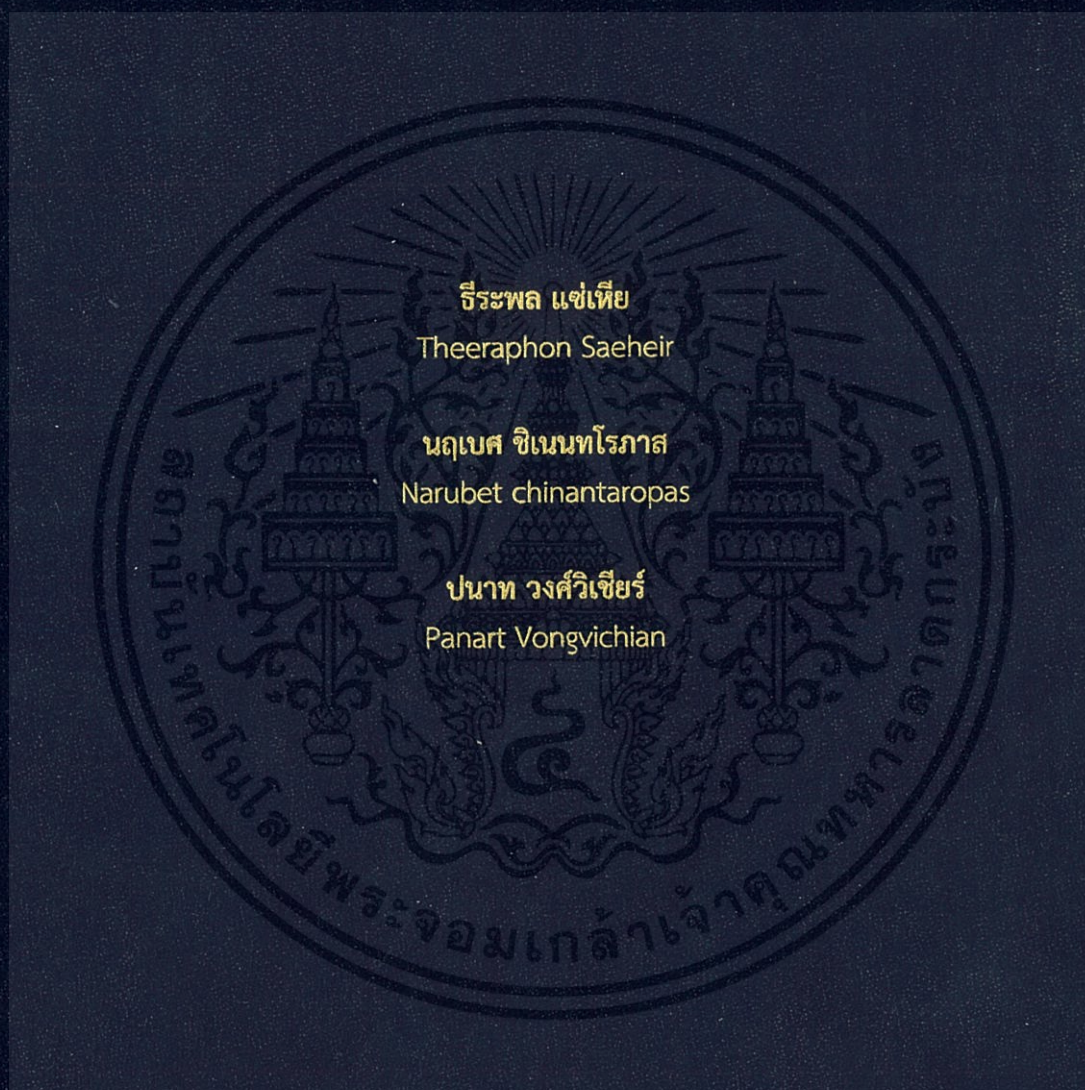


ระบบแสดงค่าความต้านทานของแบตเตอรี่ li-ion แบบ real time

Real Time Li-ion Battery resistance Measurement



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

ระบบแสดงค่าความต้านทานของแบตเตอรี่ li-ion แบบ real time

Real Time Li-ion Battery resistance Measurement



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบแสดงค่าความต้านทานของแบตเตอรี่ li-ion แบบ real time

Real Time Li-ion Battery resistance Measurement



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2561

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบแสดงค่าความต้านทานของแบตเตอรี่ li-ion แบบ real time  
Real Time Li-ion Battery resistance Measurement

|          |                  |              |          |
|----------|------------------|--------------|----------|
| ผู้จัดทำ | ธีระพล แซ่เทีย   | รหัสประจำตัว | 58010613 |
|          | นฤเบศ ชินนทโรภาส | รหัสประจำตัว | 58010652 |
|          | ปนาท วงศ์วิเชียร | รหัสประจำตัว | 58010722 |

รายงานนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



รศ.ดร. จีรวัดน์ ปานกลาง  
อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อโครงการ ระบบแสดงค่าความต้านทานของแบตเตอรี่ li-ion แบบ real time

นักศึกษา นาย ธีระพล แซ่เหี้ย รหัสประจำตัว 58010613

นาย นฤเบศ ชิเนนทโรภาส รหัสประจำตัว 58010652

นาย ปนาท วงศ์วิเชียร รหัสประจำตัว 58010722

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. จิรวัดน์ ปานกลาง

ด้วยปัญหาของแบตเตอรี่ที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กประเภทเพาเวอร์แบงค์ที่มีจำหน่ายในตลาดปัจจุบัน ซึ่งระบุขนาดของความสามารถที่มีตัวเลขที่สูงในขณะที่มีขนาดเล็ก ผู้วิจัยจึงได้สร้างเครื่องมือทดสอบอย่างง่ายเพื่อใช้ในการตรวจสอบเบื้องต้นว่าผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่ดังกล่าวมีความจุตามที่ระบุหรือไม่ โดยองค์ประกอบสำคัญของเครื่องทดสอบดังกล่าวประกอบด้วย ส่วนควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์กำลังในการดึงกระแสที่กำหนดออกจากแบตเตอรี่และอุปกรณ์การวัดกระแสและแรงดันของแบตเตอรี่โดยใช้การแปลงค่าเป็นตัวเลขดิจิทัลขนาด 10 บิต ผลการทดสอบเครื่องมือที่สร้างขึ้น สามารถวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่ได้สูงสุด 60 โวลต์ และค่ากระแสสูงสุด 50 แอมป์ เมื่อทำการสร้างเครื่องทดสอบเสร็จแล้วได้ทำการสอบเทียบ ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือ เพื่อให้มีความถูกต้อง และเมื่อนำเครื่องมือทดสอบไปวัดกับแบตเตอรี่ประเภทเพาเวอร์แบงค์สำหรับโทรศัพท์มือถือแบรนด์ต่างๆ ในตลาดปัจจุบัน และนำค่าที่ได้ดังกล่าวมาวิเคราะห์ค่าความต้านทานแฝงภายในตัวแบตเตอรี่ รวมถึงวิเคราะห์ขนาดความจุของแบตเตอรี่เปรียบเทียบกับค่าที่พิมพ์ไว้ด้านข้างของผลิตภัณฑ์ พบว่า ผลการของผลิตภัณฑ์นั้นมีค่าความถูกต้องต่ำ เมื่อเทียบกับข้อมูลที่เครื่องสามารถวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                        |   |                     |
|------------------------|---|---------------------|
| <b>Project Title</b>   | Real Time Li-ion Battery resistance Measurement |                     |
| <b>Student</b>         | Mr.Theeraphon Saeheir                           | Student ID:58010613 |
|                        | Mr.Narubet Chinantoropas                        | Student ID:58010722 |
|                        | Mr. Panart Vongvichian                          | Student ID:58010722 |
| <b>Degree</b>          | Bachelor of Engineering                         |                     |
| <b>Program</b>         | Electronics Engineering                         |                     |
| <b>Year</b>            | 2018  |                     |
| <b>Project Advisor</b> | Associate professor Jirawath Parnklang          |                     |

### Abstract

The problem of small battery power bank for cellular phone shows the best specification beside the product, which specifies the size of the product capacity with a high number while being small. The researcher created a simple test tool for use in preliminary electrical examination of the small battery product. The test tool consists of the control unit, to control the current flow to the power device. And the current and voltage measurement devices and convert to 10 bits digital number. The maximum of the measurement system can measure 60 volts and 50 amperes. The finish instrument are be calibrated to be accurate. Then, take the test instrument to measure with a various brand of mobile phone battery bank, using the obtained values analyze the latent internal resistance of the battery. And also analyze the capacity of the battery compare to the value that printed on the side of the product. The experimental results found that the label of the product has a very low accuracy compared to the data printed on the side of the product.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการระบบแสดงค่าความต้านทานของแบตเตอรี่ li-ion แบบ real time สามารถมีความก้าวหน้าได้ ด้วยความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาจาก รศ.ดร. จิรวัดน์ ปานกลางอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษาทางทฤษฎี คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบิดาและมารดาของคณะผู้จัดทำที่คอยเป็นกำลังใจหลักและเป็นผู้สนับสนุนเงินทุนหลักในการทำโครงการ ให้คำแนะนำ รวมทั้งช่วยกันในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงการนี้ ทั้งหมดทำให้ผลของโครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำหวังว่าโครงการนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจและผู้นำผลงานนี้ไปใช้งานได้



ธีระพล แซ่เหี้ย  
นฤเบศ ชินนทโรภาส  
ปนาท วงศ์วิเชียร

# สารบัญ

|  |     |
|--|-----|
| เรื่อง   |     |
| หน้า   |     |
| บทคัดย่อ                                       | I   |
| ABSTRACT                                       | II  |
| กิตติกรรมประกาศ                                | III |
| สารบัญ   | IV  |
| สารบัญรูป                                      | VII |
| สารบัญตาราง                                    | X   |
| บทที่ 1 บทนำ                                   | 1   |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ                | 1   |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ                     | 1   |
| 1.3 ขอบเขตในการจัดทำโครงการ                    | 1   |
| 1.4 ระยะเวลาในการทำโครงการ                     | 2   |
| 1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ                        | 2   |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี                        | 3   |
| 2.1 ความต้านทาน                                | 3   |
| 2.1.1 ความต้านทานในแบตเตอรี่ไฟฟ้า              | 3   |
| 2.1.2 ประเภทของความต้านทาน                     | 4   |
| 2.1.3 ความสำคัญของความต้านทานภายในกับแบตเตอรี่ | 5   |
| 2.1.4 วิธีการวัดความต้านทาน                    | 5   |

## สารบัญ(ต่อ)

|         |  |    |
|---------|--|----|
| เรื่อง  |  |    |
| หน้า    |  |    |
| 2.1.5   | อิทธิพลของความต้านทานภายในต่อแบตเตอรี่               | 8  |
| 2.1.6   | ความต้านทานและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่              | 9  |
| 2.2     | Arduino UNO  | 11 |
| 2.2.1   | Arduino UNO R3                                       | 12 |
| 2.3     | หลักการการทำงาน                                      | 14 |
| 2.3.1   | หลักการหาค่าความต้านทานของแบตเตอรี่                  | 14 |
| 2.3.2   | หลักการวัดกระแสของแบตเตอรี่                          | 14 |
| 2.3.3   | หลักการของ A/D และ D/A                               | 14 |
| บทที่ 3 | วิธีการดำเนินงานและการออกแบบ                         | 15 |
| 3.1     | วงจรที่ใช้ในการทำเครื่องวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่ | 15 |
| 3.2     | ส่วนของMicrocontroller                               | 16 |
| 3.2.1   | Arduino UNO R3                                       | 16 |
| 3.3     | ส่วนของโปรแกรมในการทำงานของระบบ                      | 17 |
| 3.4     | ส่วนของการเปรียบเทียบแรงดัน                          | 19 |
| 3.5     | ส่วนของการขับกระแส                                   | 19 |
| 3.6     | ส่วนของการวัดแรงดันของแบตเตอรี่                      | 20 |
| 3.7     | ส่วนของการวัดกระแสของแบตเตอรี่                       | 21 |
| 3.8     | แผนผังการทำงาน                                       | 21 |
| บทที่ 4 | ผลการทดลอง   | 23 |
| 4.1     | สัญญาณต่างๆของระบบในการทำงาน                         | 23 |
| 4.1.1   | สัญญาณ PWM Mosfet1 และ PWM Mosfet2                   | 23 |

## สารบัญ(ต่อ)

| เรื่อง   | หน้า |
|--|------|
| 4.1.2 สัญญาณ PWM mosfet1 กับ หลังผ่าน GATE DRIVE 1           | 25   |
| 4.1.3 สัญญาณ PWM mosfet2 กับ หลังผ่าน GATE DRIVE 2           | 26   |
| 4.1.4 สัญญาณ PWM mosfet1 กับ หลังผ่าน GATE DRIVE 2           | 26   |
| 4.1.5 สัญญาณ หลังผ่าน GATE DRIVE 1 กับ หลังผ่าน GATE DRIVE 2 | 27   |
| 4.1.6 สัญญาณ แรงดันที่ตกคร่อม R วัตกระแส                     | 27   |
| 4.2 การทดลองของถ่านชนิดแรก (Shuangdi SD 14500 1000mAh)       | 28   |
| 4.2.1 ตารางผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันของถ่าน             | 28   |
| 4.2.2 ตารางผลการทดลองการวัดความต้านทานและกระแสของถ่าน        | 29   |
| 4.2.3 ตารางผลการทดลองการวัดความต้านทานและแรงดันของถ่าน       | 29   |
| 4.3 การทดลองของถ่านชนิดสอง (AWT 18650 3.7V 3000mAh)          | 30   |
| 4.3.1 ตารางผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันของถ่าน             | 30   |
| 4.3.2 ตารางผลการทดลองการวัดความต้านทานและกระแสของถ่าน        | 31   |
| 4.3.3 ตารางผลการทดลองการวัดความต้านทานและแรงดันของถ่าน       | 32   |
| 4.4 การทดลองของถ่านชนิดสาม (NCR18650B Li-ion MH12210)        | 33   |
| 4.4.1 ตารางผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันของถ่าน             | 34   |
| 4.4.2 ตารางผลการทดลองการวัดความต้านทานและกระแสของถ่าน        | 35   |
| 4.4.3 ตารางผลการทดลองการวัดความต้านทานและแรงดันของถ่าน       | 36   |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง                                       | 37   |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง   | 37   |
| 5.2 ปัญหาที่พบ   | 37   |
| 5.3 วิธีแก้ปัญหา   | 37   |
| บรรณานุกรม   | 38   |
| ภาคผนวก  | 39   |

## สารบัญรูป

### รูป

#### หน้า

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | แบตเตอรี่ในอุดมคติ                              | 3  |
| 2.2  | แบตเตอรี่ในความเป็นจริง                         | 4  |
| 2.3  | ความต้านทานของแบตเตอรี่โดยรวม                   | 4  |
| 2.4  | ความต้านทานอ้างอิงเพียงOhmic                    | 6  |
| 2.5  | โหลด DC สองระดับ                                | 6  |
| 2.6  | การทดสอบโหลด DC วัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ | 7  |
| 2.7  | ส่วนประกอบแต่ละส่วนของแบบจำลอง                  | 7  |
| 2.8  | การอ่านค่าความต้านทานที่ความถี่ 1000 Hz         | 8  |
| 2.9  | กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้ากับเวลาของค่าโอห์มที่ต่างกัน | 8  |
| 2.10 | ความต้านทานภายในของนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์         | 9  |
| 2.11 | ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์กับอุณหภูมิ        | 10 |
| 2.12 | Arduino UNO R3                                  | 12 |
| 2.13 | โครงสร้างของบอร์ด Arduino UNO R3                | 13 |
| 3.1  | แสดงวงจรเครื่องวัดความต้านทานภายใน              | 15 |
| 3.2  | Arduino UNO R3                                  | 16 |
| 3.3  | โปรแกรมการทำงานของระบบ1                         | 17 |
| 3.4  | โปรแกรมการทำงานของระบบ2(ต่อ)                    | 17 |

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูป

หน้า

|  |    |
|--|----|
| 3.5 โปรแกรมการทำงานของระบบ3(ต่อ)                       | 18 |
| 3.6 โปรแกรมการทำงานของระบบ4(ต่อ)                       | 18 |
| 3.7 แสดงส่วนของการเปรียบเทียบแรงดัน                    | 19 |
| 3.8 แสดงส่วนของการขับกระแสโดย MOSFET                   | 19 |
| 3.9 วงจรแบ่งแรงดัน                                     | 20 |
| 3.10 โหนดแรงดันขาSource                                | 21 |
| 3.11 แผนผังการทำงานของระบบ                             | 21 |
| 3.12 แผนผังการทำงานของระบบ                             | 22 |
| 4.1 Channel 1 PWM Mosfet1 และ Channel2 PWM Mosfet2     | 23 |
| 4.2 Channel 1 PWM Mosfet1 และ Channel2 PWM Mosfet2 (2) | 24 |
| 4.3 Channel 1 PWM Mosfet1 และ Channel2 PWM Mosfet2 (3) | 24 |
| 4.4 Channel 1 PWM Mosfet1 และ Channel2 PWM Mosfet2 (4) | 25 |
| 4.5 Channel 1 PWM Mosfet1 และ Channel2 GATE DRIVE 1    | 25 |
| 4.6 Channel 1 PWM Mosfet2 และ Channel2 GATE DRIVE 2    | 26 |
| 4.7 Channel 1 PWM Mosfet1 และ Channel2 GATE DRIVE 2    | 26 |
| 4.8 Channel 1 GATE DRIVE 1 และ Channel2 GATE DRIVE 2   | 27 |
| 4.9 สัญญาณแรงดันแต่ละช่วงการวัดกระแส                   | 27 |

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูป

หน้า

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.10 | ถ่าน Shuangdi SD 14500 1000mAh   | 28 |
| 4.11 | ตารางและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ชนิดแรก       | 28 |
| 4.12 | ตารางและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและกระแสของแบตเตอรี่ชนิดแรก  | 29 |
| 4.13 | ตารางและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดแรก | 29 |
| 4.14 | ถ่าน AWT ขนาด 18650  | 30 |
| 4.15 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ชนิดสอง               | 31 |
| 4.16 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและกระแสของแบตเตอรี่ชนิดสอง          | 32 |
| 4.17 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดสอง         | 33 |
| 4.18 | NCR18650B Li-ion MH12210   | 33 |
| 4.19 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ชนิดสาม               | 34 |
| 4.20 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและกระแสของแบตเตอรี่ชนิดสาม          | 35 |
| 4.21 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดสาม         | 36 |

## สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.1 | วัดค่ากระแสและแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆชนิดแรก            | 30 |
| 4.2 | วัดค่าความต้านทานภายในและกระแสของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆชนิดแรก  | 31 |
| 4.3 | วัดค่าความต้านทานภายในและแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆชนิดแรก | 32 |
| 4.4 | วัดค่ากระแสและแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆชนิดสอง            | 34 |
| 4.5 | วัดค่าความต้านทานภายในและกระแสของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆชนิดสอง  | 35 |
| 4.6 | วัดค่าความต้านทานภายในและแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆชนิดสอง | 36 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันมีการใช้งานแบตเตอรี่ถูกนิยมนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งในอุตสาหกรรมและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน การใช้งานแบตเตอรี่มีการเสื่อมสภาพหลากหลายประการ เป็นสาเหตุให้แบตเตอรี่ทำหน้าที่ไม่เต็มประสิทธิภาพและถ้าเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจะทำให้เกิดการไหม้ของแบตเตอรี่และอันตรายต่อผู้ใช้งาน ซึ่งความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เป็นสาเหตุหนึ่งของการเสื่อมสภาพในแบตเตอรี่

จากที่กล่าวมาข้างต้นเราจะพบได้ว่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั้นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพการใช้งาน เนื่องจากเมื่อต่อแบตเตอรี่เข้ากับโหลดภาระจะทำให้เกิดการนำกระแสผ่านโหลด ซึ่งก่อให้เกิดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานภายใน ซึ่งส่งผลให้เกิดความร้อนในแบตเตอรี่เป็นเหตุให้แบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพ ถ้าในกรณีที่แบตเตอรี่มีความเสื่อมสภาพมากจะทำให้ความต้านทานภายในมีค่าที่สูงขึ้น และจะทำให้เกิดความร้อนที่บริเวณแบตเตอรี่มากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ของแบตเตอรี่ได้

เราจึงได้ทำการศึกษาและหาความรู้เกี่ยวกับเครื่องวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ชนิด li-ion (เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิด li-ion มีประสิทธิภาพสูงกว่าถ่านทั่วไป สามารถเก็บพลังงานได้มากกว่า ถึงแม้จะมีขนาดเล็กก็ตาม ไม่เกิด memory effect) โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการควบคุมการทำงานของเครื่องนี้ เพื่อช่วยลดสาเหตุของการเผาไหม้ของแบตเตอรี่ และเพื่อนำมาตรวจสอบข้อจำกัดการทำงานของแบตเตอรี่ ก่อนจะเกิดการเผาไหม้ ในภายหลังนั่นเอง

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาออกแบบเครื่องวัด resistance ของแบตเตอรี่ li-ion โดยใช้ microcontroller ควบคุมการทำงานของระบบ

#### 1.3 ขอบเขตในการจัดทำโครงการ

เพื่อวัดค่า resistance ของแบตเตอรี่ li-ion ให้อยู่ในช่วงการใช้งานที่เหมาะสมและไม่ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้ใช้งาน

#### 1.4 ระยะเวลาในการทำโครงการ

| No. | เรื่อง   | 2561    |        |           |         | 2562   |            |        |
|-----|--|---------|--------|-----------|---------|--------|------------|--------|
|     |  | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม |
| 1   | ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโปรเจคที่จะทำ              | →       |        |           |         |        |            |        |
| 2   | ศึกษาการทำงานของวงจรและArduino UNO R3          | →       | →      |           |         |        |            |        |
| 3   | ออกแบบและซื้ออุปกรณ์สำหรับโปรเจค               | →       | →      |           |         |        |            |        |
| 4   | ทำรายงาน                                       |         | →      |           |         |        |            |        |
| 5   | ทดลองต่ออุปกรณ์และเขียนโปรแกรมเพื่อเก็บผลลัพธ์ |         | →      | →         |         |        |            |        |
| 6   | เตรียมตัวPresent Project และทำรายงานส่ง        |         |        | →         |         |        |            |        |
| 7   | วิเคราะห์และแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น         |         |        |           | →       |        |            |        |
| 8   | ทดลองโปรแกรมสำหรับไขว้ความดันทานแบบReal time   |         |        |           |         | →      | →          |        |
| 9   | ทำเล่มโปรเจคและเตรียมตัว Presentation          |         |        |           |         |        | →          | →      |
| 10  | Present Project จบ                             |         |        |           |         |        |            | →      |

#### 1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

ได้ฝึกการปฏิบัติงานร่วมกันเป็นหมู่คณะจากการนำความรู้ที่ได้รับจากการเรียนการสอน มาประยุกต์เพื่อใช้ในการทำโครงการ และสามารถนำโครงการนี้ไปพัฒนาและใช้งานในชีวิตประจำวันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

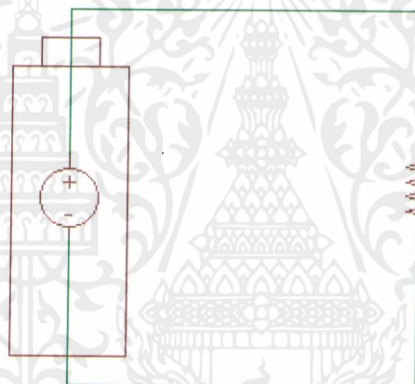
### หลักการและทฤษฎี

#### 2.1) ความต้านทาน

ความต้านทานคือความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้าของวัตถุ วัตถุที่มีความต้านทานต่ำจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ง่ายเรียกว่าตัวนำไฟฟ้า ในขณะที่ฉนวนไฟฟ้ามีความต้านทานสูงมากและกระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ยาก

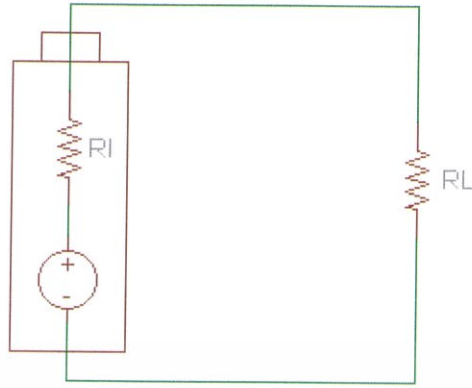
##### 2.1.1) ความต้านทานในแบตเตอรี่ไฟฟ้า

เมื่อเราทำการออกแบบวงจรของแบตเตอรี่ เรามักจะสมมติให้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทางอุดมคติ ซึ่งหมายความว่าไม่ว่าจะมีโหลดมากหรือน้อยเพียงใด ก็จะมีแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเท่าเดิม



รูปที่ 2.1 แบตเตอรี่ในอุดมคติ

แบตเตอรี่ทางอุดมคติ ถึงแม้จะเปลี่ยนค่าความต้านทานของโหลดก็จะมีผลกับแรงดันของแบตเตอรี่ ในความเป็นจริงมี หลายปัจจัยที่สามารถจำกัดความสามารถของแบตเตอรี่ในการทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้ เช่น ขนาดของแบตเตอรี่ คุณสมบัติทางเคมี อายุขัย และอุณหภูมิ ซึ่งทั้งหมดนี้มีผลต่อกระแสของแบตเตอรี่ ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่าย สิ่งที่มาคือ เราสามารถสร้างแบตเตอรี่ให้ดีที่สุดได้ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันแบบอุดมคติและมีความต้านทานต่ออนุกรมอยู่ในชุด



รูปที่ 2.2 แบตเตอรี่ในความเป็นจริง

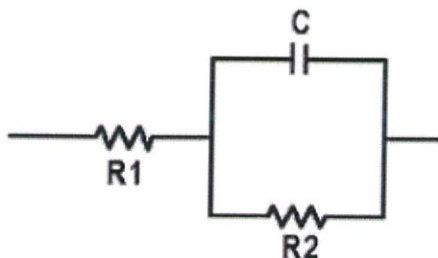
ในความเป็นจริงแบตเตอรี่นั้นจะเสมือนมีความต้านทานภายในอยู่ในแบตเตอรี่ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อแบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายแรงดันไปให้โหลดภาระได้อย่างที่ต้องการ เนื่องจากความต้านทานภายในแบตเตอรี่ส่งผลให้แรงดันของแบตเตอรี่ถูกแบ่งให้กับความต้านทานภายในด้วย ซึ่งถ้าแบตเตอรี่มีค่าความต้านทานมากๆ จะทำให้เกิดความร้อนในแบตเตอรี่และบ่งบอกว่าแบตเตอรี่ก้อนนั้นเสื่อมสภาพการใช้งาน

### 2.1.2) ประเภทของความต้านทาน

จะประกอบด้วย pure resistance (R) และ impedance (Z) ซึ่ง R คือ pure resistance และ Z จะเกี่ยวข้องกับพวกลวดและตัวเก็บประจุ ทั้งสองนี้มีหน่วยเป็น ohms ( $\Omega$ ) การวัดนั้นกลับไปในอดีตที่นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน Georg Simon Ohm, ในปี 1798 ถึง 1854. (ได้พิสูจน์ว่าเพียงค่าโอห์มหนึ่งโอห์มจะมีแรงดันที่ตกคร่อมเพียง 1 V และมีกระแสเพียง 1A ความนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็น siemens (s) ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าโอห์มนั่นเอง

วงจรไฟฟ้าที่มีเพียงresistance(R)องค์ประกอบของอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับความร้อนซึ่งจะไม่มี reactance มาเกี่ยวข้องกับกระแสและแรงดันจะไหลพร้อมๆกันและไม่มีการนำเฟสหรือตามเฟสความต้านทานโอห์มมิกจะเหมือนกันกับกระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC) ที่มี power factor (pf) คือ 1 จะให้การวัดพลังงานที่แม่นยำที่สุดที่ใช้ไป

วงจรไฟฟ้าที่มี impedance (Z) ประกอบด้วย  $R$   $X_L$   $X_C$  วงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ จะมีทั้ง  $R$   $X_L$   $X_C$  ค่า  $X_C$  จะลดลงเมื่อมีความถี่สูงในขณะที่  $X_L$  จะเพิ่มขึ้น แบตเตอรี่มีความต้านทานความจุและการเหนี่ยวนำและความต้านทานค่ารวมทั้งสามในหนึ่งวงจรอิมพีแดนซ์สามารถแสดงได้ดีที่สุดกับโมเดล (รูปที่ 2.3) ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  รวมถึงตัวเก็บประจุ C ส่วนความต้านทานเหนี่ยวนำจะถูกละเว้นเพราะโดยทั่วไปมันมีบทบาทเพียงเล็กน้อยในแบตเตอรี่โดยเฉพาะที่ความถี่ต่ำ



รูปที่ 2.3 ความต้านทานของแบตเตอรี่โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3) ความสำคัญของความต้านทานภายในกับแบตเตอรี่

ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการไหลของกระแสถ้าหากแบตเตอรี่มีความต้านทานภายในมากเกินไปจะก่อให้เกิดความร้อนที่แบตเตอรี่และแรงดันจะดรอปลงจากปกติ แบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในต่ำก็จะสามารถปล่อยกระแสได้มาก ดังนั้นค่าความต้านทานของแบตเตอรี่จึงมีความสำคัญมากสำหรับการให้คำแนะนำเกี่ยวกับอายุขัยของแบตเตอรี่ และยังบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ได้อีกด้วย

ในกรณีที่โหลดสามารถไหลกระแสได้มาก แสดงว่าโหลดมีค่าความต้านทานน้อย ซึ่งจะส่งผลให้พลังงานไปตกคร่อมที่โหลดเป็นปริมาณมาก

ในกรณีที่แบตเตอรี่สามารถรับพลังงานได้สูงสุด ก็ต่อเมื่อค่าความต้านทานของโหลดมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

ในกรณีที่แบตเตอรี่เสื่อม แสดงว่าค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่มีค่ามาก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อแรงดันของแบตเตอรี่ที่จ่ายออกไปดรอปลงจากปกติ และมีประสิทธิภาพการทำงานที่ต่ำ

ระบบวัดของเราจะทำการวัดเปรียบเทียบของค่ากระแสและแรงดันที่ต่างกันเล็กน้อย ( $\Delta I, \Delta V$ ) และหาความต้านทานภายในแบตเตอรี่จากความสัมพันธ์

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I} \quad (2.1)$$

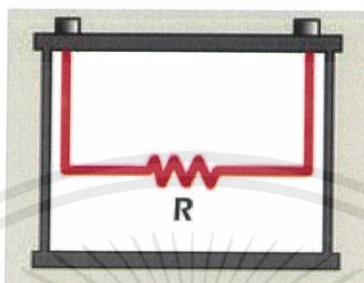
### 2.1.4) วิธีการวัดความต้านทาน

#### DC Load Method

วิธีการ Ohmic เป็นหนึ่งในวิธีการทดสอบที่เก่าแก่ที่สุดและน่าเชื่อถือที่สุด แบตเตอรี่ได้รับการคายประจุชั่วคราวหนึ่งหรือนานกว่านั้น กระแสไหลสำหรับแบตเตอรี่ขนาดเล็กคือ 1A หรือน้อยกว่า สำหรับ STARTER BATTERY อาจเป็น 50A หรือมากกว่า และใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (OCV) โดยไม่มีโหลดตามด้วยการอ่านครั้งที่สองพร้อมโหลดและใช้กฎของโอห์มคำนวณค่าความต้านทาน (ผลต่างของแรงดันหารด้วยความต้านทานเท่ากับปัจจุบัน)

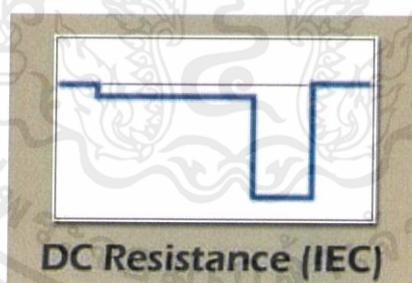
การวัดโหลดกระแสดังกล่าวทำได้ในการตรวจสอบแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่และการวิธีการ ohmic จะอ่านค่าของอุปกรณ์นั้นได้แม่นยำและสามารถทำซ้ำได้ เครื่องมือทดสอบระดับสูงสามารถอ่านค่าความต้านทานได้ในช่วง 10 ไมโครโอห์ม อยู่หลายแห่งใช้กองคาร์บอนเพื่อวัดแบตเตอรี่เริ่มต้นและช่างที่มีประสบการณ์จะทำการประเมินคุณภาพของแบตเตอรี่

วิธีไหล DC มีข้อจำกัด ในการรวม  $R_1$  และ  $R_2$  ของโมเดลเข้ากับตัวต้านทานที่รวมกันหนึ่งตัวและละเว้นตัวเก็บประจุ (ดูรูปที่ 2.4) “C” เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของแบตเตอรี่ที่แสดงถึง 1.5 พาร์รัต ต่อความจุ 100Ah ในสาระสำคัญวิธีการ DC เห็นแบตเตอรี่เป็นตัวต้านทานและสามารถอ้างอิงได้เพียงโอห์มมิกเท่านั้น นอกจากนี้วิธีการไหล DC จะได้รับการอ่านที่คล้ายกันจากแบตเตอรี่ที่ดีที่มีการชาร์จบางส่วน และแบตเตอรี่ที่ส่วนที่ชาร์จเต็มซึ่งจะไม่สามารถประเมินสถานะการชาร์จและกำลังการผลิตได้



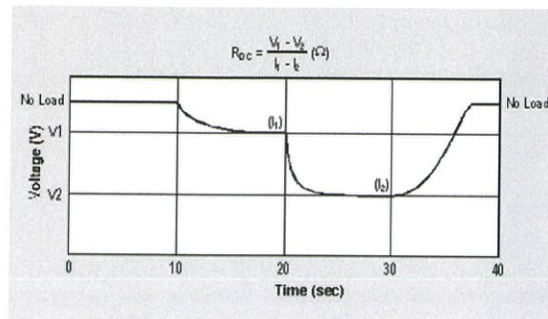
รูปที่ 2.4 แสดงเพียงความต้านทานแฝงภายใน (Ohm)

วิธีไหล DC สองชั้นด้วยวิธีการที่แนะนำ โดยการประยุกต์ใช้ลำดับการดิสชาร์จไหลของกระแสและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ครั้งแรกแบตเตอรี่ทำการดิสชาร์จกระแสที่ต่ำๆ 10 วินาที ตามด้วยดิสชาร์จกระแสที่สูงขึ้นเป็นเวลา 3 วินาที (ดูรูปที่ 2.5) และใช้กฎของโอห์มคำนวณหาความต้านทาน และทำการประเมินแรงดันภายใต้เงื่อนไขการใช้ลำดับมีข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับแบตเตอรี่ แต่จะแสดงเพียงค่าความต้านทานเพียงอย่างเดียว และจะไม่เปิดเผยค่า SoC หรือความจุ การทดสอบด้วยวิธีนี้แนะนำให้ใช้ไหลที่เป็น DC load



รูปที่ 2.5 โหลด DC สองระดับ

อีกหนึ่งวิธีที่พบได้ทั่วไปคือการทดสอบ DC load ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในขณะที่วัดแรงดันไฟฟ้าลดลง แรงดันไฟฟ้ามากกว่ากระแสไฟฟ้าให้เกิดความต้านทานภายในการทดสอบนี้จะวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่โดยอ่านแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง การที่แรงดันไฟฟ้าลดลงมากแสดงถึงความต้านทานสูง

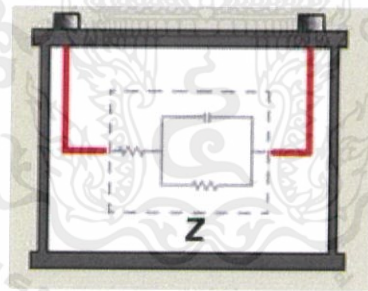


รูปที่ 2.6 การทดสอบโหลด DC วัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่โดย

