สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องประจุแบตเตอรี่

Battery Charger



โดย

นาย ชินรัตน์ แสงอาทิตย์

นาย รณรงค์ รักแหลมทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 55662
วันเดือนปี 24 พ.ค. 2548

.b.....
.i.....

เครื่องประจุแบตเตอรี่

Battery Charger

โดย

นาย ชินรัตน์ แสงอาทิตย์

นาย รณรงค์ รักแหลมทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วันชัย ริ้วรุจา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องประจุแบตเตอรี่

ผู้จัดทำ

1.นายชินรัตน์ แสงอาทิตย์

2.นายรณรงค์ รักแหลมทอง

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(..... (รศ.ดร.วันชัย ริ้วรุจา) .....)

เครื่องประจุแบตเตอรี่

Battery Charger

ชินรัตน์ แสงอาทิตย์ 44015281

รณรงค์ รักแหลมทอง 44015297

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วันชัย ริ้วรุจา

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

ปริญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบวงจรประจุแบตเตอรี่แบบอัตโนมัติ และการจัดการแบตเตอรี่โดยการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ระบบของเครื่องประจุประกอบด้วยหน่วยการทำงาน 3 หน่วยหลัก คือ แหล่งจ่ายกระแสซึ่งใช้บั๊คคอนเวอร์เตอร์ หน่วยวัดและส่งค่าโดยใช้ออปแอมป์ และหน่วยประมวลผล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ระบบจะถูกสั่งการจากซอฟต์แวร์ในส่วนของกระบวนการประจุ ตั้งค่ากระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่สามารถรับได้ เลือกค่ากระแสสำหรับประจุแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล – แคดเมียม และนิกเกิล – เมทัลไฮไดรด์ และ ตรวจสอบสภาวะการประจุ

เครื่องประจุแบตเตอรี่สามารถใช้ได้กับแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล- แคดเมียมและนิกเกิล - เมทัลไฮไดรด์ ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานจะใช้เบอร์ PIC 16F876A

ABSTRACT

This project presents designing automatic battery charger system using PIC. The system consist of three units,a current source using buck converter circuit, measurement units and processing unit using PIC microcontroller. This system is controlled by the software about charge process, maximum charging current and checking charge condition.

This battery charger can use with Nickel-Cadmium (Ni-cd) and Nickel –Metal hydride (Ni-mh). The microcontroller PIC16F876A is used in this project. The system software will automatic select the maximum charge current for battery and check battery status.

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	II
สารบัญรูป	IV
สารบัญตาราง	VII
บทที่1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการดำเนินการ	1
1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการดำเนินการ	1
บทที่2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม	2
2.2 แบตเตอรี่ชนิด นิกเกิล- เมตัลไฮไดรด์	8
2.3 บั๊กคอนเวอร์เตอร์	14
2.4 วงจรขยายสัญญานรวมออปแอมป์	17
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16F876A	25
2.6 วิธีการประจุแบตเตอรี่	34
2.7 กระบวนการสิ้นสุดการ ประจุ	37
2.8สรุป	39
บทที่ 3 กระบวนการทำงานของเครื่องประจุ	40
3.1 การประเมินสถานะของแบตเตอรี่	40
3.2 การคายประจุแบตเตอรี่	41
3.3 การประจุแบบเร็ว	41
3.4 วิธีการสิ้นสุดการประจุแบบเร็ว	42
3.5 เครื่องประจุแบบใช้วงจร DC-DC Buck Converter ในการควบคุมกระแส	42
3.6 สรุป	44
บทที่ 4 การออกแบบวงจร	46
4.1 วงจร DC-DC Buck Converter	46
4.2 วงจรตรวจวัดกระแสและแรงดัน	49

สารบัญ(ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
4.3 วงจรเลือกแบตเตอรี่และค่ากระแสในการประจุ	50
4.4 การใช้งานโหมด PWM ไมโครคอนโทรลเลอร์	51
4.5 การควบคุมกระแส	53
บทที่ 5 ผลการทดลอง	54
5.1 ทดลองการทำงานของวงจร	54
5.2 สรุป	63
บทที่ 6 บทสรุปผลการทดลอง	64
6.1 สรุปผลการทดลอง	64
6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานนี้	64
6.3 ปัญหาที่พบในการทำโครงงานนี้	64
6.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	65
ภาคผนวก ก.	66
ภาคผนวก ข.	68
ภาคผนวก ค.	76
กิตติกรรมประกาศ	78
เอกสารอ้างอิง	79

สารบัญรูป

หัวข้อ หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม รูปทรงกระบอก 3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม แบบกระดุม 4
รูปที่ 2.3 แสดงคุณลักษณะในการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีมาตรฐาน 5
รูปที่ 2.4 แสดงคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่แบบวิธีควบคุมเวลา 5
รูปที่ 2.5 แสดงคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่แบบวิธีตรวจจับอุณหภูมิ 6
รูปที่ 2.6 แสดงคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่แบบวิธีวัดค่าความแตกต่างของแรงดัน 6
รูปที่ 2.7 แสดงคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่แบบวิธีประจุด้วยอัตราคงที่ค่าต่ำ 7
รูปที่ 2.8 แสดงการคายประจุแบตเตอรี่อัตราต่างๆ 7
รูปที่ 2.9 แสดงการคายประจุด้วยวิธีต่างๆ 8
รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ แบบทรงกระบอก 11
รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ แบบกระดุม 11
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายประจุต่ออุณหภูมิขณะคายประจุที่อัตราต่างๆ 12
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุการคายประจุต่อค่าอัตราการคายประจุ 12
รูปที่ 2.14 แสดงการคายประจุด้วยตัวเอง 13
รูปที่ 2.15 แสดงวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์อย่างง่าย 14
รูปที่ 2.16 แสดงรูปคลื่นเอาท์พุทได้จากวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ 15
รูปที่ 2.17 แสดงรูปคลื่น PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ 16
รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์และขาใช้งานต่างๆของออปแอมป์ 18
รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าของออปแอมป์ในทางอุดมคติ 19
รูปที่ 2.20 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส และวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้า 21
รูปที่ 2.21 บล็อคไดอะแกรมของวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส 22
รูปที่ 2.22 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง 23
รูปที่ 2.23 บล็อคไดอะแกรมของวงจรขยายสัญญาณผลต่าง 24
รูปที่ 2.24 ไดอะแกรมแสดงรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด 25
รูปที่ 2.25 แสดงการจัดขาของ PIC16F876A 28
รูปที่ 2.26 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลแรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ 30
รูปที่ 2.27 ตัวอย่างสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นจากโมดูล CCP ใน PIC16F876A 33

สารบัญรูป(ต่อ)

