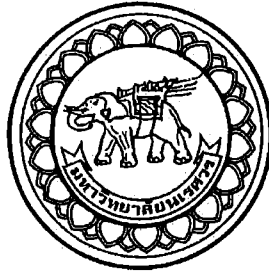


อกินันทนาการ



สำนักหอสมุด

เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ขนาด 12 โวลต์

A 12-VOLT MOTORCYCLE BATTERY CONDITION ASSESSMENT
DEVICE



นายเชตขรรค์ ขำพุด รหัส 56362591

นายชยพล พันใจลือ รหัส 56362652

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
วันลงทะเบียน 24 ส.ค. 2561
เลขทะเบียน 19220431 ✓
เลขเรียกหนังสือ 15

U 615ค
๒๕๖๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ปีการศึกษา 2559



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 12 โวลต์
ผู้ดำเนินโครงการ นายเชตขรรค์ จำพูน รหัส 56362591
นายชยพล พันใจลือ รหัส 56362652
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มุขिता สงฆ์จันทร์)

.....กรรมการ
(ดร. จิรวดี ผลประเสริฐ)

ชื่อหัวข้อโครงการ	เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ขนาด 12 โวลต์
ผู้ดำเนินโครงการ	นายเชตขรรค์ ขำพูน รหัส 56362591 นายชยพล พันใจถือ รหัส 56362652
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ที่สามารถใช้ในการประเมินสภาพแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ขนาด 12 โวลต์ ซึ่งประเมินสภาพจากค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ (State of Charge, SOC) โดยค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่นี้สามารถคำนวณจากค่าแรงดันขณะเปิดวงจรที่กระแสไหลคงที่ 3, 4 และ 5 แอมแปร์ ผ่านวงจรควบคุมกระแสคงที่ โดยใช้บอร์ดอาดูโนในการประมวลผลค่าแรงดันและกระแสที่ส่งจากเซนเซอร์แรงดันและเซนเซอร์กระแสตามลำดับแล้วหาค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่พร้อมประเมินสภาพของแบตเตอรี่โดยแสดงผลออกทางหน้าจอแอลซีดีและสภาพการประเมินผ่านหลอดแอลอีดี 3 สี โดย สีเขียว แทนแบตเตอรี่ที่มีสภาพดีพร้อมใช้งาน สีเหลือง แทนแบตเตอรี่ที่มีสภาพควรจะไปชาร์จและ สีแดง แทนแบตเตอรี่ที่มีสภาพไม่พร้อมใช้งาน นอกจากนี้เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่สามารถบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแบตเตอรี่ที่ทำการทดสอบไว้แล้วได้ และสามารถแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บประวัติไว้สำหรับเปรียบเทียบผลกับการประเมินสภาพแบตเตอรี่ในครั้งต่อไป จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่สามารถประเมินสภาพของแบตเตอรี่ทั้งแบตเตอรี่ใหม่และแบตเตอรี่ที่ใช้งานในสภาพต่างๆ ได้เป็นอย่างดีและสามารถแสดงผลสภาพการประเมินผ่านหลอดไฟ 3 สีได้สอดคล้องกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ต่างๆได้

Project title A12-Volt Motorcycle Battery Condition Assessment Device
Name Mr.Khetkhan Khumput ID. 56362591
 Mr.Chayapon Phanjailue ID. 56362652
Project advisor Mr.Sarawut Wattanawongpitak, D.Eng.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2016

Abstract

This thesis presents the design and invention of a 12-volt motorcycle battery condition assessment device evaluating the battery condition by using State of Charge (SOC). The SOC can be calculated from the open circuit voltage at constant current: 2, 3 and 5 amperes via constant current circuit. An Arduino board is used to process the voltage and current which send from the voltage and current sensor, respectively. Consequently, the SOC and the battery condition are evaluated and displayed the results on the LCD screen. The evaluated results are indicated on three colors LED. Green color means the battery condition is available. Yellow color means the battery needs to be recharged, and red color means the battery condition is unavailable. In addition, this device can record the parameters' values of the tested battery. It can display the history results on the computer screen for comparison with the further battery evaluation. As the results, this device can evaluate the battery in various conditions for both new battery and used battery as well. Then the status of battery is displayed through three colors LED in accordance with the battery life.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงการขอขอบคุณ ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งเอาใจใส่ในรายละเอียดทุกขั้นตอนของการดำเนินโครงการ โดยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วง รวมถึงแนะนำหลักการเขียนปฏิญญานิพนธ์และตรวจทานแก้ไขอย่างละเอียดจนได้ปฏิญญานิพนธ์เป็นรูปเล่มสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มุทิตา สงฆ์จันทร์ และดร.จิรวดี ผลประเสริฐ ซึ่งเป็นคณะกรรมการโครงการ ที่ให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาการทำโครงการ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ในท้ายที่สุดนี้ เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งท่านได้ให้การสนับสนุนในทุกด้านเกี่ยวกับการศึกษาของผู้ดำเนินโครงการ รวมทั้งมอบความรัก ความเมตตา และคอยเป็นกำลังใจให้จนประสบความสำเร็จในวันนี้



นายเขตบรรคค์ จำพูน

นายชยพล พันใจลือ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แบตเตอรี่.....	4
2.2 หลักการประเมินสภาพแบตเตอรี่.....	6
2.2.1 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่.....	7
2.3 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์.....	9
2.4 บอร์ดอาดูโน่.....	11
2.5 จอแสดงผลแอลซีดี.....	12
2.6 หลักการการตั้งกระแสคงที่.....	12
2.7 วงจรตรวจวัดกระแส.....	13
2.8 วงจรตรวจวัดแรงดัน.....	13
2.9 โปรแกรมวิซวลเบสิก.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่	15
3.1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่	15
3.2 ส่วนประกอบเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่และการเชื่อมต่อ	15
3.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่นั้นจะมีการเชื่อมต่อ.....	16
3.3.1 การเชื่อมต่อเซนเซอร์แรงดันกับบอร์ดอาดูโน่	16
3.3.2 การเชื่อมต่อเซนเซอร์กระแสกับบอร์ดอาดูโน่.....	17
3.3.3 การเชื่อมต่อหน้าจอดีวีดีกับบอร์ดอาดูโน่	17
3.3.4 การเชื่อมต่อสวิตช์ปุ่มกดกับบอร์ดอาดูโน่	18
3.3.5 การเชื่อมต่อ โมดูลเอสดีการ์ดกับบอร์ดอาดูโน่.....	18
3.4 การประกอบเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่	19
3.5 การใช้งานเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่	19
3.6 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	24
4.1 ทดสอบเพื่อหาค่ากระแสดีชาร์จที่และช่วงเวลาการดีชาร์จที่เหมาะสม.....	24
4.1.1 การทดสอบกระแสดีชาร์จที่ 3 แอมแปร์	25
4.1.2 การทดสอบกระแสดีชาร์จที่ 4 แอมแปร์	27
4.1.3 การทดสอบกระแสดีชาร์จที่ 5 แอมแปร์	29
4.2 ทดสอบเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่เมื่อนำไปประเมินสภาพแบตเตอรี่	31
4.2.1 การทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 1 (แบตเตอรี่ใหม่)	32
4.2.2 การทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 2 (แบตเตอรี่ใช้งานปกติระยะเวลา 4 เดือน).....	34
4.2.3 การทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 3 (แบตเตอรี่ใช้งานปกติระยะเวลา 18 เดือน).....	36
4.2.4 การทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 4 (แบตเตอรี่เสีย).....	37
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	40
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	40
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	40
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก ก รายละเอียดข้อมูลของ ACS712	43
ภาคผนวก ข รายละเอียดข้อมูลของ TIP120	59
ภาคผนวก ค รายละเอียดข้อมูลของ BCI (Battery Council International)	65
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	74



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางมาตรฐานของ BCI (Battery Council International).....	9
4.1 ตารางเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์และกราฟที่ได้จากการทดลอง.....	31
4.2 ตารางการแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองแบตเตอรี่ลูกที่ 1.....	33
4.3 ตารางการแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองแบตเตอรี่ลูกที่ 2.....	35
4.4 ตารางการแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองแบตเตอรี่ลูกที่ 3.....	36
4.5 ตารางการแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองแบตเตอรี่ลูกที่ 4.....	37
4.6 ตารางการแสดงผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยของแบตเตอรี่ทั้ง 4 ลูก.....	38



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่.....	5
2.2 แบบจำลองวงจรสมมูลของแบตเตอรี่.....	9
2.3 บอร์ดอาคูโนรุ่น Mega 2560 R3.....	11
2.4 จอแสดงผลแอลซีดี.....	12
2.5 วงจรควบคุมกระแสคงที่และวงจรภายในของวงจรควบคุมกระแสคงที่.....	13
2.6 วงจรตรวจวัดกระแสและวงจรภายในของวงจรตรวจวัดกระแส.....	13
2.7 วงจรตรวจวัดแรงดัน.....	14
3.1 โครงสร้างของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่.....	15
3.2 อุปกรณ์ของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่.....	15
3.3 วงจรภายในของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่.....	16
3.4 การเชื่อมต่อเซนเซอร์แรงดัน.....	16
3.5 การเชื่อมต่อเซนเซอร์กระแส.....	17
3.6 การเชื่อมต่อจอแอลซีดี.....	17
3.7 การเชื่อมต่อสวิตช์ปุ่มกด.....	18
3.8 การเชื่อมต่อ โมดูลเอสดีการ์ด.....	18
3.9 การประกอบเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่.....	19
3.10 เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ขณะเริ่มทำงาน.....	19
3.11 รูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเมื่อเริ่มดำเนินการทำงาน.....	20
3.12 รูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเมื่อกำลังประมวลผล.....	20
3.13 รูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเมื่อแสดงผลข้อมูลชุดแรก.....	20
3.14 รูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเมื่อแสดงผลข้อมูลชุดที่สอง.....	20
3.15 รูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเมื่อทำการบันทึกข้อมูล.....	21
3.16 รูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเมื่อเสร็จสิ้นการทำงาน.....	21
3.17 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่.....	22
4.1 แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์.....	24
4.2 ค่าแรงดันขณะดิสชาร์จที่กระแส 3 แอมแปร์.....	25
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและแรงดันดิสชาร์จที่กระแส 3 แอมแปร์.....	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ค่าแรงดันขณะดิสชาร์จที่กระแส 4 แอมแปร์.....	27
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและแรงดันดิสชาร์จที่กระแส 4 แอมแปร์.....	27
4.6 ค่าแรงดันขณะดิสชาร์จที่กระแส 5 แอมแปร์.....	29
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและแรงดันดิสชาร์จที่กระแส 5 แอมแปร์.....	29
4.8 แบตเตอรี่ที่ทำการทดสอบ.....	32
4.9 แสดงผลผ่านเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่.....	32
4.10 แสดงผลผ่านโปรแกรมประเมินสภาพแบตเตอรี่.....	33
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าแรงดันขณะดิสชาร์จของแบตเตอรี่ลูกที่ 1.....	34
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าแรงดันขณะดิสชาร์จของแบตเตอรี่ลูกที่ 2.....	35
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าแรงดันขณะดิสชาร์จของแบตเตอรี่ลูกที่ 3.....	36
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าแรงดันขณะดิสชาร์จของแบตเตอรี่ลูกที่ 4.....	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการใช้รถจักรยานยนต์มีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นบนท้องถนน ซึ่งการใช้รถเป็นประจำควรมีการตรวจเช็คสภาพของรถให้พร้อมที่จะใช้งานอยู่เสมอ เช่น น้ำมันเครื่อง แบตเตอรี่ซึ่งแบตเตอรี่เป็นส่วนสำคัญในการจ่ายไฟให้กับระบบไฟฟ้าภายในของรถจักรยานยนต์ ถึงแม้ว่าอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละลูกมีอายุการใช้งานที่จำกัด เช่น 2 ถึง 3 ปี แต่การใช้แบตเตอรี่หนักเกินไปอาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น ซึ่งแต่ละบุคคลใช้งานแบตเตอรี่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินสภาพแบตเตอรี่เพื่อบอกถึงสภาพของแบตเตอรี่ว่าควรใช้งานต่อไปหรือเปลี่ยนลูกใหม่

ทั้งนี้ผู้จัดทำโครงการได้สังเกตเห็นถึงปัญหาและความสำคัญนี้จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ขนาด 12 โวลต์ โดยจะมีรูปแบบการทำงานใช้บอร์ดอาดูโนมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมและประมวลผลค่าแรงดัน กระแสและการคายประจุ จากนั้นจะบันทึกค่าประวัติการใช้งานของแบตเตอรี่ เช่น เก็บค่าแรงดัน ค่ากระแส และสถานะประจุ เพื่อนำมาประเมินสภาพแบตเตอรี่แล้วแสดงผลออกมาเป็นไฟสัญญาณ 3 สี โดยสีเขียวหมายถึงแบตเตอรี่ที่มีสภาพดีพร้อมใช้งาน สีเหลืองหมายถึงแบตเตอรี่มีสภาพควรจะไปชาร์จ สีแดงหมายถึงแบตเตอรี่มีสภาพไม่พร้อมใช้งาน โดยจะทำการวัดค่าแรงดันและกระแสเพื่อนำมาคำนวณหาค่าแรงดันขณะเปิดวงจรเพื่อเทียบกับตารางมาตรฐานของแบตเตอรี่ที่เขียนคำสั่งลงในบอร์ดอาดูโนแล้วจะทำการประมวลผลและแสดงสถานะประจุของแบตเตอรี่ว่าพร้อมใช้งาน ควรนำไปชาร์จไฟ หรือควรเปลี่ยน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ที่ควบคุมด้วยบอร์ดอาดูโน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เครื่องประเมินสภาพของแบตเตอรี่ที่ได้สร้างขึ้นในโครงการนี้สามารถวัดค่า และ ประเมินสภาพของแบตเตอรี่ว่ามีสภาพความพร้อมใช้งานอยู่ที่ระดับใด อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการใช้งานของแบตเตอรี่ นอกจากนี้โครงสร้างของชุดอุปกรณ์ดังกล่าว สามารถติดตั้งและถอดประกอบได้ง่ายเพื่อความสะดวกต่อผู้ใช้งานหากมีการนำไปใช้ในงานจริง

1.6 งบประมาณ

1) โครงสร้างแบบจำลองของชุดอุปกรณ์	200 บาท
2) หน้าจอแอลซีดี	250 บาท
3) บอร์ดอาดูโน่	450 บาท
4) เซนเซอร์	300 บาท
5) สายไฟ	150 บาท
6) แบตเตอรี่	650 บาท
7) ค่าถ่ายเอกสารและเช่าเล่มปริญญานิพนธ์	850 บาท
8) ปุ่มกดคีย์แพด	50 บาท
9) โมดูลเอสดีการ์ด	100 บาท
10) หลอดไฟแอลอีดี	40 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สามพันสี่สิบบาท)	<u>3,040 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประเมินสภาพแบตเตอรี่ ในการสร้างเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่จะต้องมีความรู้ในเรื่องต่างๆ ดังนี้ 1.แบตเตอรี่ 2.หลักการในการประเมินสภาพแบตเตอรี่ 3.การใช้งานบอร์ดอาดูโน่ เพื่อใช้ในการประมวลผล คำนวณและเก็บค่าสถานะสุขภาพแบตเตอรี่รวมถึงค่ากระแสและแรงดัน

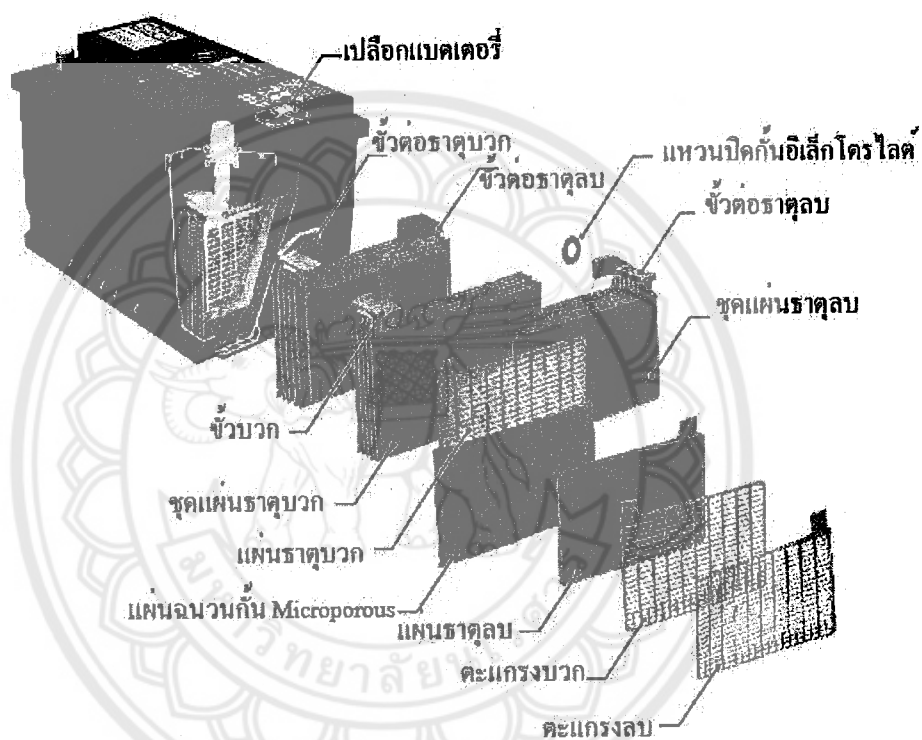
2.1 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ (Battery) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียงหนึ่งเซลล์หรือมากกว่าก็ได้

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้นไม่ได้ผลิตไฟฟ้าสามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ได้หลายครั้งและประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ที่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุ แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงและเสียหายได้ง่ายหากดูแลรักษาไม่ดีเพียงพอหรือใช้งานผิดวิธีรวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เนื่องด้วยวิธีการใช้, การบำรุงรักษา, การประจุและอุณหภูมิ ฯลฯ

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าเคมี โดยเก็บพลังงานเคมีไว้และจ่ายออกมาและถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วสามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่มือถือ เป็นต้น แบตเตอรี่ชนิดอัดกระแสไฟใหม่ได้หรือเซลล์ทุติยภูมิ สามารถอัดกระแสไฟใหม่ได้หลังจากไฟหมดเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการอัดกระแสไฟเข้าไปใหม่ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้อัดไฟนี้เรียกว่า ชาร์จเจอร์ หรือ รีชาร์จเจอร์ แบตเตอรี่ชนิดอัดไฟใหม่ที่นิยมคือประเภท เซลล์แห้ง

เซลล์แบบตะกั่วกรด ซึ่งในทั่วไปในรถยนต์ เซลล์กรดตะกั่วกรดนี้ประกอบด้วยแผ่นแคโทด และแผ่นแอนโนดวางสลับกันจุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถัน แผ่นเพลทจะวางสลับกันเพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ได้มาก ในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้สารที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์มาก ปฏิกิริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมาก นอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลล์จะยังมีค่าลดลงด้วย ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส วิธีที่นิยมคือใช้แผ่นเพลทบางๆ ค้นด้วยฉนวนแบบมีรูพรุนดังรูปที่ 2.1

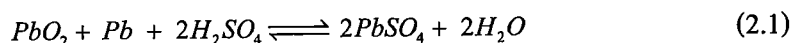


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่

ที่มา <https://goo.gl/7BZxTB>

อิเล็กโทรดเป็นแอนโนดจะสร้างขึ้นจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่แคโทดจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้น อะตอมของตะกั่วจากแผ่นแอนโนดจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ และทั้งอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก

ที่แคโทดตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่ว ซึ่งมีประจุบวกสูงและเป็นไอออนที่มีประจุบวกสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอกเพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่วที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับแอนโนดทำให้เกิดกระแสไหลจากแคโทดผ่านไปยังวงจรภายนอก ไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันซึ่งเป็นอิเล็กโทรไลต์กลายเป็นตะกั่วซัลเฟตและก๊าซไฮโดรเจน สามารถเขียนสมการของปฏิกิริยาเคมีได้ดังสมการที่ 2.1



เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ดังนั้นจึงสามารถที่จะประจุเซลล์ใหม่โดยการต่อวงจร ซึ่งจะขยับอิเล็กตรอนให้ไหลจากแคโทดไปสู่แอนโนด