การอ่านแรงดันตกขนาดใหญ่บ่งบอกถึงความต้านทานสูง

### AC Load Method

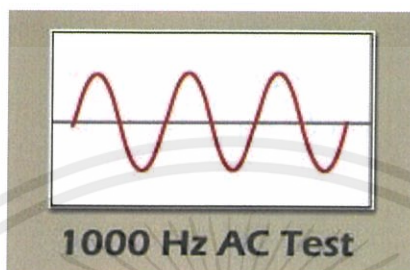
การวัดค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อประเมินแบตเตอรี่สตาร์ทเตอร์ได้รับการรายงานครั้งแรกโดย Keith Champlin ในปี 1975 โดยแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างการทดสอบโหลดและความนำไฟฟ้า เมื่อป้อนความถี่ 90 เฮิร์ตซ์ capacitive และ inductive จะรวมเข้ากับแบตเตอรี่กรดตะกั่ว 70–90Ah ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่น้อยมากซึ่งจะทำให้การเกิดปฏิกิริยาลดลง (ความถี่นี้เพิ่มขึ้นด้วยแบตเตอรี่ขนาดเล็กและหยดลงในแพ็คเกจขนาดใหญ่) AC Conductance meters โดยส่วนใหญ่จะถูกใช้งานในโรงรถเพื่อวัด CCA วิธีความถี่เดียว (รูปที่ 2.7) เห็นส่วนประกอบของแบบจำลอง เป็นอิมพีแดนซ์ที่ซับซ้อนหนึ่งที่เรียกว่าโมดูลัสของ Z



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบแต่ละส่วนของแบบจำลอง

การทดสอบ 1,000 เฮิร์ตซ์ (Hz) โอมห์เป็นวิธีการทั่วไปอีกวิธีหนึ่ง สัญญาณ 1,000Hz จะกระตุ้นแบตเตอรี่และใช้กฎของโอมห์คำนวณความต้านทาน โปรดทราบว่าวิธีการ AC แสดงค่าที่แตกต่างกับวิธีการ DC เมื่อวัดความต้านทานต่อปฏิกิริยา และการอ่านทั้งสองแบบถูกต้อง

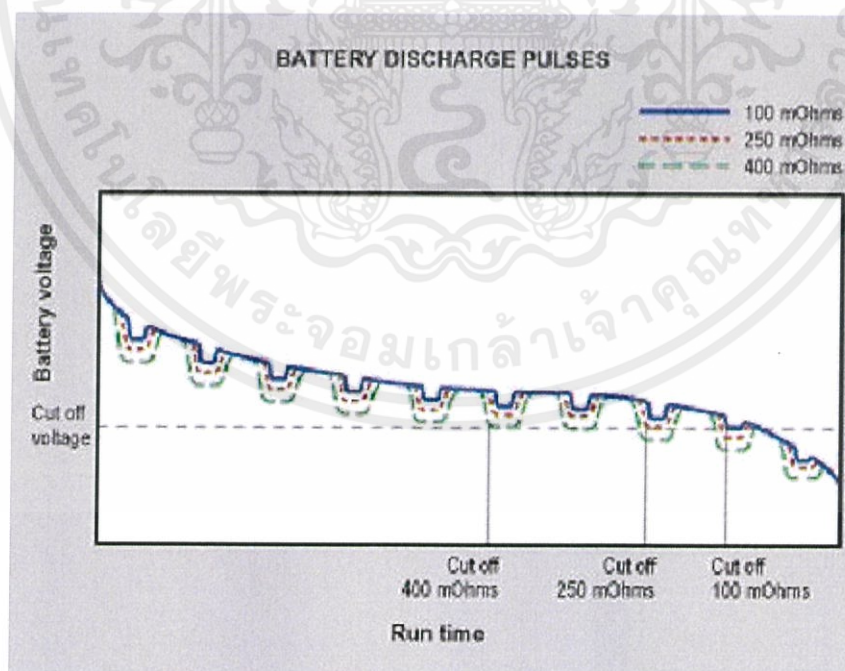
ตัวอย่างเช่น Li-ion ในเซลล์ 18650 ความต้านทานประมาณ 36mOhm ด้วยสัญญาณ AC 1,000Hz และประมาณ 110mOhm พร้อมโหลด DC เนื่องจากการอ่านทั้งสองนั้นถูกต้อง แต่ยังห่างกันผู้ใช้งานต้องพิจารณาแอปพลิเคชัน วิธีแบบพัลส์ DC โหลด ให้การอ่านค่าที่มีค่าสำหรับแอปพลิเคชัน DC เช่นองค์ประกอบความร้อนหรือแสงจากหลอดไส้ในขณะที่วิธี 1,000 เฮิร์ตสะท้อนให้เห็นถึงความต้องการประสิทธิภาพของโหลดดิจิทัลเช่นคอมพิวเตอร์พกพาและโทรศัพท์มือถือ กับลักษณะ capacitive ของแบตเตอรี่ รูปที่ 6 แสดงวิธี 1,000Hz



รูปที่ 2.8 การอ่านค่าความต้านทานที่ความถี่ 1000 Hz

#### 2.1.5) อิทธิพลของความต้านทานภายในต่อแบตเตอรี่

หนึ่งในความต้องการของแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานนั้น ความต้านทานภายในต่ำ มีหน่วยเป็นมิลลิโอม์ ยิ่งความต้านทานต่ำลงเท่าไร การจำกัดของแบตเตอรี่ก็จะน้อยลง ได้ พลังงานที่มีอยู่ไม่สามารถส่งไปที่โหลดภาระได้ แต่ยังคงแฝงอยู่ในแบตเตอรี่นั้น

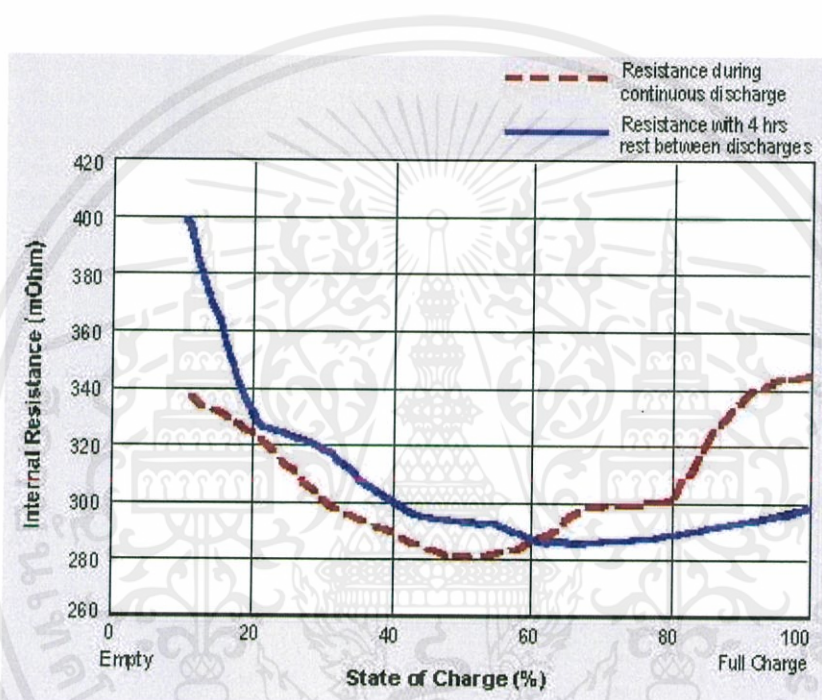


รูปที่ 2.9 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้ากับเวลาของค่าโอห์มที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานภายในแตกต่างกันไปตามสถานะการชาร์จของแบตเตอรี่ การเปลี่ยนแปลงที่ใหญ่ที่สุดสามารถสังเกตเห็นได้ในแบตเตอรี่ที่ใช้ निकเกิล ในรูปที่ 2.8 เราสังเกตความต้านทานภายในของ निकเกิล - เมทัลไฮไดรด์เมื่อว่างขณะชาร์จประจุเต็มและหลังจากพัก 4 ชั่วโมง

ระดับความต้านทานสูงสุดที่สถานะชาร์จต่ำและทันทีหลังจากชาร์จ ตรงกันข้ามกับความเชื่อที่ได้รับค่านิยมประสิทธิภาพแบตเตอรี่ที่ดีที่สุดนั้นไม่สามารถทำได้ในทันทีหลังจากการชาร์จเต็ม แต่หลังจากช่วงเวลาที่เหลือไม่กี่ชั่วโมง ในระหว่างการคายประจุความต้านทานของแบตเตอรี่ภายในจะลดลงถึงจุดต่ำสุดที่ประจุกึ่งหนึ่งและเริ่มคลานขึ้นอีกครั้ง (เส้นประ)



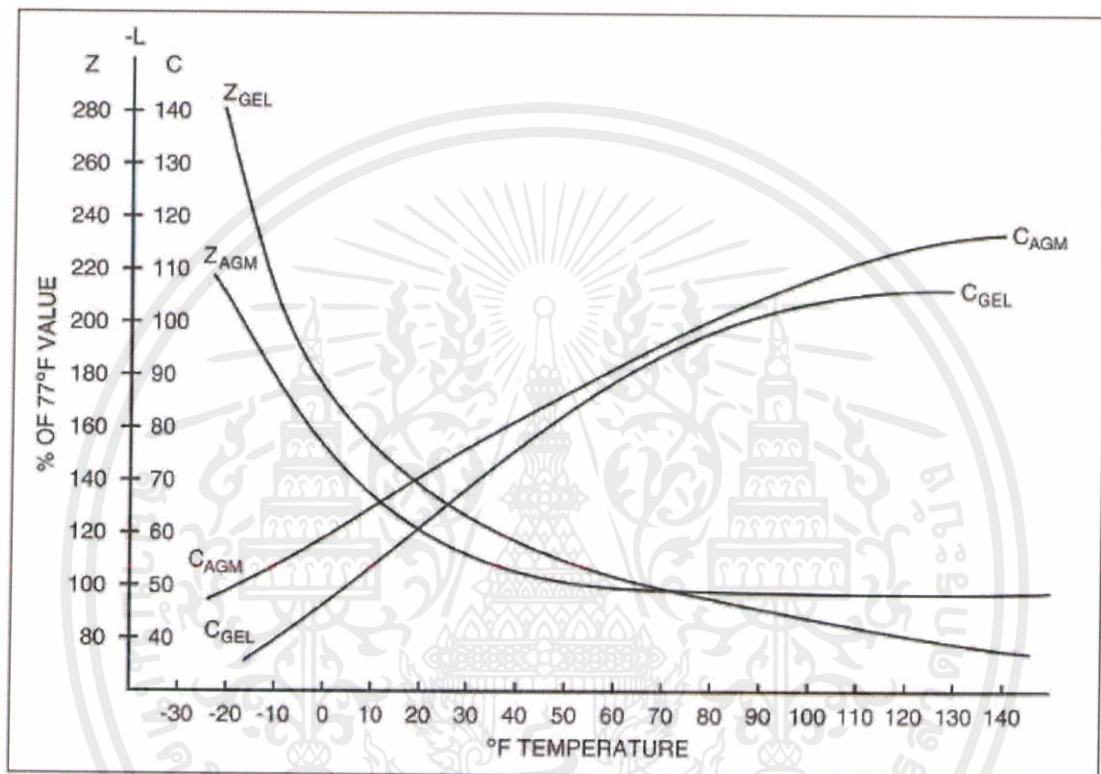
รูปที่ 2.10 ความต้านทานภายในของ निकเกิล - เมทัลไฮไดรด์

#### 2.1.6) ความต้านทานและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่

การเสื่อมสภาพของส่วนประกอบภายในเป็นข้อบ่งชี้ว่าการทดสอบสมรรถนะกำลังการผลิตควรจะดำเนินการโดยเร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบตเตอรี่แบตเตอรี่

เมื่อเซลล์มีอายุมากขึ้นความต้านทานที่วัดได้จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อป้องกันถึงการเสื่อมสภาพของส่วนประกอบภายในเซลล์ หากเซลล์สั้นความต้านทานของมันจะเริ่มลดลงอย่างมาก

อุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญที่เมื่อทำการวัดอิมพีแดนซ์หรืออิมพีแดนซ์ของแบตเตอรี่แล้วจะต้องทำการวัดและบันทึกอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ดังที่ระบุไว้ในรูปที่ ค่าจะได้รับผลกระทบในระดับปานกลางเหนือ 77 ° F เท่านั้น อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิเย็นกว่าความต้านทานของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับที่ได้มาในช่วงระยะเวลาหนึ่งค่าจะต้องถูกทำให้เป็นมาตรฐานสำหรับอุณหภูมิ



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์กับอุณหภูมิ

สิ่งสำคัญคือต้องตระหนักว่าการทดสอบสมรรถภาพหรือความต้านทานนั้นไม่สามารถแทนที่การทดสอบความสามารถด้านประสิทธิภาพจริงเนื่องจากไม่สามารถระบุข้อบ่งชี้ที่ชัดเจนของปัญหาที่อาจเกิดขึ้นทั้งหมดซึ่งอาจทำให้แบตเตอรี่ล้มเหลว

## 2.2 Arduino UNO

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด (ดูตัวอย่างรูปที่ 1) หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ (ดูตัวอย่างรูปที่ 2) เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเปรียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

### จุดเด่นของ Arduino UNO

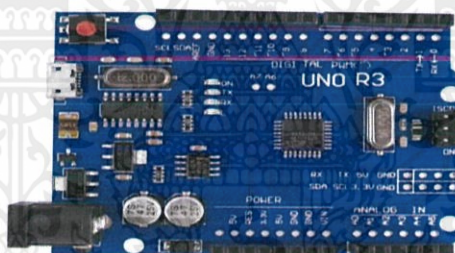
1. ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
2. มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแรง
3. Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
4. ราคาไม่แพง
5. Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

### 2.2.1) Arduino UNO R3

เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรเจกต์และ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก และข้อดีอีกอย่างคือ กรณีที่ MCU เสีย ผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย

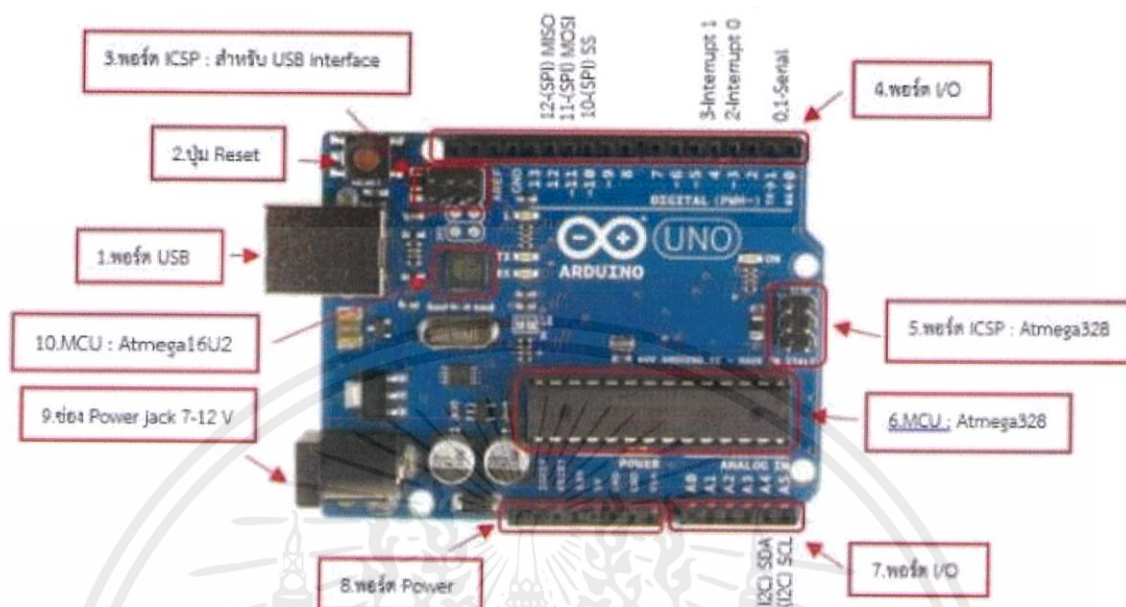
ซึ่งเราได้เลือกใช้ Arduino UNO R3 เนื่องจากโปรเจกต์นี้ไม่จำเป็นต้องใช้พอร์ต Analog และ Digital มากและยังสะดวกสบายต่อการใช้งานพื้นฐาน

- 14 Digital I/O Pins
- 6 PWM outputs
- 6 Analog Inputs (ADC)
- 1 UART Hardware Serial Port
- 32KB Flash Memory (0.5KB for boot loader Arduino)
- 2KB SRAM
- 1KB EEPROM
- 16Mhz Clock Speed



รูปที่ 2.12 Arduino UNO R3

## โครงสร้างของบอร์ด Arduino UNO R3



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของบอร์ด Arduino UNO R3

1. USB Port : ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button : เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port : ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/O Port: Digital I/O : ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆเพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/Oแล้วยังเปลี่ยนเป็นช่องรับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

## 2.3) หลักการการทำงาน

### 2.3.1 หลักการหาค่าความต้านทานของแบตเตอรี่

ในการวัดค่าความต้านทานของแบตเตอรี่ เราจะทำการนำแบตเตอรี่ต่อเข้ากับโพลดภาระชนิดหนึ่ง ซึ่งในขณะที่โพลดนำกระแสอยู่ เราจะทำการต่ออุปกรณ์วัดกระแสเข้ากับโพลดภาระ และทำการดึงกระแสเล็กน้อยจากนั้นดูการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้า  $[\Delta I]$  และค่าแรงดัน  $[\Delta V]$  ของถ่าน เราจะสามารถหาค่าความต้านทานของถ่านได้จาก ความสัมพันธ์

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I} \quad (2.2)$$

อุปกรณ์วัดกระแสที่มาต่อคร่อมโพลดนั้น [MOSFET] เราจะต้องทำการจ่ายแรงดันให้มากกว่าแรงดันขีดเริ่ม [Vt] โดยใช้ Arduino UNO เป็นตัวจ่ายแรงดันให้อุปกรณ์เริ่มดึงกระแส

### 2.3.2 หลักการวัดกระแสของแบตเตอรี่

ในการวัดค่ากระแสของแบตเตอรี่ เราจะทำการต่อ Current sensor แบบอนุกรมเข้ากับแบตเตอรี่ ในการวัดการวัดกระแสของแบตเตอรี่ขณะที่โพลดภาระโพลดกระแสอยู่ แทนการใช้มัลติมิเตอร์