หัวข้อ หน้า

รูปที่ 2.28 ไดอะแกรมการทำงานของโมดูล CCP เพื่อสร้างสัญญาณ PWM 33
รูปที่ 2.29 วงจรประจุโดยใช้กระแสคงที่อย่างง่าย 34
รูปที่ 2.30 แสดงวงจรประจุแบบใช้แรงดันคงที่ 35
รูปที่ 2.31 กราฟแสดงแรงดันในขณะประจุแบตเตอรี่ชนิด Ni-Cd และ Ni-Mh 37
รูปที่ 2.32 กราฟแสดงการประจุด้วยวิธี Delta T/Delta t ($\Delta T / \Delta t$) 37
รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องประจุ 40
รูปที่ 3.2 วงจร Buck Converter 42
รูปที่ 3.3 แสดงการทำงานของเครื่องประจุ 43
รูปที่ 4.1 วงจร Buck Converter 47
รูปที่ 4.2 วงจรวัดกระแสและแรงดัน 48
รูปที่ 4.3 บล็อคไดอะแกรมการควบคุมกระแส 52
รูปที่ 4.4 ไดอะแกรมแสดงการควบคุมกระแส 53
รูปที่ 5.1 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 1 ก้อน กระแส 500 mA 54
รูปที่ 5.2 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 2 ก้อน กระแส 500 mA 54
รูปที่ 5.3 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 3 ก้อน กระแส 500 mA 55
รูปที่ 5.4 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 4 ก้อน กระแส 500 mA 55
รูปที่ 5.5 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 2 ก้อน กระแส 1000 mA 56
รูปที่ 5.6 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 4 ก้อน กระแส 1000 mA 56
รูปที่ 5.7 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 2 ก้อน กระแส 2000 mA 56
รูปที่ 5.8 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 4 ก้อน กระแส 2000 mA 57
รูปที่ 5.9 แสดงผลการประจุแบตเตอรี่ความจุ 1000 mAh 2 ก้อน 58
รูปที่ 5.10 แสดงผลของอุณหภูมิในการประจุแบตเตอรี่ 1000 mAh 2 ก้อน ที่กระแส 1000mA 58
รูปที่ 5.11 แสดงการประจุแบตเตอรี่ความจุ 1000 mAh ที่กระแส 750 mA 60
รูปที่ 5.12 แสดงผลของอุณหภูมิในการประจุที่ 750 mA 60
รูปที่ 5.13 แสดงผลการประจุแบตเตอรี่ความจุ 700 mAh 1 ก้อน 61
รูปที่ 5.14 แสดงผลของอุณหภูมิในการประจุแบตเตอรี่ 700 mAh 1 ก้อน 62
รูปที่ ผ.1 แสดง Schematic Diagram ของวงจรประจุแบตเตอรี่ 66

สารบัญรูป(ต่อ)

หัวข้อ หน้า

รูปที่ ผ.2 แสดงลายทองแดงของวงจรประจุแบตเตอรี่ 67
รูปที่ ผ.3 รูปถ่ายวงจรประจุแบตเตอรี่ 76
รูปที่ ผ.4 โครงสร้างภายในของโครงงาน 76
รูปที่ ผ.5 โครงสร้างภายนอกของโครงงาน 77

สารบัญตาราง

หัวข้อ หน้า

ตารางที่ 2.1 สรุปข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม 1
ตารางที่ 2.2 สรุปข้อดี และข้อเสียของแบตเตอรี่นิกเกิล – เมทัลไฮไดรด์ 9
ตารางที่ 2.3 รายละเอียดคุณสมบัติของออปแอมป์ในทางอุดมคติกับออปแอมป์ที่ใช้งานทั่วไป 20

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น กล้องดิจิตอล วิทยุดิจิตอลแบบพกพา ฯลฯ อุปกรณ์เหล่านี้ล้วนแล้วแต่ต้องใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับตัวอุปกรณ์ในการทำงาน จึงอาจกล่าวได้ว่าแบตเตอรี่เป็นหัวใจสำคัญหลักของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้

คณะผู้จัดทำจึงทำการคิดโครงงานที่เกี่ยวกับการประจุแบตเตอรี่ขึ้นมา ให้มีประสิทธิภาพและมีความรวดเร็วในการประจุ โดยให้ยืนอยู่บนพื้นฐานของความปลอดภัยของแบตเตอรี่ด้วยเพื่อช่วยถนอมแบตเตอรี่ให้มีอายุการใช้งานที่ยืนยาวด้วย

โครงงานนี้ต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ และวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นพื้นฐานในการออกแบบวงจรที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ และความรู้ทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับการประมวลผลและควบคุมวงจรประจุแบตเตอรี่อีกที่หนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ในการดำเนินการ

1. เพื่อศึกษาการประจุแบตเตอรี่แบบต่าง ๆ
2. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์
3. เพื่อศึกษาการออกแบบวงจรที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ให้มีเสถียรภาพที่ดี
4. เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงต่อไป

1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการดำเนินการ

1. แบตเตอรี่ที่ใช้ประจุจะใช้เฉพาะชนิดนิกเกิล-แคดเมี่ยมและนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์เท่านั้น
2. จำกัดกระแสที่ใช้ประจุไม่เกิน 2 A
3. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เท่านั้น

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (NICKEL-CADMIUM BATTERIES)

2.1.1คุณลักษณะทั่วไป

แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม เป็นแบตเตอรี่ ชนิดพิเศษที่ถูกออกแบบขึ้นมาโดยมีคุณสมบัติพิเศษ ในการป้องกันอันตราย เนื่องจากการปลดปล่อยความดันแก๊สที่สูงมากที่เกิดจากการประจุแบตเตอรี่เกินพิกัดประจุ นำไปใช้กันอย่างกว้างขวาง ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ มากมาย เนื่องด้วยมีน้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด สำหรับ ข้อดี และข้อเสีย สามารถสรุปได้จากตารางที่ 2.1ดังนี้

ตารางที่ 2.1 สรุปข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีอายุการใช้งานยาวนาน 2. มักไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องอุณหภูมิ 3. ใช้เวลาในการประจุค่อนข้างเร็ว	1. มีราคาสูงกว่าแบตเตอรี่ แบบตะกั่ว-กรด 2. มักเกิดปรากฏการณ์ การจำสถานะค่าแรงดันต่ำ (ปรากฏการณ์ Voltage depression หรือ ปรากฏการณ์ Memory Effect) 3. ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสารแคดเมียม 4. มีค่าความจุต่ำกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น ๆ

2.1.2 คุณสมบัติทางเคมี

ขั้วบวกของเซลแบบนิแคดนี้ทำจากนิกเกิลไฮเดรท (Nickel Hydrate) ส่วนขั้วลบนั้นทำจากแคดเมี่ยมไฮดรอกไซด์ (Cadmium Hydroxide) อิเลคโทรดไลท์ทำจากสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) ซึ่งก็เหมือนกับเซลแบบตะกั่วกรดคือ ปฏิกิริยาเคมีในการประจุและคายประจุ เป็นดังนี้

$$Cd + 2NiOOH + 2H_2O \Leftrightarrow Cd(OH)_2 + 2Ni(OH)_2$$

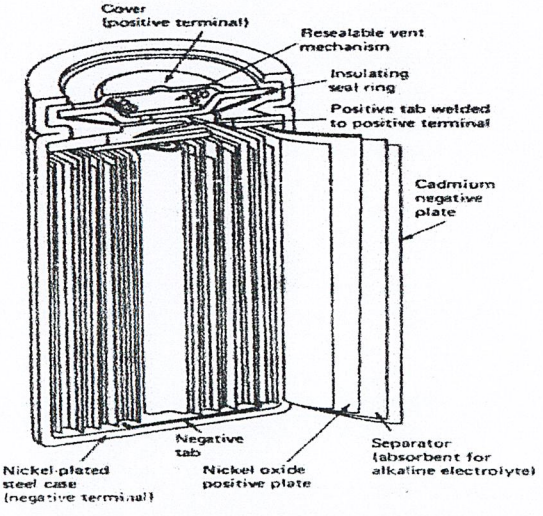
โดยสถานะประจุเต็มที่คือทางด้านซ้ายมือ และสถานะหมดประจุเต็มที่อยู่ทางด้านขวามือ ในเซลที่ได้รับการประจุจนเต็ม ขั้วลบจะเป็นแคดเมี่ยมบริสุทธิ์ ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ (Oxidation) ระหว่างการคายประจุ