2.2 หลักการประเมินสภาพแบตเตอรี่

การตรวจเช็คสภาพแบตเตอรี่ โดยใช้ที่วัดความถ่วงจำเพาะ (HYDROMETER) โดยดูจากสีของที่วัดเพื่อแสดงประจุไฟของแบตเตอรี่ ถ้าเป็นสีเขียวแสดงว่าประจุไฟฟ้าเต็ม ถ้าเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ แสดงว่าประจุไฟหมดสมควรชาร์จแบตเตอรี่ ถ้าเป็นสีเหลือง แสดงว่าสมควรที่จะเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้แล้ว ต้องมั่นใจว่าขั้วแบตเตอรี่ทั้งขั้วบวกและขั้วลบสะอาด แล้วถ้าต้องการทำความสะอาดให้ใช้น้ำร้อนราดที่ขั้วแบตเตอรี่ได้เลย แต่อย่าให้สายพ่วงแบตเตอรี่โดนกันข้อควรระวัง อย่าสูบบุหรี่ หรือทำการใด ๆ ที่เกิดประกายไฟใกล้กับแบตเตอรี่ ให้ทำการตรวจเช็คแรงเคลื่อนของแบตเตอรี่เพราะจะทำให้เกิดระเบิดขึ้นได้

ค่ากำลังสตาร์ทของแบตเตอรี่ (Cool Cranking Ampere) ซึ่งหมายถึงความสามารถในการจ่ายกระแสเพื่อสตาร์ทเครื่องยนต์ในสภาวะอากาศหนาว ยิ่งค่ากำลังสตาร์ทของแบตเตอรี่สูงเท่าไรก็แสดงว่ามีกำลังสำหรับสตาร์ทแรงเท่านั้น อุณหภูมิที่ใช้เป็นตัวกำหนดมาตรฐานการวัดค่ากำลังสตาร์ทของแบตเตอรี่นั้นแตกต่างกันไปตามแต่มาตรฐานสิ่งหนึ่งที่ต้องพิจารณาในการวัดค่ากำลังสตาร์ทของแบตเตอรี่ก็คือ ค่าที่วัดได้นี้จะลดน้อยถอยลงตามสภาพแบตเตอรี่ และสถานะประจุของแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ที่ไฟอ่อนหรือไฟหมด ค่ากำลังสตาร์ทของแบตเตอรี่ที่วัดได้จะน้อยลงแต่เมื่อชาร์จไฟเต็มแล้วค่าที่วัดได้จะมากขึ้น ค่ากำลังสตาร์ทของแบตเตอรี่ใช้วัดความสามารถการจ่ายกระแสแบตเตอรี่ใหม่ๆ ในเมืองหนาวโดยจะทดสอบที่ -18 องศาเซลเซียส แลยังมีหลายมาตรฐานซึ่งเงื่อนไขหลักอยู่ที่เวลาของการโหลด

ค่าสถานะประจุ (State Of Charge, SOC) เป็นระดับการเก็บประจุหรือชาร์จไฟของแบตเตอรี่ มีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าสถานะประจุเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ คือแบตเตอรี่ที่ประจุไฟจนเต็มแล้ว ค่าสถานะประจุได้จากการวัดแรงดันของเซลล์ย่อยในแบตเตอรี่การประเมินสภาพแบตเตอรี่โดยใช้ค่าสถานะประจุสามารถตรวจวัดและหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการคำนวณหาค่าสถานะประจุได้โดยตรงจากแบตเตอรี่ ดังนั้นจึงมีการศึกษาการทำงานคุณสมบัติของแบตเตอรี่ศึกษาค่าพารามิเตอร์อื่นๆที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่เพื่อนำมาประกอบกับค่าสถานะประจุเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินสภาพแบตเตอรี่ และได้ออกแบบวงจรในการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องในการคำนวณ ตลอดจนได้ออกแบบและสร้างอัลกอริทึมในการประเมินสภาพของแบตเตอรี่โดยใช้ค่าแรงดันขณะเปิดวงจรในการเปรียบเทียบหาค่าสถานะประจุโดยค่ามาตรฐานค่าสถานะประจุสามารถอ้างอิงจากรายที่ 2.1 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของ BCI (Battery Council International)

2.2.1 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่

1) ความจุของแบตเตอรี่

ความจุของแบตเตอรี่ (Battery capacity) คือ จำนวนปริมาณของกระแสไฟที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกไปได้ในระยะเวลาที่กำหนดไว้ในหน่วย แอมแปร์-ชั่วโมง โดยค่าความจุของแบตเตอรี่นั้นจะเป็นตัวกำหนดว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟได้มากน้อยแค่ไหนและนานเท่าไร โดยการบอกอัตราการจ่ายกระแสของแบตเตอรี่ลูกนั้นจะบอกเป็นต่อชั่วโมง เช่น 5 แอมแปร์-ชั่วโมง 6 แอมแปร์-ชั่วโมง หรือ 7 แอมแปร์-ชั่วโมง โดยจะมีการเทียบอัตราส่วนภายใน 20 ชั่วโมง เช่น แบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ที่มีความจุ 5 แอมแปร์-ชั่วโมง ก็จะมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟได้สูงสุด 0.5 แอมแปร์ เป็นเวลานาน 10 ชั่วโมงเป็นต้น

2) พลังงานที่สะสม

พลังงานที่สะสมของแบตเตอรี่เป็นพารามิเตอร์ไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับระดับแรงดันและปริมาณประจุของแบตเตอรี่ สำหรับกรณีที่แรงดันของแบตเตอรี่คงที่ สมการคำนวณพลังงานที่สะสมได้ในหน่วย วัตต์-ชั่วโมง ตามสมการที่ 2.2

$$E = VC \quad (2.2)$$

เมื่อ V คือ แรงดัน (โวลต์)

C คือ ขนาดความจุแบตเตอรี่ (แอมแปร์-ชั่วโมง)

3) ค่าความลึกของการปล่อยประจุ

ความลึกของการปล่อยประจุ (depth of discharge, DOD) คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่ที่ถูกปล่อยประจุ โดยความลึกของการปล่อยประจุนั้นจะมีสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะประจุและความลึกของการปล่อยประจุดังสมการที่ 2.3

$$DOD = 1 - SOC \quad (2.3)$$

4) สาเหตุที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพก่อนกำหนด

- การปล่อยประจุน้อยเกินไป คือ การที่แบตเตอรี่นั้นเสื่อมสภาพจากการที่มีประจุไฟน้อยเกินไปอาจส่งผลให้แบตเตอรี่ประจุไฟได้ยากอาจเกิดจากการที่เกิดคราบขาวที่แผ่นธาตุหรือแผ่นธาตุเสื่อมสภาพ
- การปล่อยประจุมากเกินไป คือ การที่แบตเตอรี่นั้นเสื่อมสภาพจากการที่มีประจุไฟมากเกินไปอาจส่งผลให้แผ่นธาตุเสื่อมเนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ผงตะกั่วเกิดการสึกกร่อนจากแผ่นธาตุอาจทำให้แผ่นธาตุโค้งงอจึงทำให้อายุการใช้งานสั้นลง
- การลัดวงจรในช่องแบตเตอรี่ คือ การลัดวงจรในช่องแบตเตอรี่ อาจส่งผลให้เกิดการแตกหักหรือเสื่อมสภาพของแผ่นกั้นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ
- การเกิดซัลเฟต คือ การเกิดซัลเฟตสีขาวเกาะติดบริเวณแผ่นธาตุ อาจส่งผลให้เกิดการปล่อยประจุน้อยเกินไปแล้วทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

5) การบำรุงรักษาแบตเตอรี่

การบำรุงรักษาแบตเตอรี่นั้นมีส่วนอย่างมากที่จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยาวนานขึ้น โดยเฉพาะแบตเตอรี่ชนิดน้ำ เพราะเวลาน้ำเมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีจะแตกตัวกลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน แล้วระเหยออกไปอยู่ตลอดเวลา การตรวจสอบระดับน้ำกลั่นหรือสารละลายที่อยู่ภายในให้เต็มอยู่เสมอ จึงเป็นสิ่งจำเป็น เมื่อระดับลดลงควรเติมเฉพาะน้ำกลั่นบริสุทธิ์เท่านั้น ไม่ควรเติมกรดหรือสารละลายเพิ่มอย่างอื่นลงไป ขั้วของแบตเตอรี่ก็เช่นกันควรทำความสะอาดอยู่เสมอ รวมไปถึงขั้วที่ต่อมาจากเครื่องชาร์จด้วย เพราะถ้าคราบเกลือหรือคราบสนิมของตะกั่วที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีนั้น ทำให้เกิดความต้านทานกระแสไฟฟ้าและทำให้ความสามารถในการจ่ายกระแสไฟหรือรับไฟจากการชาร์จลดลง วิธีทำความสะอาดขั้วแบตเตอรี่ที่ดีคือล้างด้วยสารละลายจำพวกโซดา

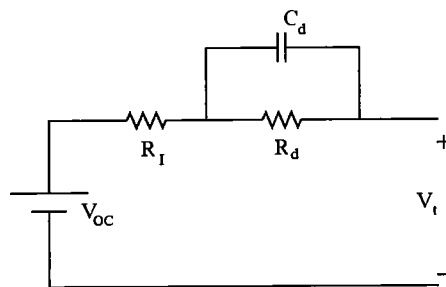
ตารางที่ 2.1 ตารางมาตรฐานของ BCI (Battery Council International)

State of charge					
Charge	V open circuit				Specific gravity
	6-V battery	12-V battery	24-V battery	48-V battery	
30%	5.91	11.81	23.62	47.24	1.124
20%	5.83	11.66	23.32	46.64	1.098

หมายเหตุ : สีเขียว แทนแบตเตอรี่ที่มีสภาพดีพร้อมใช้งาน
 สีเหลือง แทนแบตเตอรี่ที่มีสภาพควรจะไปชาร์จ
 สีแดง แทนแบตเตอรี่ที่มีสภาพไม่พร้อมใช้งาน

2.3 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นในโครงงานนี้จะอาศัยแบบจำลองวงจรสมมูลของแบตเตอรี่เข้ามาช่วย ซึ่งจะใช้แบบจำลองเทวินินดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แบบจำลองวงจรสมมูลของแบตเตอรี่

ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองวงจรสมมูลเทวินินจะสามารถหาได้จากผลตอบสนองแรงดันของแบตเตอรี่ ซึ่งได้จากการทดสอบด้วยกระแสดิซาร์จคงที่ จากผลตอบสนองดังกล่าวเราจะสามารถนำมาหาค่าพารามิเตอร์ได้ดังนี้

1. ค่าตัวต้านทานภายใน R_i สามารถหาได้จากแรงดันที่ลดลง เมื่อเริ่มต้นการดิซาร์จด้วยกระแสคงที่ โดยจะสามารถหาได้ ดังสมการที่ 2.4

$$R_i = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.4)$$

เมื่อ ΔV คือ ผลต่างของแรงดันช่วงเริ่มต้นกับแรงดันขณะจ่ายโหลด

I คือ กระแสขณะจ่ายโหลด

2. การหาตัวต้านทาน R_d และตัวเก็บประจุ C_d ที่ต่อขนานกัน สามารถหาได้จากผลตอบสนองแรงดันของแบตเตอรี่ ส่วนตัวเก็บประจุ C_d หาได้จากช่วงของผลตอบสนองชั่วคราวเมื่อเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว ดังสมการที่ 2.5 และ 2.6

$$R_d = \frac{\Delta V_s}{I} \quad (2.5)$$

$$C_d = \frac{\tau}{R_d} \quad (2.6)$$

เมื่อ ΔV_s คือ ผลต่างของแรงดันช่วงเริ่มต้นกับแรงดันที่สภาวะอยู่ตัว

I คือ กระแสขณะจ่ายโหลด

τ คือ ค่าคงที่เวลาที่เป็นจุดแบ่งระหว่างผลตอบสนองชั่วคราวกับสภาวะคงตัว

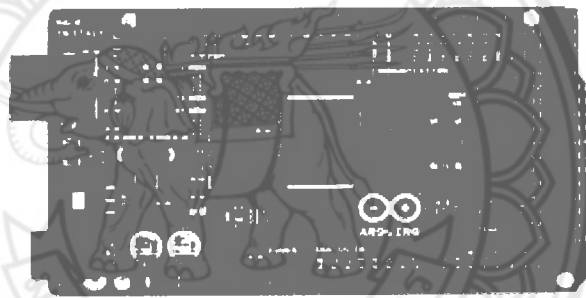
3. การหาค่าสถานะประจุสามารถหาได้จากการหาค่าแรงดันเปิดวงจรซึ่งได้จากการวัดค่าแรงดันที่ขั้วและกระแสจากนั้นแทนค่าแรงดันที่ขั้วและกระแสในแบบจำลองวงจรสมมูลของแบตเตอรี่เพื่อคำนวณหาค่าแรงดันเปิดวงจรของแบตเตอรี่เมื่อได้แล้วจากนั้นจะทำการหาค่าสถานะประจุจากความสัมพันธ์สถานะประจุกับแรงดันเปิดวงจร ดังสมการที่ 2.7

$$V_{oc} = V_i + (IR_i) + (IR_d) \quad (2.7)$$

เมื่อ V_i คือ แรงดันที่ขั้ว

2.4 บอร์ดอาดูโน้

อาดูโน้ คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบโอเพนซอร์ส คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ตัวบอร์ดอาดูโน้ ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือ โปรแกรมต่อได้อีกด้วย ความง่ายของบอร์ดอาดูโน้ ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือ ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขาอินพุตและเอาต์พุตของบอร์ดอาดูโน้รุ่น Mega 2560 R3 ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งบอร์ดอาดูโน้ มีส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์คือ บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ โดยบอร์ดอาดูโน้เองก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ ในแต่ละรุ่นมีความแตกต่างกันในเรื่องขนาดของบอร์ดหรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ, แรงดันไฟที่ใช้, ประสิทธิภาพของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นต้น



รูปที่ 2.3 บอร์ดอาดูโน้รุ่น Mega 2560 R3

ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์คือ ภาษาอาดูโน้เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์มีไวยากรณ์แบบเดียวกับภาษาซี ซึ่งอาดูโน้ IDE เป็นเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมด้วยภาษาอาดูโน้ คอมไพล์โปรแกรมและอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด

บอร์ดคอมพิวเตอร์ มีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายต่อการเรียนรู้และใช้งานเนื่องจากได้มีการออกแบบคำสั่งต่างๆ ขึ้นมาสนับสนุนการใช้งานด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อนและมีข้อดีกว่าบอร์ดสำเร็จรูปตัวอื่นคือเป็นแบบโอเพนฮาร์ดแวร์ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้านและอาคูโนใช้งานง่ายสำหรับมือใหม่

2.5 จอแสดงผลแอลซีดี

ในการควบคุมหรือสั่งงานผ่านจอแสดงผลแอลซีดี (Liquid Crystal Display, LCD) นั้นมีตัวควบคุม (Controller) รวมไว้ในตัว ซึ่งสามารถส่งรหัสคำสั่งควบคุมการทำงานของจอแสดงผลแอลซีดีผ่านบอร์ดคอมพิวเตอร์ โดยในส่วนของการทำงานควบคุมจอแสดงผลแอลซีดีรุ่น 20x4 LCD Module Control Using C++ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

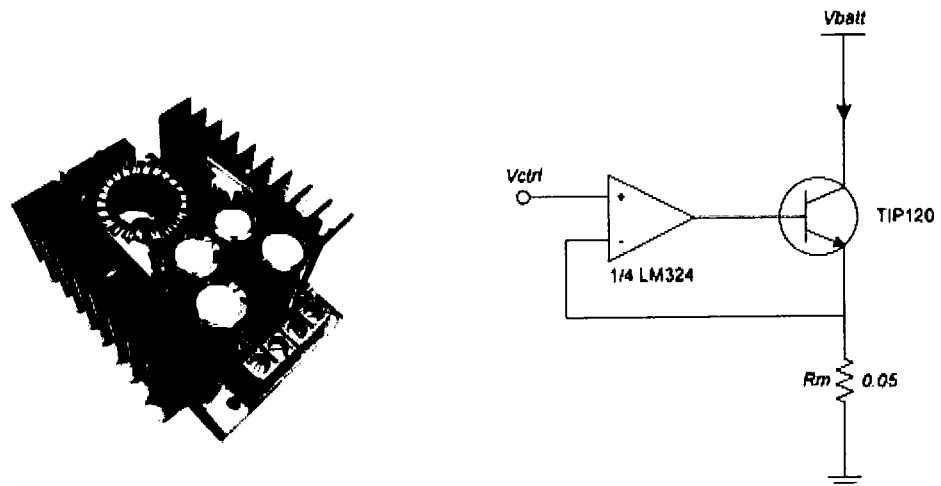


รูปที่ 2.4 จอแสดงผลแอลซีดี

ที่มา: <https://goo.gl/yZcEP>

2.6 หลักการดึงกระแสที่

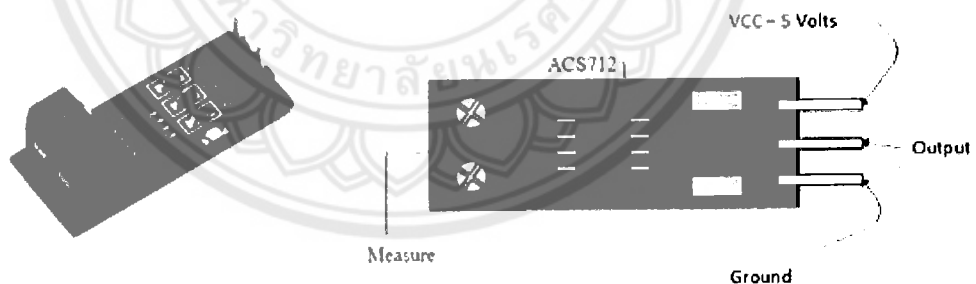
ในการทดสอบหาค่าสถานะประจุเพื่อประเมินสภาพแบตเตอรี่นั้นจำเป็นต้องตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันขณะแบตเตอรี่จ่ายโหลดซึ่งขณะที่แบตเตอรี่จ่ายโหลดนั้นวงจรควบคุมกระแสคงที่นั้นจำเป็นต้องวัดค่ากระแสและแรงดันจากแบตเตอรี่เนื่องจากวงจรควบคุมกระแสคงที่นั้นจะทำให้แบตเตอรี่จ่ายโหลดค่อนข้างไม่เปลี่ยนแปลงทำให้การวัดแรงดันและกระแสนั้นจะได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น โดยวงจรควบคุมกระแสคงที่แสดงดังรูปที่ 2.5 โดยจากวงจรภายในจะประกอบด้วยตัวต้านทานวัดค่า ทรานซิสเตอร์เบอร์ TIP120 และออปแอมป์ซึ่งวงจรควบคุมกระแสคงที่จะใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวคุม โดยให้แรงเคลื่อนตกคร่อมขาเบสกับอิมิตเตอร์เป็นแรงเคลื่อนที่ใช้สำหรับจำกัดกระแส ค่ากระแสที่จำกัดไว้ก็คือค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน วัดค่า ข้อดีของวงจรมีคือสามารถับกระแสสูงได้โดยการเลือกทรานซิสเตอร์ขนาดใหญ่ขึ้นและรับค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวมันได้มาก



รูปที่ 2.5 วงจรควบคุมกระแสคงที่และวงจรรภายในของวงจรควบคุมกระแสคงที่

2.7 วงจรตรวจวัดกระแส

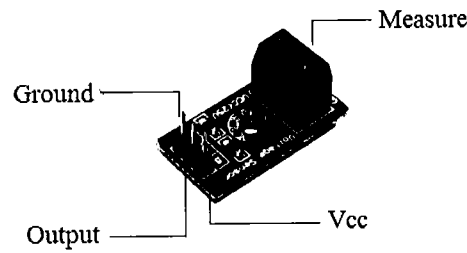
โมดูลวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ให้สัญญาณออกมาเป็นอนาล็อกใช้ต่อร่วมกับบอร์ดอาดูโน้ได้ในช่องอนาล็อก โมดูลนี้ใช้ IC เบอร์ ACS712-05 เป็นวงจรตรวจสอบวัดกระแส โดยวงจรตรวจวัดกระแสแสดงดังรูปที่ 2.6 โดย ACS712-05 จะมีความสามารถในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ในช่วง 20 แอมแปร์



รูปที่ 2.6 วงจรตรวจวัดกระแสและวงจรรภายในของวงจรตรวจวัดกระแส

2.8 วงจรตรวจวัดแรงดัน

โมดูลนี้ใช้หลักการวัดแรงดันไฟฟ้าทางอนาล็อกของบอร์ดอาดูโน้ ที่สามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 0-5 โวลต์ออกมาเป็นค่าดิจิทัล โมดูลนี้ใช้วงจรแบ่งแรงดันทำให้สามารถวัดไฟได้สูงสุดถึง 24.9 โวลต์ โดยใช้ไฟเลี้ยงที่ 5 โวลต์ บอร์ดอาดูโน้ ใช้ไฟเลี้ยงที่ 3.3 โวลต์จะวัดไฟได้สูงสุดที่ 16.5 โวลต์โดยวงจรตรวจวัดแรงดันแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรตรวจวัดแรงดัน

2.9 โปรแกรมวิซวลเบสิก

วิซวลเบสิก เป็นภาษาโปรแกรมแบบที่ติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้ภาพสัญลักษณ์ สร้างโดยบริษัท ไมโครซอฟท์ ภาษานี้เป็นหนึ่งในภาษาโปรแกรมยอดนิยมสำหรับโปรแกรมที่ใช้ในด้านธุรกิจ ซึ่งพัฒนามาจากภาษาเบสิก และยังได้พัฒนาต่อเป็นภาษาวิซวลเบสิกคอปเน็ต จุดเด่นอีกอย่างหนึ่งของวิซวลเบสิก คือ นักเขียนโปรแกรมสามารถนำโปรแกรมประยุกต์หลายๆ โปรแกรมมารวมกันในโปรแกรมเดียว และยังสามารถประยุกต์ใช้คอมโพเนนต์ของวิซวลเบสิกที่มีเตรียมไว้ให้แล้วได้อีกด้วย

วิซวลเบสิก เป็นภาษาคอมพิวเตอร้ (Programming Language) โดยตัวภาษาเองมีรากฐานมาจากภาษาเบสิก ซึ่งมีจุดเด่นคือผู้ที่ไม่มีพื้นฐานเรื่องการเขียน โปรแกรมเลขก็สามารถเรียนรู้และนำไปใช้งานได้โดยง่ายตายและรวดเร็ว

ข้อดีของการเขียนโปรแกรมวิซวลเบสิก

1. ง่ายต่อการเรียนรู้เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น ทั้งในเรื่องไวยากรณ์ของภาษาเองและเครื่องมือการใช้งาน
2. ความนิยมของตัวภาษา โดยอาจกล่าวได้ว่าภาษาเบสิก นั้นเป็นภาษาที่คนเรียนรู้และใช้งานมากที่สุด ในประวัติศาสตร์ของคอมพิวเตอร้
3. การพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพในด้านของตัวภาษาและความเร็วของการประมวลผล และในเรื่องของความสามารถใหม่ๆ เช่น การติดต่อกับระบบฐานข้อมูล การเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
4. ผู้พัฒนาสำคัญของวิซวลเบสิก คือ บริษัท ไมโครซอฟท์ ซึ่งจัดว่าเป็นยักษ์ใหญ่ของวงการคอมพิวเตอร้ในปัจจุบัน เราจึงสามารถมั่นใจได้ว่าวิซวลเบสิกจะยังมีการพัฒนา ปรับปรุงและคงอยู่ไปอีกนาน

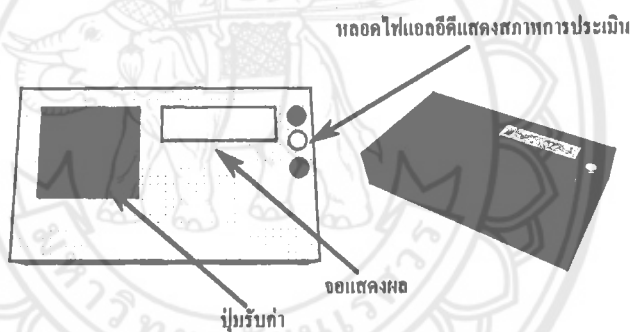
บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่

ในบทนี้จะอธิบายถึงการควบคุมการทำงานของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ การออกแบบโครงสร้างของเครื่องและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่อง

3.1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่

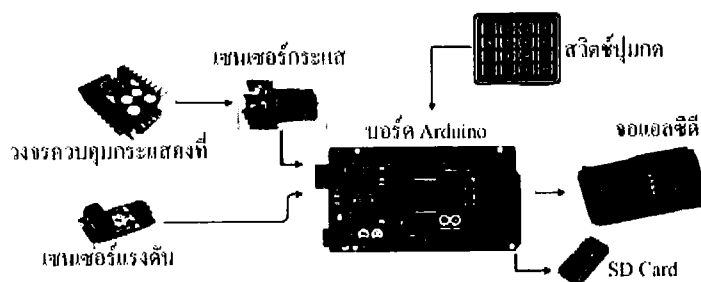
การออกแบบโครงสร้างของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ ซึ่งการออกแบบโครงสร้างนั้นใช้วัสดุที่มีรูปร่างที่แน่นอน โดยตัวเครื่องจะมีรูปทรงเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใช้กล่องพลาสติกเป็นโครงสร้างตัวเครื่องที่มีขนาดความกว้าง 13 เซนติเมตร ความยาว 19 เซนติเมตร และความสูง 6.5 เซนติเมตร แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



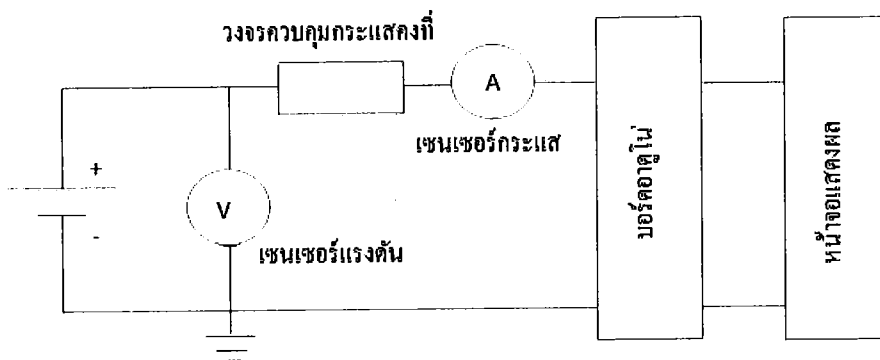
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่

3.2 ส่วนประกอบของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่

อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อภายในเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ทั้งหมดนั้นแสดงดังรูปที่ 3.2 และจะมีการต่อวงจรภายในดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่



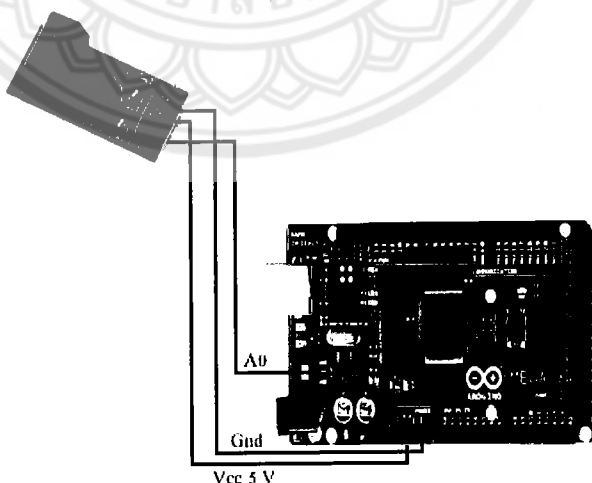
รูปที่ 3.3 วงจรภายในเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่

3.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่

เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่จะใช้บอร์ดอาดูโนเป็นส่วนประมวลผลสำคัญและจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

3.3.1 การเชื่อมต่อเซนเซอร์แรงดันกับบอร์ดอาดูโน

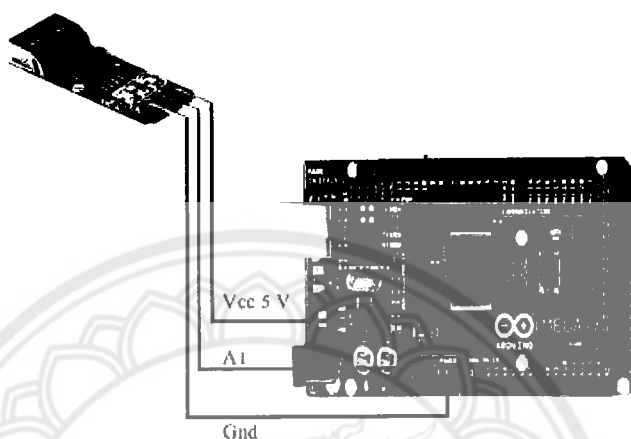
การเชื่อมต่อเซนเซอร์แรงดันกับบอร์ดอาดูโนดังรูปที่ 3.4 โดยขา Gnd ของเซนเซอร์แรงดันเชื่อมต่อกับขา Gnd ของบอร์ดอาดูโนและขาเอาต์พุตของเซนเซอร์แรงดันเชื่อมต่อกับขา A0 ของบอร์ดอาดูโนและขา Vcc ของเซนเซอร์แรงดันต่อกับขาไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ของบอร์ดอาดูโน



รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่อเซนเซอร์แรงดัน

3.3.2 การเชื่อมต่อเซนเซอร์กระแสกับบอร์ดอาดูโน้

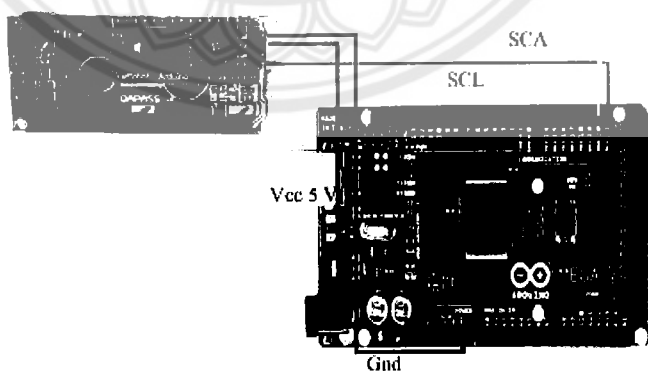
การเชื่อมต่อเซนเซอร์กระแสกับบอร์ดอาดูโน้ ดังรูปที่ 3.5 โดยขา Gnd ของเซนเซอร์กระแสเชื่อมต่อกับขา Gnd ของบอร์ดอาดูโน้และขาเอาต์พุตของเซนเซอร์กระแสเชื่อมต่อกับขา A1 ของบอร์ดอาดูโน้และขา Vcc ของเซนเซอร์กระแสต่อกับขาไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ของบอร์ดอาดูโน้



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อเซนเซอร์กระแส

3.3.3 การเชื่อมต่อจอแอลซีดีกับบอร์ดอาดูโน้

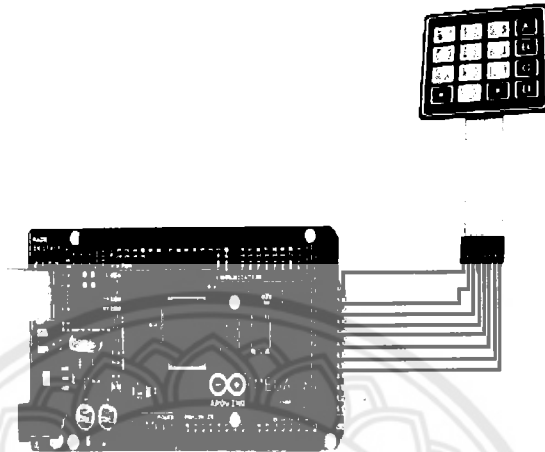
การเชื่อมต่อหน้าจอลซีดีกับบอร์ดอาดูโน้ ดังรูปที่ 3.6 โดยขา Gnd ของหน้าจอลซีดีเชื่อมต่อกับขา Gnd ของบอร์ดอาดูโน้และขาเอาต์พุตของหน้าจอลซีดี คือ ขา SCL และขา SCA เชื่อมต่อกับขา SCL และขา SCA ของบอร์ดอาดูโน้ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อจอแอลซีดี

3.3.4 การเชื่อมต่อสวิตช์ปุ่มกดกับบอร์ดอาดูโน้

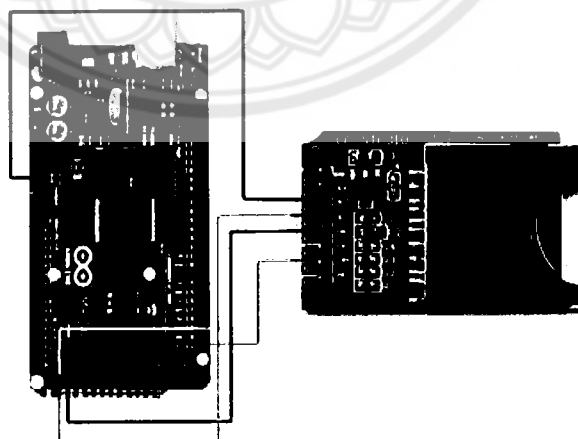
การเชื่อมต่อสวิตช์ปุ่มกดกับบอร์ดอาดูโน้ดังรูปที่ 3.7 โดยจะเชื่อมต่อขาทั้งหมดของสวิตช์ปุ่มกดกับขา 31, 33, 35, 37, 39, 41, 43 และ 45 ของบอร์ดอาดูโน้ตามลำดับ



รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อสวิตช์ปุ่มกด

3.3.5 การเชื่อมต่อโมดูลเอสดีการ์ดกับบอร์ดอาดูโน้

การเชื่อมต่อโมดูลเอสดีการ์ดกับบอร์ดอาดูโน้ ดังรูปที่ 3.8 โดยจะเชื่อมต่อขาและขา Vcc ของโมดูลเอสดีการ์ดต่อกับขาไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ของบอร์ดอาดูโน้ขา Gnd ของโมดูลเอสดีการ์ดต่อกับขา Gnd ของบอร์ดอาดูโน้และขาเอาต์พุตของโมดูลเอสดีการ์ด คือ ขา MISO ขา MOSI ขา SCK และขา CSS จะต่อกับขา 50, 51, 52, และ 53 ของบอร์ดอาดูโน้ตามลำดับ



รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อโมดูลเอสดีการ์ด

3.4 การประกอบเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่

หลังจากออกแบบเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่เรียบร้อยแล้วจึงได้ประกอบแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน แสดงได้ดังรูปที่ 3.9 โดยจะมีการประกอบอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกันตามหมายเลขดังนี้

- 1) บอร์ดอาคูโน้
- 2) เซนเซอร์กระแส
- 3) เซนเซอร์แรงดัน
- 4) วงจรควบคุมกระแสคิซาร์จกึ่งที่
- 5) โมดูลเอสดีการ์ด
- 6) หน้าจอแอลซีดี
- 7) สวิตช์ปุ่มกด



รูปที่ 3.9 การประกอบเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่

3.5 การใช้งานเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่

การใช้งานเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่นั้นผู้ใช้สามารถเริ่มใช้เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ได้ด้วยการนำสายโพรบทั้งขั้วบวกและลบไปคิบที่ขั้วของแบตเตอรี่ดังรูปที่ 3.10



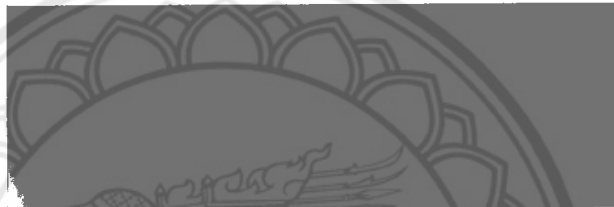
รูปที่ 3.10 เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ขณะเริ่มทำงาน

หลังจากนั้นที่หน้าจอของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่จะแสดงข้อความดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 รูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเมื่อเริ่มต้นการทำงาน

จากนั้นกดปุ่ม D ที่เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่เพื่อให้เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่เริ่มทำการประมวลผลระหว่างนั้นที่หน้าจอแอลซีดีจะแสดงผลดังรูปที่ 3.12

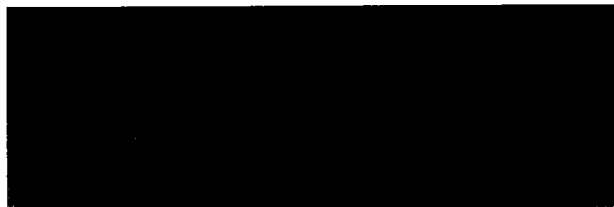


รูปที่ 3.12 รูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเมื่อกำลังประมวลผล

เมื่อประมวลผลเสร็จแล้วเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่จะแสดงผลข้อมูลชุดแรกที่ได้ผ่านหน้าจอแอลซีดีโดยอัตโนมัติดังรูปที่ 3.13 จากนั้นให้ผู้ใช้กดปุ่ม C เพื่อเลื่อนไปดูผลข้อมูลชุดต่อไปดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 รูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเมื่อแสดงผลข้อมูลชุดแรก



รูปที่ 3.14 รูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเมื่อแสดงผลข้อมูลชุดที่สอง

จากนั้นผู้ใช้สามารถกดปุ่ม A เพื่อทำการบันทึกประวัติของแบตเตอรี่ไว้ได้โดยหน้าจอแอลซีดีจะแสดงข้อมูลดังรูปที่ 3.15 เมื่อผู้ใช้ทำการบันทึกเสร็จแล้วจะเป็นการจบการทำงานของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่



รูปที่ 3.15 รูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเมื่อทำการบันทึกข้อมูล

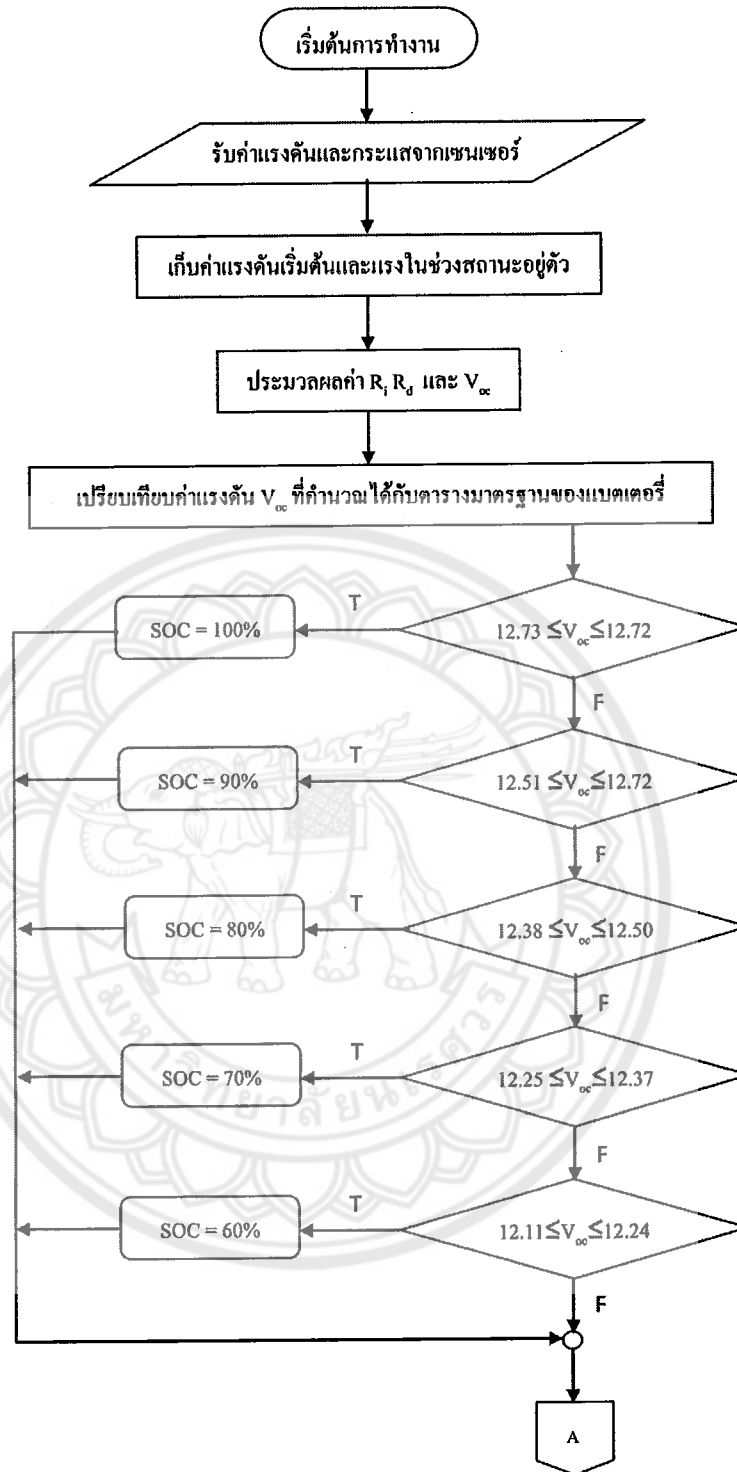
เมื่อเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ได้ทำงานเสร็จแล้วจะมีการตั้งค่าไว้ หน้าจอแอลซีดีจะแสดงข้อความดังรูปที่ 3.16