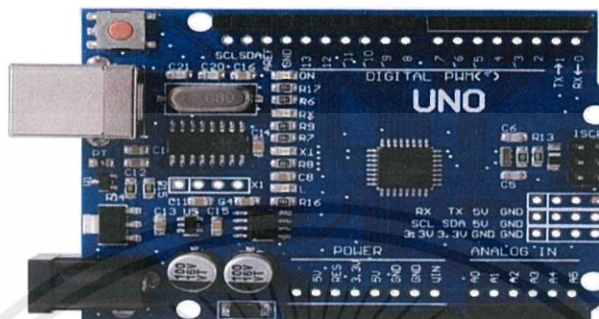
### 2.3.3 หลักการของ A/D และ D/A

Arduino จะทำการอ่านค่า Analog มาให้เรา โดยค่าที่ Return กลับมาจะเป็นจำนวนเต็มตั้งแต่ 0 ไปจนถึง 1023 ( 10 bits ) แต่ในการส่งข้อมูลออก Arduino จะทำการส่งสัญญาณ Analog ( 0V-5V ) ให้อุปกรณ์เป็นจำนวน 0 ไปจนถึง 255 ( 8 bits )



## 3.2) ส่วนของMicrocontroller

## 3.2.1) Arduino UNO R3



รูปที่3.2 Arduino UNO R3

1. Power Jack: ใช้ Switching Supple 12V 1A เป็นตัวจ่ายไฟให้ CPU ทำงาน
2. Output Port: ใช้ 2 port ความละเอียดของแต่ละระดับแรงดันคือ 8 บิต อยู่ในช่วง 0-5V ใช้เป็นแรงดันขับเคลื่อนให้หลอดการะ

$$\text{ความละเอียดของแรงดันแต่ละระดับ} = \frac{V}{2^n} \quad (3.3)$$

$$\text{ความละเอียดของแรงดันแต่ละระดับ} = \frac{5}{2^8} = \frac{5}{256}$$

$$\text{ความละเอียดของแรงดันแต่ละระดับ} = 0.019 \text{ V}$$

Output Port 1 : ใช้สำหรับจ่ายแรงดันเข้าขา Gate ของ Active load (1) เริ่มตั้งกระแส

Output Port 2 : ใช้สำหรับจ่ายแรงดันเข้าขา Gate ของ Active load (2) ให้ตั้งกระแสต่างจาก

Active load (1) เล็กน้อย สำหรับการวัดค่า  $\Delta I, \Delta V$

3. Input Port : ใช้ 2 port สำหรับรับข้อมูลจากอุปกรณ์โดยความละเอียดของแต่ละระดับคือ 10บิต แรงดันอยู่ในช่วง 0-5V

$$\text{ความละเอียดของแรงดันแต่ละระดับ} = \frac{V}{2^n} \quad (3.4)$$

$$\text{ความละเอียดของแรงดันแต่ละระดับ} = \frac{5}{2^{10}} = \frac{5}{1024}$$

$$\text{ความละเอียดของแรงดันแต่ละระดับ} = 0.0048 \text{ V}$$

### 3.3) ส่วนของโปรแกรมในการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบนั้นเริ่มต้นจากเขียนโปรแกรมให้ Microcontroller (Arduino UNO R3) เริ่มจ่ายPWM ให้กับวงจรGate Drive ตัวแรกให้มีค่ากระแสค่าหนึ่ง และหลังจากนั้นให้ทำการจ่ายPWM ให้กับวงจรGate Drive อีกวงจรให้มีค่ากระแสที่ต่างกันจากตัวแรกเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้นจะทำการบันทึกค่ากระแสและแรงดันที่วัดได้จากแบตเตอรี่ เพื่อมาคำนวณหาความต้านทาน

```

sketch_jan25a
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x2F,20,4);
int A=50;
int B=50;
float currentMOD1;
int battDivided;
float battDividedVoltage,battVoltage,battVoltageStored;
int source1,source2;
float sourceVoltage1,sourceVoltage2;
float current1=0;
float current2=0;
float current3;
float impedance=0;

void setup()
{
  pinMode(9,OUTPUT); // led.begin(16, 2);
  pinMode(10,OUTPUT);

  // set up the LCD's number of columns and rows:
  Serial.begin(9600);
  // Print a message to the LCD.

  //analogWrite(10,255);
  //while(1);
  current1 = 100;
  current2 = 100;
  currentMOD1 = 0.1;
  Serial.println("START PROGRAM");
  Serial.println("currentMOD1:1");
  //analogWrite(9,50);

```

รูปที่3.3 โปรแกรมการทำงานของระบบ

```

sketch_jan25a
//analogWrite(10,50);
//while(true);

while(currentMOD1 <= 2 )
{
  Serial.println("-----");
  Serial.println("Reset Current To Zero");
  while((current1 > 0) || (current2 > 0))
  {
    analogWrite(9,0);
    analogWrite(10,0);
    source1 = analogRead(A0);
    sourceVoltage1 = source1 * (5.0 / 1023.0);
    current1 = sourceVoltage1 / 0.1 ;

    source2 = analogRead(A2);
    sourceVoltage2 = source2 * (5.0/1023.0);
    current2 = sourceVoltage2 / 0.1 ;

    Serial.print("current1 : "); Serial.print(current1);
    Serial.print(" * current2 : "); Serial.println(current2);
    delay(100);
  }
  A++;
  B++;
  Serial.println("mosi start");
  while(current1 <= currentMOD1)
  {
    A++;
    analogWrite(9,A);
    source1 = analogRead(A0);
    sourceVoltage1 = source1 * (5.0 / 1023.0);

```

รูปที่3.4 โปรแกรมการทำงานของระบบ(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sketch_jan25a
  analogWrite(9,A);
  source1 = analogRead(A0);
  sourceVoltage1 = source1 * (5.0 / 1023.0);
  current1 = sourceVoltage1 / 0.1;
  battDevided = analogRead(A1);
  battDevidedVoltage = battDevided * (5.0 / 1023.0);
  battVoltage = battDevidedVoltage * (3);
  delay(100);
}
Serial.print("battery:"); Serial.println(battVoltage);
Serial.print("current1:"); Serial.println(current1,6);

battVoltageStored = battVoltage;
Serial.println("mos2 start");

while((battVoltage >= battVoltageStored) || (current2 == 0))
{
  B++;
  analogWrite(10,B);
  source2 = analogRead(A2);
  sourceVoltage2 = source2 * (5.0/1023.0);
  current2 = sourceVoltage2 / 0.1;
  battDevided = analogRead(A1);
  battDevidedVoltage = battDevided * (5.0/1023.0);
  battVoltage = battDevidedVoltage * (3);
  impedance = (battVoltageStored - battVoltage)/(current2);
  current3 = current2 + current1;
  delay(100);
}
Serial.print("battery:"); Serial.println(battVoltage,6);

```

รูปที่3.5 โปรแกรมการทำงานของระบบ(ต่อ)

