและสร้างแบบจำลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบหยอดเหรียญสำหรับสมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และแบตเตอรี่สำรอง โดยแบ่งการทำงานของแบบจำลองได้เป็น 2 ส่วน ซึ่งส่วนที่ 1 คือ วงจรควบคุมแรงดันและกระแสประจุ โดยออกแบบให้สามารถจ่ายแรงดันคงที่ขนาด 5 V ในขณะที่ผู้ใช้สามารถเลือกค่ากระแสประจุสูงสุด 1 A หรือ 2 A เพื่อให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่ได้ และส่วนที่ 2 คือ ส่วนของการตรวจนับและคำนวณจำนวนเงิน โดยใช้ตัวรับรู้แบบใช้แสงเพื่อตรวจนับและส่งสัญญาณให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นับจำนวนเหรียญของแต่ละชนิดราคา คำนวณจำนวนเงินและระยะเวลาการประจุ ในที่นี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการเริ่มและการหยุดประจุผ่านรีเลย์ และแสดงสถานะการทำงานบนหน้าจอแอลซีดี

จากการทดสอบการคุมค่าแรงดันและจำกัดกระแส รวมถึงประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดันซึ่งมีโหลดเป็นตัวต้านทาน พบว่า แบบจำลองสามารถคุมค่าแรงดันด้านออกได้ใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบไว้คือ 5 V และสามารถจำกัดค่ากระแสประจุสูงสุดที่ 1 A และ 2 A ได้ การทดสอบความถูกต้องในการตรวจนับและคำนวณจำนวนเงินแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองสามารถตรวจนับเหรียญชนิดราคา 1 บาท 2 บาท 5 บาท และ 10 บาท และคำนวณจำนวนเงินได้อย่างถูกต้อง ส่วนสุดท้ายเป็นการทดสอบการประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสประจุสูงสุด 1 A สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ และกระแสประจุสูงสุด 2 A สำหรับแบตเตอรี่สำรอง พบว่า แบบจำลองสามารถประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่กับแบตเตอรี่สำรองได้ตามระยะเวลาการประจุที่สอดคล้องกับจำนวนเงินที่หยอด

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ในแบบจำลองของโครงการนี้ การประมวลผลค่าเงินของแต่ละเหรียญเกิดขึ้นหลังจากที่เหรียญกลิ้งผ่านตัวรับรู้ #4 ซึ่งติดตั้งอยู่ปลายรางลำเลียง ดังนั้น การคำนวณค่าเงินของเหรียญแรกจะผิดพลาดหากเหรียญถัดไปกลิ้งผ่านตัวรับรู้บนรางในขณะที่เหรียญก่อนหน้านี้ยังไม่ผ่านตัวรับรู้ #4

ผู้ใช้จำเป็นต้องรอให้เหรียญแรกผ่านตัวรับรู้ #4 ก่อนจะหยอดเหรียญถัดไป โดยอาจสังเกตจากเสียงของเหรียญแรกที่ตกลงในกล่องรับเหรียญ เงื่อนไขดังกล่าวส่งผลให้เกิดข้อจำกัดใน การลดระยะห่างของการติดตั้งตัวรับรู้ทั้งสี่บนรางสามารถช่วยให้เหรียญลื่นผ่านตัวรับรู้ #4 ได้เร็วขึ้น นั่นคือ ผู้ใช้สามารถเพิ่มความเร็วในการหยอดเหรียญอย่างต่อเนื่องได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระดับความสูงที่ต้องการติดตั้งตัวรับรู้ #1 #2 และ #3 บนรางมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดของเหรียญที่ต้องการตรวจจับด้วยตัวรับรู้แต่ละตัว จึงอาจเกิดความยุ่งยากในการติดตั้งให้ได้ระดับความสูงที่ต้องการ รวมทั้งความยุ่งยากในการแก้ไขชิ้นงานหากติดตั้งตัวรับรู้ไว้ใกล้กันจนเกินไป

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

- 1) แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถพัฒนาให้รองรับแหล่งจ่ายพลังงานชนิดอื่นได้อีก เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นการพลังงานสำรองในกรณีที่ไฟดับ
- 2) เพิ่มรูปแบบการรับธนบัตรและระบบทอนเงินเพื่อเพิ่มความสะดวกให้กับผู้ใช้บริการ
- 3) สามารถนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปประยุกต์ใช้กับการประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรชนิดลิเธียมไอออนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ เช่น กล้องถ่ายภาพดิจิทัล เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา เพื่อเพิ่มความหลากหลายในการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง. (2552). **ตัวรับรู้แบบใช้แสง**. ใน เซนเซอร์ ทรานสดิวเซอร์และการใช้งาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์ตเลิร์นนิ่ง.
- บริษัท วินัสซัพพลาย จำกัด. (2555). **การใช้งาน Character LCD Display กับ Arduino**. สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2560, จาก <http://thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article>.
- บ้านอิเล็กทรอนิกส์. (2554). **รีเลย์**. สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2560, จาก goo.gl/kYe4Hx.
- Arduino. (2017). **Arduino Mega 2560 REV3**. Retrieved November 10, 2017, from <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>.
- Buchman, I. (2011). **Charging Lithium-ion**. Retrieved October 10, 2017, from http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries.
- Ehrlich, G. M. (2002). **Lithium-Ion Batteries**. In Handbook of Batteries. 3rd ed. New York: McGraw-Hill.
- Mohan, N., Undeland, T. M. and Robbins, W. P. (2003). **Buck Converter**. In Power electronic: converters, applications, and design. 3rd ed. John Wiley & Sons.