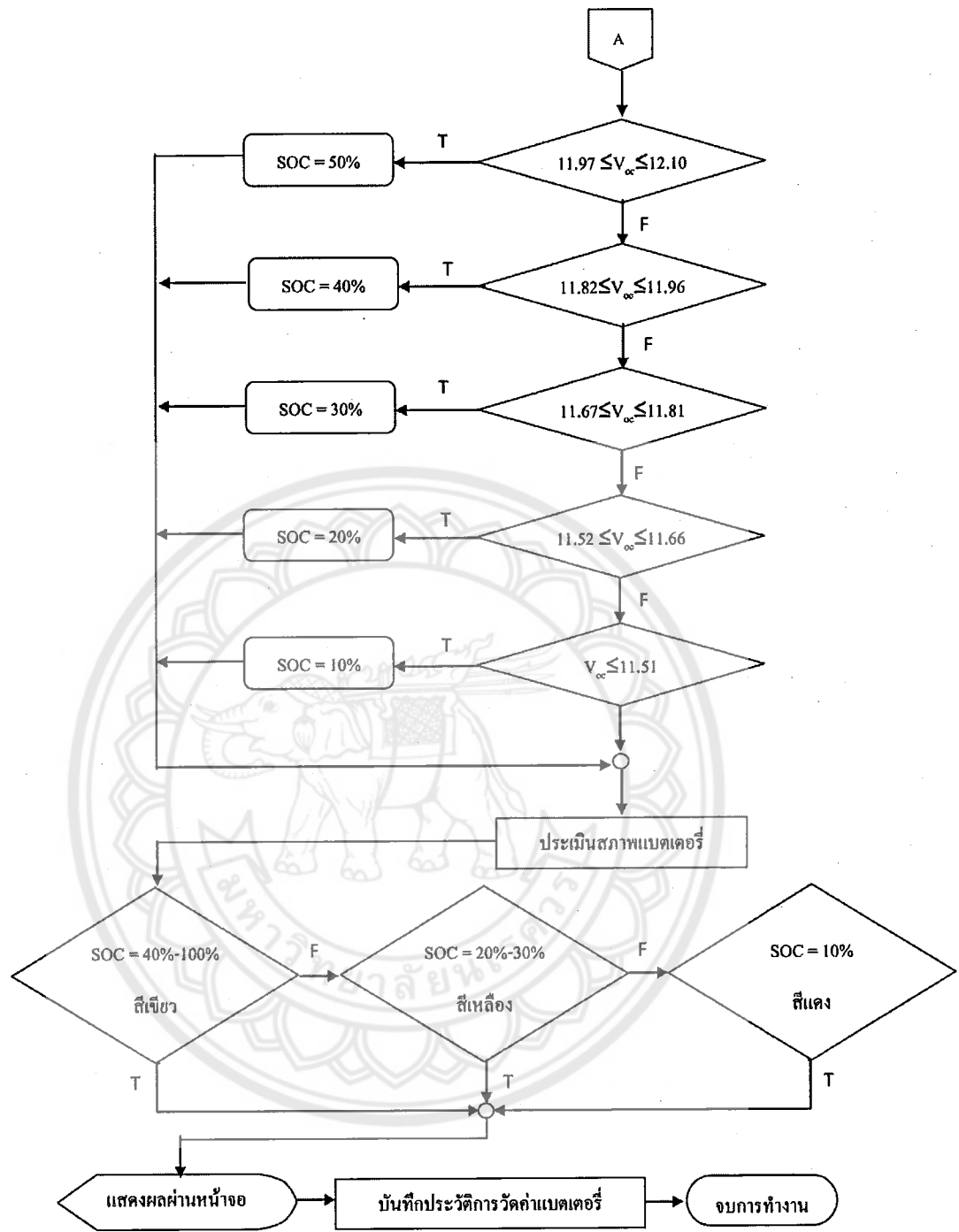
รูปที่ 3.16 รูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเมื่อเสร็จสิ้นการทำงาน

3.6 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่

ในการออกแบบขั้นตอนการทำงานของเครื่องประเมินสภาพนั้น เป็นการออกแบบการควบคุมการทำงานตั้งแต่เริ่มจนถึงขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่



รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

จากการศึกษาทฤษฎี หลักการที่เกี่ยวข้องและสร้างเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ ในบทนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

- 1) การทดสอบเพื่อหาค่ากระแสดีชาร์จคงที่และช่วงเวลาการดีชาร์จที่เหมาะสม
- 2) การทดสอบเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่เมื่อทดสอบกับแบตเตอรี่ที่สภาพต่างๆ

4.1 การทดสอบเพื่อหาค่ากระแสดีชาร์จคงที่และช่วงเวลาดีชาร์จที่เหมาะสม

เนื่องจากขณะทำการดีชาร์จแบตเตอรี่ แรงดันของแบตเตอรี่จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นจึงออกแบบการทดลองเพื่อหาค่ากระแสที่คงที่และช่วงเวลาในการดีชาร์จที่เหมาะสมแก่การหาค่าแรงดันขณะเปิดวงจร โดยจะกำหนดกระแสคงที่ 3 ค่า คือ 3 แอมแปร์ 4 แอมแปร์ และ 5 แอมแปร์ โดยใช้วงจรควบคุมกระแสคงที่ในการควบคุมกระแสขณะดีชาร์จให้คงที่ จากนั้นจะดูช่วงเวลาในการดีชาร์จ 180 วินาทีว่าช่วงตั้งแต่เริ่มต้นจนถึง 180 วินาที ช่วงเวลาใดจะเหมาะสมซึ่งในการทดลองจะใช้แบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ขนาด 12 โวลต์ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์

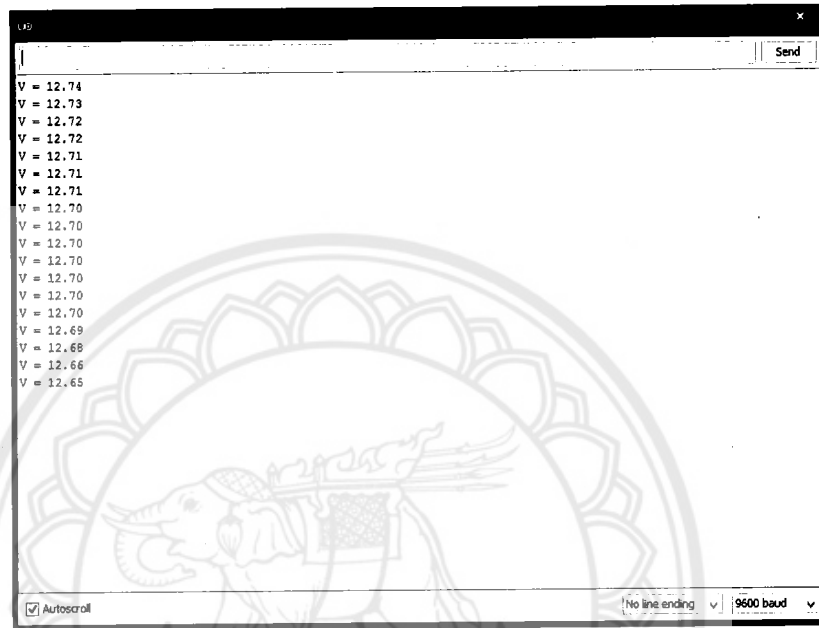
19220431



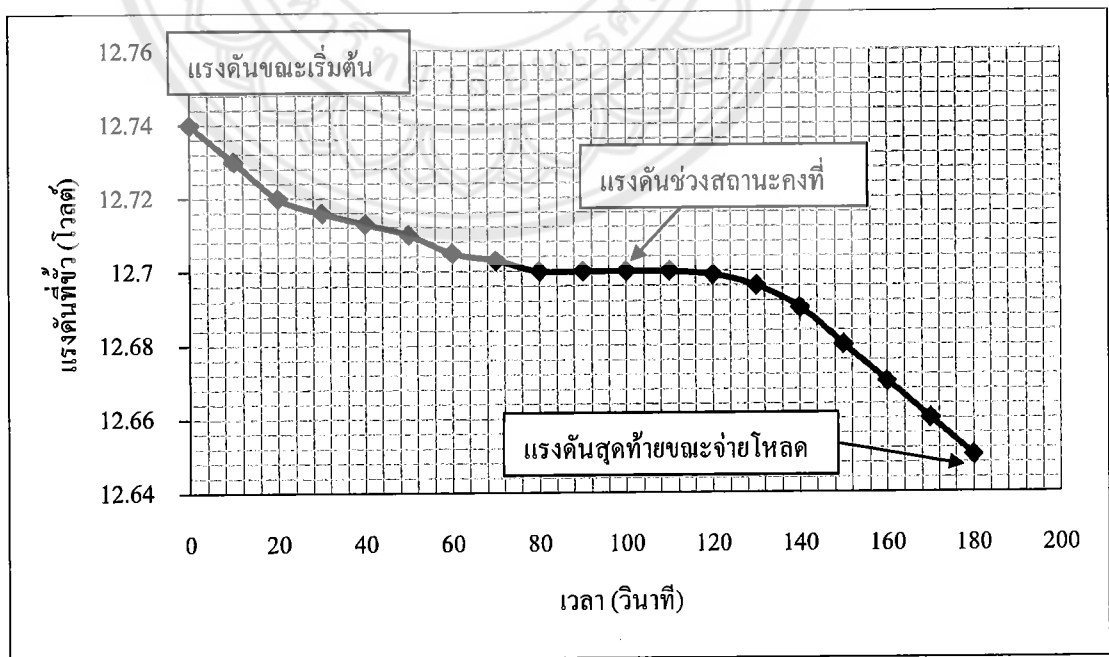
สำนักหอสมุด

4.1.1 การทดสอบกระแสดิซาร์จที่ 3 แอมแปร์

ทำการทดสอบกระแสดิซาร์จที่ 3 โดยจะทดสอบด้วยเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ซึ่งจะทดสอบโดยทำการดิซาร์จแบตเตอรี่เพื่อดูผลตอบสนองแรงดันของแบตเตอรี่เป็นทุกๆ 10 วินาที โดยจะแสดงแรงดันที่ได้ดังรูปที่ 4.2 และนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ค่าแรงดันขณะดิซาร์จที่กระแส 3 แอมแปร์



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและแรงดันขณะดิซาร์จที่กระแส 3 แอมแปร์

เมื่อวิเคราะห์จากผลแรงดันที่วัดได้และกราฟจะสามารถคำนวณหาค่าแรงดันเปิดวงจรได้
 ดังนี้ ตัวต้านทานภายใน R_i สามารถหาได้จากแรงดันที่ลดลง เมื่อเริ่มต้นการดีสชาร์จด้วยกระแส
 คงที่ โดยจะสามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$R_i = \frac{\Delta V}{I}$$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟจะได้ค่า ΔV ดังนี้

$$\Delta V = \text{แรงดันขณะเริ่มต้น} - \text{แรงดันสุดท้ายขณะจ่ายโหลด} = 12.74 - 12.65 = 0.09 \text{ โวลต์}$$

จากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า R_i ได้ดังนี้

$$R_i = \frac{0.09}{3} = 0.03 \Omega$$

ตัวต้านทานภายใน R_d สามารถหาได้จากแรงดันที่ลดลง เมื่อเริ่มต้นการดีสชาร์จด้วย
 กระแสคงที่ โดยจะสามารถหาได้จากสมการที่ 2.5

$$R_d = \frac{\Delta V_s}{I}$$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟจะได้ค่า ΔV_s ดังนี้

$$\Delta V_s = \text{แรงดันขณะเริ่มต้น} - \text{แรงดันช่วงสถานะคงที่} = 12.74 - 12.7 = 0.04 \text{ โวลต์}$$

จากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า R_d ได้ดังนี้

$$R_d = \frac{0.04}{3} = 0.0133 \Omega$$

จากนั้นนำค่าความต้านทานมาคำนวณหาแรงดันขณะเปิดวงจรจากสมการที่ 2.7

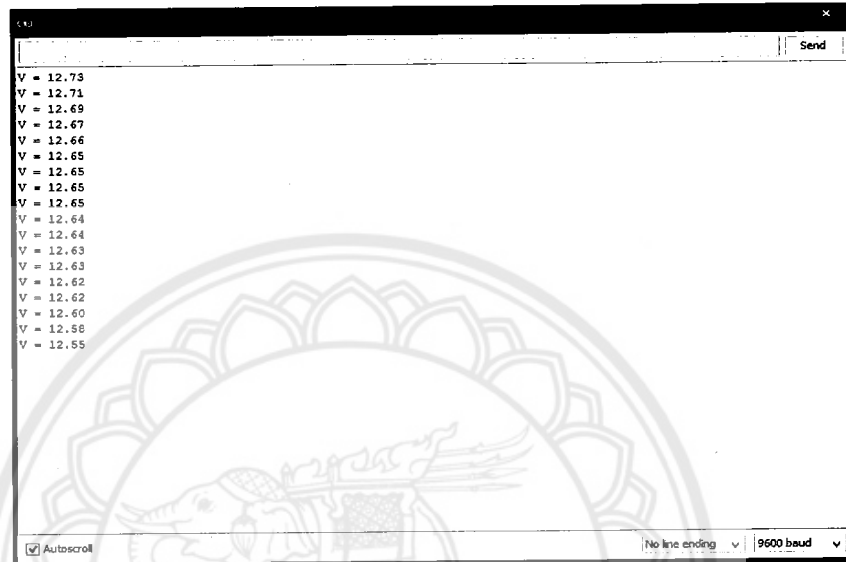
$$V_{oc} = V_t + (IR_i) + (IR_d)$$

จะได้

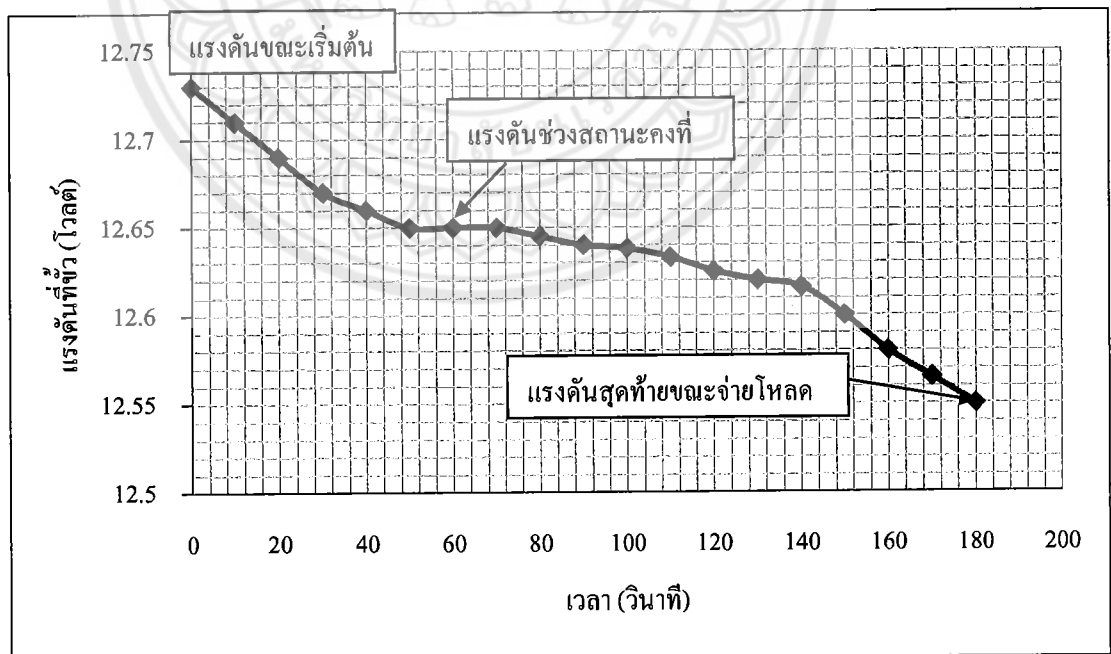
$$V_{oc} = 12.65 + (3 \times 0.03) + (3 \times 0.0133) = 12.78 \text{ โวลต์}$$

4.1.2 การทดสอบกระแสดิซาร์จที่ 4 แอมแปร์

ทำการทดสอบกระแสดิซาร์จที่ 4 แอมแปร์ โดยจะทดสอบด้วยเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ซึ่งจะทดสอบโดยทำการดิซาร์จแบตเตอรี่เพื่อดูผลตอบสนองแรงดันของแบตเตอรี่เป็นทุกๆ 10 วินาทีโดยจะแสดงแรงดันที่ได้ดังรูปที่ 4.4 และนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 ค่าแรงดันขณะดิซาร์จที่กระแส 4 แอมแปร์



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและแรงดันขณะดิซาร์จที่กระแส 4 แอมแปร์

เมื่อวิเคราะห์จากผลแรงดันที่วัดได้และกราฟจะสามารถคำนวณหาค่าแรงดันเปิดวงจรได้
 ดังนี้ ตัวต้านทานภายใน R_i สามารถหาได้จากแรงดันที่ลดลง เมื่อเริ่มต้นการดีสชาร์จด้วยกระแส
 คงที่ โดยจะสามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$R_i = \frac{\Delta V}{I}$$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟจะได้ค่า ΔV ดังนี้

$$\Delta V = \text{แรงดันขณะเริ่มต้น} - \text{แรงดันขณะจ่ายโหลด} = 12.73 - 12.55 = 0.18 \text{ โวลต์}$$

จากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า R_i ได้ดังนี้

$$R_i = \frac{0.18}{4} = 0.045 \Omega$$

ตัวต้านทานภายใน R_d สามารถหาได้จากแรงดันที่ลดลง เมื่อเริ่มต้นการดีสชาร์จด้วย
 กระแสคงที่ โดยจะสามารถหาได้จากสมการที่ 2.5

$$R_d = \frac{\Delta V_s}{I}$$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟจะได้ค่า ΔV_s ดังนี้

$$\Delta V_s = \text{แรงดันขณะเริ่มต้น} - \text{แรงดันช่วงสถานะคงที่} = 12.73 - 12.65 = 0.08 \text{ โวลต์}$$

จากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า R_d ได้ดังนี้

$$R_d = \frac{0.08}{4} = 0.02 \Omega$$

จากนั้นนำค่าความต้านทานมาคำนวณหาแรงดันขณะเปิดวงจรจากสมการที่ 2.7

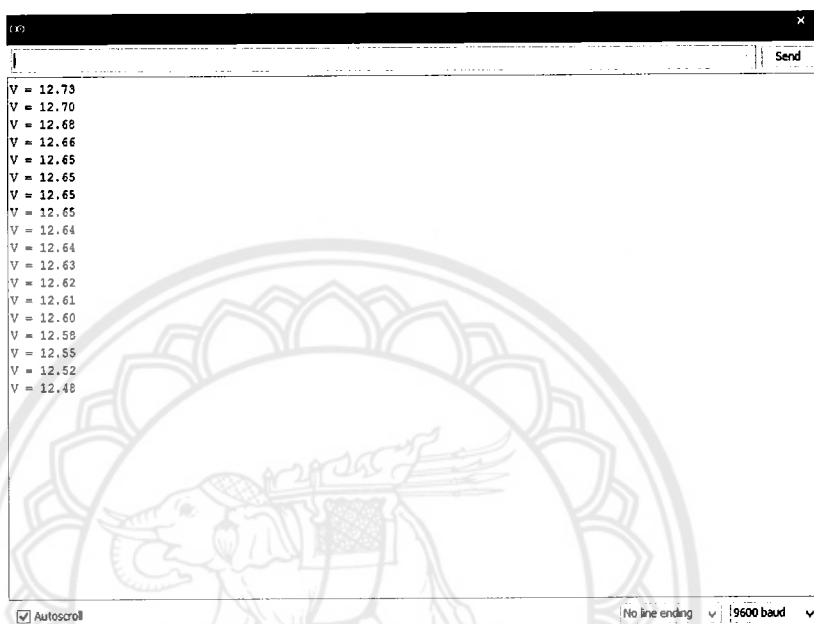
$$V_{oc} = V_t + (IR_i) + (IR_d)$$

จะได้

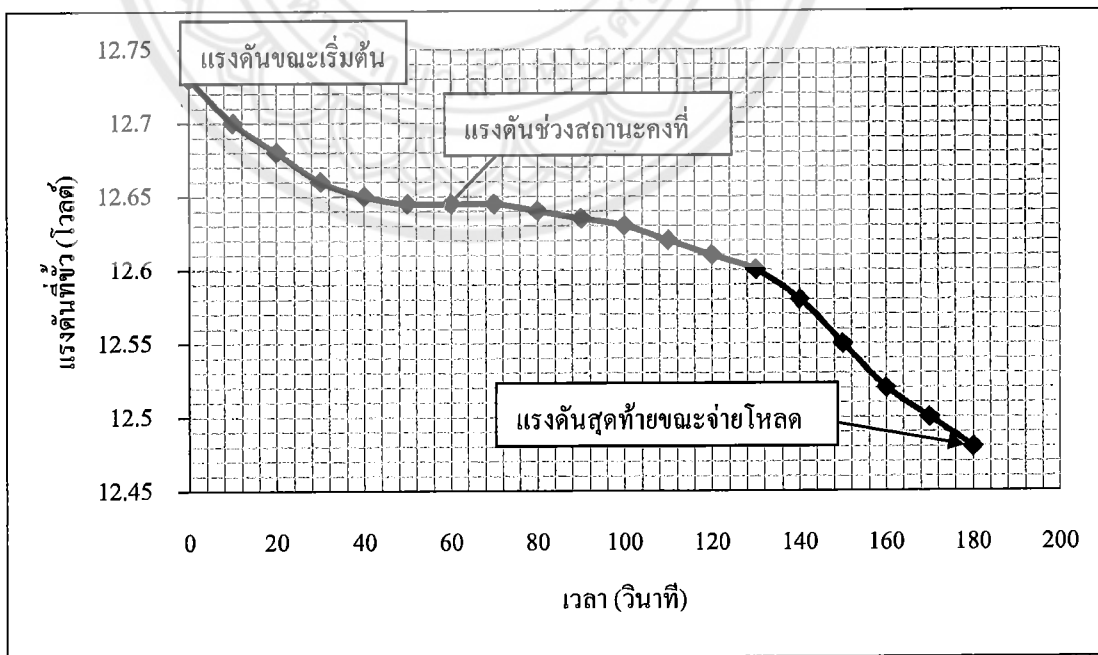
$$V_{oc} = 12.55 + (4 \times 0.045) + (4 \times 0.02) = 12.81 \text{ โวลต์}$$