```

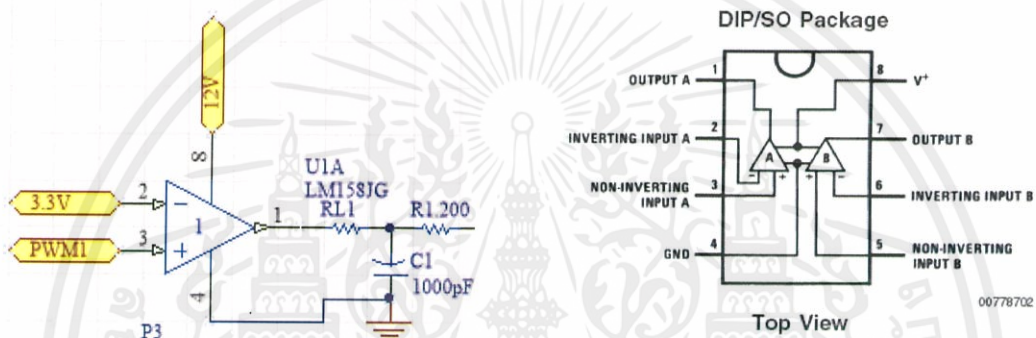
sketch_jan25a
}
Serial.print("battery:"); Serial.println(battVoltage,6);
Serial.print("current2:"); Serial.println(current2,6);
//if((battVoltage < battVoltageStored) || (current2 + current1))
//{
  Serial.print("I : "); Serial.println(current3);
  Serial.print("R:"); Serial.println(impedance);
  Serial.println(" ");
  Serial.println(" ");
  //Serial.print("battery:"); Serial.println(battVoltage);
  //Serial.print("current1:"); Serial.println(current1,6);
  // delay(1000);
  currentMOB1 = currentMOB1 + 0.1;
  //current1 = 0;
  //current2 = 0;
  Serial.print("currentMOB1:"); Serial.println(currentMOB1);
  delay(500);
  // lcd.clear();
  // lcd.setCursor(0,0);
  // lcd.print(" MEASUREMENT TEST ");
  // lcd.setCursor(0,1);
  // lcd.print("RESISTANCE = ");
  // lcd.print(impedance);
  // lcd.setCursor(0,2);
  // lcd.print("CURRENT = ");
  // lcd.print(battVoltage);
  // lcd.setCursor(0,3);
  // lcd.print("CURRENT = ");
  // lcd.print(current1);

```

รูปที่3.6 โปรแกรมการทำงานของระบบ(ต่อ)

3.4) ส่วนของการเปรียบเทียบแรงดัน

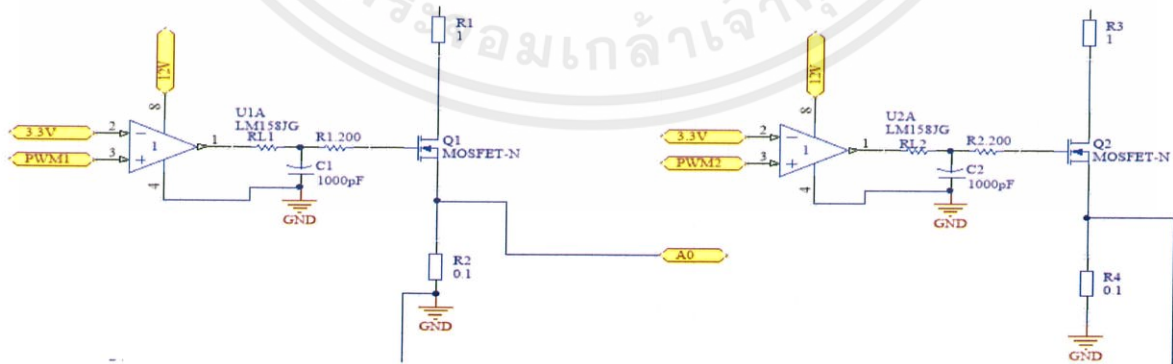
เราจะใช้ LM358 เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันแบบไม่กลับเฟส โดยมี i/p เป็นสัญญาณ PWM ที่ออกมาจาก MCU โดยส่งสัญญาณ i/p เข้าที่ ขา non-inverting (ขา 4) และในส่วนของขา inverting input (ขา 2) เราจะกำหนดให้แรงดันมีค่าเท่ากับ 3.3V เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับสัญญาณ i/p โดยที่มีแรงดัน 12V จาก supply จ่ายเข้าที่ขา 8 และ ขา 4 ต่อเข้ากับ GND ในส่วนของสัญญาณ o/p ถ้าขา non-inverting (In+) มีค่ามากกว่าขา inverting (In-) ค่าแรงดัน output จะ saturate (อิมตัว) ไปในทิศทางบวก โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่อิมตัวนั้นจะมีค่าเท่ากับไฟเลี้ยง(Vs+) ของ op amp ในทางกลับกันถ้าขา inverting (-) มีค่าแรงดันมากกว่าจะทำให้ค่าแรงดัน output จะ saturate ไปในทิศทางที่เท่ากับค่าไฟเลี้ยงลบ(Vs-)นั่นเอง



รูปที่ 3.7 แสดงส่วนของการเปรียบเทียบแรงดัน

3.5) ส่วนของการขับกระแส

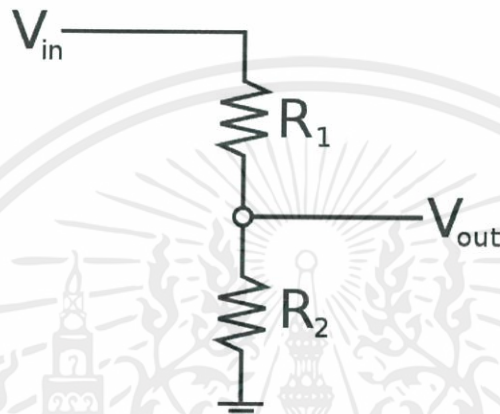
เราจะใช้ MOSFET IRF3205 เป็นตัวขับกระแส โดยใช้ PWM ที่ออกมาจาก Arduino เป็นตัวควบคุมการขับกระแส โดยสเปกที่กำหนดคือ 3.3V-14.4V , 2A ในส่วนนี้ MOSFET ทั้งสองตัวจะสลับกันทำงาน โดยใช้ Microcontroller เป็นตัวกำหนดรูปแบบการทำงานของ MOSFET ทั้ง 2 ตัว และ อ่านค่าของกระแสที่ไหลผ่าน MOSFET โดยวัดจากกระแสที่ไหลผ่าน R กระเบื้อง (R2,R4)



รูปที่ 3.8 แสดงส่วนของการขับกระแสโดย MOSFET

### 3.6) ส่วนของการวัดแรงดันของแบตเตอรี่

ในการวัดแรงดันโดยใช้ Arduino UNO R3 จากแรงดันที่กำหนด 3.3-14.4V นั้นจำเป็นต้องผ่านวงจรแบ่งแรงดันที่ทำให้ Arduino UNO R3 นั้นสามารถรับค่าได้ ซึ่ง Arduino UNO R3 สามารถรับแรงดันได้ที่ Full scale = 5 V และสามารถรับได้ถึง  $2^{10}$  bits และทำการแปลงค่าให้มีแรงดันเท่ากับแรงดันก่อนที่จะเข้ามายัง Arduino UNO R3 หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าแรงดันแต่ละช่วงที่ได้รับเข้ามาและทำการหา  $\Delta V$  และทำการเก็บค่าไว้



รูปที่ 3.9 วงจรแบ่งแรงดัน

ในการแบ่งแรงดันจาก 20V เป็น 5V คำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.5)$$

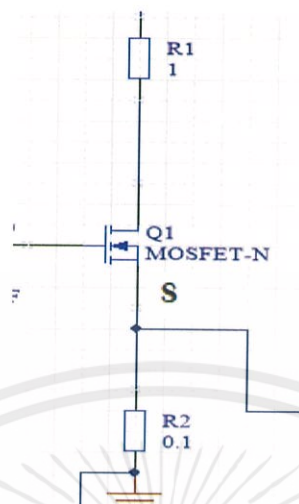
แทนค่า  $R_1 = 100k\Omega$ ,  $R_2 = 50k\Omega$  จะได้

$$V_{out} = 14.4 \frac{50K}{100K + 50K} \quad V$$

$$V_{out} = 4.8 \quad V$$

แรงดันมากที่สุดที่เป็นไปได้มีค่าเท่ากับ 4.8 โวลต์ ซึ่งทำให้ Arduino UNO R3 ยังสามารถทำงานได้ (ไม่เกิน 5 โวลต์)

### 3.7) ส่วนของการวัดกระแสของแบตเตอรี่



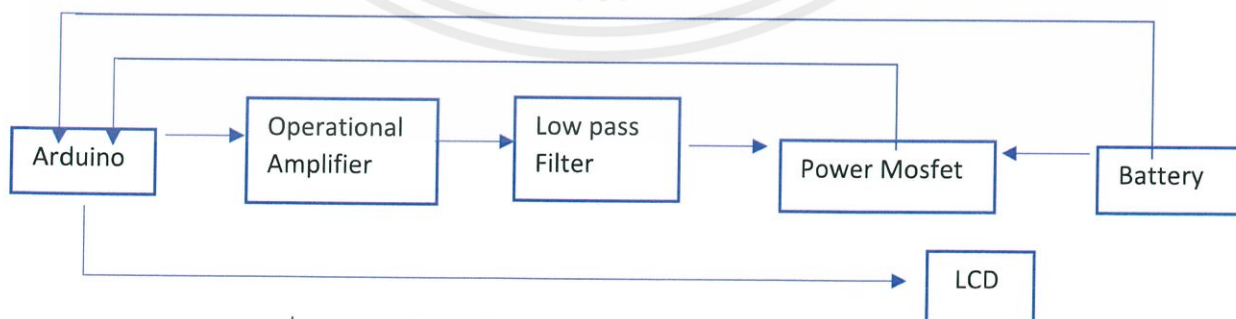
รูปที่ 3.10 โหนดแรงดันขา Source

ในการวัดกระแสโดยใช้ Arduino UNO R3 จะทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมขา Source ดังรูป ของ MOSFET หลังจากนั้นใช้แรงดันที่วัดได้หากระแส จากความสัมพันธ์  $V=IR$  ซึ่งแรงดันที่วัดได้ 1 บิต คือ 0.0048 V ดังนั้น ความต่างของกระแสแต่ละ 1 บิตหาได้จาก

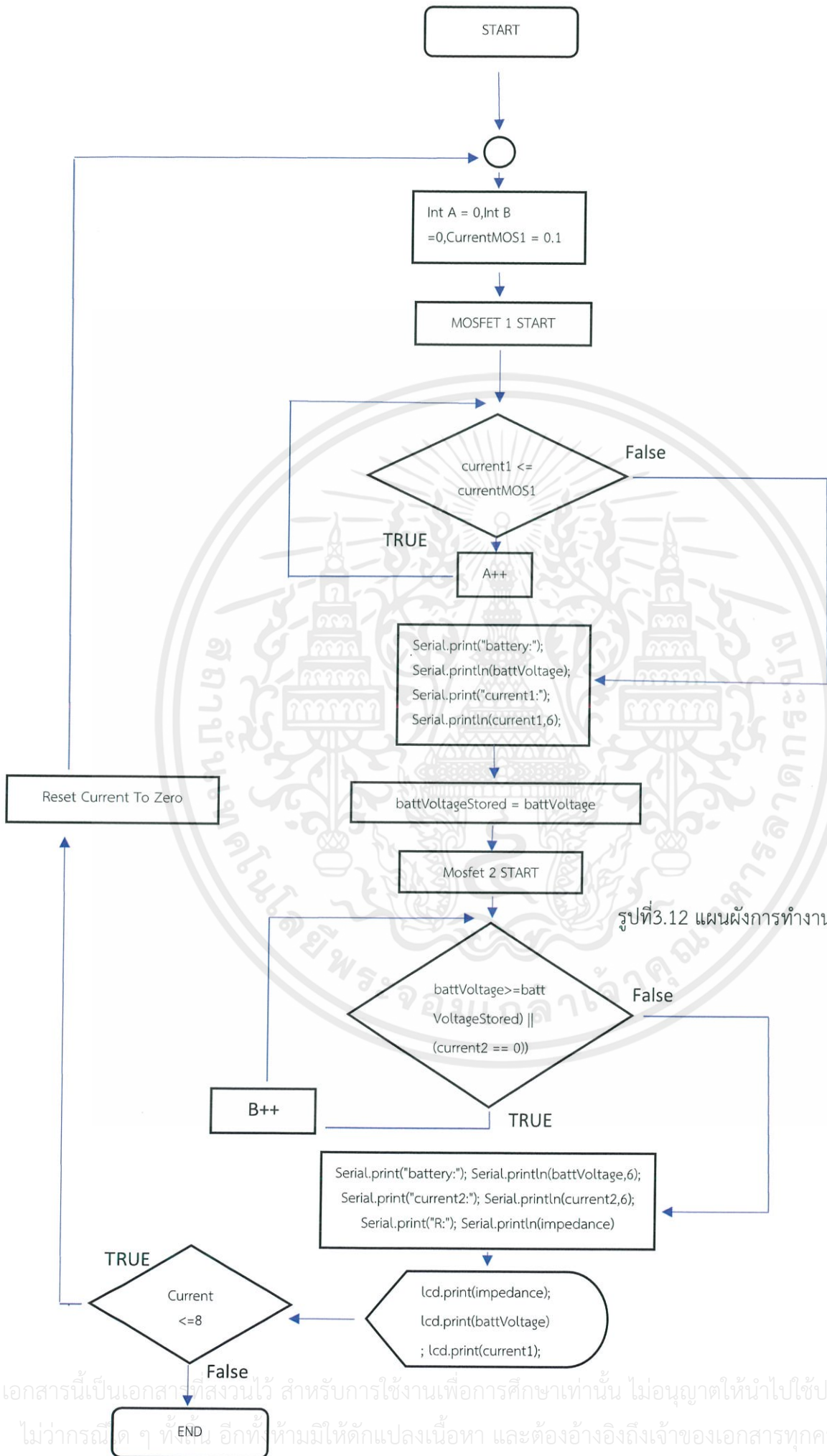
$$\begin{aligned} \text{ความต่างของกระแส 1 บิต} &= \frac{V}{R} \\ \text{ความต่างของกระแส 1 บิต} &= \frac{0.0048}{0.1} \\ \text{ความต่างของกระแส 1 บิต} &= 0.048 \text{ A} \end{aligned} \quad (3.6)$$

### 3.8) แผนผังการทำงาน

ในการออกแบบคณะผู้จัดทำได้มีการศึกษาการทำงาน Arduino UNO R3 และอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับในการวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่



รูปที่ 3.11 แผนผังการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.12 แผนผังการทำงานของระบบ

## บทที่ 4

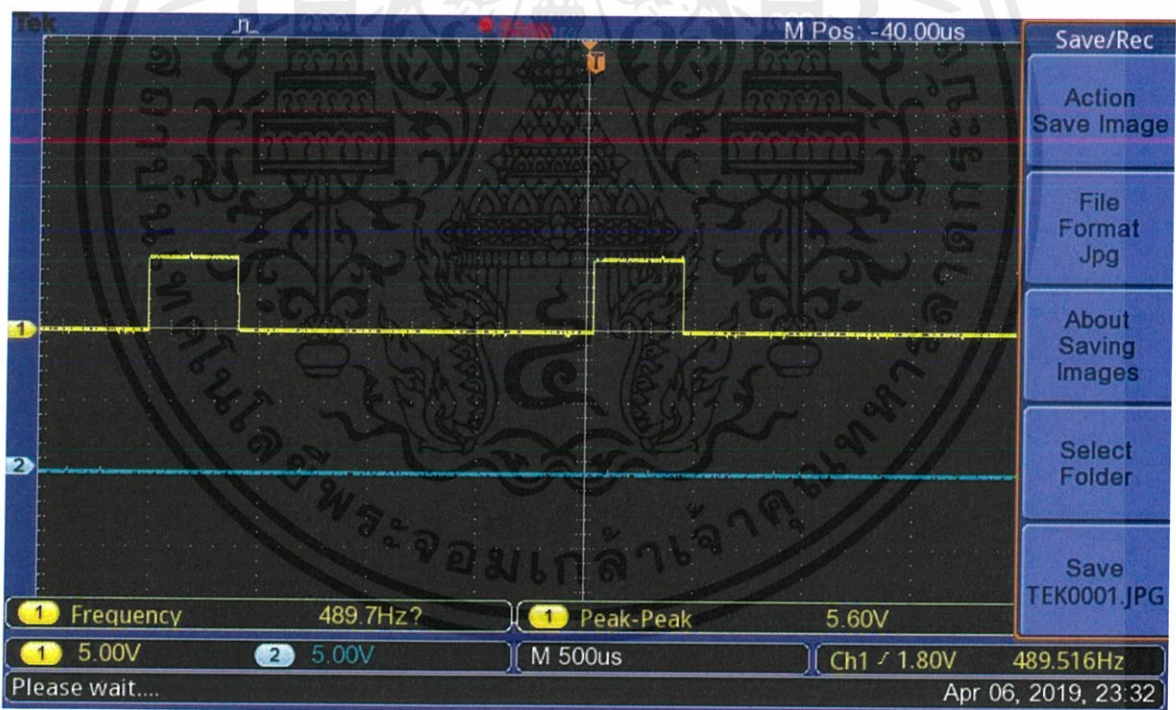
### ผลการทดลอง

การทดลองของโครงการฉบับนี้ แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง โดยการวัดแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน 3 ชนิดขนาด 18650 ที่เป็นข้อมูลดิบมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ 3 กราฟ ได้แก่ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภายในและกระแสของแบตเตอรี่ และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและแรงดันของแบตเตอรี่ และสัญญาณต่างๆของระบบในการทำงาน

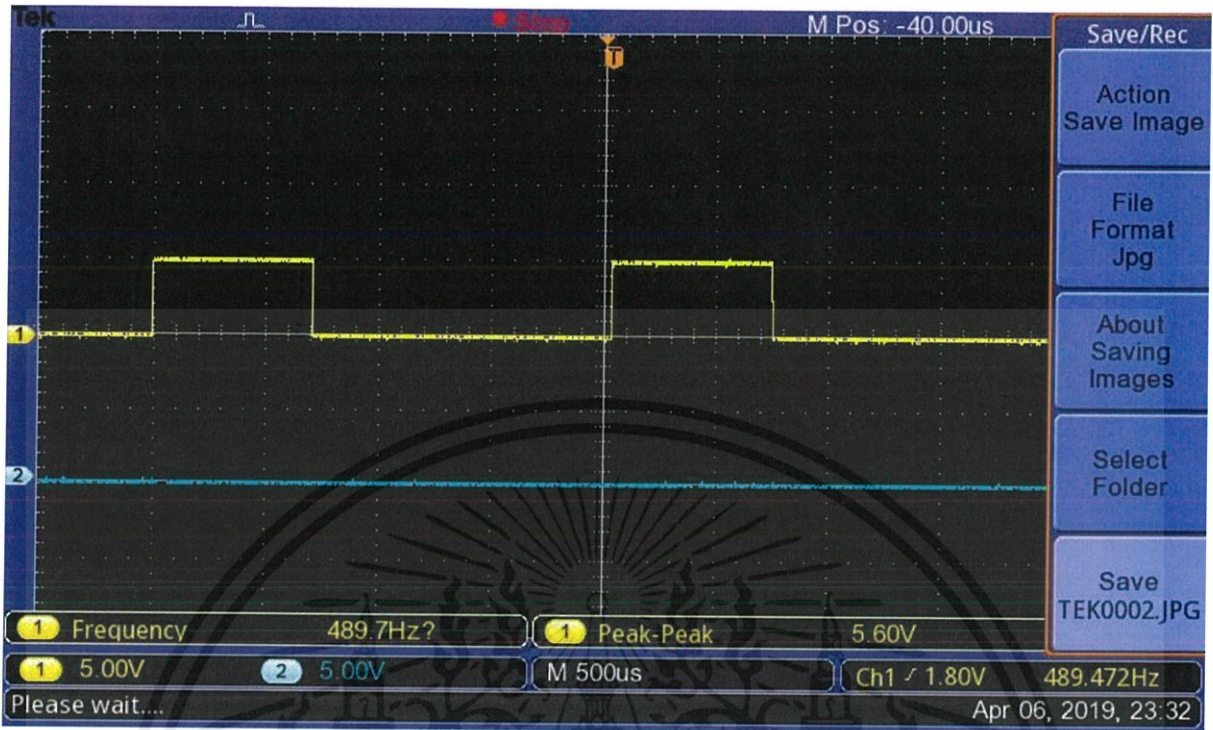
#### 4.1) สัญญาณต่างๆของระบบในการทำงาน

การวัดสัญญาณต่างๆในระบบการทำงานโดยใช้ Oscilloscope

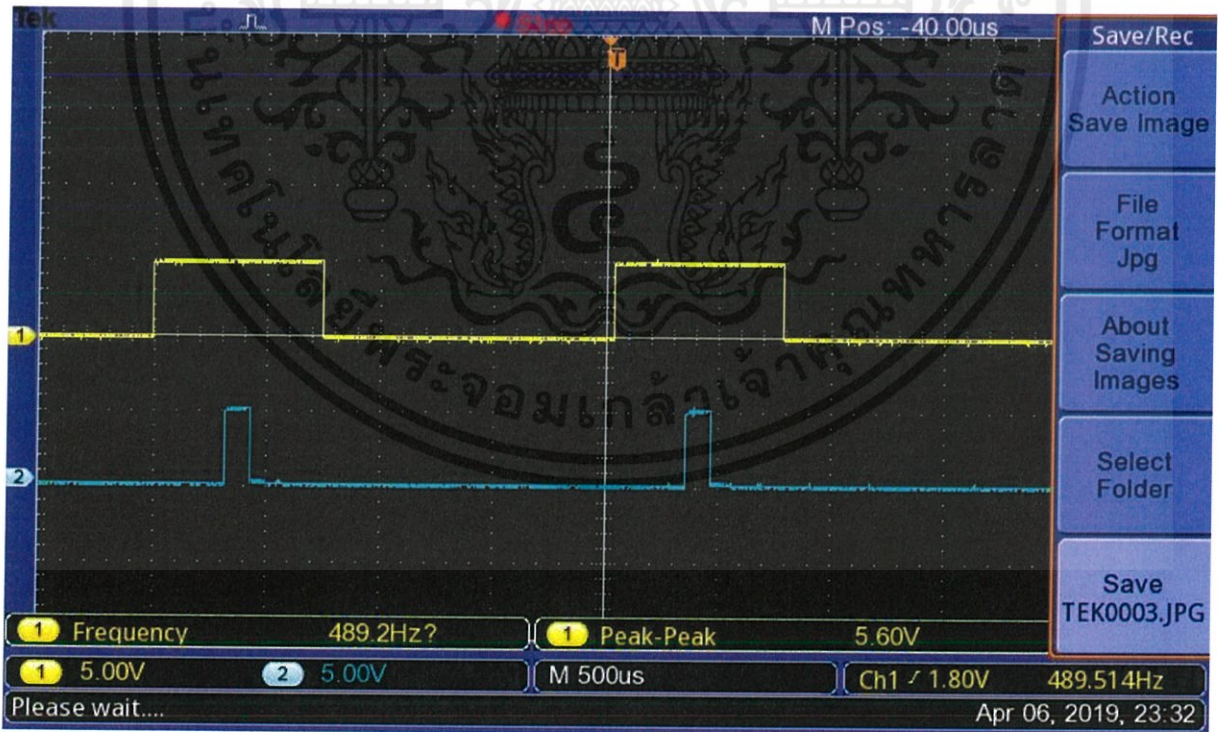
##### 4.1.1) สัญญาณ PWM Mosfet1 และ PWM Mosfet2



รูปที่4.1 Channel 1 PWM Mosfet1 และ Channel 2 PWM Mosfet2

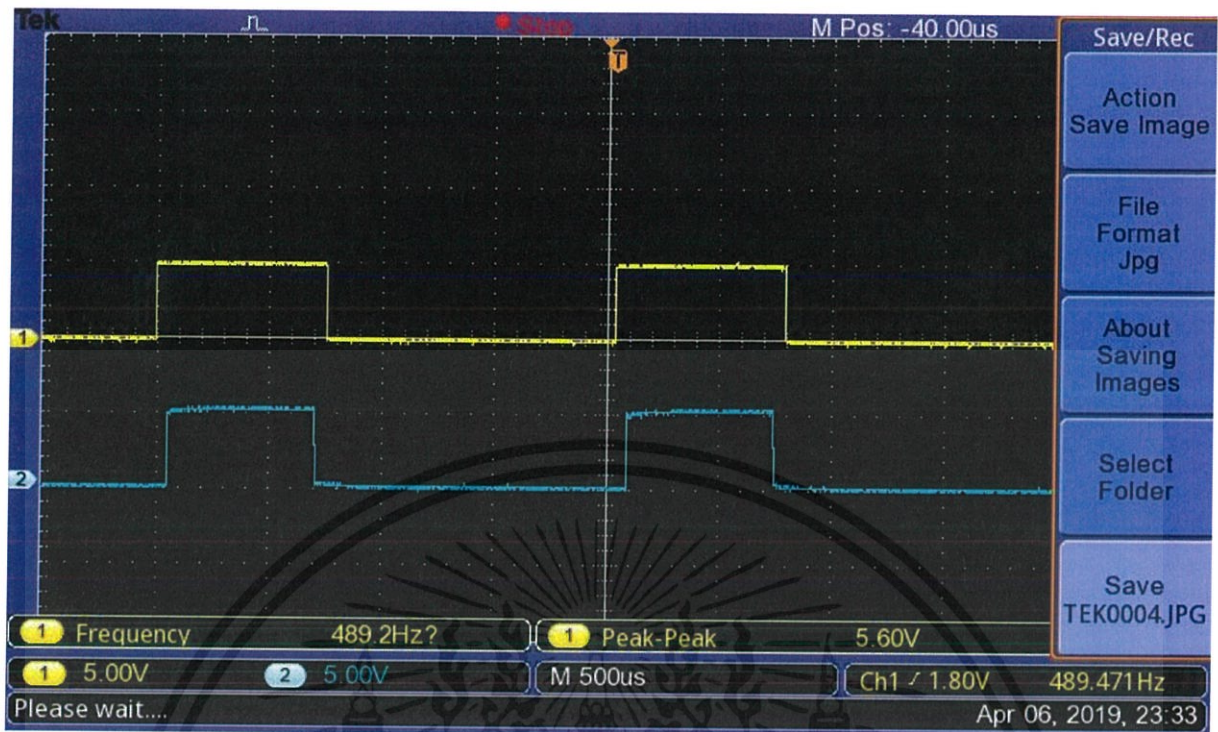


รูปที่4.2 Channel 1 PWM Mosfet1 และ Channel 2 PWM Mosfet2 (2)



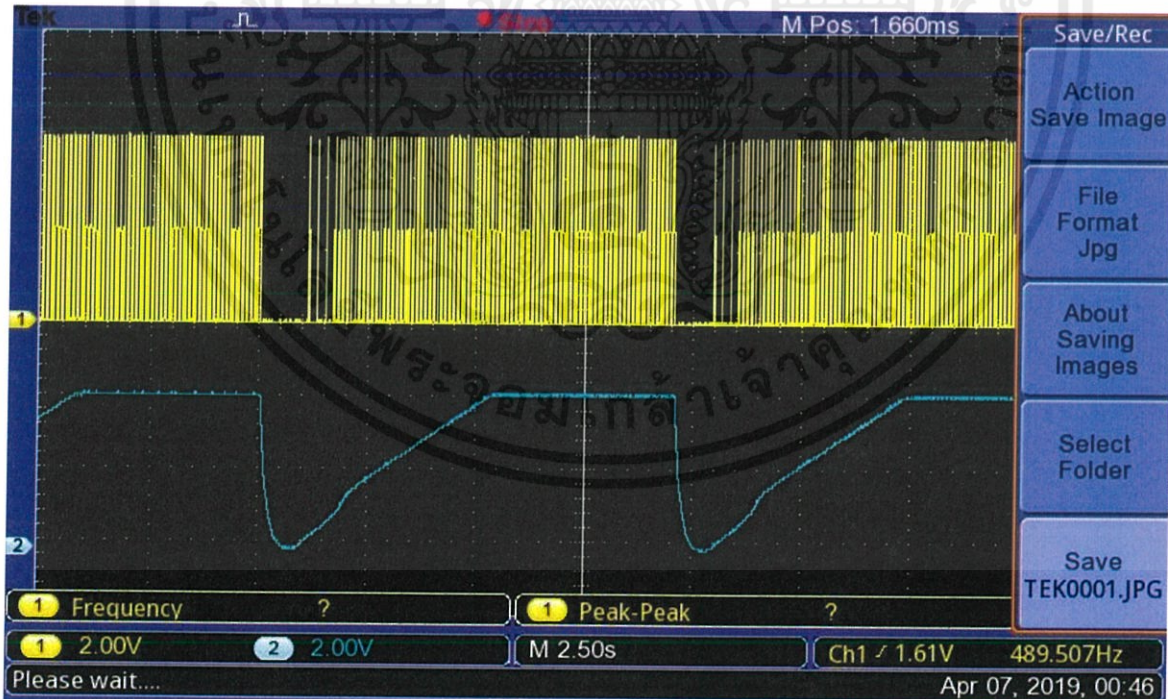
รูปที่4.3 Channel 1 PWM Mosfet1 และ Channel 2 PWM Mosfet2 (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.4 Channel 1 PWM Mosfet1 และ Channel 2 PWM Mosfet2 (4)

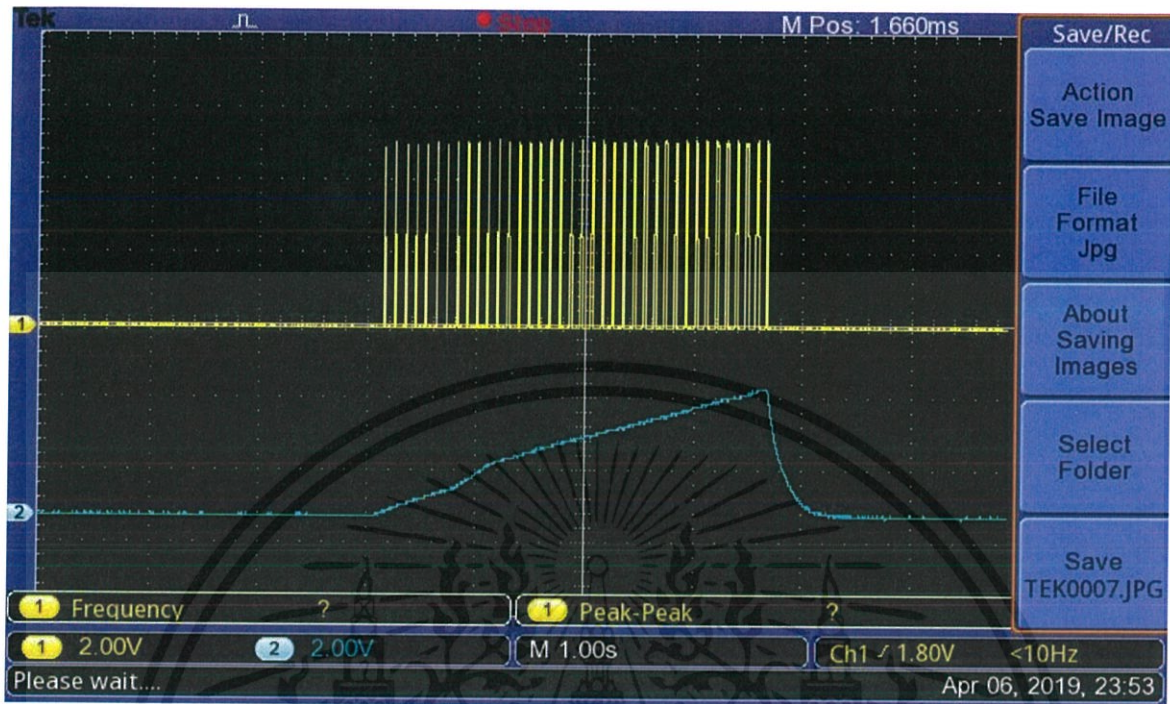
#### 4.1.2) สัญญาณ PWM mosfet1 กับ หลังผ่าน GATE DRIVE 1



รูปที่4.5 Channel 1 PWM Mosfet1 และ Channel 2 GATE DRIVE 1

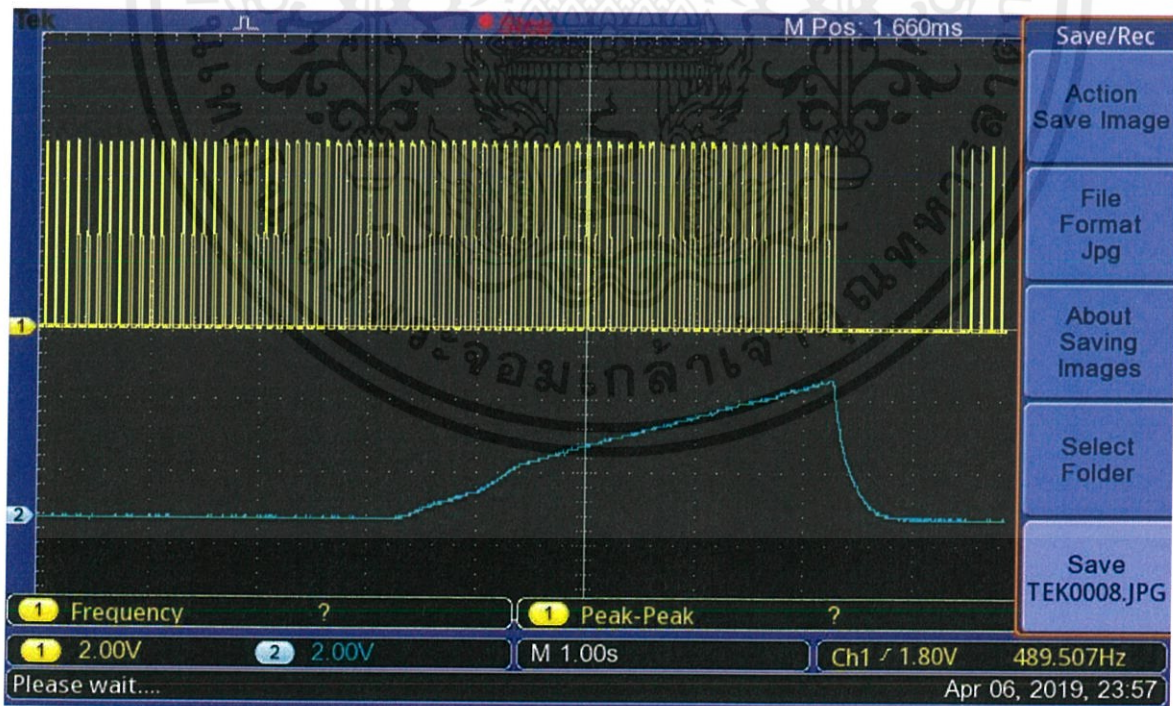
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3) สัญญาณ PWM mosfet2 กับ หลังผ่าน GATE DRIVE 2



รูปที่4.6 Channel 1 PWM Mosfet2 และ Channel 2 GATE DRIVE 2

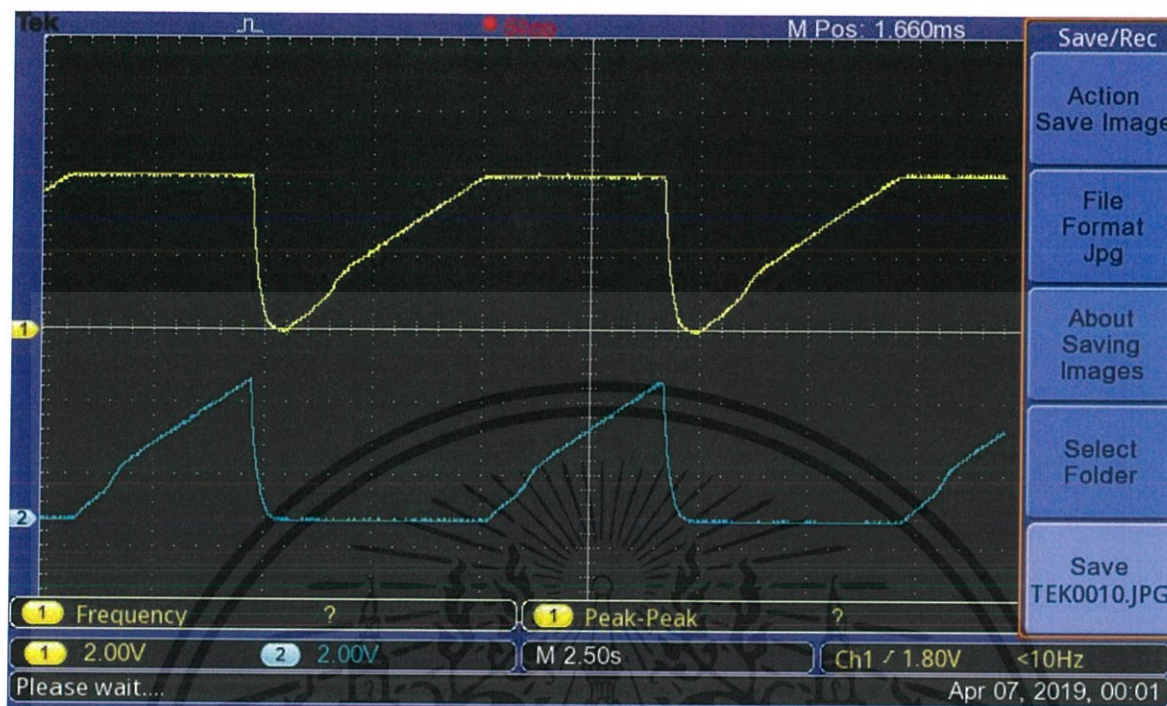
#### 4.1.4) สัญญาณ PWM mosfet1 กับ หลังผ่าน GATE DRIVE 2



รูปที่4.7 Channel 1 PWM Mosfet1 และ Channel 2 GATE DRIVE 2

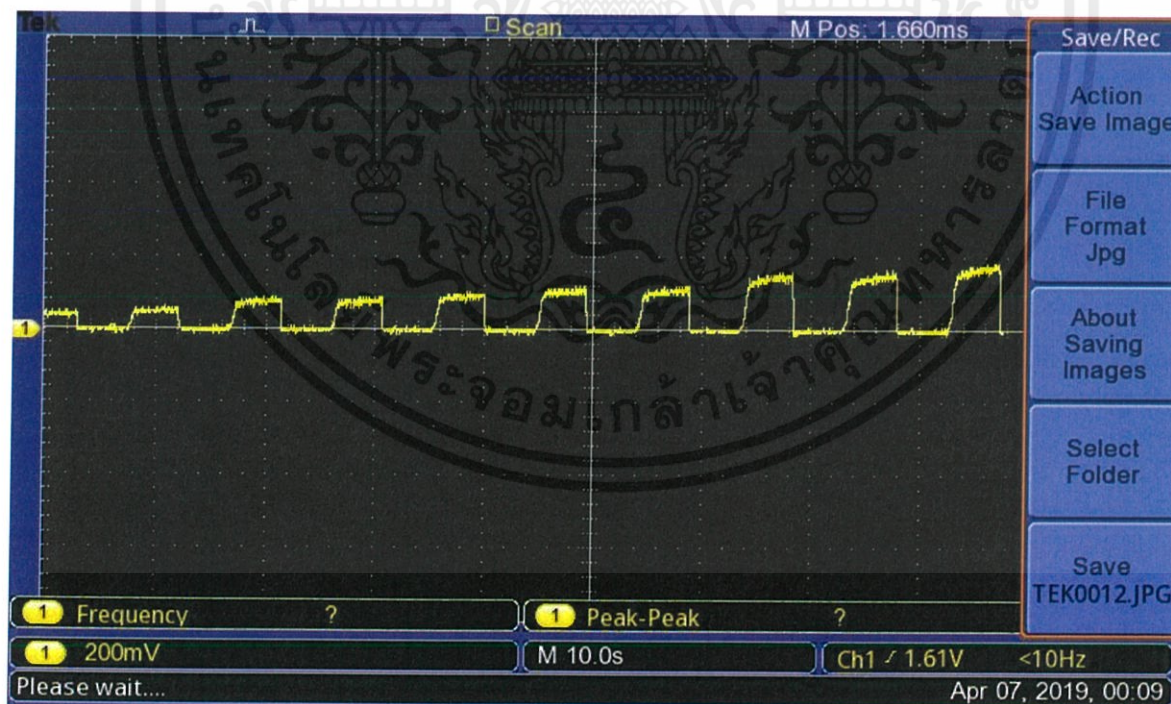
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.1.5) สัญญาณ หลังผ่าน GATE DRIVE 1 กับ หลังผ่าน GATE DRIVE 2



รูปที่4.8 Channel 1 GATE DRIVE 1 และ Channel 2 GATE DRIVE 2

## 4.1.6) สัญญาณ แรงดันที่ตกคร่อม R วัตกระแส

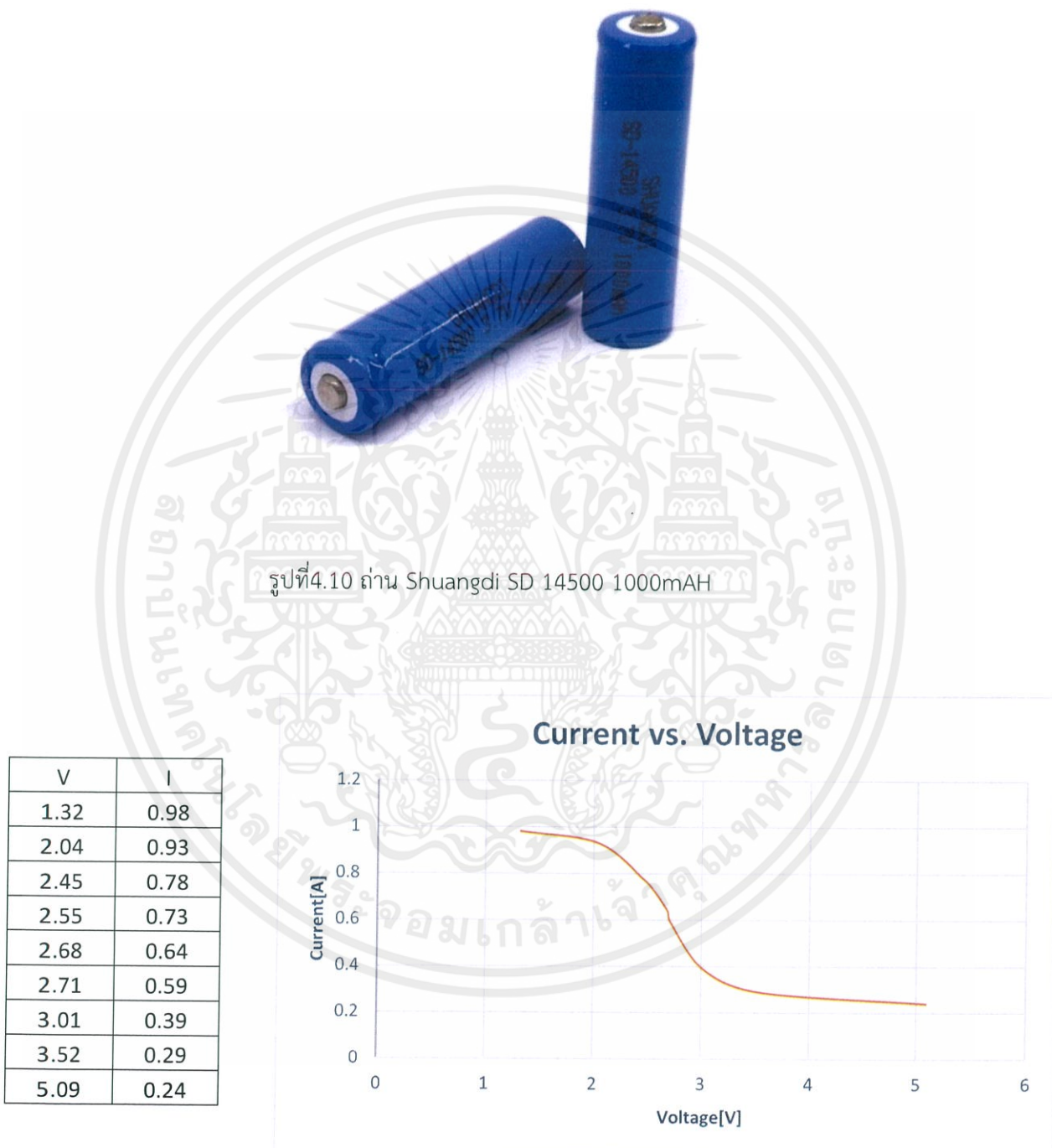


รูปที่4.9 สัญญาณแรงดันแต่ละช่วงการวัตกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2) การทดลองของถ่านชนิดแรก (Shuangdi SD 14500 1000mAh)

##### 4.2.1) ตารางผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันของถ่าน Shuangdi SD 14500 1000mAh



รูปที่4.11 ตารางและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2) ตารางผลการทดลองการวัดความต้านทานและกระแสของถ่าน Shuangdi SD 14500 1000mAh

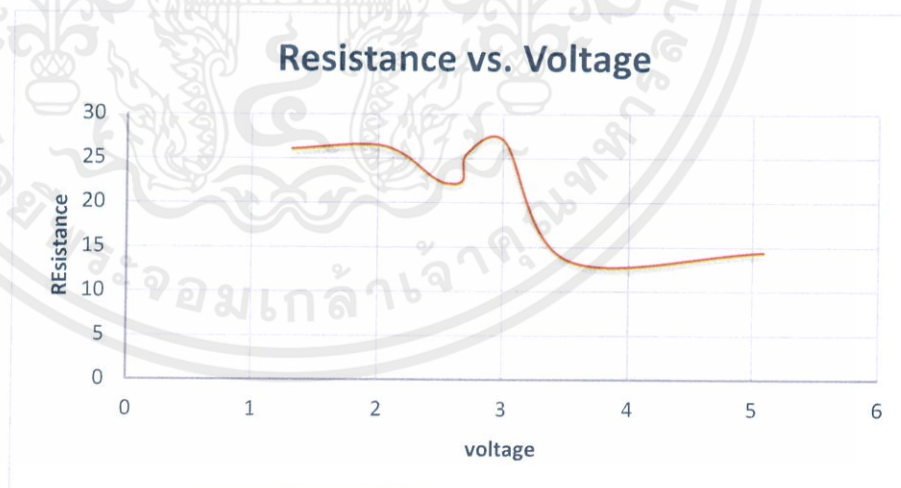
| I    | r     |
|------|-------|
| 0.24 | 26.10 |
| 0.29 | 26.40 |
| 0.39 | 22.80 |
| 0.59 | 22.20 |
| 0.64 | 22.50 |
| 0.73 | 25.50 |
| 0.78 | 27.00 |
| 0.93 | 13.50 |
| 0.98 | 14.40 |



รูปที่ 4.12 ตารางและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภายในและกระแสของแบตเตอรี่

#### 4.2.3) ตารางผลการทดลองการวัดความต้านทานและแรงดันของถ่าน Shuangdi SD 14500 1000mAh

| V    | r     |
|------|-------|
| 1.32 | 26.10 |
| 2.04 | 26.40 |
| 2.45 | 22.80 |
| 2.55 | 22.20 |
| 2.68 | 22.50 |
| 2.71 | 25.50 |
| 3.01 | 27.00 |
| 3.52 | 13.50 |
| 5.09 | 14.40 |



รูปที่ 4.13 ตารางและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภายในและแรงดันของแบตเตอรี่

## 4.3) การทดลองของถ่านชนิดสอง (AWT 18650 3.7V 3000mAh 40A )



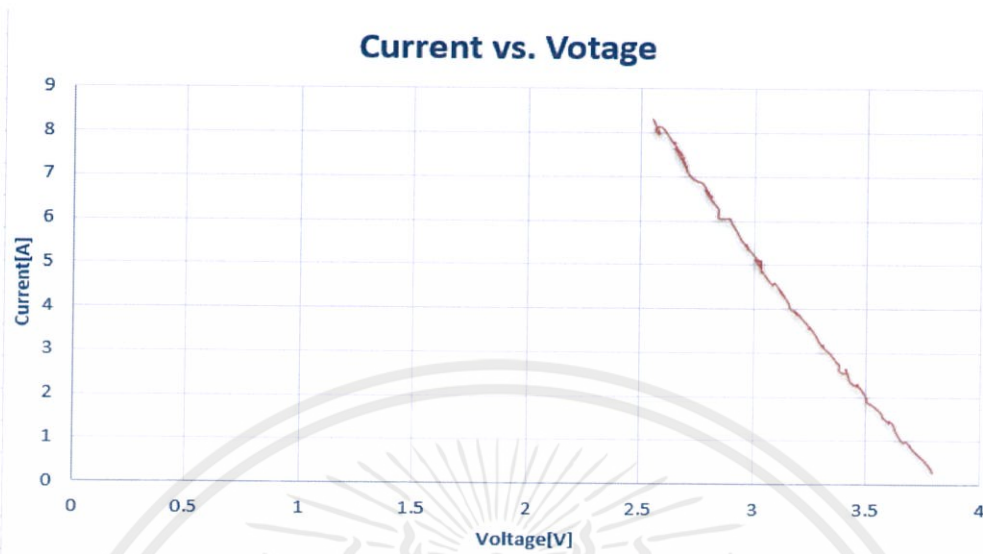
รูปที่ 4.14 ถ่าน AWT ขนาด 18650

## 4.3.1) ตารางผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันของถ่าน AWT 18650

| Current vs. Voltage                 |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| AWT.18650 3.7V 3000MAH 40A (ไม่ขาด) |      |      |      |      |      |      |      |
| V                                   | I    | V    | I    | V    | I    | V    | I    |
| 2.55                                | 8.30 | 2.84 | 6.05 | 3.11 | 4.44 | 3.46 | 2.25 |