ในระหว่างการประจุนอกจากปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวกแล้วนั้น จะมีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้นด้วย ซึ่งจะก่อให้เกิดก๊าซออกซิเจน แต่ก็ไม่เป็นปัญหาเนื่องจากก๊าซออกซิเจนสามารถเคลื่อนที่จากขั้วบวกไปรวมตัวกับขั้วลบ

ปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบจะผลิตก๊าซไฮโดรเจนขึ้น โดยจะเกิดขึ้นเมื่อขั้วลบอยู่ในสถานะประจุเต็มที่ โดยเราจะแน่ใจได้ว่าก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจะไม่รั่วไหลออกไป ถ้าทำให้ขนาดของขั้วลบใหญ่กว่าขั้วบวก

เมื่อเซลถูกประจุจนเต็ม กระแสที่ไหลผ่านเซลทั้งหมดจะใช้ในการผลิตก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวกซึ่งจะผ่านไปรวมตัวกันที่ขั้วลบ ซึ่งโครงสร้างของเซลเป็นสิ่งที่จำเป็นมากที่จะต้องสร้างให้มีทางให้ก๊าซออกซิเจนมารวมตัวได้ ถ้าไม่เช่นนั้นแล้วก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้

2.1.3 ลักษณะโครงสร้าง



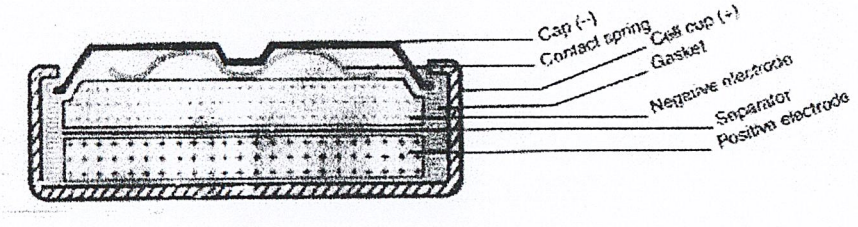
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ นิกเกิล – แคดเมียม รูปทรงกระบอก

2.1.3.1 แบบทรงกระบอก

ลักษณะโครงสร้างของแบบทรงกระบอก แสดงดังรูปที่ 2.1 ขั้วบวกแบตเตอรี่และขั้วลบจะทำมาจากเส้นใยของสารนิกเกิล เหมือนกัน โดยจะมีรูพรุนจำนวนมากเพื่อให้สะดวกในการที่ก๊าซออกซิเจนที่เคลื่อนที่จากขั้วบวกไปรวมตัวกันที่ขั้วลบในระหว่างการประจุแบตเตอรี่ ขั้วบวกและลบของแบตเตอรี่จะแยกจากกันโดยใช้ไนลอน (Nylon) หรือ โพลีโพรไพลีน (Polypro pylene) เป็นตัวกั้นกลางระหว่าง 2 ขั้ว นอกจากนี้ที่ตรงตำแหน่งขั้วบวกของแบตเตอรี่ที่อยู่ข้างบนสุดจะมีรูระบายความดันออก เพื่อความปลอดภัยในกรณีที่เกิดความดันแก๊สสูง เนื่องจากการประจุเกิดพิกัด

2.1.3.2 แบบกระดุม

ลักษณะโครงสร้างของแบบกระดุม แสดงดังรูปที่ 2.2 สารที่ใช้ทำจะเหมือนกันกับแบบทรงกระบอก เพียงแต่ในแบบกระดุมนั้น จะแตกต่างจากแบบทรงกระบอก ตรงที่ตำแหน่งของขั้วบวก และขั้วลบจะสลับกัน กล่าวคือ ด้านบนจะเป็นขั้วลบ ส่วนด้านล่างจะเป็นขั้วบวก และในแบบกระดุม จะใช้ระบบหน้าสัมผัสสปริง (Contact Spring) เป็นตัวป้องกันการปลดปล่อยความดันสูง แทนการใช้ระบบรูระบายความดัน



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของแบตเตอรี่นิกเกิล - แคดเมียมแบบกระดุม

2.1.4 การประจุแบตเตอรี่แบบนิกเกิล - แคดเมียม

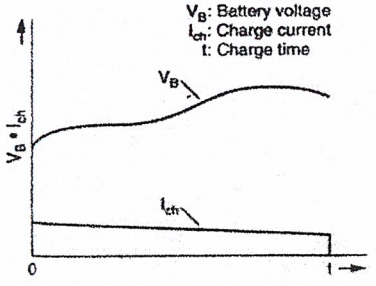
2.1.4.1 วิธีการประจุ

วิธีการประจุแบตเตอรี่ ประกอบด้วย 5 วิธี ดังนี้ คือ

- วิธีมาตรฐาน

เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากไม่ค่อยยุ่งยาก และวงจรที่ใช้ในการประจุมีราคาไม่สูงมากนัก โดยสามารถใช้ตัวต้านทานไฟฟ้าเพียงตัวเดียวต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

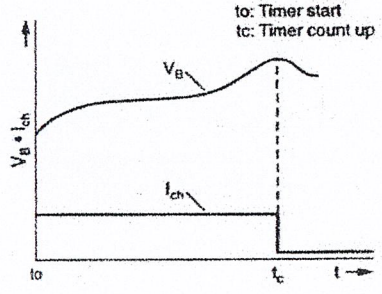
กับตัวแบตเตอรี่ โดยกำหนดค่ากระแสที่ใช้ในการประจุที่ค่าต่ำ ๆ เพียงอัตรา C/10 เท่านั้น โดยที่ค่า C ตัวนี้คือ ค่าความจุกระแสไฟฟ้าในการประจุของแบตเตอรี่ต่อหนึ่งชั่วโมง มีหน่วยเป็น Ah



รูปที่ 2.3 แสดงคุณลักษณะในการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีมาตรฐาน

- วิธีควบคุมเวลา

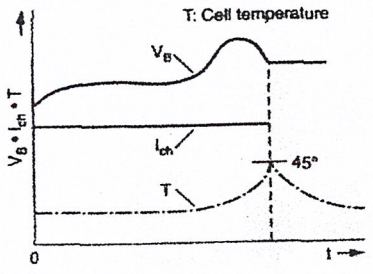
เป็นการกำหนดเวลาตั้งแต่เริ่มประจุจนกระทั่งถึงสิ้นสุดการประจุ วิธีนี้เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่ที่ได้การคายประจุจนหมดทุกครั้งก่อนที่จะทำการประจุครั้งใหม่ และไม่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ที่ต้องทำการประจุบ่อยครั้งโดยไม่ทำการคายประจุให้เกือบหมดก่อนเพราะอาจจะทำให้เกิดการประจุเกินพิกัดซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายได้จากอุณหภูมิที่สูง เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดเรื่องอุณหภูมิควรใช้อัตราการประจุเท่ากับ C/5



รูปที่ 2.4 แสดงคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่แบบวิธีควบคุมเวลา