4.1.3 การทดสอบกระแสคิซาร์จที่ 5 แอมแปร์

ทำการทดสอบกระแสคิซาร์จที่ 5 แอมแปร์ โดยจะทดสอบด้วยเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ซึ่งจะทดสอบ โดยทำการคิซาร์จแบตเตอรี่เพื่อดูผลตอบสนองแรงดันของแบตเตอรี่เป็นทุกๆ 10 วินาทีโดยจะแสดงแรงดันที่ได้ดังรูปที่ 4.6 และนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ค่าแรงคั้นขณะคิซาร์จที่กระแส 5 แอมแปร์



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและแรงคั้นขณะคิซาร์จที่กระแส 5 แอมแปร์

เมื่อวิเคราะห์จากผลแรงดันที่วัดได้และกราฟจะสามารถคำนวณหาค่าแรงดันเปิดวงจรได้
 ดังนี้ ตัวต้านทานภายใน R_i สามารถหาได้จากแรงดันที่ลดลง เมื่อเริ่มต้นการดีสชาร์จด้วยกระแส
 คงที่ โดยจะสามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$R_i = \frac{\Delta V}{I}$$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟจะได้ค่า ΔV ดังนี้

$$\Delta V = \text{แรงดันขณะเริ่มต้น} - \text{แรงดันขณะจ่ายโหลด} = 12.73 - 12.48 = 0.25 \text{ โวลต์}$$

จากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า R_i ได้ดังนี้

$$R_i = \frac{0.18}{5} = 0.05 \Omega$$

ตัวต้านทานภายใน R_d สามารถหาได้จากแรงดันที่ลดลง เมื่อเริ่มต้นการดีสชาร์จด้วย
 กระแสคงที่ โดยจะสามารถหาได้จากสมการที่ 2.5

$$R_d = \frac{\Delta V_s}{I}$$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟจะได้ค่า ΔV_s ดังนี้

$$\Delta V_s = \text{แรงดันขณะเริ่มต้น} - \text{แรงดันช่วงสถานะคงที่} = 12.73 - 12.64 = 0.09 \text{ โวลต์}$$

จากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า R_d ได้ดังนี้

$$R_d = \frac{0.08}{5} = 0.018 \Omega$$

จากนั้นนำค่าความต้านทานมาคำนวณหาแรงดันขณะเปิดวงจรสมการที่ 2.7

$$V_{oc} = V_i + (IR_i) + (IR_d)$$

จะได้

$$V_{oc} = 12.55 + (5 \times 0.05) + (5 \times 0.018) = 12.81 \text{ โวลต์}$$

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์และกราฟที่ได้จากการทดลอง

พารามิเตอร์	ที่กระแส 3 แอมแปร์	ที่กระแส 4 แอมแปร์	ที่กระแส 5 แอมแปร์
V_{oc} (โวลต์)	12.78	12.81	12.82
R_d (โอห์ม)	0.019	0.02	0.018
R_i (โอห์ม)	0.033	0.045	0.05
τ (วินาที)	90	60	50
SOC (%)	100%	100%	100%

จากรูปที่ 4.1 พบว่า การทดลองเพื่อทดสอบค่ากระแสดีสชาร์จที่คงและช่วงเวลากการดีสชาร์จที่เหมาะสมเมื่อนำค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์ลงในตารางที่ 4.1 เพื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่า ค่ากระแสดีสชาร์จที่ 4 แอมแปร์ และ 5 แอมแปร์ จะเห็นผลในการดีสชาร์จใกล้เคียงกันโดยค่า 5 แอมแปร์ จะเห็นค่า τ ในช่วงเวลาที่สั้นกว่าและช่วงเวลาในการดีสชาร์จจากกราฟจะเห็นว่าใช้ช่วงเริ่มต้นถึง 120 วินาทีกราฟยังไม่สามารถเห็นการดีสชาร์จได้ชัดเจนแต่ในช่วงเวลา 180 วินาทีจะเริ่มเห็นกราฟในการดีสชาร์จได้

4.2 การทดสอบเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่เมื่อนำไปประเมินสภาพแบตเตอรี่ที่สภาพต่างๆ

ในการทดสอบประเมินสภาพแบตเตอรี่ โดยจะนำเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ไปประเมินแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ขนาด 12 โวลต์ที่สภาพต่าง ๆ นั้น ซึ่งจะทำการประเมินสภาพแบตเตอรี่ 4 ลูกตามรูปที่ 4.8 โดยจะแบ่งเป็น

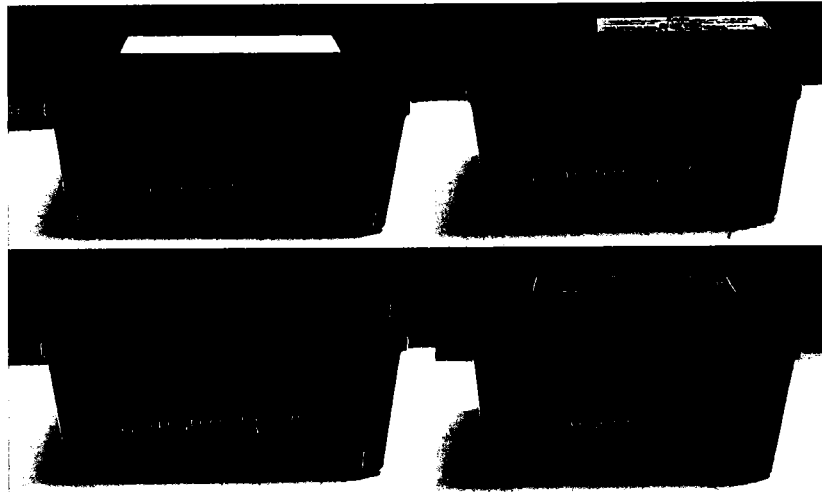
แบตเตอรี่ลูกที่ 1 คือ แบตเตอรี่ใหม่

แบตเตอรี่ลูกที่ 2 คือ แบตเตอรี่ใช้งานปกติระยะเวลา 4 เดือน

แบตเตอรี่ลูกที่ 3 คือ แบตเตอรี่ใช้งานปกติระยะเวลา 18 เดือน

แบตเตอรี่ลูกที่ 4 คือ แบตเตอรี่ใช้งานไม่ได้

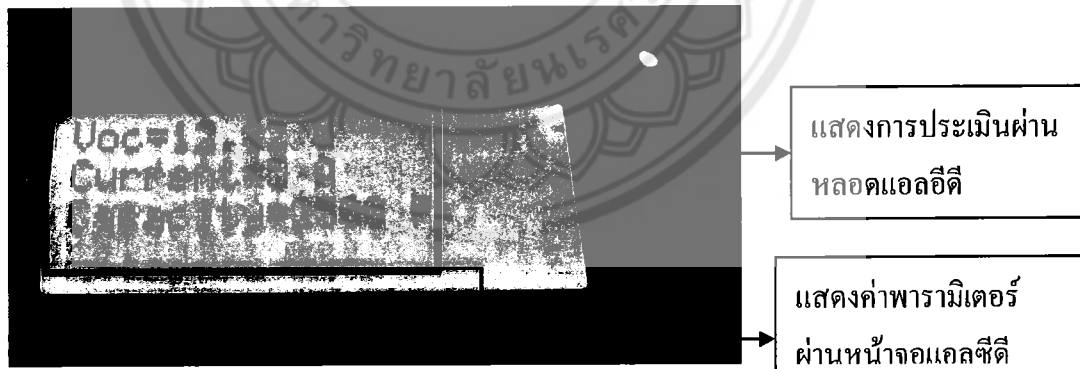
ซึ่งในการทดสอบแต่ละครั้งจะทำการทดสอบโดยชาร์จแบตเตอรี่ทดสอบทุกครั้ง



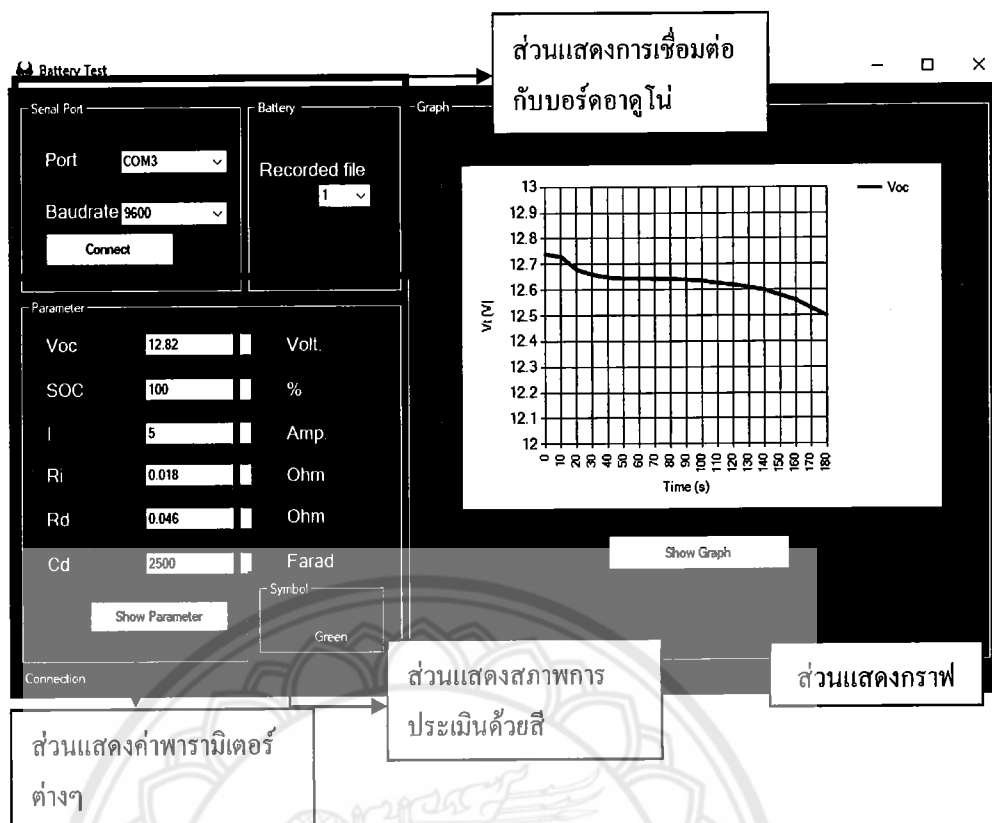
รูปที่ 4.8 แบตเตอรี่ที่ทำการทดสอบ

4.2.1 การทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 1 (แบตเตอรี่ใหม่)

ทำการทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 1 โดยทำการชาร์จแบตเตอรี่ก่อนจะทดสอบด้วยเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่จากนั้นจะทำการทดสอบแบตเตอรี่โดยทำการดิสชาร์จแบตเตอรี่เพื่อดูผลตอบสนองแรงดันของแบตเตอรี่โดยจะแสดงผลการทดสอบผ่านจอของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.9 และแสดงผลผ่านโปรแกรมประเมินสภาพแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.10 แล้วทำการเก็บผลการทดสอบได้ดังนี้



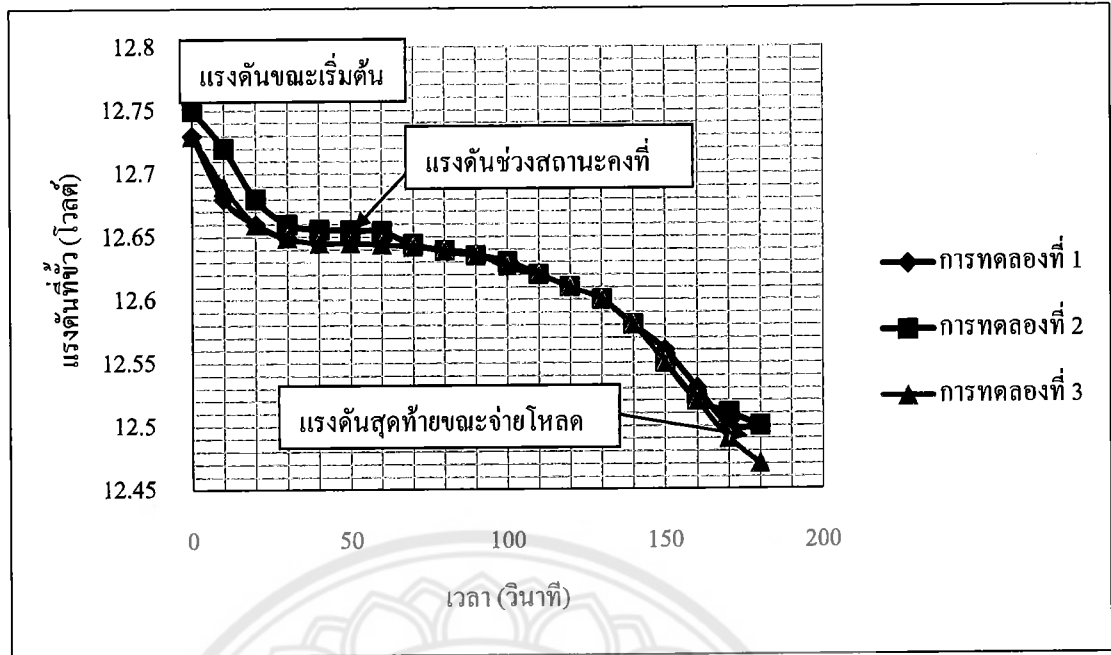
รูปที่ 4.9 แสดงผลผ่านเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่



รูปที่ 4.10 แสดงผลผ่าน โปรแกรมประเมินสภาพแบตเตอรี่

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองแบตเตอรี่ลูกที่ 1 (แบตเตอรี่ใหม่)

พารามิเตอร์	การทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
V_{oc} (โวลต์)	12.82	12.856	12.81	12.83
R_d (โอห์ม)	0.018	0.0212	0.018	0.019
R_i (โอห์ม)	0.046	0.048	0.05	0.048
I (แอมแปร์)	5	5	5	5
C (ฟารัด)	2500	2538.5	2500	2512.8
SOC (%)	100%	100%	100%	100%
ผลการประเมิน สภาพ (สี)	เขียว	เขียว	เขียว	เขียว



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าแรงดันขณะดิสชาร์จของแบตเตอรี่ลูกที่ 1

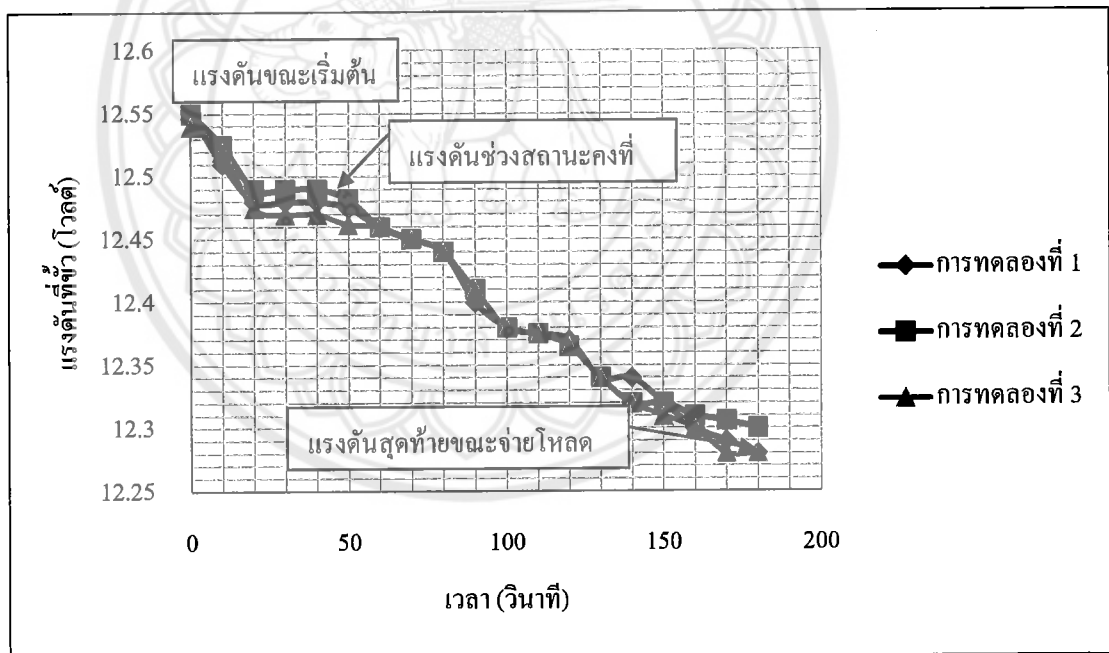
จากการทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 1 โดยดูจากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.11 จะเห็นผลการทดสอบว่าแบตเตอรี่ลูกที่ 1 มีค่าสถานะประจุ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแรงดันขณะเปิดวงจรเฉลี่ยที่ 12.83 โวลต์ ค่าประจุเฉลี่ยที่ 2512.8 ฟารัด และจะมีค่าความต้านทานภายในเฉลี่ยที่ 0.048 โอห์ม แสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่ลูกที่ 1 มีสภาพที่ดีพร้อมใช้งาน

4.2.2 การทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 2 (แบตเตอรี่ใช้งานปกติระยะเวลา 4 เดือน)

ทำการทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 2 โดยทำการชาร์จแบตเตอรี่ก่อนจะทดสอบด้วยเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่จากนั้นจะทำการทดสอบแบตเตอรี่โดยทำการดิสชาร์จแบตเตอรี่เพื่อดูผลตอบสนองแรงดันของแบตเตอรี่ แล้วทำการเก็บผลการทดสอบได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองแบตเตอรี่ลูกที่ 2
(แบตเตอรี่ที่มีการใช้งานปกติระยะเวลา 4 เดือน)

พารามิเตอร์	การทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
V_{oc} (โวลต์)	12.6	12.61	12.61	12.61
R_d (โอห์ม)	0.014	0.0135	0.014	0.0138
R_i (โอห์ม)	0.054	0.05	0.052	0.052
I (แอมแปร์)	5	5	5	5
C (ฟารัด)	2142.9	2222.2	2142.9	2169.3
SOC (%)	90%	90%	90%	90%
ผลการประเมิน สภาพ (สี)	เขียว	เขียว	เขียว	เขียว



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าแรงดันขณะคายประจุของแบตเตอรี่ลูกที่ 2

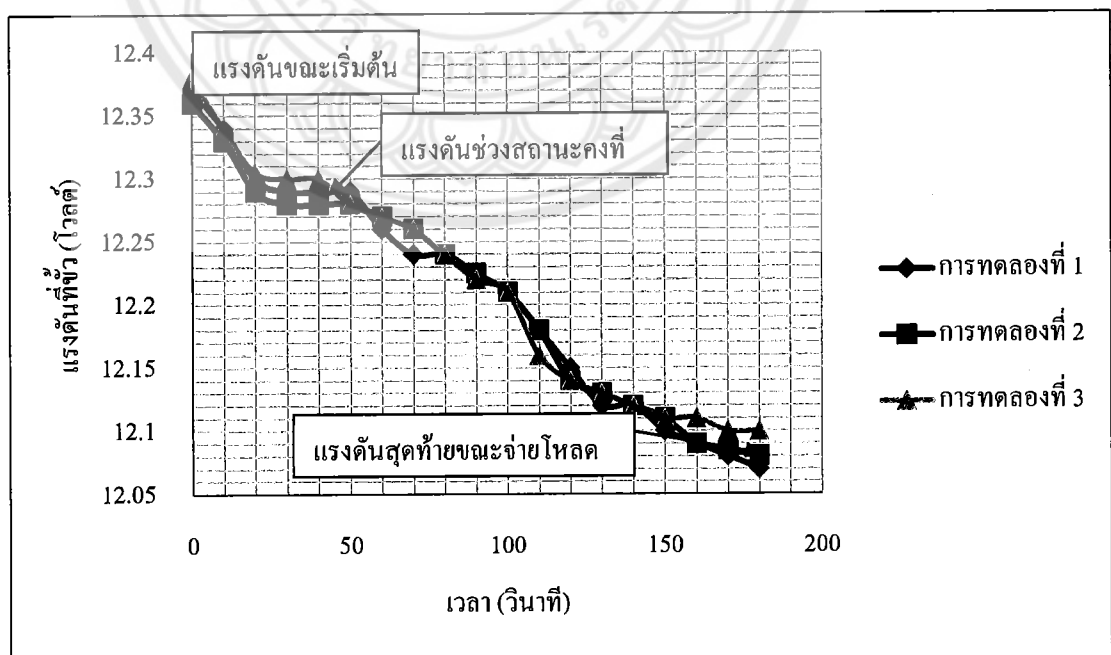
จากการทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 2 โดยดูจากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.12 จะเห็นผลการทดสอบว่าแบตเตอรี่ลูกที่ 2 มีค่าสถานะประจุเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแรงดันขณะเปิดวงจรเฉลี่ยที่ 12.61 โวลต์ ค่าประจุเฉลี่ยที่ 2169.3 ฟารัด และจะมีค่าความต้านทานภายในเฉลี่ยที่ 0.052 โอห์ม แสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่ลูกที่ 2 มีสภาพที่ดีพร้อมใช้งาน