| 2.58                                | 7.96 | 2.89 | 6.05 | 3.15 | 4.15 | 3.46 | 2.29 |
| 2.56                                | 8.06 | 2.89 | 6.01 | 3.16 | 4.00 | 3.50 | 2.00 |
| 2.59                                | 8.11 | 2.89 | 6.01 | 3.19 | 3.91 | 3.50 | 1.90 |
| 2.64                                | 7.76 | 2.92 | 5.76 | 3.19 | 3.86 | 3.50 | 1.90 |
| 2.65                                | 7.76 | 2.94 | 5.57 | 3.18 | 3.96 | 3.54 | 1.76 |
| 2.64                                | 7.76 | 2.94 | 5.57 | 3.25 | 3.56 | 3.57 | 1.61 |
| 2.68                                | 7.47 | 2.97 | 5.37 | 3.24 | 3.56 | 3.57 | 1.56 |
| 2.65                                | 7.62 | 2.96 | 5.47 | 3.25 | 3.56 | 3.60 | 1.42 |
| 2.70                                | 7.18 | 2.97 | 5.37 | 3.27 | 3.42 | 3.60 | 1.46 |
| 2.68                                | 7.42 | 3.02 | 5.08 | 3.30 | 3.17 | 3.62 | 1.37 |
| 2.71                                | 7.03 | 3.00 | 5.12 | 3.31 | 3.17 | 3.63 | 1.22 |
| 2.75                                | 6.88 | 3.03 | 4.93 | 3.30 | 3.17 | 3.66 | 0.98 |
| 2.75                                | 6.88 | 3.02 | 5.08 | 3.34 | 2.98 | 3.68 | 0.98 |
| 2.77                                | 6.84 | 3.03 | 5.08 | 3.37 | 2.78 | 3.71 | 0.78 |
| 2.80                                | 6.59 | 3.03 | 4.83 | 3.38 | 2.73 | 3.71 | 0.78 |
| 2.81                                | 6.54 | 3.03 | 4.88 | 3.38 | 2.59 | 3.75 | 0.59 |
| 2.78                                | 6.69 | 3.08 | 4.54 | 3.41 | 2.54 | 3.78 | 0.39 |
| 2.81                                | 6.45 | 3.09 | 4.59 | 3.41 | 2.64 | 3.79 | 0.29 |
| 2.84                                | 6.25 | 3.13 | 4.30 | 3.43 | 2.34 |      |      |

ตารางที่ 4.1 วัดค่ากระแสและแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

เมื่อนำข้อมูลดิบที่ได้มาพร้อมกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(แกนตั้ง) และ แรงดัน(แกนนอน)ได้ดังนี้



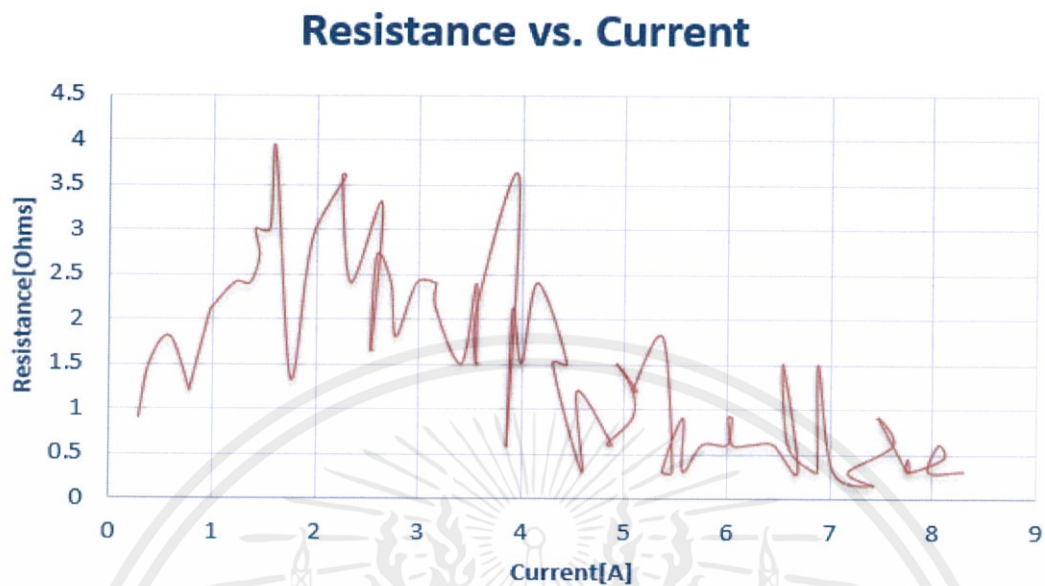
รูปที่4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่

#### 4.3.2) ตารางผลการทดลองการวัดความต้านทานภายในและกระแสของถ่าน AWT 18650

| Current vs. Resistance     |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| AWT 18650 3.7V 3000MAH 40A |      |      |      |      |      |      |      |
| I                          | R    | I    | R    | I    | R    | I    | R    |
| 0.29                       | 0.90 | 2.64 | 3.30 | 4.59 | 0.30 | 6.45 | 0.60 |
| 0.39                       | 1.50 | 2.54 | 1.65 | 4.54 | 1.20 | 6.69 | 0.30 |
| 0.59                       | 1.80 | 2.59 | 2.70 | 4.88 | 0.60 | 6.54 | 1.50 |
| 0.78                       | 1.20 | 2.73 | 2.40 | 4.83 | 0.60 | 6.59 | 0.60 |
| 0.78                       | 1.20 | 2.78 | 1.80 | 5.08 | 0.90 | 6.84 | 0.30 |
| 0.98                       | 2.10 | 2.98 | 2.40 | 5.08 | 1.20 | 6.88 | 0.30 |
| 0.98                       | 2.10 | 3.17 | 2.40 | 4.93 | 1.50 | 6.88 | 1.50 |
| 1.22                       | 2.40 | 3.17 | 2.40 | 5.12 | 1.20 | 7.03 | 0.30 |
| 1.37                       | 2.40 | 3.17 | 2.10 | 5.08 | 1.20 | 7.42 | 0.15 |
| 1.46                       | 2.70 | 3.42 | 1.50 | 5.37 | 1.80 | 7.18 | 0.30 |
| 1.42                       | 3.00 | 3.56 | 2.40 | 5.47 | 0.30 | 7.62 | 0.60 |
| 1.56                       | 3.00 | 3.56 | 1.50 | 5.37 | 0.30 | 7.47 | 0.90 |
| 1.61                       | 3.90 | 3.56 | 2.10 | 5.57 | 0.90 | 7.76 | 0.30 |
| 1.76                       | 1.35 | 3.96 | 3.60 | 5.57 | 0.30 | 7.76 | 0.45 |
| 1.90                       | 2.40 | 3.86 | 0.60 | 5.76 | 0.60 | 7.76 | 0.30 |
| 1.90                       | 2.40 | 3.91 | 2.10 | 6.01 | 0.60 | 8.11 | 0.45 |
| 2.00                       | 3.00 | 4.00 | 1.50 | 6.01 | 0.90 | 8.06 | 0.60 |
| 2.29                       | 3.60 | 4.15 | 2.40 | 6.05 | 0.90 | 7.96 | 0.30 |
| 2.25                       | 3.60 | 4.44 | 1.50 | 6.05 | 0.60 | 8.30 | 0.30 |
| 2.34                       | 2.40 | 4.30 | 1.50 | 6.25 | 0.60 |      |      |

ตารางที่4.2 วัดค่าความต้านทานภายในและกระแสของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

เมื่อนำข้อมูลดิบที่ได้มาพร้อมกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน(แกนตั้ง)และกระแส(แกนนอน)



รูปที่4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและกระแสของแบตเตอรี่

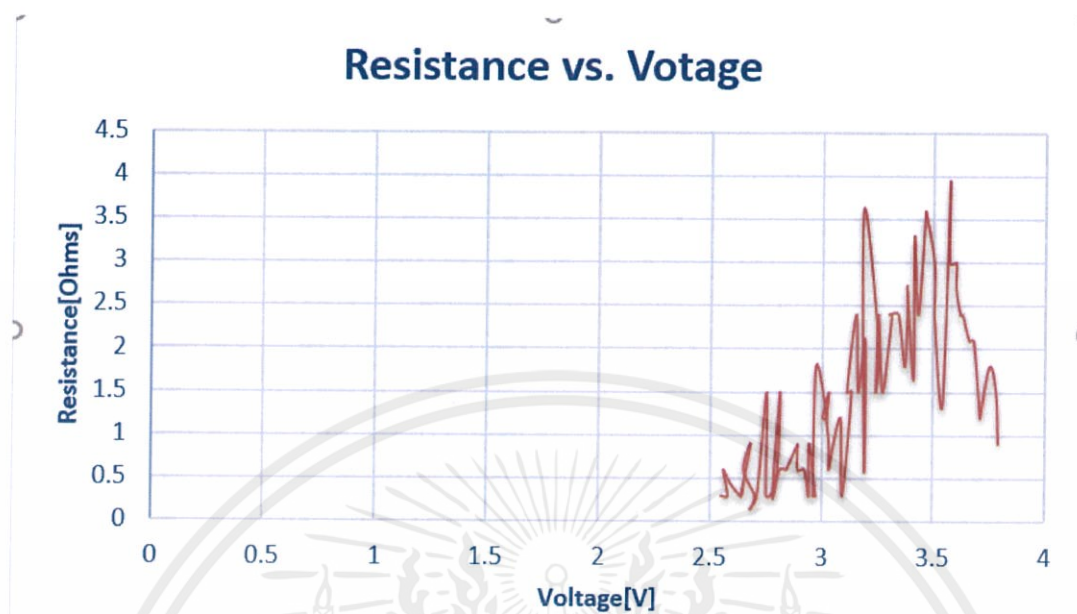
4.3.3) ตารางผลการทดลองการวัดความต้านทานภายในและแรงดันของถ่าน AWT 18650

| Voltage vs. Resistance     |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| AWT 18650 3.7V 3000MAH 40A |      |      |      |      |      |      |      |
| V                          | R    | V    | R    | V    | R    | V    | R    |
| 3.79                       | 0.90 | 3.41 | 3.30 | 3.09 | 0.30 | 2.81 | 0.60 |
| 3.78                       | 1.50 | 3.41 | 1.65 | 3.08 | 1.20 | 2.78 | 0.30 |
| 3.75                       | 1.80 | 3.38 | 2.70 | 3.03 | 0.60 | 2.81 | 1.50 |
| 3.71                       | 1.20 | 3.38 | 2.40 | 3.03 | 0.60 | 2.8  | 0.60 |
| 3.71                       | 1.20 | 3.37 | 1.80 | 3.03 | 0.90 | 2.77 | 0.30 |
| 3.68                       | 2.10 | 3.34 | 2.40 | 3.02 | 1.20 | 2.75 | 0.30 |
| 3.66                       | 2.10 | 3.3  | 2.40 | 3.03 | 1.50 | 2.75 | 1.50 |
| 3.63                       | 2.40 | 3.31 | 2.40 | 3.00 | 1.20 | 2.71 | 0.30 |
| 3.62                       | 2.40 | 3.30 | 2.10 | 3.02 | 1.20 | 2.68 | 0.15 |
| 3.60                       | 2.70 | 3.27 | 1.50 | 2.97 | 1.80 | 2.70 | 0.30 |
| 3.60                       | 3.00 | 3.25 | 2.40 | 2.96 | 0.30 | 2.65 | 0.60 |
| 3.57                       | 3.00 | 3.24 | 1.50 | 2.97 | 0.30 | 2.68 | 0.90 |
| 3.57                       | 3.90 | 3.25 | 2.10 | 2.94 | 0.90 | 2.64 | 0.30 |
| 3.54                       | 1.35 | 3.18 | 3.60 | 2.94 | 0.30 | 2.65 | 0.45 |
| 3.50                       | 2.40 | 3.19 | 0.60 | 2.92 | 0.60 | 2.64 | 0.30 |
| 3.50                       | 2.40 | 3.19 | 2.10 | 2.89 | 0.60 | 2.59 | 0.45 |
| 3.50                       | 3.00 | 3.16 | 1.50 | 2.89 | 0.90 | 2.56 | 0.60 |
| 3.46                       | 3.60 | 3.15 | 2.40 | 2.89 | 0.90 | 2.58 | 0.30 |
| 3.46                       | 3.60 | 3.11 | 1.50 | 2.84 | 0.60 | 2.55 | 0.30 |
| 3.43                       | 2.40 | 3.13 | 1.50 | 2.84 | 0.60 |      |      |

ตารางที่4.3 วัดค่าความต้านทานภายในและแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำข้อมูลดิบที่ได้มาพรอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน(แกนตั้ง)และแรงดัน(แกนนอน)



รูปที่4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและแรงดันของแบตเตอรี่

#### 4.4) การทดลองของถ่านชนิดสาม (NCR18650B Li-ion MH12210)



รูปที่4.18 NCR18650B Li-ion MH12210

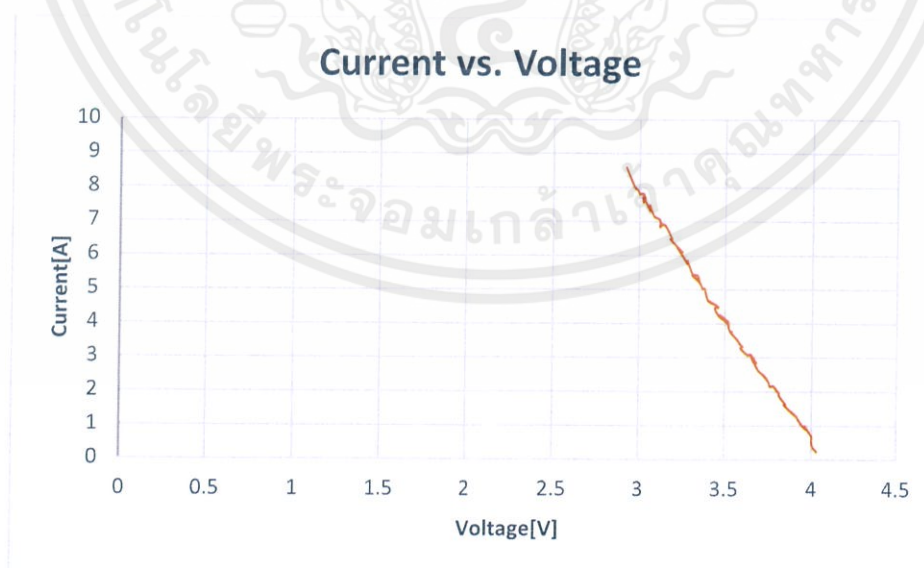
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4.1) ตารางผลการทดลองการวัดกระแสและแรงดันของถ่าน NCR18650B Li-ion MH12210

| Current vs. Voltage      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| NCR18650B Li-ion MH12210 |      |      |      |      |      |      |      |
| V                        | I    | V    | I    | V    | I    | V    | I    |
| 2.92                     | 8.59 | 3.25 | 6.10 | 3.52 | 4.05 | 3.76 | 2.15 |
| 2.97                     | 8.01 | 3.22 | 6.25 | 3.47 | 4.25 | 3.78 | 2.15 |
| 2.99                     | 7.91 | 3.25 | 6.01 | 3.52 | 3.96 | 3.81 | 1.95 |
| 3.0                      | 7.81 | 3.24 | 6.10 | 3.52 | 3.91 | 3.81 | 1.90 |
| 3.02                     | 7.81 | 3.28 | 5.76 | 3.53 | 3.76 | 3.82 | 1.81 |
| 3.03                     | 7.67 | 3.28 | 5.86 | 3.54 | 3.76 | 3.85 | 1.61 |
| 3.02                     | 7.57 | 3.31 | 5.47 | 3.53 | 3.76 | 3.84 | 1.61 |
| 3.02                     | 7.71 | 3.34 | 5.42 | 3.57 | 3.52 | 3.87 | 1.46 |
| 3.06                     | 7.32 | 3.35 | 5.27 | 3.59 | 3.37 | 3.9  | 1.32 |
| 3.06                     | 7.42 | 3.35 | 5.27 | 3.60 | 3.32 | 3.88 | 1.42 |
| 3.06                     | 7.47 | 3.31 | 5.42 | 3.59 | 3.27 | 3.91 | 1.27 |