- วิธีตรวจจับอุณหภูมิ

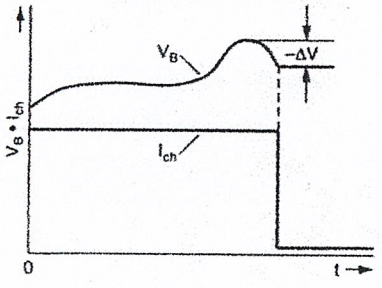
เป็นการประจุ โดยใช้ตัวตรวจสอบอุณหภูมิ เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ ไม่ให้เกินกว่าที่เรากำหนดไว้เพื่อป้องกันการเกิดอันตราย โดยถ้าอุณหภูมิของแบตเตอรี่มีค่าถึงค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้เราจะทำการสั่งให้หยุดการประจุชั่วคราว และเมื่อค่าอุณหภูมิต่ำลงจึงค่อยทำการประจุใหม่อีกครั้ง โดยทั่วไปจะตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.5 แสดงคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่แบบวิธีตรวจจับอุณหภูมิ

- วิธีวัดค่าความแตกต่างของแรงดัน

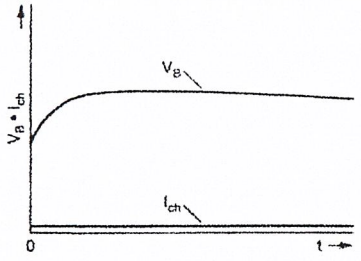
เป็นวิธีที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม โดยใช้การวัดค่าของแรงดันแบตเตอรี่ ในขณะที่มันเข้าสู่จุดสูงสุดของการประจุ ถ้าหากค่าแรงดันของแบตเตอรี่ต่ำลงกว่าค่าสูงสุดประมาณ 10 – 20 มิลลิโวลท์ ให้ทำการสิ้นสุดการประจุทันที แต่การประจุแบบนี้มีข้อจำกัดคือไม่เหมาะสมกับการประจุที่อัตราต่ำกว่า 0.5 C เนื่องจากว่าเราอาจไม่สามารถตรวจวัดค่าแรงดันที่ต่ำลงได้



รูปที่ 2.6 แสดงคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่แบบวิธีวัดค่าความแตกต่างของแรงดัน

- วิธีประจุด้วยอัตราคงที่ต่ำ

ทำการประจุที่อัตรา 0.02 C ถึง 0.05 C จนกว่าแบตเตอรี่จะมีค่าแรงดันสูงสุด และเมื่อค่าแรงดันไม่เปลี่ยนแปลง จึงทำการยกเลิกการประจุ

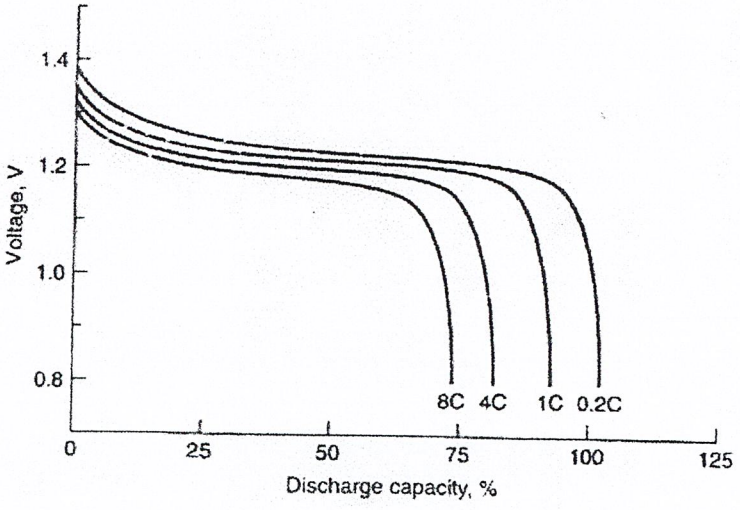


รูปที่ 2.7 แสดงคุณลักษณะการประจุแบตเตอรี่แบบวิธีประจุด้วยอัตราคงที่ค่าต่ำ

2.1.5 การทำการคายประจุแบตเตอรี่แบบนิกเกิล-แคดเมี่ยม

2.1.5.1 คุณลักษณะการคายประจุ

รูปที่ 2.8 แสดงถึงคุณลักษณะการคายประจุที่อัตราคงที่ต่าง ๆ กัน ซึ่งการทำการคายประจุมีข้อควรระวังคือ ไม่ควรทำการคายประจุแบตเตอรี่ให้เหลือค่าแรงดันต่ำกว่าค่าแรงดันคัทออฟ (Cutoff Voltage) เนื่องจากจะทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้ ส่วนใหญ่จะทำการกำหนดค่าแรงดันคัทออฟ เท่ากัน 0.8 โวลท์



รูปที่ 2.8 แสดงการคายประจุแบตเตอรี่ที่อัตราต่าง ๆ

2.1.5.2 วิธีการคายประจุ

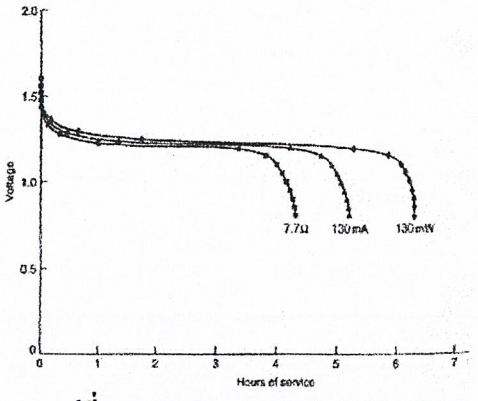
วิธีคายประจุมีอยู่ 3 แบบ ด้วยกัน คือ

1. การคายประจุด้วยค่ากระแสคงที่

2. การคายประจุด้วยค่ากำลังไฟฟ้าคงที่

3. การคายประจุด้วยค่าความต้านทานคงที่

ซึ่งจะใช้วิธีใด อยู่ที่ตัวผู้ใช้แบตเตอรี่ และขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของอุปกรณ์ที่ใช้ต่อเพื่อดึงกระแสจากแบตเตอรี่ในการคายประจุ แต่ส่วนใหญ่จะใช้การคายประจุด้วยค่ากระแสคงที่มากที่สุด



รูปที่ 2.9 แสดงการคายประจุด้วยวิธีต่างๆ

2.1.5.3 ปรากฏการณ์การจำสถานะค่าแรงดันต่ำของแบตเตอรี่(Memory Effect)

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ก่อนเวลาเสื่อมสภาพจริง ๆ นั้น มักเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ตัวนี้ด้วยส่วนหนึ่ง ซึ่งปรากฏการณ์ตัวนี้เกิดขึ้นเนื่องจาก การประจุแบตเตอรี่ไม่เต็มถึงขีดสูงสุดในแต่ละครั้ง แล้วนำมาทำการประจุบ่อยครั้ง หรือการที่ไม่ทำการคายประจุจนหมดหรือใกล้หมดก่อนทำการประจุครั้งใหม่ โดยที่แบตเตอรี่จะจำสถานะค่าแรงดันค่าต่ำ ๆ ไว้จนทำให้เมื่อเรานำไปประจุใหม่โดยไม่ทำการคายประจุให้หมดเสียก่อน อาจจะทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้ สำหรับแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมี่ยมนี้จะมีปัญหาเรื่องนี้มาก ดังนั้นก่อนที่จะทำการประจุครั้งใหม่ ควรทำการคายประจุให้หมดเสียก่อน

2.2 แบตเตอรี่ชนิด นิกเกิล- เมตัลไฮไดรด์ (NICKEL–METAL HYDRIDE BATTERIES)