4.2.3 การทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 3 (แบตเตอรี่ใช้งานปกติระยะเวลา 18 เดือน)

ทำการทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 3 โดยทำการชาร์จแบตเตอรี่ก่อนจะทดสอบด้วยเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่จากนั้นจะทำการทดสอบแบตเตอรี่โดยทำการดิสชาร์จแบตเตอรี่เพื่อดูผลตอบสนองแรงดันของแบตเตอรี่ แล้วทำการเก็บผลการทดสอบได้ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองแบตเตอรี่ลูกที่ 3
(แบตเตอรี่ที่มีการใช้งานปกติระยะเวลา 18 เดือน)

พารามิเตอร์	การทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
V_{oc} (โวลต์)	11.9	11.93	11.93	11.92
R_s (โอห์ม)	0.016	0.016	0.016	0.016
R_t (โอห์ม)	0.056	0.058	0.058	0.0573
I (แอมแปร์)	5	5	5	5
C (ฟารัด)	1875	1875	1875	1875
SOC (%)	30%	30%	30%	30%
ผลการประเมินสภาพ (สี)	เหลือง	เหลือง	เหลือง	เหลือง



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและแรงดันขณะดิสชาร์จของแบตเตอรี่ลูกที่ 3

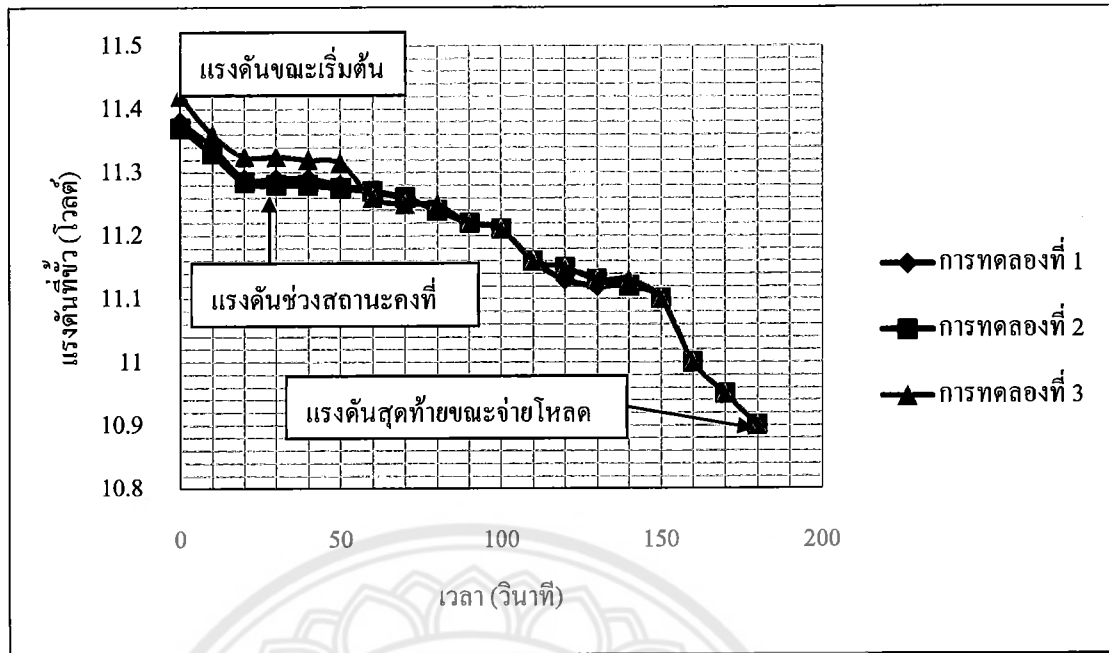
จากการทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 3 โดยดูจากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.13 จะเห็นผลการทดสอบว่าแบตเตอรี่ลูกที่ 3 มีค่าสถานะประจุเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแรงดันขณะเปิดวงจรเฉลี่ยที่ 11.92 โวลต์ ค่าประจุเฉลี่ยที่ 1875 ฟารัด และจะมีค่าความต้านทานภายในเฉลี่ยที่ 0.0573 โอห์ม แสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่ลูกที่ 3 มีสภาพควรรชาร์จไฟเพิ่ม

4.2.4 การทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 4 (แบตเตอรี่ใช้งานไม่ได้)

ทำการทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 4 โดยทำการชาร์จแบตเตอรี่ก่อนจะทดสอบด้วยเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่จากนั้นจะทำการทดสอบแบตเตอรี่โดยทำการดิสชาร์จแบตเตอรี่เพื่อดูผลตอบสนองแรงดันของแบตเตอรี่ แล้วทำการเก็บผลการทดสอบได้ดังนี้

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองแบตเตอรี่ลูกที่ 4
(แบตเตอรี่ใช้งานไม่ได้)

พารามิเตอร์	การทดลองครั้งที่			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
V_{oc} (โวลต์)	11.47	11.37	11.42	11.42
R_d (โอห์ม)	0.018	0.017	0.019	0.018
R_i (โอห์ม)	0.096	0.094	0.084	0.0913
I(แอมแปร์)	5	5	5	5
C(ฟารัด)	1666.7	1764.7	1578.9	1670.1
SOC(%)	10%	10%	10%	10%
ผลการประเมินสภาพ(สี)	แดง	แดง	แดง	แดง



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าแรงดันขณะคิซาร์จของแบตเตอรี่ลูกที่ 4

จากการทดสอบแบตเตอรี่ลูกที่ 4 โดยดูจากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.14 จะเห็นผลการทดสอบว่าแบตเตอรี่ลูกที่ 4 มีค่าสถานะประจุ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแรงดันขณะเปิดวงจรเฉลี่ยที่ 11.42 โวลต์ ค่าประจุเฉลี่ยที่ 1670.1 ฟารัด และจะมีค่าความต้านทานภายในเฉลี่ยที่ 0.0913 โอห์มแสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่ลูกที่ 4 มีสภาพที่ไม่พร้อมใช้งาน

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยของแบตเตอรี่ทั้ง 4 ลูก

พารามิเตอร์	แบตเตอรี่ลูกที่ 1	แบตเตอรี่ลูกที่ 2	แบตเตอรี่ลูกที่ 3	แบตเตอรี่ลูกที่ 4
V_{oc} (โวลต์)	12.83	12.61	12.45	11.42
R_d (โอห์ม)	0.019	0.0138	0.0157	0.018
R_i (โอห์ม)	0.048	0.052	0.0573	0.0913
I(แอมแปร์)	5	5	5	5
C(ฟารัด)	2512.8	2169.3	1916.6	1670.1
SOC(%)	100%	90%	50%	10%
ผลการประเมินสภาพ(สี)	เขียว	เขียว	เหลือง	แดง

จากตารางที่ 4.6 จะพบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ทำการวัดได้นั้นจะเป็นไปตามกับหลักการและทฤษฎีที่ศึกษามา โดยค่าแรงดันขณะเปิดวงจรที่ได้จะตรงกับค่ามาตรฐาน BCI ของแบตเตอรี่ ซึ่งในการประเมินสภาพแบตเตอรี่จากการทดสอบจะพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่บ่งบอกได้ชัดเจนคือค่าแรงดันขณะเปิดวงจร ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ และค่าประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งในการทดสอบจะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานน้อยหรือแบตเตอรี่ลูกใหม่จะมีค่าแรงดันขณะเปิดวงจรที่สูง ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ต่ำ และค่าประจุของแบตเตอรี่สูง ส่วนแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานมากจะแสดงให้เห็นว่าจะมีค่าแรงดันขณะเปิดวงจรที่ต่ำ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่สูง และค่าประจุของแบตเตอรี่ต่ำ ซึ่งจากผลทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าประจุของแบตเตอรี่ และค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั้นสามารถนำมาช่วยประเมินสภาพของแบตเตอรี่ได้ นอกจากจะใช้ค่าแรงดันขณะเปิดวงจรเพื่อดูเปอร์เซ็นต์ค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่



บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทฤษฎี ออกแบบ สร้างเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ และทำการทดสอบ เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการทดลองใน โครงการ ปัญหา และ แนวทางการแก้ไข ปัญหา พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางในการทำโครงการนี้เพื่อพัฒนาให้มี ประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ที่สามารถตรวจวัดค่ากระแส และแรงดันจากแบตเตอรี่พร้อมคำนวณค่าแรงดันขณะเปิดวงจรที่ได้ไปพล็อตกราฟแล้วดูผลของ อัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ทดสอบแต่ละลูกและประมวลผลค่าแรงดันขณะเปิดวงจรที่ คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับตารางมาตรฐานของแบตเตอรี่เพื่อแสดงค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ ที่ทดสอบ จากนั้นจะแสดงผลในลักษณะของสัญลักษณ์หลอดไฟ 3 สีที่จะบอกถึงสภาพของ แบตเตอรี่

เมื่อทำการทดสอบความสามารถของเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่แบ่งเป็น การทดสอบ เพื่อหาค่ากระแสคิซาร์จคงที่และช่วงเวลาการคิซาร์จที่เหมาะสมและการทดสอบเครื่องประเมิน สภาพแบตเตอรี่เมื่อนำไปทดสอบแบตเตอรี่ที่สภาพต่างๆทำให้สรุปได้ว่า เครื่องประเมินสภาพ แบตเตอรี่ที่สร้างขึ้นสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้มีความใกล้เคียงกันในการทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และสามารถแสดงผลผ่านหลอดสัญลักษณ์ไฟ 3 สีได้ตรงตามค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ที่ วัดได้ แต่การทดสอบยังพบข้อผิดพลาดในการทำงาน ดังนั้นจึงมีการศึกษาแนวทางการพัฒนา เพื่อให้ได้เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่แม่นยำในการวัดแต่ละครั้งเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้ งานจริงต่อไป

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการออกแบบ สร้าง และทำการทดสอบความสามารถของเครื่องประเมินสภาพ แบตเตอรี่ ทำให้พบปัญหาดังต่อไปนี้

1) ในการใช้งานจริงเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่แต่ละครั้งนั้นเครื่องจะต้องใช้ไฟเลี้ยง จากภายนอก เช่น ต้องเสียบไฟเลี้ยงจากอแดปเตอร์

2) ค่าที่วัดได้จากเครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่อาจมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเนื่องจากเซนเซอร์ที่ใช้มีความคลาดเคลื่อนอยู่

5.3 แนวทางในการพัฒนา

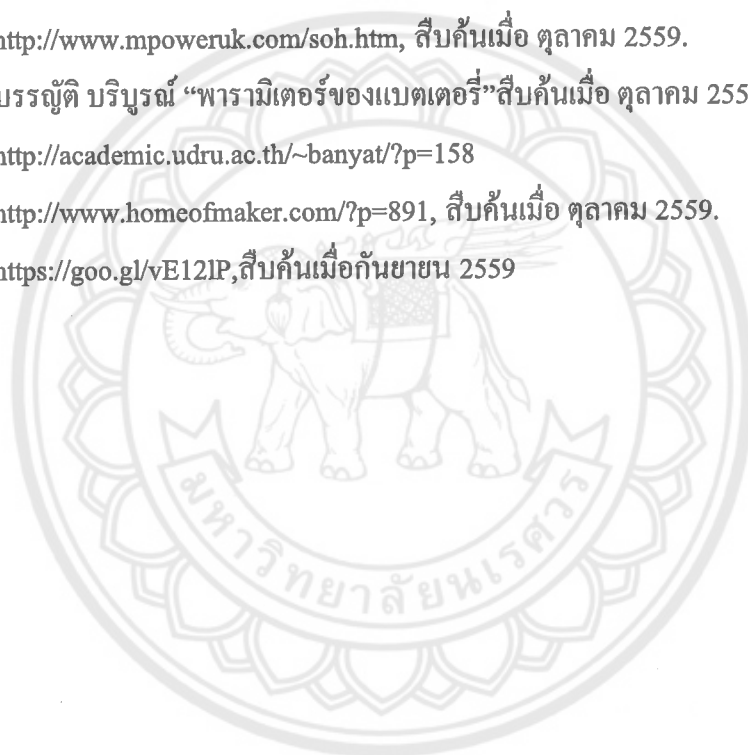
1) ในการใช้งาน เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่ควรมีแหล่งจ่ายไฟภายในสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงภายในตัวเครื่องเองเพื่อความสะดวกในการใช้งานจริง

2) เครื่องประเมินสภาพแบตเตอรี่สามารถออกแบบให้ประยุกต์ใช้งานในการประเมินสภาพแบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กได้ เช่น นำไปประเมินสภาพแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ



เอกสารอ้างอิง

- [1] “โครงสร้างแบตเตอรี่รถยนต์และแบตเตอรี่แบบต่างๆ”, สืบค้นเมื่อ ธันวาคม 2559 จาก <https://goo.gl/1pPqV6>
- [2] บริษัท ยัวซ่าแบตเตอรี่ ประเทศไทย จำกัด(มหาชน), “ข้อมูลผู้เบื้องต้นของสินค้าแบตเตอรี่”, สืบค้นเมื่อ พฤศจิกายน 2559 จาก <http://www.yuasathai.com/product.php>
- [3] <http://www.thaieasyelec.com/>, สืบค้นเมื่อ พฤศจิกายน 2559
- [4] จิรวัดน์ นายแสงเจริญ “การคายประจุของแบตเตอรี่” สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2559 จาก <https://goo.gl/kK5Szs>
- [5] <http://www.mpoweruk.com/soh.htm>, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2559.
- [6] บรรณัฐติ บริบูรณ์ “พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่” สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2559 จาก <http://academic.udru.ac.th/~banyat/?p=158>
- [7] <http://www.homeofmaker.com/?p=891>, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2559.
- [8] <https://goo.gl/vE121P>, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2559







ACS712

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 3.0 V, single supply operation
- 66 to 125 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratio-metric output from supply voltage



TUV America
Certificate Number:
LWV 05 06 94314 010



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

Description

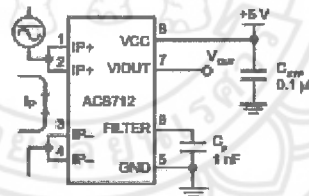
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($\partial V_{\text{OUT}}/\partial I_p$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_p , within the range specified. C_f is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor****Description (continued)**

the device at up to 5x overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packaging*	T _A (°C)	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, S _{ens} (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packaging options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{REV}		-0.1	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{ROUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{OUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{OUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		185	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WRB}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WFR}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

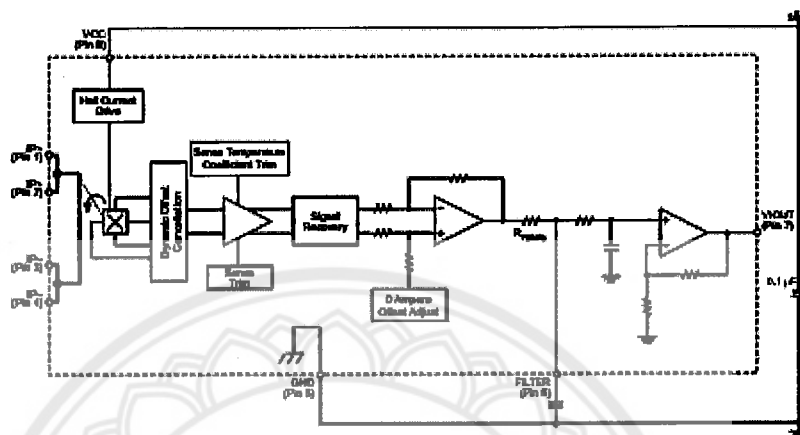
*Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIDOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

ACS712**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor****COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹** over full range of T_A , $C_T = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	6.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V _{OUT} to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{OUT} to GND	4.7	–	–	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m Ω
Rise Time	t_r	$I_p = I_p(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_p is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LN}	Over full range of I_p	–	1.5	–	%
B symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_p	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(0)}$	Bidirectional; $I_p = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	R_{FILT}		–	1.7	–	k Ω

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_J , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²IG = 0.1 mT.

³ R_{FILT} forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.

ACS712

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{DD} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_p , $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{noise(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(0)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.25	-	mV/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_p = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_p , with $I_p = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{DD} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_p , $T_A = 25^\circ\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{noise(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(0)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_p = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_p , with $I_p = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{DD} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_p , $T_A = 25^\circ\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{noise(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(0)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_p = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

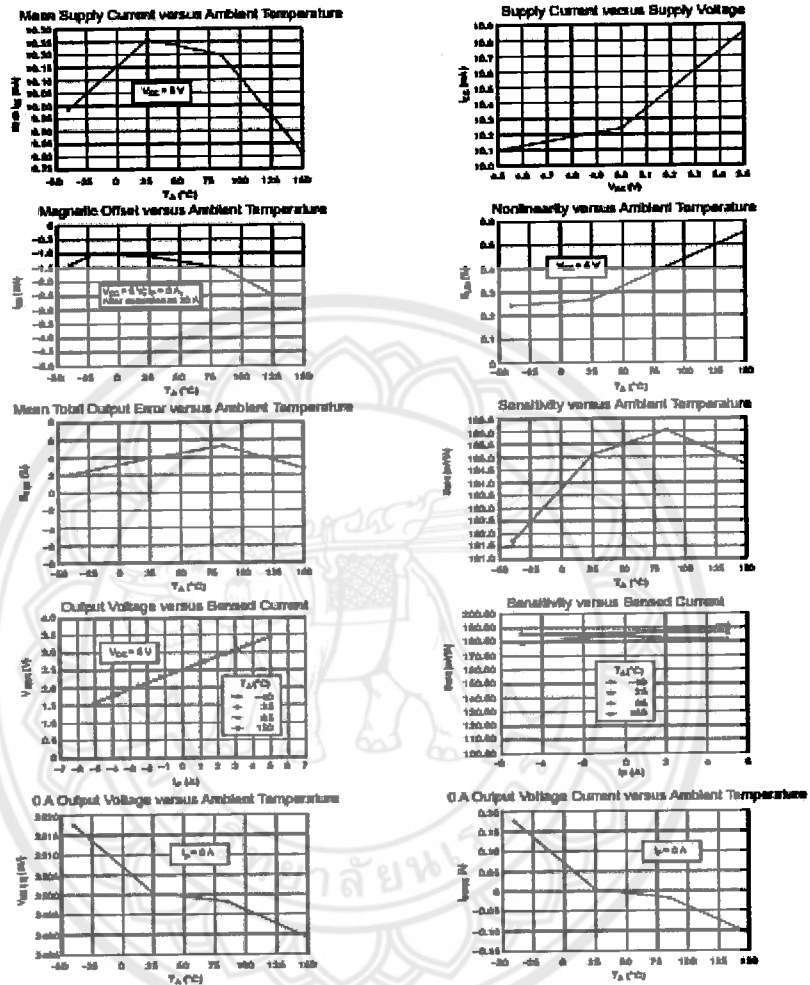
¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_p , with $I_p = 30\text{ A}$. Output filtered.