| 3.08                     | 7.18 | 3.35 | 5.22 | 3.63 | 3.08 | 3.94 | 1.03 |
| 3.09                     | 7.13 | 3.37 | 5.03 | 3.65 | 3.08 | 3.97 | 0.88 |
| 3.12                     | 7.03 | 3.38 | 5.03 | 3.68 | 2.83 | 3.96 | 0.98 |
| 3.12                     | 6.84 | 3.40 | 4.69 | 3.65 | 3.03 | 4.00 | 0.68 |
| 3.13                     | 6.93 | 3.43 | 4.59 | 3.69 | 2.64 | 4.00 | 0.59 |
| 3.12                     | 6.88 | 3.40 | 4.69 | 3.71 | 2.54 | 4.00 | 0.59 |
| 3.15                     | 6.88 | 3.46 | 4.49 | 3.74 | 2.39 | 4.00 | 0.49 |
| 3.19                     | 6.49 | 3.44 | 4.44 | 3.72 | 2.49 | 4.01 | 0.34 |
| 3.18                     | 6.49 | 3.47 | 4.20 | 3.75 | 2.29 | 4.03 | 0.24 |

ตารางที่4.4 วัดค่ากระแสและแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

เมื่อนำข้อมูลดิบที่ได้มาพร้อมกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(แกนตั้ง) และ แรงดัน(แกนนอน)ได้ดังนี้



รูปที่4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่

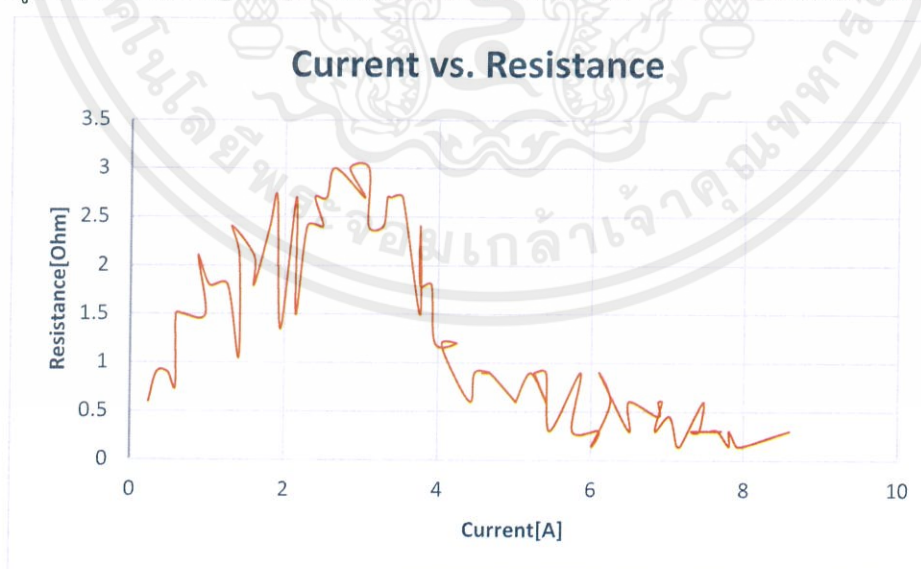
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4.2) ตารางผลการทดลองการวัดความต้านทานภายในและกระแสของถ่าน NCR18650B Li-ion MH12210

| Current vs. Resistance   |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| NCR18650B Li-ion MH12210 |      |      |      |      |      |      |      |
| I                        | R    | I    | R    | I    | R    | I    | R    |
| 0.24                     | 0.60 | 2.29 | 2.40 | 4.20 | 0.90 | 6.49 | 0.30 |
| 0.34                     | 0.90 | 2.49 | 2.40 | 4.44 | 0.60 | 6.49 | 0.60 |
| 0.49                     | 0.90 | 2.39 | 2.70 | 4.49 | 0.90 | 6.88 | 0.45 |
| 0.59                     | 0.75 | 2.54 | 2.70 | 4.69 | 0.90 | 6.88 | 0.60 |
| 0.59                     | 1.50 | 2.64 | 3.00 | 4.59 | 0.90 | 6.93 | 0.60 |
| 0.68                     | 1.50 | 3.03 | 2.70 | 4.69 | 0.90 | 6.84 | 0.30 |
| 0.98                     | 1.50 | 2.83 | 3.00 | 5.03 | 0.60 | 7.03 | 0.45 |
| 0.88                     | 2.10 | 3.08 | 3.00 | 5.03 | 0.60 | 7.13 | 0.15 |
| 1.03                     | 1.80 | 3.08 | 2.40 | 5.22 | 0.90 | 7.18 | 0.15 |
| 1.27                     | 1.80 | 3.27 | 2.40 | 5.42 | 0.60 | 7.47 | 0.60 |
| 1.42                     | 1.05 | 3.32 | 2.70 | 5.27 | 0.90 | 7.42 | 0.30 |
| 1.42                     | 2.10 | 3.37 | 2.70 | 5.27 | 0.90 | 7.32 | 0.30 |
| 1.32                     | 2.40 | 3.52 | 2.70 | 5.42 | 0.90 | 7.71 | 0.30 |
| 1.61                     | 2.10 | 3.76 | 1.50 | 5.47 | 0.30 | 7.57 | 0.30 |
| 1.61                     | 1.80 | 3.76 | 2.40 | 5.86 | 0.90 | 7.67 | 0.30 |
| 1.81                     | 2.40 | 3.76 | 1.80 | 5.76 | 0.30 | 7.81 | 0.15 |
| 1.90                     | 2.70 | 3.91 | 1.80 | 6.10 | 0.30 | 7.81 | 0.30 |
| 1.95                     | 1.35 | 3.96 | 1.20 | 6.01 | 0.15 | 7.91 | 0.15 |
| 2.15                     | 2.70 | 4.25 | 1.20 | 6.25 | 0.60 | 8.01 | 0.15 |
| 2.15                     | 1.50 | 4.05 | 1.20 | 6.10 | 0.90 | 8.59 | 0.30 |

ตารางที่ 4.5 วัดค่าความต้านทานภายในและกระแสของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

เมื่อนำข้อมูลดิบที่ได้มาพร้อมกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน(แกนตั้ง)และกระแส(แกนนอน)



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและกระแสของแบตเตอรี่

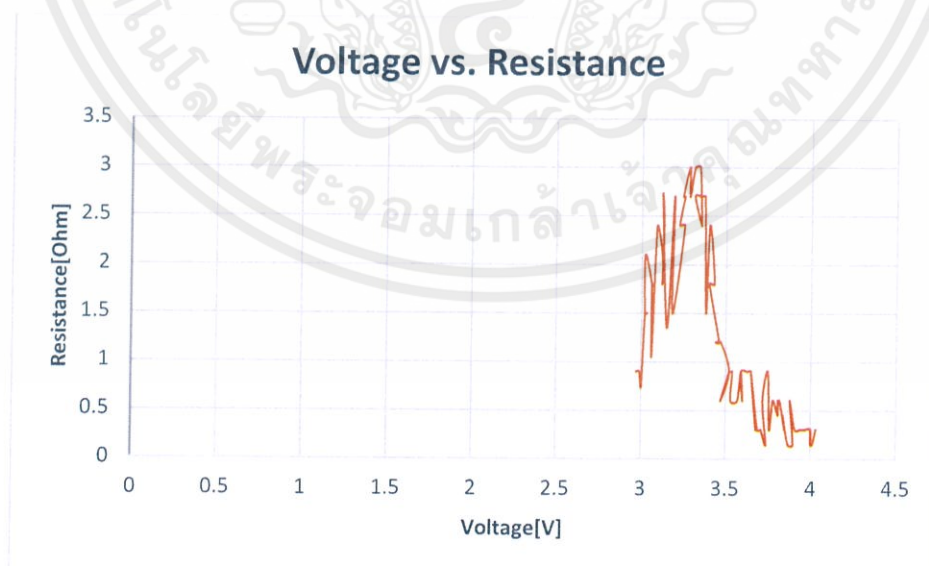
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4.3) ตารางผลการทดลองการวัดความต้านทานภายในและแรงดันของถ่าน NCR18650B Li-ion MH12210

| Voltage vs. Resistance   |      |      |      |      |      |       |      |
|--------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|
| NCR18650B Li-ion MH12210 |      |      |      |      |      |       |      |
| V                        | R    | V    | R    | V    | R    | V     | R    |
| 2.92                     | 0.60 | 3.25 | 2.40 | 3.52 | 0.90 | 3.76  | 0.30 |
| 2.97                     | 0.90 | 3.22 | 2.40 | 3.47 | 0.60 | 3.78  | 0.60 |
| 2.99                     | 0.90 | 3.25 | 2.70 | 3.52 | 0.90 | 3.81  | 0.45 |
| 3.00                     | 0.75 | 3.24 | 2.70 | 3.52 | 0.90 | 3.81  | 0.60 |
| 3.02                     | 1.50 | 3.28 | 3.00 | 3.53 | 0.90 | 3.82  | 0.60 |
| 3.03                     | 1.50 | 3.28 | 2.70 | 3.54 | 0.90 | 3.85  | 0.30 |
| 3.02                     | 1.50 | 3.31 | 3.00 | 3.53 | 0.60 | 3.84  | 0.45 |
| 3.02                     | 2.10 | 3.34 | 3.00 | 3.57 | 0.60 | 3.87  | 0.15 |
| 3.06                     | 1.80 | 3.35 | 2.40 | 3.59 | 0.90 | 3.90  | 0.15 |
| 3.06                     | 1.80 | 3.35 | 2.40 | 3.60 | 0.60 | 3.88  | 0.60 |
| 3.06                     | 1.05 | 3.31 | 2.70 | 3.59 | 0.90 | 3.91  | 0.30 |
| 3.08                     | 2.10 | 3.35 | 2.70 | 3.63 | 0.90 | 13.94 | 0.30 |
| 3.09                     | 2.40 | 3.37 | 2.70 | 3.65 | 0.90 | 3.97  | 0.30 |
| 3.12                     | 2.10 | 3.38 | 1.50 | 3.68 | 0.30 | 3.96  | 0.30 |
| 3.12                     | 1.80 | 3.40 | 2.40 | 3.65 | 0.90 | 4.00  | 0.30 |
| 3.13                     | 2.40 | 3.43 | 1.80 | 3.69 | 0.30 | 4.00  | 0.15 |
| 3.12                     | 2.70 | 3.40 | 1.80 | 3.71 | 0.30 | 4.00  | 0.30 |
| 3.15                     | 1.35 | 3.46 | 1.20 | 3.74 | 0.15 | 4.00  | 0.15 |
| 3.19                     | 2.70 | 3.44 | 1.20 | 3.72 | 0.60 | 4.01  | 0.15 |
| 3.18                     | 1.50 | 3.47 | 1.20 | 3.75 | 0.90 | 4.03  | 0.30 |

ตารางที่ 4.6 วัดค่าความต้านทานภายในและแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

เมื่อนำข้อมูลดิบที่ได้มาพร้อมกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน(แกนตั้ง)และแรงดัน(แกนนอน)



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและแรงดันของแบตเตอรี่

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

เครื่องวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่นั้นสามารถวัดได้ตามสเปคที่ตั้งไว้คือ 8 A ซึ่งค่าความต้านทานที่วัดได้นั้นเป็นเพียงข้อมูลดิบที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์ค่าที่ได้นั้นอาจจะมีความผิดพลาดที่เกิดจากหลายปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความขรุขระของอุปกรณ์

#### 5.1) สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองนั้นพบได้ว่าแบตเตอรี่ที่มีคุณภาพที่ดีควรมีค่าความต้านทานน้อยอยู่ในหลักมิลลิโอห์ม ถ้าแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานมากนั้นบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานที่ไม่ดี ยิ่งมีอายุการใช้งานเยอะ ประสิทธิภาพของถ่านก็จะเสื่อมลง แบตเตอรี่ตามท้องตลาดนั้นอาจบ่งบอกสเปคการทำงานที่ไม่ตรงตามสเปค เครื่องวัดเราสามารถวัดแบตเตอรี่ตัวนั้นและทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ตัวนั้นได้อย่างคร่าวๆ เครื่องวัดความต้านทานแบตเตอรี่สามารถช่วยในเรื่องความปลอดภัยของการใช้งานแบตเตอรี่ แต่ในที่สุดความต้านทานไม่ใช่สาเหตุเดียวที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ยังมีอีกหลายสาเหตุที่ใช้เป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

#### 5.2) ปัญหาที่พบ

พบว่าระบบที่ได้ทำการคิดค้นขึ้นมานั้น อาจจะไม่สามารถวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือเป็นไปตามที่ต้องการ ระบบการทำงานอาจจะยังไม่ใช้สิ่งที่ดีที่สุด และเกิดความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยภายนอกต่างๆ

#### 5.3) วิธีแก้ปัญหา

ศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ และนำมาประยุกต์ให้เกิดวิธีการทำงานที่มีประสิทธิภาพที่มากกว่านี้

## บรรณานุกรม

- [ 1 ] <http://lygte-info.dk/review/batteries2012/>
- [ 2 ] <http://www.thaicharger.com/index.php>
- [ 3 ] <https://batteryuniversity.com/learn>
- [ 4 ] <https://www.arduitronics.com/>





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);

int A;

int B;

float currentMOS1;

int battDevided;

float battDevidedVoltage,battVoltage,battVoltageStored;

int source1,source2;

float sourceVoltage1,sourceVoltage2;

float current1;

float current2;

float current3;

float impedance=0;

void setup()
{

pinMode(9,OUTPUT); // lcd.begin(16, 2);

pinMode(10,OUTPUT);

// set up the LCD's number of columns and rows:

Serial.begin(9600);

// Print a message to the LCD.

lcd.begin();