2.2.1 คุณลักษณะทั่วไป

แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล – เมทัลไฮไดรด์ เป็นแบตเตอรี่สมัยใหม่ ที่มีคุณลักษณะคล้ายคลึงกับแบบนิกเกิล – แคดเมียมมาก มีข้อแตกต่างกันเล็กน้อย คือ แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล – เมทัลไฮไดรด์ จะใช้ไฮโดรเจน ซึ่งจะถูกดูดซับเข้าไปภายในโลหะผสม สำหรับการกระทำทางขั้วลบ แทนการใช้แคดเมียม ในแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล- แคดเมียม

ขั้วไฟฟ้าที่ใช้เมทัลไฮไดรด์ จะมีความหนาแน่นพลังงานสูงกว่า ขั้วไฟฟ้าที่ใช้แคดเมียมดังนั้น ปริมาณของสารในขั้วลบที่ใช้ในแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ นั้นปราศจากสารแคดเมียมทำให้ไม่เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อดี และข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล – เมทัลไฮไดรด์ สรุปได้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สรุปข้อดี และข้อเสียของแบตเตอรี่นิกเกิล – เมทัลไฮไดรด์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีค่าความจุสูงกว่าแบบนิกเกิล-แคดเมียม 2. ปราศจากสารแคดเมียม ไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม 3. ทำการประจุไว 4. อายุการใช้งานยาวนาน 5. ทนทานทุกสภาวะการประจุ	1. สมรรถนะไม่สูงเท่าแบบนิกเกิล-แคดเมียม 2. มีโอกาสเกิดปรากฏการณ์การจำสถานะค่าต่ำสูง ซึ่งเกิดจากการที่เราไม่คายประจุแบต-เตอรี่ให้หมดก่อนที่จะทำการประจุครั้งใหม่ 3. มีราคาสูง

2.2.2 คุณสมบัติทางเคมี

แบตเตอรี่นิเกิล-เมตัลไฮไดร์ (Ni-MH) จัดอยู่ในพวกแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิเซล ซึ่งแบตเตอรี่นิเกิล-เมตัลไฮไดร์ อาศัยการทำงานโดยใช้ปฏิกิริยาย้อนกลับทางไฟฟ้าและการดูดกลืนของไฮโดรเจนทางเคมี โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดนี้ประกอบไปด้วยขั้วบวกที่เป็นนิเกิลออกไซด์และขั้วลบเป็นโลหะผสมที่ดูดกลืนไฮโดรเจนได้ ส่วนอิเล็กทรอไลต์ประกอบไปด้วยสารละลายน้ำซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

ส่วนการทำงานของแบตเตอรี่นิเกิล-เมตัลไฮไดร์ ขั้นตอนของการประจุจะเริ่มขึ้น โดยมีการประจุ แบตเตอรี่จะมีความจุต่ำ และถ้าทำการประจุอย่างต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เป็นลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่นิเกิล-เมตัลไฮไดร์นั่นก็คือมีก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นซึ่งถ้าเขียนเป็นสูตรสำหรับปฏิกิริยานี้ก็จะได้ว่า

$$OH\,\frac{1}{2}H_2O + \frac{1}{4}O_2 + e^-$$

และเนื่องจากขั้วลบยังคงไม่ได้รับการประจุในขณะเริ่มต้นซึ่งตัวแบตเตอรี่เองก็จะยังไม่กำเนิดก๊าซไฮโดรเจนออกมา ทำให้ก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวกแผ่กระจายผ่านทะลุตัวกั้นระหว่างขั้วทั้งสองเข้าไปในขั้วลบ ทำให้เกิดการออกซิเดชั่นกับไฮโดรเจนในโลหะผสมและเกิดการรวมตัวกันเป็นน้ำขึ้นมา จากสูตรดังนี้

$$4MH + O_2 \rightarrow 4M + 2H_2O$$

ดังนั้นในขณะเกิดปฏิกิริยาการประจุระหว่างการรวมตัวของน้ำที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ดังที่กล่าวมาแล้ว ก็จะสลายตัวไป จากสูตรดังนี้คือ

$$M + H_2O + e^- \rightarrow MH + OH^-$$

โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ เมื่อทำการแยกออกมาทางเคมีก็จะได้ดังนี้คือ ปฏิกิริยาของการสลายตัวของก๊าซออกซิเจนกับปฏิกิริยาของการสลายตัวของน้ำ และถ้าแทนสิ่งที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้จากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าและทางเคมี จะได้สูตรออกมาคือ

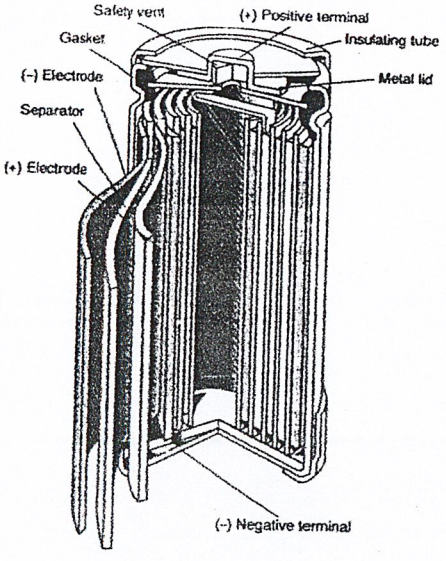
$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow MH + OH^-$$

โลหะผสมที่ใช้ดูดกลืนไฮโดรเจนสามารถแบ่งชนิดของโลหะผสมเหล่านี้ออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ได้ดังนี้ เช่น โลหะผสมอัลคาไลน์ โลหะผสมออกไซด์ และไตตาเนียมผสมไซร์โคเนียมโดยการแบ่งกลุ่มนี้จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบมูลฐานของโลหะผสม โดยส่วนใหญ่แล้วแบตเตอรี่นิเกิล-เมตัลไฮไดร์จะใช้โลหะผสมออกไซด์ของโลหะชนิดพิเศษ หรือไตตาเนียมผสมไซร์โคเนียมซึ่งบรรดาผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดทุกติยภูมิของญี่ปุ่น โดยส่วนใหญ่ก็ใช้โลหะผสมที่ดูดกลืนไฮโดรเจนนี้จากโลหะผสมออกไซด์ของโลหะชนิดพิเศษ

2.2.3 ลักษณะโครงสร้าง

2.2.3.1 โครงสร้างแบบทรงกระบอก

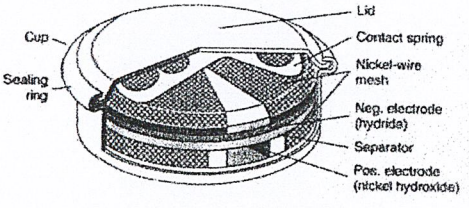
ลักษณะโครงสร้างแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 ขั้วอิเล็กโทรด (Electrodes) จะถูกม้วนเป็นขดหอย แล้วบรรจุเข้าไปในกระป๋องรูปทรงกระบอกส่วนบนจะประกอบไปด้วยฝาปิด (Melal lid) ซึ่งจะมีรูระบายอากาศ (Safety Vent) ซึ่งปกปิดจะทำหน้าที่เป็นขั้วบวก ส่วนตัวถังจะทำหน้าที่เป็นขั้วลบ สำหรับหน้าที่ของรูระบายอากาศนั้น จะทำหน้าที่ ปลดปล่อยความดันเมื่อแบตเตอรี่เกิดความร้อนสูงเนื่องจากการใช้งานผิดทาง