ACS712

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

Characteristic Performance
 $I_p = 5\text{ A}$, unless otherwise specified

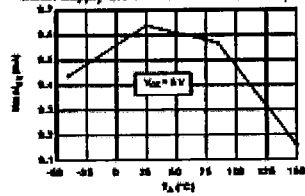


ACS712

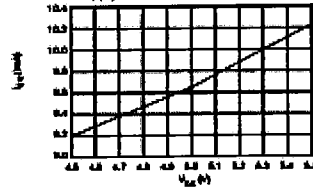
**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

Characteristic Performance
 $I_p = 20\text{ A}$, unless otherwise specified

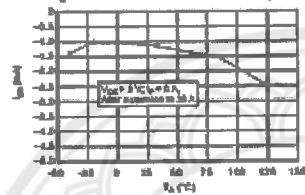
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



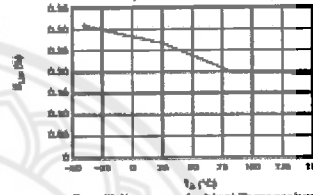
Supply Current versus Supply Voltage



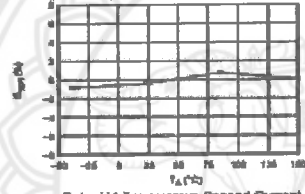
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



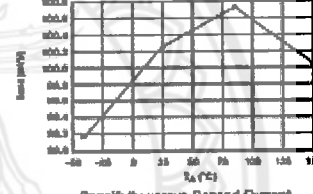
Nonlinearity versus Ambient Temperature



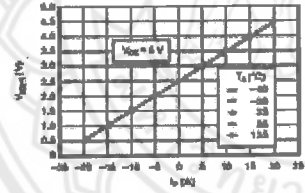
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



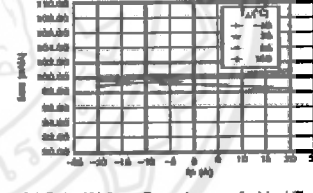
Sensitivity versus Ambient Temperature



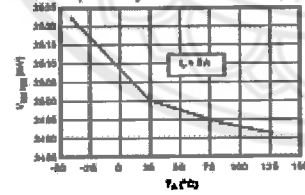
Output Voltage versus Sensed Current



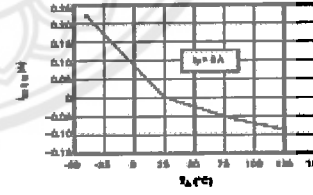
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



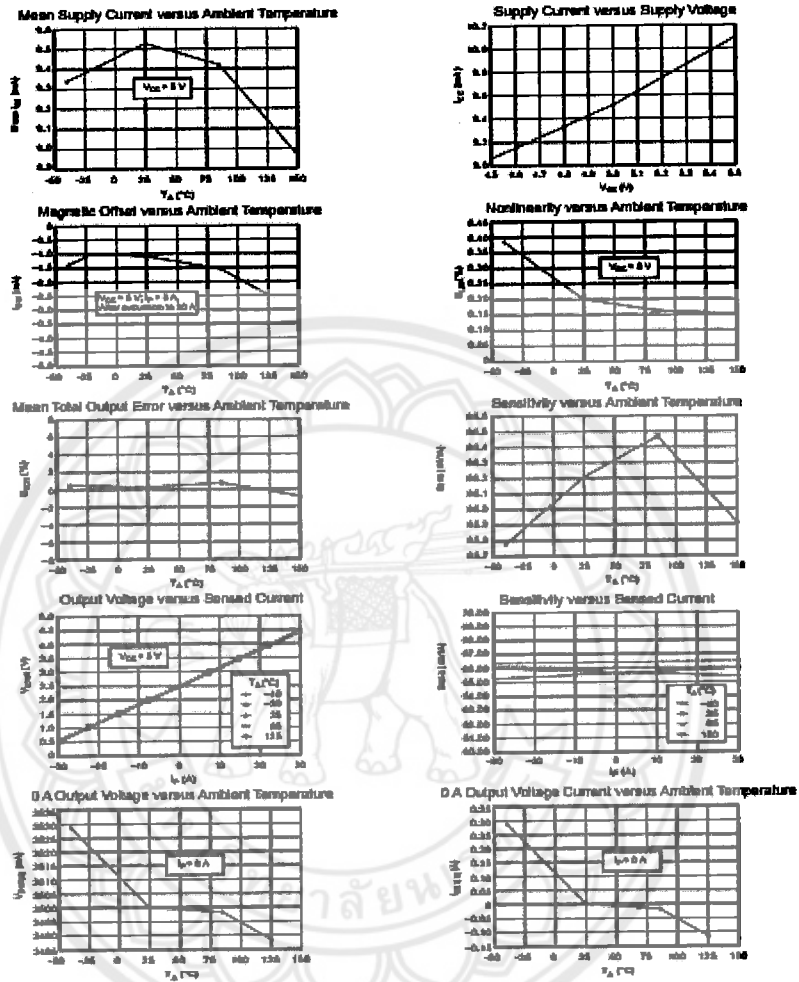
0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



ACS712

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

Characteristic Performance
 $I_p = 30\text{ A}$, unless otherwise specified



ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens). The change in device output in response to a 1A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}). The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (±1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LIN}). The degree to which the voltage output from the IC varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left(1 - \frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{sl} (V_{\text{OUT}} \text{ full-scale amperes} - V_{\text{OUT}(0)})}{2 (V_{\text{OUT}} \text{ half-scale amperes} - V_{\text{OUT}(0)})} \right)$$

where $V_{\text{OUT}} \text{ full-scale amperes}$ = the output voltage (V) when the sampled current approximates full-scale #1p.

Symmetry (E_{SYM}). The degree to which the absolute voltage output from the IC varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left(\frac{V_{\text{OUT}} + \text{full-scale amperes} - V_{\text{OUT}(0)}}{V_{\text{OUT}(0)} - V_{\text{OUT}} - \text{full-scale amperes}} \right)$$

Quiescent output voltage (V_{OUT(0)}). The output of the device when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at $V_{\text{CC}}/2$. Thus, $V_{\text{CC}} = 5 \text{ V}$ translates into $V_{\text{OUT}(0)} = 2.5 \text{ V}$. Variation in $V_{\text{OUT}(0)}$ can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OFF}). The deviation of the device output from its ideal quiescent value of $V_{\text{CC}}/2$ due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

Accuracy (E_{TOT}). The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- 0 A at 25°C. Accuracy at the zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- 0 A over Δ temperature. Accuracy at the zero current flow including temperature effects.
- Full-scale current at 25°C. Accuracy at the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- Full-scale current over Δ temperature. Accuracy at the full-scale current flow including temperature effects.

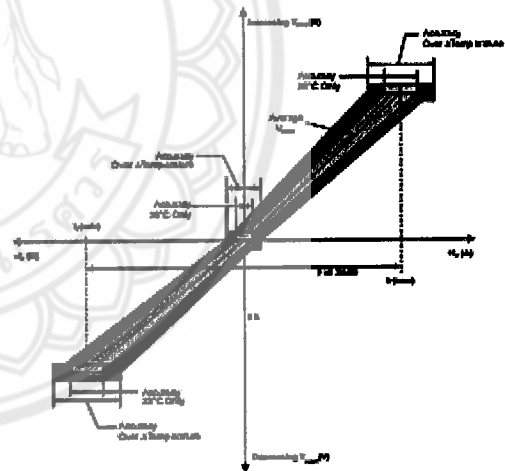
Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, $V_{\text{OUT}(0)}$ (nominally equal to $V_{\text{CC}}/2$) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC} . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage, $\Delta V_{\text{OUT}(0)\text{RAT}} (\%)$.

$$100 \left(\frac{V_{\text{OUT}(0)V_{\text{CC}}} / V_{\text{OUT}(0)V}}{V_{\text{CC}} / 5 \text{ V}} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity, $\Delta \text{Sens}_{\text{RAT}} (\%)$, is defined as:

$$100 \left(\frac{\text{Sens}_{V_{\text{CC}}} / \text{Sens}_{5\text{V}}}{V_{\text{CC}} / 5 \text{ V}} \right)$$

Output Voltage versus Sampled Current
Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current

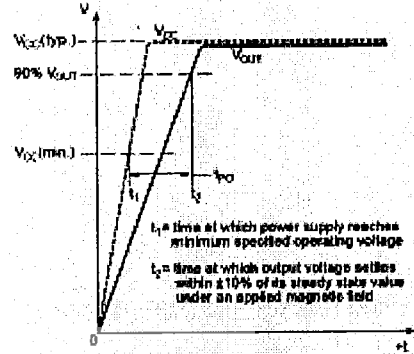


ACS712

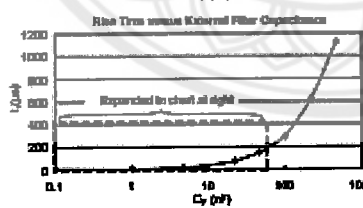
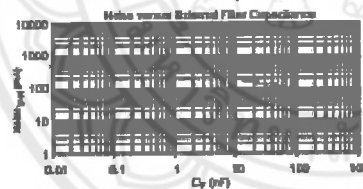
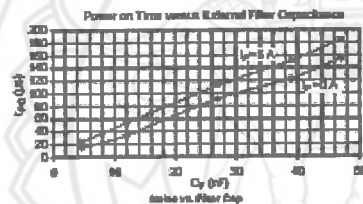
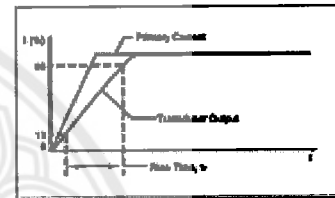
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kV RMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Definitions of Dynamic Response Characteristics

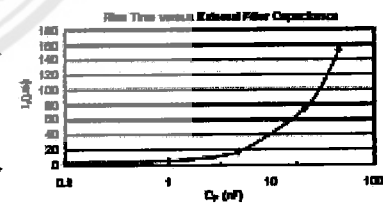
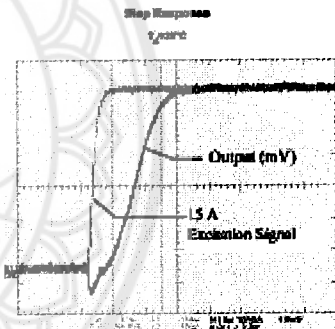
Power-On Time (t_{PO}). When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time, t_{PO} , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within $\pm 10\%$ of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage, $V_{CC(min)}$, as shown in the chart at right.



Rise time (t_r). The time interval between a) when the device reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the device, in which $f(-3 \text{ dB}) = 0.35/t_r$. Both t_r and $t_{RESPONSE}$ are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



C_F (pF)	t_r (ns)
Open	3.5
1	5.5
4.7	17.5
22	73.5
47	88.7
100	301.3
220	822
470	1120



ACS712

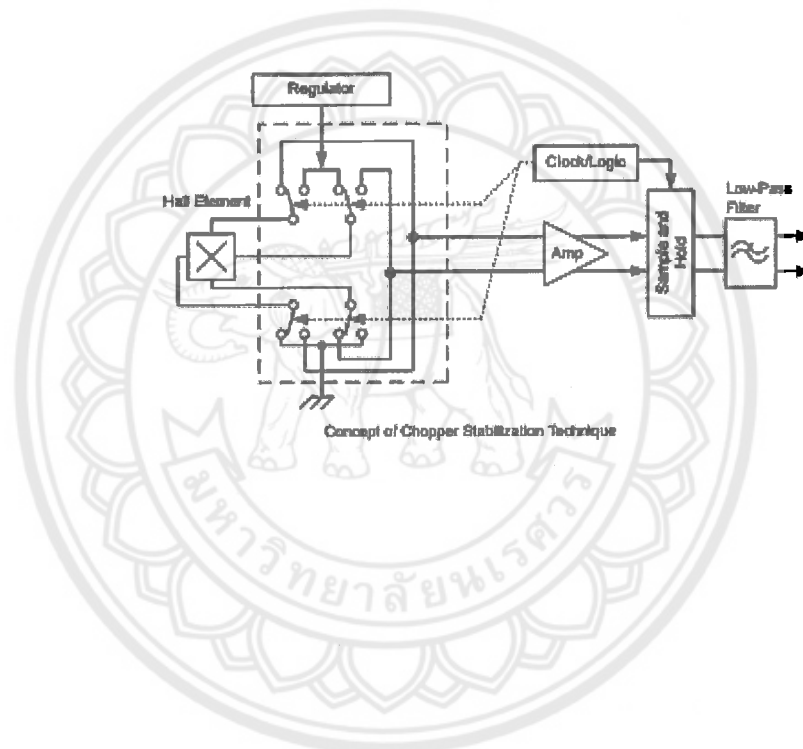
*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Chopper Stabilization Technique

Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro has a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired DC offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated DC offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through

the filter. As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

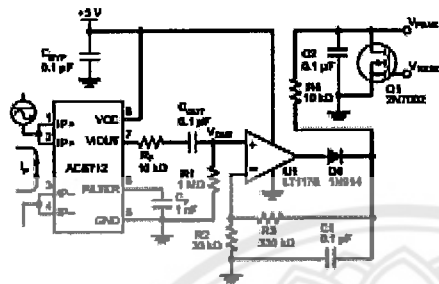
This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.



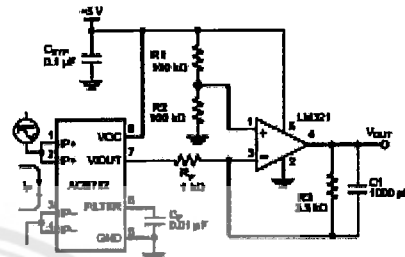
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

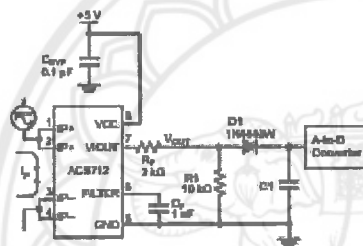
Typical Applications



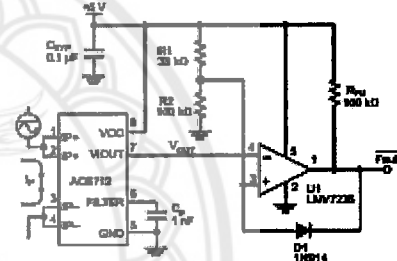
Application 2. Peak Detecting Circuit



Application 3. This configuration increases gain to 610 mV/A (tested using the ACS712ELC-05A).



Application 4. Rectified Output. 3.3 V scaling and rectification application for A-to-D converters. Replaces current transformer solutions with simpler ACS circuit. C1 is a function of the load resistance and filtering desired. R1 can be omitted if the full range is desired.



Application 5. 10 A Overcurrent Fault Latch. Fault threshold set by R1 and R2. This circuit latches an overcurrent fault and holds it until the 5 V rail is powered down.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Improving Sensing System Accuracy Using the FILTER Pin

In low-frequency sensing applications, it is often advantageous to add a simple RC filter to the output of the device. Such a low-pass filter improves the signal-to-noise ratio, and therefore the resolution, of the device output signal. However, the addition of an RC filter to the output of a sensor IC can result in undesirable device output attenuation — even for DC signals.

Signal attenuation, ΔV_{ATT} , is a result of the resistive divider effect between the resistance of the external filter, R_F (see Application 6), and the resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . The transfer function of this resistive divider is given by:

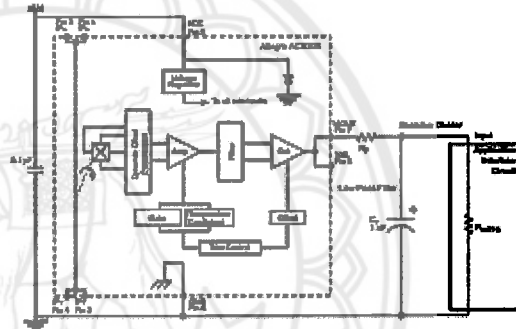
$$\Delta V_{ATT} = V_{OUT} \left(\frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}} \right)$$

Even if R_F and R_{INTFC} are designed to match, the two individual resistance values will most likely drift by different amounts over

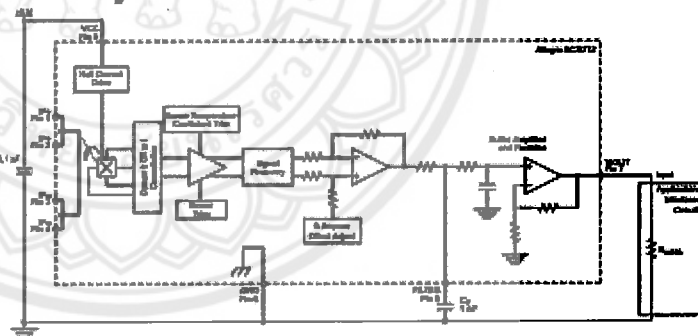
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance, R_{INTFC} , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 k Ω .

The ACS712 contains an internal resistor, a FILTER pin connection to the printed circuit board, and an internal buffer amplifier. With this circuit architecture, users can implement a simple RC filter via the addition of a capacitor, C_F (see Application 7) from the FILTER pin to ground. The buffer amplifier inside of the ACS712 (located after the internal resistor and FILTER pin connection) eliminates the attenuation caused by the resistive divider effect described in the equation for ΔV_{ATT} . Therefore, the ACS712 device is ideal for use in high-accuracy applications that cannot afford the signal attenuation associated with the use of an external RC low-pass filter.

Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor, R_F , and the resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the transfer function for ΔV_{ATT} .



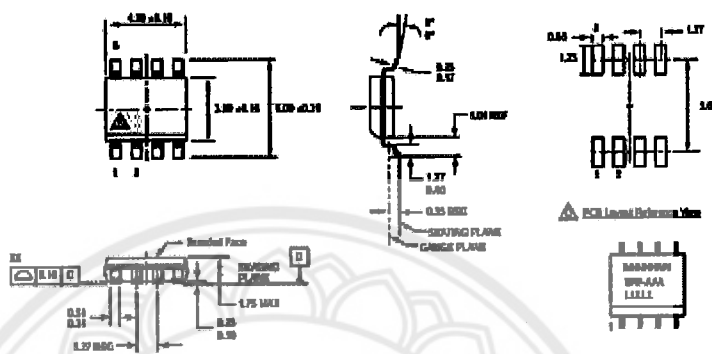
Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS712 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between R_F and R_{INTFC} , shown in Application 6.



ACS712

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

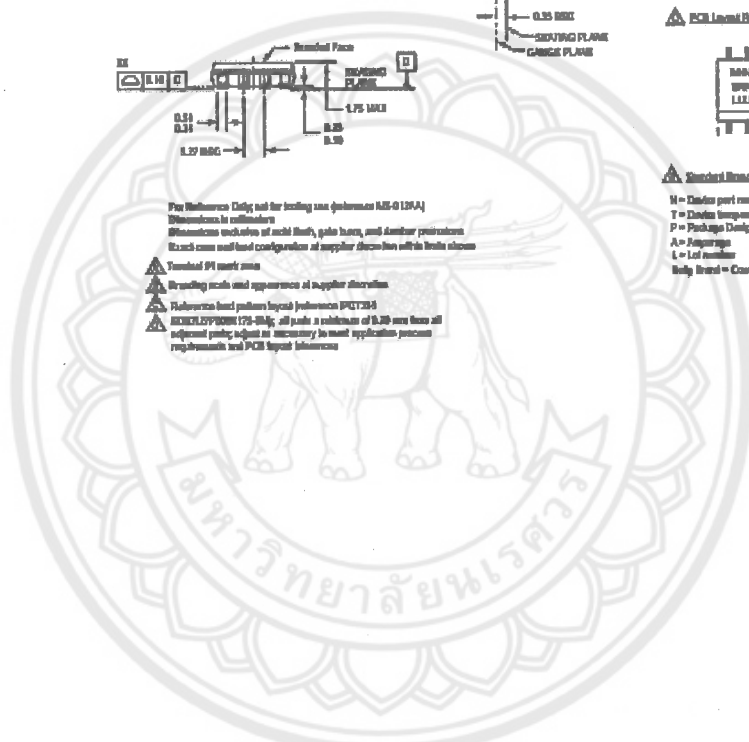
Package LC, 8-pin SOIC



For Reference Only not for testing use (reference MS-012(A))
 Dimensions in millimeters
 Dimensions exclusive of mold flash, gate burrs, and similar protrusions
 Exact case and lead configuration at supplier discretion with the leads shown

Yamaha 94 mark area
 Branding marks and appearance of supplier discretion
 Reference lead positions based on reference (PCL) 205
 DIMENSIONS (75-90): all pins a minimum of 0.25 mm from all adjacent pins; adjust as necessary to meet application process requirements and PCB layout tolerances

M = Order part number
 T = Storage temperature range
 P = Package Designator
 A = Footprints
 L = Lead number
 Body Brand = Country of Origin



ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Revision History

Revision	Revision Date	Description of Revision
Rev. 15	November 18, 2012	Update rise time and isolation, I_{OUT} reference data, patents

Copyright ©2006-2013, Allegro MicroSystems, LLC

The products described herein are protected by U.S. patents: 5,621,319; 7,398,601; and 7,709,754.

Allegro MicroSystems, LLC reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, LLC assumes no responsibility for its use, nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:
www.allegromicro.com



ภาคผนวก ข

รายละเอียดข้อมูลของ TIP120

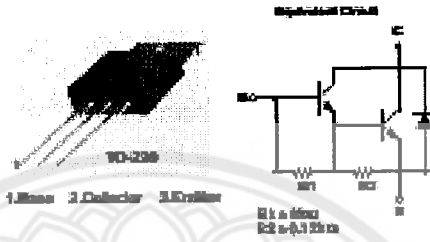
มหาวิทยาลัยนเรศวร



October 2008

TIP120/TIP121/TIP122 NPN Epitaxial Darlington Transistor

- Medium Power Linear Switching Applications
- Complementary to TIP120/TIP127



Absolute Maximum Ratings* T_c = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Rating	Units
V _{CEO}	Collector-Base Voltage : TIP120	-80	V
	: TIP121	80	V
	: TIP122	100	V
V _{CE0}	Collector-Emitter Voltage : TIP120	-80	V
	: TIP121	80	V
	: TIP122	100	V
V _{BE0}	Emitter-Base Voltage	5	V
I _C	Collector Current (DC)	5	A
I _{CM}	Collector Current (Pulse)	8	A
I _B	Base Current (DC)	150	mA
P _C	Collector Dissipation (T _c =25°C)	2	W
	Collector Dissipation (T _c =100°C)	0.5	W
T _J	Junction Temperature	150	°C
T _{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	°C

* These ratings are limiting values and should not be exceeded for any combination of conditions unless otherwise specified.