```

```

//lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print(" MEASUREMENT TEST ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("BATTERY = ");

lcd.setCursor(0,2);

lcd.print("CURRENT = ");

lcd.setCursor(0,3);

lcd.print("RESISTANCE = ");

//while(1);

current1 = 10;

current2 = 10;

currentMOS1 = 0.1;

Serial.println("START PROGRAM");

Serial.println("currentMOS1:0.1");

//analogWrite(9,50);

//analogWrite(10,50);

while(true)

{

```

```

/*lcd.setCursor(0,0);

lcd.print(" MEASUREMENT TEST ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("BATTERY = ");

lcd.setCursor(0,2);

lcd.print("CURRENT = ");

lcd.setCursor(0,3);

lcd.print("RESISTANCE = ");*/

Serial.println("-----");
Serial.println("Reset Current To Zero");
while((current1 > 0) || (current2 > 0))
{
  analogWrite(9,0);
  analogWrite(10,0);
  source1 = analogRead(A0);
  sourceVoltage1 = source1 * (5.0 / 1024.0);
  current1 = sourceVoltage1 / 0.1 ;

  source2 = analogRead(A2);
  sourceVoltage2 = source2 * (5.0/1024.0);
  current2 = sourceVoltage2 / 0.1 ;
}

```

```

Serial.print("current1 : "); Serial.print(current1);

Serial.print(" , current2 : "); Serial.println(current2);

delay(300);

}

if (currentMOS1 <= 8)
{
  A=0;
  B=0;
  // Serial.println("mos1 start");
  while(current1 <= currentMOS1)
  {
    A++;
    analogWrite(9,A);
    delay(50);
    source1 = analogRead(A0);
    sourceVoltage1 = source1 * (5.0 / 1024.0);
    //Serial.print("sourceVoltage1:");
    //Serial.println(sourceVoltage1);
    current1 = sourceVoltage1 / 0.1;
    battDevided = analogRead(A1);
    //Serial.print("battDevided:");
    //Serial.println(battDevided);
    battDevidedVoltage = battDevided * (5.0 / 1024.0);

```

```

battVoltage = battDevidedVoltage * (3);

//Serial.print("battVoltage:");

//Serial.println(battVoltage);

//delay(80);

lcd.setCursor(12,1);

lcd.print(battVoltage);

}

Serial.print("battery:"); Serial.println(battVoltage);
// Serial.print("current1:"); Serial.println(current1,6);
// Serial.print("A:"); Serial.println(A);

battVoltageStored = battVoltage;
// Serial.println("mos2 start");

while((battVoltage >= battVoltageStored) || (current2 == 0))
{
  B++;
  analogWrite(10,B);
  delay(50);
  source2 = analogRead(A2);
  sourceVoltage2 = source2 * (5.0/1024.0);
  current2 = sourceVoltage2 / 0.1 ;
  battDevided = analogRead(A1);
  battDevidedVoltage = battDevided * (5.0/1024.0);
  battVoltage = battDevidedVoltage * (3);

```

```

impedance = (battVoltageStored - battVoltage)/(current2);

current3 = current2 + current1 ;

lcd.setCursor(12,2);

lcd.print(current3);

lcd.setCursor(14,3);

lcd.print(impedance);

//delay(80);
}
// Serial.print("battery:"); Serial.println(battVoltage,6);
// Serial.print("current2:"); Serial.println(current2,6);
//if((battVoltage < battVoltageStored ) && (current2 < current1))
//{
Serial.print("I :"); Serial.println(current3);
Serial.print("R:"); Serial.println(impedance);
Serial.println(" ");
// Serial.println(" ");
//Serial.print("battery:"); Serial.println(battVoltage);
//Serial.print("current1:"); Serial.println(current1,6);
// delay(1000);
currentMOS1 = currentMOS1 + 0.1;
//current1 = 0;
//current2 = 0;
Serial.print("currentMOS1:"); Serial.println(currentMOS1);

```

```
//delay(500);  
  
//lcd.clear();  
  
}  
else  
{  
    while(1);  
}  
}  
lcd.setCursor(12,2);  
lcd.print("TEST");  
}  
void loop(){  
  
}
```