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ แบบทรงกระบอก

2.2.3.2 โครงสร้างแบบกระดุม

ลักษณะโครงสร้างแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ แบบกระดุม

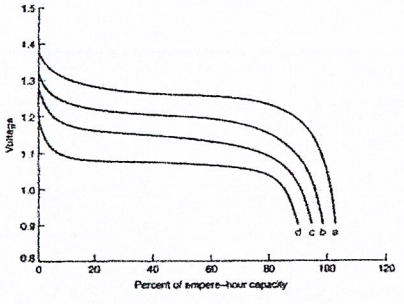
จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่า ลักษณะโครงสร้างจะคล้ายกับชนิดนิกเกิล – แคดเมียม แตกต่างกันที่สารแคดเมียมจะถูกทดแทนโดยโลหะผสมไฮไดรเจน

2.2.4 คุณลักษณะการคายประจุ

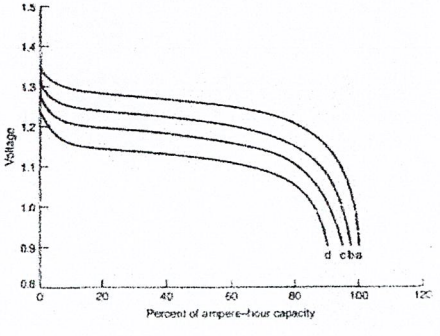
2.2.4.1 ผลของอัตราการคายประจุ และอุณหภูมิต่อค่าความจุ

ค่าอัตราความจุ แอมแปร์-ชั่วโมง จะขึ้นต่อค่ากระแสคายประจุ และอุณหภูมิด้วย เราจะทำการคายประจุโดยการให้คายประจุด้วยอัตราคงที่อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงค่าคัทออฟ โดยทั่วไปเราจะกำหนดค่าแรงดันคัทออฟของแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์เท่ากับ 1 โวลท์

ความสัมพันธ์ของค่าอัตราความจุของแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ กับค่าอุณหภูมิขณะคายประจุ และ กระแสคายประจุ สรุปได้ในรูปที่ 2.12 และ รูปที่ 2.13 ตามลำดับ



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายประจุต่ออุณหภูมิขณะคายประจุที่อัตราต่าง ๆ



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุการคายประจุต่อค่าอัตราการคายประจุ

2.2.4.2 ชนิดของการคายประจุ

สามารถทำการคายประจุได้โดยใช้วิธีเดียวกันกับแบบนิกเกิล-แคดเมียม คือ

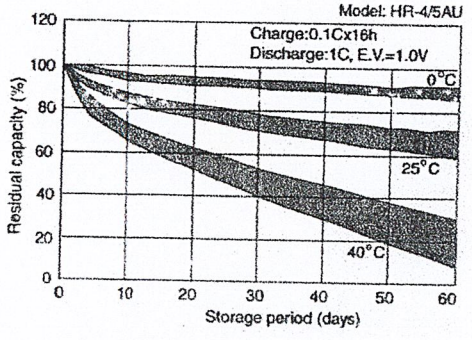
1. วิธีคายประจุด้วยค่าความต้านทานคงที่
2. วิธีคายประจุด้วยค่ากระแสคงที่
3. วิธีคายประจุด้วยค่ากำลังไฟฟ้าคงที่

2.2.4.3 ปรากฏการณ์การจำสถานะค่าแรงดันต่ำ

สำหรับแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล – เมทัลไฮไดรด์ จะไม่ค่อยมีผลมากนัก แต่จะมีผลเมื่อใช้งานไปนาน ๆ สำหรับปรากฏการณ์นี้ ได้กล่าวถึงไปแล้ว ในหัวข้อ 2.1.5.3

2.2.4.4 การคายประจุตัวเองของแบตเตอรี่

เมื่อเราไม่ได้ทำการใช้แบตเตอรี่ แล้วปล่อยทิ้งไว้นาน ๆ แบตเตอรี่จะทำการคายประจุตัวเองซึ่งอัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ และเวลา ซึ่งถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการคายประจุตัวเองของแบตเตอรี่ก็จะยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย การคายประจุตัวเอง แสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงการคายประจุด้วยตัวเอง

2.2.5 การประจุแบตเตอรี่

2.2.5.1 วิธีการในการประจุแบตเตอรี่

มี 3 วิธี ดังนี้

1. การประจุที่อัตราต่ำ

ทำการประจุที่อัตรา 0.1 C อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด คือ 15 – 30 องศาเซลเซียส

2. การประจุแบบเร็ว (4 – 5 ชั่วโมง)

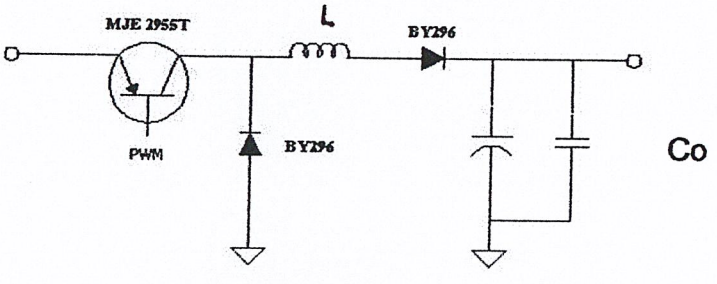
ทำการประจุที่อัตรา 0.1 ถึง 0.3 C การประจุด้วยวิธีนี้ควรทำการคายประจุจนถึงค่าแรงดันคัทออฟก่อนทำการประจุเพราะอาจเกิดอันตรายได้

3. การประจุแบบเร่งด่วน (1 ชั่วโมง)

ทำการประจุที่อัตรา 0.5 ถึง 1 C การประจุด้วยวิธีนี้ ควรใช้เทคนิคการประจุแบบตรวจสอบอุณหภูมิควบคู่ด้วย เพื่อป้องกันอันตรายเนื่องจากกระแสในการประจุสูง

2.3 บั๊กคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter)

วงจรแปลงผันแรงดันดีซี ดีซี แบบบั๊ก หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า บั๊กคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรแปลงผันแรงดันดีซี-ดีซี ที่ให้ขนาดของแรงดันเอาท์พุท (Output Voltage) น้อยกว่าแรงดันอินพุท (Input Voltage) ซึ่งเป็นวงจรหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาข้อผิดพลาดเกี่ยวกับปัญหาเรื่อง แหล่งจ่ายไฟสำหรับใช้ในการประจุแบตเตอรี่ สำหรับในโครงงานนี้ เหตุผลที่เลือกใช้วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากความไม่ยุ่งยาก ประสิทธิภาพของวงจร และ การสูญเสียเนื่องจากความร้อนต่ำ วงจรอย่างง่ายของบั๊กคอนเวอร์เตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์อย่างง่าย

2.3.1 หลักการพื้นฐานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์

ในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในการควบคุมวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์เราจะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการส่งค่าพัลซ์วิดท์โมดูเลชั่น (Pulse Width Modulation) หรือเรียกสั้นๆ ว่าพี คับเบิ้ลยู เอ็ม (PWM) ให้กับวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ เพื่อกำหนดการทำงานของวงจร

การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ เมื่อค่าเอาท์พุตของ PWM มีค่าเป็นลอจิกสูง กระแสจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์ (Transistor) และตัวเหนี่ยวนำ ผ่านต่อไปยังแบตเตอรี่ ในระหว่างกระบวนการนี้ตัวเหนี่ยวนำ จะทำการกำเนิดพลังงานไฟฟ้า และตัวเก็บประจุจะทำการประจุไฟ ส่วนเมื่อค่าเอาท์พุตของ PWM มีค่าเป็นลอจิกต่ำ แรงดันเหนี่ยวนำที่ตัวเหนี่ยวนำจะกลับกันกับที่สภาวะแรก และกระแสจะไหลผ่านถึงไดโอดซึ่งตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เสมือนตัวกรองสัญญาณรบกวนที่ผ่านเข้ามาในวงจร ซึ่งสัญญาณรบกวนจะเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีค่าความถี่ต่ำ ตัวกรองจึงช่วยทำให้แรงดันและกระแสเอาท์พุทราบเรียบขึ้น

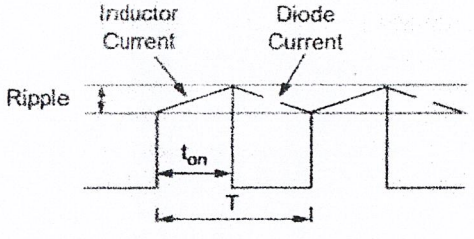
สำหรับโหมดการทำงานของวงจรประกอบด้วย 2 โหมด คือ

1. โหมดการทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous Mode) คือ การไหลของกระแสอย่างต่อเนื่อง

2. โหมดการทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Mode) คือ กระแสจะตกลงถึงค่าศูนย์ เมื่อครบ 1 คาบเวลา สำหรับกรณีที่กระแสโหลด (Current load) มีค่าสูง

สำหรับในสภาวะที่กระแสโหลดมีค่าไม่สูงมาก ควรให้ทำงานในโหมดต่อเนื่อง

วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในที่นี้จะออกแบบให้ทำงานในโหมดต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ได้รูปคลื่นเป็นแบบฟันเลื่อย ดังแสดงในรูปที่ 2.16

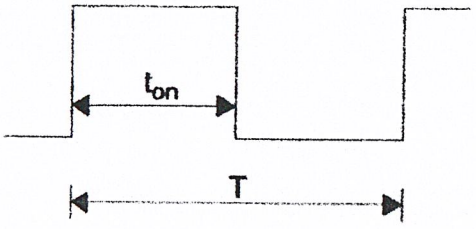


รูปที่ 2.16 แสดงรูปคลื่นเอาท์พุทได้จากวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์

จากรูปคลื่นของแรงดันอินพุท และเอาท์พุท ค่ากระแสจุดยอดสูงสุดของกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าคงที่ ซึ่งก็คือ กระแสโหลดขณะขึ้นหรือตกลง ค่ากระแสตรงเฉลี่ยของรูปคลื่นนี้จะเท่ากับค่ากระแสโหลดกระแสตรง

2.3.2 รายละเอียดของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์

ค่า PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่2.17 แสดงรูปคลื่น PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์

ความสัมพันธ์ระหว่าง PWM output และ แรงดันเอาท์พุท เขียนได้ดังสมการนี้

$$\frac{t_{ON}}{T} = \frac{(V_0 + V_D)}{(V_I - V_{sat} + V_D)}$$

โดยที่ ton = ช่วงเวลาด้าน on ของ PWM

T = ช่วงเวลาของ PWM

V_I = แรงดันอินพุท

V_o = แรงดันเอาท์พุท

V_{sat} = ค่าแรงดันอิ่มตัวของทรานซิสเตอร์

V_D = แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะไบอัสตรง

สมการตามด้านบนนั้น จะใช้ได้เฉพาะที่ 0 < ton < T เนื่องจากนี้ได้มาจากการสมมติให้กระแสไหลผ่านในตัวเหนี่ยวนำ สำหรับในกรณีพิเศษ ที่ ton = T (สภาวะที่ทรานซิสเตอร์สวิทช์ออฟที่ T) และกรณีที่ ton = T (ทรานซิสเตอร์สวิทช์ออนที่ T) สมการนี้จะใช้ไม่ได้

สำหรับ การคำนวณหาค่าอุปกรณ์อื่น ๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้

1. ตัวเก็บประจุที่ด้านเอาท์พุท (Co) ใช้สูตรตามนี้

$$Co \geq \frac{I_{pk}\, T}{8\, V_{ripple}}$$

โดยที I_{pk} = $2\, I_{OMAX}$

I_{OMAX} = ค่ากระแสเอาท์พุทสูงสุด

T = ค่าช่วงเวลา PWM

V_{ripple} = ค่าแรงดันริบเปิลทางด้านเอาท์พุท

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ถ้าต้องการค่า ripple ต่ำ ๆ ควรเลือกอุปกรณ์ที่มีค่ามาก และ มีค่า ESR (Equivalent scries resistance) ต่ำ

2. ค่าตัวเหนี่ยวนำ (L) ของวงจร ใช้สูตรตามนี้

$$L = \frac{(V_I - V_{sat} - V_0)ton}{I_{pk}}$$

โดย V_I = แรงดันอินพุท

V_o = แรงดันเอาท์พุท

V_{sat} = ค่าแรงดันอิ่มตัวของทรานซิสเตอร์

I_{pk} = $2\, I_{OMAX}$

I_{OMAX} = ค่ากระแสเอาท์พุทสูงสุด

ton = ค่าเวลา on ของ PWM

2.4 วงจรขยายสัญญาณรวมออปแอมป์ (Operational Amplifier, OP-AMP)

2.4.1 คุณสมบัติของออปแอมป์

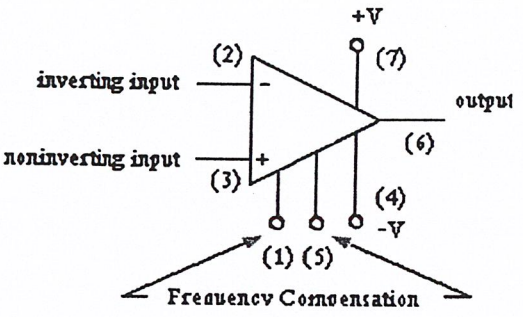
ออปแอมป์เป็นวงจรขยายสัญญาณซึ่งออกแบบในรูปของวงจรรวม หรือเรียกย่อ ๆ ว่า ไอ.ซี. โดยถูกออกแบบบรรจุในภาชนะ 2 แบบด้วยกัน คือ แบบโลหะซึ่งมี 8 ขา และแบบพลาสติก ซึ่งมี 8 ขา หรือ 14 ขา โดยการจัดวางขาเป็นแบบขาตะขาบ (Dual In-Line Package, DIP) ลักษณะวงจรภายในของออปแอมป์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนด้วยกัน คือ ภาคสัญญาณเข้า ภาคขยายสัญญาณ และภาคสัญญาณออก

ภาคสัญญาณเข้าของออปแอมป์นั้นส่วนใหญ่จะใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบผลต่าง (differential amplifier) หรือเรียกว่า ดิฟแอมป์ (diff. amp.) ซึ่งมีอัตราขยายสัญญาณอินพุทผลต่าง (differential input voltage gain, A_d) ที่สูง ในทางกลับกันจะมีอัตราขยายสัญญาณอินพุทร่วมที่ต่ำ (common-mode input voltage gain, A_{cm}) นอกจากนี้วงจรภาคดิฟแอมป์นี้จะต้องมีอิมพีแดนซ์ขาเข้าของวงจรสูงมากอีกด้วย (ทั่วไปมีค่าประมาณ $1M\Omega$)