Electrical Characteristics* $T_c = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage : TIP120 : TIP121 : TIP122	$I_C = 100\text{mA}, I_B = 0$	80			V
			80			V
			800			V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current : TIP120 : TIP121 : TIP122	$V_{CE} = 30\text{V}, I_B = 0$			0.5	mA
		$V_{CE} = 40\text{V}, I_B = 0$			0.5	mA
		$V_{CE} = 50\text{V}, I_B = 0$			0.5	mA
I_{CBO}	Collector Cut-off Current : TIP120 : TIP121 : TIP122	$V_{CE} = 30\text{V}, I_B = 0$			0.3	mA
		$V_{CE} = 40\text{V}, I_B = 0$			0.3	mA
		$V_{CE} = 50\text{V}, I_B = 0$			0.3	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{BE} = 5\text{V}, I_C = 0$			2	mA
β_{DC}	* DC Current Gain	$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$	1000			
		$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 2\text{A}$	1000			
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 3\text{A}, I_B = 1.2\text{mA}$			2.6	V
		$I_C = 3\text{A}, I_B = 20\text{mA}$			4.6	V
$V_{BE(on)}$	* Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 2\text{A}$			2.5	V
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CE} = 50\text{V}, I_B = 0, f = 0.1\text{MHz}$			200	pF

* Refer to Test Methods, Vol. 1, page 101.

Typical characteristics

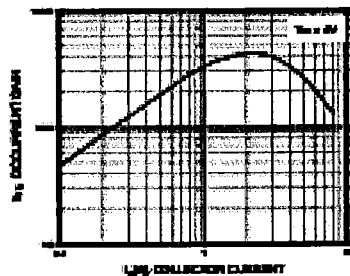


Figure 1. DC current Gain

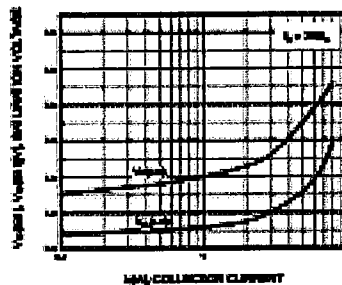


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

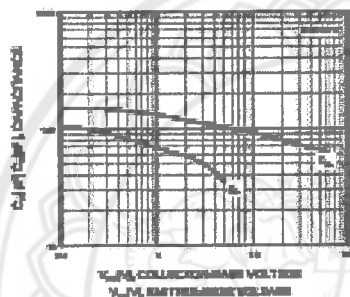


Figure 3. Output and Input Capacitance
vs. Reverse Voltage

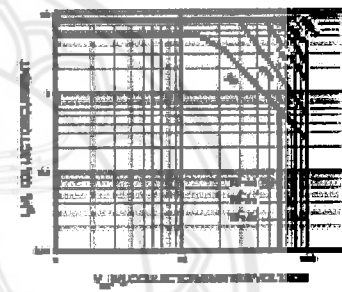


Figure 4. Safe Operating Area

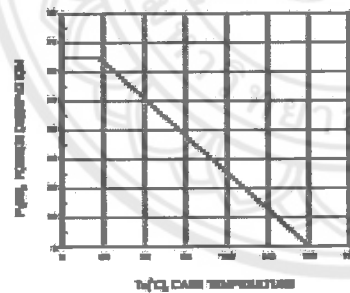
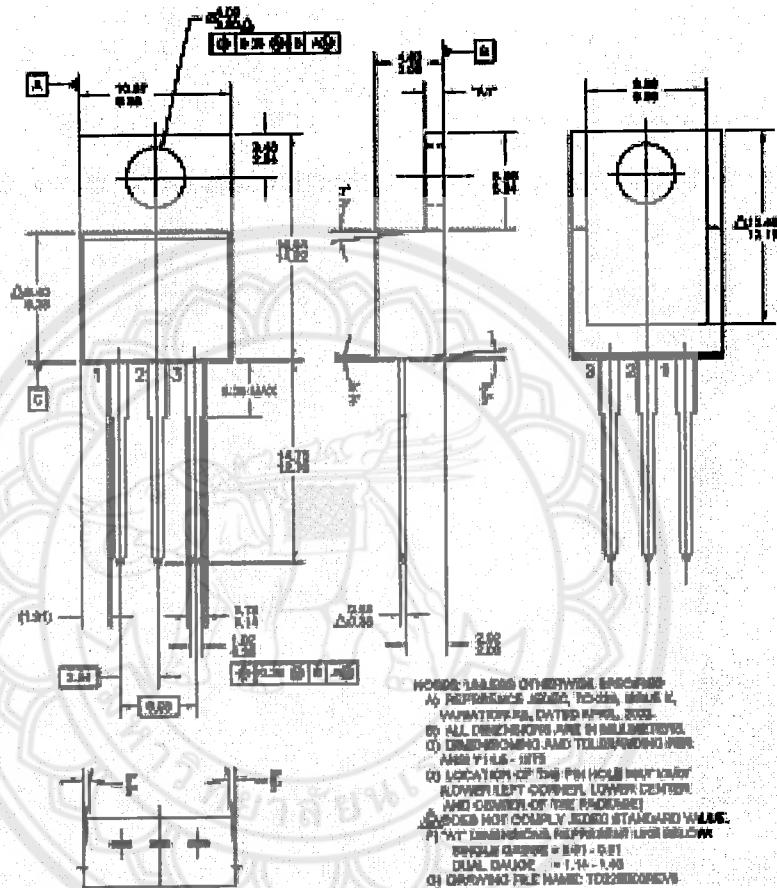


Figure 5. Power Dissipation

Mechanical Dimensions

TO220



NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 A) REFERENCE JEDEC, TO-18, AND JEDEC, VARIATIONS, DATED APRIL, 2003.
 B) ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
 C) DIMENSIONS AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5 - 1975.
 D) LOCATION OF THE PIN HOLES MEASURED FROM LEFT CORNER, LOWER CENTER AND CENTER OF THE PACKAGE.
 E) DIMENSIONS NOT COMPLY WITH JEDEC STANDARD VALUES.
 F) ALL DIMENSIONS REPRESENT USER MEASUREMENTS.
 G) SINGLE GROUND = 0.01 - 0.01
 DUAL GROUND = 1.14 - 1.43
 H) DRAWING FILE NAME: TO220DIN06



TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks and service marks of Fairchild Semiconductor or its authorized licensee and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE [®]	Green FPS [™]	PowerCH [™]	SuperSOT [™] -5
Bulk I Mos [™]	Green FPS [™] n-Series [™]	POWEREDGE [™]	Synor [™] ET [™]
CorePLUS [™]	GT [™]	Power-SPM [™]	The Power Franchise [™]
CROSSVOLT [™]	AL [™]	PowerTrench [™]	UL [™] V [™]
CTL [™]	IntelliMAX [™]	Programmable Active Droop [™]	UL [™] V [™] V [™]
Current Transfer Logic [™]	ISOPLANAR [™]	QET [™]	TriMOS [™]
ES [™]	MegaBuck [™]	OS [™]	TriMux [™]
ES [™] PHAS [™]	MICROCOUPLER [™]	OT Optoelectronics [™]	TriLogic [™]
Fairchild [™]	Microwire [™]	Opti Series [™]	TRIPRODT [™]
Fairchild Semiconductor [™]	Microwire [™]	RapidCoreFPGA [™]	TriPower [™]
FACT Opti Series [™]	MOSFET [™]	SMART START [™]	TriPVM [™]
FACT [™]	Motion-SPM [™]	SRP [™]	TriVice [™]
FAST [™]	OPTOLOGIC [™]	STEALTH [™]	µPower [™]
FaultCore [™]	OPTOPLANAR [™]	SuperFET [™]	UMC [™]
FPS [™]	OPTOPLANAR [™]	SuperSOT [™] -3	UniFET [™]
FRFET [™]	POP-SPM [™]	SuperSOT [™] -5	VCK [™]
Global Power Resources [™]	Power2Go [™]		

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN, NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXHAUST THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Development Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Preliminary or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	Final Production	This datasheet contains preliminary data; supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
Obsolete	Not in Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild Semiconductor. This datasheet is printed for reference information only.



**Battery Council
International**



IN WASHINGTON
c/o Wiley Rein LLP
1776 K Street NW
Washington, D.C. 20006

Testimony Before the U.S. International Trade Commission
David B. Weinberg
Washington Counsel
May 14, 2014

Investigation Nos. TA-131-039 and 332-548

The Battery Council International ("BCI") is pleased to testify before the United States International Trade Commission regarding the potential duty-free treatment of certain "environmental goods." BCI opposes the duty-free treatment of lead-acid batteries and parts thereof. (HS6 8507.20 and 8507.90). We will be filing written comments next week, but take today's opportunity to summarize our views.

BCI is a non-profit trade association whose members are engaged in the manufacture, distribution, retail sale, collection and reclamation of lead-acid batteries. BCI members account for over 98% of U.S. lead-acid battery production and over 97% of U.S. used lead-acid battery recycling (i.e., secondary lead smelting) capacity.

The U.S. Domestic Market is Economically Important and an Environmental Success Story

Over 15,600 Americans are employed in the domestic production of lead-acid batteries. Another 2,100 are employed by domestic secondary smelters, who recycle old batteries into lead that can be used in new ones. (The rate of recycling of battery lead in the U.S. is approximately 99%.)

U.S. wholesale sales of lead-acid batteries of all types exceed several billion dollars. Each year, more than 120 million automotive batteries are sold in the United States. That segment is forecast to grow annually between 0.6% and 1.2% in the coming years. Furthermore, in 2013, the stationary and motive power segment, which includes alternative energy installations, exceeded \$1.9 billion in sales, and is forecast to continue to grow by between 4.2% and 7.3% in the coming years. BCI estimates that more than 85% of all U.S. lead-acid battery demand is met by domestic production.

BCI members strongly support the expansion of environmentally friendly energy applications in the U.S. and around the world. BCI's members have invested heavily in the research and development of new technologies and applications for lead-acid batteries. These include wind, solar, utility-storage, hybrid and stop-start vehicles, and other cutting-edge applications.

The U.S. Government also has supported the development of U.S. domestic battery manufacturing capacity, including lead-acid technology. For example, in August, 2009, as part of the Administration's \$2.4 billion "stimulus act" investment in domestic battery manufacturing and recycling, East Penn Manufacturing Co. of Lyon Station, Pennsylvania, received a \$32.5 million grant specifically to expand its lead-acid battery production capacity for hybrid vehicles. Other BCI members also received support, for a variety of technologies.

These results are paying off. Although other battery chemistries get most of the attention, lead-acid batteries are indeed a practical alternative for vehicle propulsion and alternative energy storage. They provide more energy, per dollar, than any other battery technology available today.

The U.S. lead-acid battery manufacturing sector's excellent environmental health and safety record also stands in stark contrast with the manufacturing sectors in other countries, especially those with which the U.S. does not have negotiated trade arrangements. Today, average worker blood leads in the U.S. battery industry – the measure for occupational health regulation – are the equivalent of the overall U.S. population in the 1950s. Air and water emissions from the industry's factories are stringently regulated, and those regulations are rigorously complied with.

This contrasts dramatically with conditions in countries with which the U.S. does not have trade agreements. China's environmental problems are notorious, and heavy metal pollution is endemic. BCI has long urged the Chinese government and manufacturers to update their standards and operations, and indeed has sponsored several training programs in China to help them in doing so. BCI thus was encouraged when, in 2011, the Chinese government shut down approximately 90% of that country's lead-acid battery production capacity because of inadequate health and environmental controls. But the Chinese industry still fails to match the standards of U.S. industry. The same, unfortunately, is true of other nations as well.

Finally, as the 99% recycling rate noted above suggests, lead-acid batteries are, by far, the most recycled consumer product in North America. But it is most economical to locate secondary smelters close to battery production facilities. The elimination of tariffs would almost certainly lead to reduced domestic lead battery production and, consequentially, reduced domestic demand for recycled lead.

The Proposed Ex-Out List of Goods is Unworkable

USITC's attempt to segregate "environmental goods" batteries is unworkable, especially for lead-acid batteries, even if based on capacity.

First, on a technical note, the published list of goods defines the goods under investigation as batteries "of a capacity no less than 100 [kilowatts]." However, the

capacity of batteries generally is not usefully measured in kilowatts because that is measure of power output at a single moment in time, not capacity. Capacity is measured in "kilowatt-hours" or "ampere-hours."

Second, even if appropriately defined, segmenting lead-acid "green energy" batteries based on capacity is still unworkable. This is because, with regard to lead-acid batteries, large capacity applications, such as utility-grade energy storage, do not utilize a single "battery." Rather, these installations are comprised of many smaller units, which are combined with specialized wiring and control systems to support the required capacity and voltage. Thus, for example, a 1,000 kWh capacity installation could have either 1,000 1kWh batteries or 50 20kWh batteries, both could deliver similar capacity. The design and implementation for each project is based on the particular energy storage and delivery needs of the installation, and varies greatly.

Third, within any given size and chemistry category, lead-acid batteries are essentially interchangeable. A standard 2-volt lead-acid cell used in standby energy applications can also be used for industrial or motive power applications. Thus, a tariff ex-out intended solely for green energy batteries could be readily abused simply by mis-declaring the intended use. A battery imported and claimed as intended for a wind energy installation could be easily redirected for another use not eligible for duty free treatment.

Fourth, decreasing the cost of lead-acid batteries intended for green energy uses by 3.5% will do little to stimulate deployment of environmentally friendly energy projects. This is because the batteries themselves make up a relatively small portion of the cost of these systems in comparison to the costs of wind turbines, solar panels, mechanical systems, and computerized power management systems. For example, excluding the cost of the energy production components (e.g., solar panels or turbines), batteries account for less than 30% of a typical 100kW output, 300 kWh capacity office building backup system. For a system designed to provide 50 kW for only 15 minutes (e.g., to allow a back-up generator to take over) would bring the battery cost down to less than 10% of the total system cost. The typical costs of these systems will vary depending on the application, but commonly range from \$1,000 to \$3,000 per kWh, or more.

A Decrease in U.S. Domestic Production of "Green" Energy Batteries Would Negatively Impact the Production of Other Batteries

As I previously mentioned, battery units of the same size and chemistry are broadly interchangeable across applications. This is particularly evident at the manufacturing facilities where batteries of varying configurations are produced on the same production lines and by the same employees as most other battery formats.

Thus, any reduction in U.S. domestic demand for lead-acid batteries, in any category, will have a direct impact on the 15,600+ lead-acid battery manufacturing employees nationwide. These workers could see their jobs vanish if their products are displaced by

imported alternatives. This could also have a knock-on effect of reducing the industry's ability to meet the demands of other "traditional" battery segments by eroding the total manufacturing capability of production facilities and reducing investment in the research and development of improved battery designs.

For these reasons, BCI requests that the USITC recommend that lead-acid batteries be removed from the list of goods under consideration for the elimination of tariffs.

Although BCI's focus is on lead-acid batteries, many of the concerns stated above apply equally to other battery chemistries. The U.S. government has similarly invested considerable sums of tax dollars to support the growth of domestic production capacities for those chemistries, and it is similarly illogical to undercut those efforts by eliminating the applicable tariffs.



State Of Charge (SOC)

State of charge (SOC), or conversely, the depth of discharge (DOD) can be determined by measuring the voltage and/or the specific gravity of the acid with a hydrometer. This will NOT tell you how good (capacity in AH) the battery condition is - only a sustained *Load Test* can do that.

Voltage on a fully charged battery will read 2.12 to 2.15 volts per cell, or 12.7 volts for a 12 volt battery. At 50% the reading will be 2.03 VPC (Volts Per Cell), and at 0% will be 1.75 VPC or less.

Specific gravity will be about 1.265 for a fully charged cell, and 1.13 or less for a totally discharged cell.

Many batteries are sealed, and hydrometer reading cannot be taken, so you must rely on voltage measurement.

Hydrometer readings may not tell the whole story, as it takes a while for the acid to get mixed up in wet cells.

If measured right after charging, you might see 1.27 at the top of the cell, even though it is much less at the bottom. This does not apply to gelled or AGM batteries.

Measuring the State Of Charge (SOC)

If the battery's electrolyte is above 110° F (43.3° C), allow it to cool down.

To determine the battery's state-of-charge with the battery's electrolyte temperature at 80° F (26.7° C), use the following table below.

The table assumes that a 1.265 specific gravity reading is for a fully charged, Wet Cell, Lead Acid battery.

For other electrolyte temperatures, use the Temperature Compensation table below to adjust the Open Circuit Voltage or Specific Gravity readings.

The Open Circuit Voltage will vary for GEL Cell and AGM type batteries, so check the manufacturer's specifications.

STATE OF CHARGE

	V open circuit	V open circuit	V open circuit	V open circuit	specific gravity
charge	6-V battery	12-V battery	24-V bank	48-V bank	per cell
100%	6.37	12.73	25.46	50.92	1.277
90%	6.31	12.62	25.24	50.48	1.258

30%	5.91	11.81	23.62	47.24	1.124
20%	5.83	11.66	23.32	46.64	1.098

STATE-OF-CHARGE

(Source: RCI)

Electrolyte Temperature Fahrenheit (°F)	Electrolyte Temperature Celsius (°C)	Add or Subtract to Hydrometer's SG Reading	Add or Subtract to Digital Voltmeter's Reading
160°	71.1°	+0.117	+0.192 V
150°	65.6°	+0.098	+0.168 V
140°	60.0°	+0.074	+0.144 V
130°	54.4°	+0.020	+0.120 V
120°	48.9°	+0.016	+0.096 V
110°	43.3°	+0.012	+0.072 V
100°	37.8°	+0.008	+0.048 V
90°	32.2°	+0.004	+0.024 V
80°	26.7°	0	0 V
70°	21.1°	-0.004	-0.024 V
60°	15.6°	-0.008	-0.048 V
50°	10°	-0.017	-0.072 V
40°	4.4°	-0.016	-0.096 V
30°	-1.1°	-0.020	-0.120 V
20°	-6.7°	-0.024	-0.144 V
10°	-12.2°	-0.028	-0.168 V
0°	-17.8°	-0.032	-0.192 V

Temperature Compensation

Electrolyte temperature compensation is depending on the battery manufacturer's recommendations and will vary.

When using a non-temperature compensated HYDROMETER, make the adjustments referring to the table above.

For example:

At 30° F (-1.1° C), the specific gravity reading would be $(1.265 - 0.020)$ 1.245 for a 100% State-of-Charge.

At 100° F (37.8° C), the specific gravity would be $(1.265 + 0.008)$ 1.273 for 100% State-of-Charge.

This is why using a temperature compensated hydrometer is highly recommended and more accurate than other means.

If you are using a DIGITAL VOLTMETER, make the adjustments indicated in the table above.

For example:

At 30° F (-1.1° C), the voltage would be $(12.65 - 0.120)$ 12.53 V for a 100% State-of-Charge.

At 100° F (37.8° C), the voltage would be $(12.65 + 0.048)$ 12.698 V for 100% State-of-Charge.

For non-sealed batteries, check the specific gravity in each cell with a hydrometer and average the readings.

For sealed batteries, measure the Open Circuit Voltage across the battery terminals with an accurate digital voltmeter. This is the only way you can determine the State-of-Charge (SOC).

Some batteries have a built-in hydrometer, which only measures the State-of-Charge in one of its six cells.

If the built-in indicator is clear or light yellow, then the battery has a low electrolyte level and should be refilled and recharged before proceeding.

If sealed, the battery is toast and should be replaced. If the State-of-Charge is below 75% using either the specific gravity or voltage test or the built-in hydrometer indicates bad (usually dark), then the battery needs to be recharged before proceeding.

You should replace the battery, if one or more of the following conditions occur:

- If there is a .05 (sometimes expressed as 50 points) or more difference in the specific gravity reading between the highest and lowest cell, you have a weak or dead cell(s). If you are really lucky, applying an EQUALIZING charge may correct this condition. (See Equalizing Charge – page 26)
- If the battery will not recharge to a 75% or more state-of-charge level or if the built-in hydrometer (LED display) still does not indicate green (which is 65% state-of-charge or better).
- If digital voltmeter result indicates 0 volts, you have an open cell.
- If the digital voltmeter or the battery analyzer's results indicates 10.45 to 10.65 volts, you probably have a shorted cell or a severely discharged battery. A shorted cell is caused by plates touching, sediment (mud) build-up or trailing between the plates.

If you know that a battery has spilled or bubbled over and the electrolyte has been replaced with water, you can replace the old electrolyte with new electrolyte and recharge again.

Battery electrolyte is a mixture of 25% sulfuric acid and distilled water.