ภาคขยายสัญญาณเป็นส่วนของวงจรที่รับสัญญาณต่อจากภาคดิฟแอมป์เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณทั้งแรงดันและกระแสซึ่งอาจประกอบด้วยภาคขยายสัญญาณหนึ่งหรือสองภาคขยายก็ได้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้อัตราขยายสัญญาณรวมมีค่าสูงมา ๆ ก่อนที่จะป้อนให้กับภาคสัญญาณออก

ภาคสัญญาณออกมักจะจัดเป็นวงจรขยายสัญญาณแบบอีมิตเตอร์ร่วม (emitter follower) เพื่อให้อิมพีแดนซ์ขาออกของวงจรมีค่าต่ำมาก ๆ และสามารถขับกระแสโหลดได้เพียงพอ

55662



รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์และขาใช้งานต่าง ๆ ของออปแอมป์

ลักษณะการจัดขาต่าง ๆ ของออปแอมป์ และรายละเอียดการใช้งานแต่ละขาได้แสดงดังในรูปที่ 2.18 มีรายละเอียดดังนี้

1. +V, -V : สองขั้วนี้เป็นขาสำหรับจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับออปแอมป์ โดยปกติจะจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงเป็นแบบสองขั้ว (dual-polarity power supply) เช่น $\pm 15, \pm 12$V หรือ ± 9 เป็นต้น

2. Frequency Compensation : สองขั้วนี้ใช้ต่ออุปกรณ์เพื่อป้องกันการออสซิเลดของออปแอมป์โดยปกติออปแอมป์ส่วนใหญ่ได้ออกแบบไว้ภายในตัวออปแอมป์แล้ว

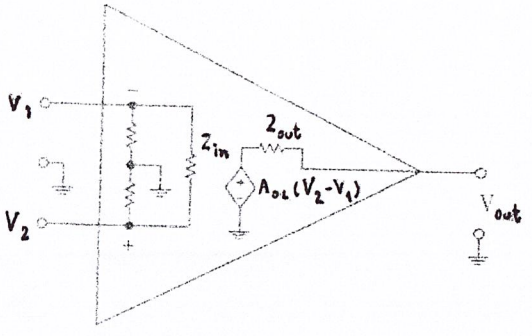
3. Output : ขั้วนี้เป็นขาสัญญาณออกหรือขาเอาท์พุท โดยปกติแรงดันเอาท์พุทที่ขานี้ จะมีค่าสูงสุดไม่เกินค่าของแรงดันไฟที่จ่ายให้กับออปแอมป์ และกระแสเอาท์พุทที่ไหลเข้าหรือไหลออกจากขานี้ไม่ควรเกิน 20 mA

4. Inverting input (ขั้วอินพุทกลับเฟส) : เป็นขั้วอินพุทหนึ่งของออปแอมป์ ถ้าป้อนสัญญาณเข้าที่ขาอินพุทนี้โดยต่อขั้วอินพุทไม่กลับเฟสกับอินพุทเป็นมุม 180 องศาหรือที่เรียกว่ากลับเฟสดังนั้นขาอินพุทนี้จึงได้ชื่อว่า ขั้วอินพุทกลับเฟส

5. Noninverting input (ขั้วอินพุทไม่กลับเฟส) : เป็นขั้วอินพุทอีกขาหนึ่งของออปแอมป์ เมื่อป้อนสัญญาณเข้าที่ขานี้โดยต่อขั้วอินพุทกลับเฟสกราวด์ จะได้สัญญาณเอาท์พุทเฟสเดียวกันกับอินพุท

2.4.2 คุณสมบัติของออปแอมป์ตามอุดมคติ (Ideal Op-AMP)

ออปแอมป์ตามอุดมคตินั้นไม่มีจริงแต่ที่กล่างถึงก็เพราะต้องใช้คุณสมบัติของออปแอมป์ตามอุดมคติ (ตามที่สมมุติว่าสร้างได้ใกล้เคียง) ช่วยในการออกแบบวงจรใช้งานต่าง ๆ ซึ่งวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของออปแอมป์ในทางอุดมคตินั้นสามารถเขียนอธิบายได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของออปแอมป์ในทางอุดมคติ

คุณสมบัติที่สำคัญของออปแอมป์ในทางอุดมคติมีดังต่อไปนี้คือ

1. อัตราการขยายแรงดันลูปเปิด (Open loop voltage gain, A_{OL}) จะต้องมีค่าสูงมากเป็นอนันต์ (infinite)

2. อินพุทอิมพีแดนซ์ (Input impedance, Z_{in}) จะต้องมีค่าสูงมากเป็นอนันต์

3. เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ (Output Impedance, Z_{out}) จะต้องมีค่าต่ำมากเป็นศูนย์

4. ช่วงความถี่แบนด์วิดธ์ (Bandwidth, BW) จะต้องมีค่ามากเป็นอนันต์

5. แรงดันอินพุทออฟเซต (Offset input voltage, V_{os}) จะต้องมีค่าต่ำมากเป็นศูนย์ (ในทางปฏิบัติสาเหตุที่ทำให้แรงดันอินพุทออฟเซตไม่เท่ากับศูนย์ อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ในส่วนวงจรทางดินพุทที่ไม่สมพงษ์ (match) กันนั้นเอง

ในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถสร้างออปแอมป์ตามอุดมคติได้จริง แต่สามารถสร้างได้ใกล้เคียงมากที่สุดดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งเปรียบเทียบคุณสมบัติของออปแอมป์เบอร์ต่าง ๆ และจากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่ามคุณสมบัติใกล้เคียงกับออปแอมป์ตามอุดมคติดังนี้ เราจึงสามารถประมาณได้ว่าออปแอมป์มีคุณสมบัติเป็นออปแอมป์ตามอุดมคติ และนำคุณสมบัติมาออกแบบวงจรในงานต่าง ๆ คุณสมบัติที่จำเป็นในการออกแบบวงจรขยายมีดังนี้คือ

1. ความแตกต่างแรงดันอินพุท (differential input voltage) มีค่าประมาณเท่ากับศูนย์ ทั้งนี้เพราะว่าในขณะใช้งานปกตินั้นแรงดันเอาท์พุท V_{out} มีค่าแน่นอนและค่าอัตราขยายลูปเปิด A_{OL} มีค่าสูงมากเป็นอนันต์ ดังนั้น $V_I = V_{out} / A_{OL}$ จะมีค่าน้อยมากเข้าใกล้ศูนย์นั้นคือ $V_1 = V_2$ (การสมมุตินี้จะไม่เป็นจริงถ้าเอาท์พุทของวงจรอยู่ในภาวะอิ่มตัว)

2. กระแสที่ไหลเข้าไปในอินพุทแต่ละขั้วมีค่าประมาณศูนย์ (I_B น้อยมากๆ) ทั้งนี้เพราะว่าค่าอินพุทพีแดนซ์ของออปแอมป์สูงมากเป็นค่าอนันต์

3. ในขณะที่ออปแอมป์ต่อแบบลูปปิด (Closed loop) จะทำให้แรงดันที่ขั้วอินพุททั้งสองค่าประมาณเท่ากัน

ในการคำนวณและหาค่าอัตราการขยายลูปปิดของออปแอมป์จะใช้คุณสมบัติทั้งสามข้อนี้ช่วยในการพิจารณาเขียนสมการอัตราการขยายลูปปิด A_{CL}

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดคุณสมบัติของออปแอมป์ในทางอุดมคติกับออปแอมป์ที่ใช้งานทั่วไป

Parameters	Ideal	General purpose 741	High speed 715	Low noise 5534
Open loop voltage gain, A_{OL}	∞	1×10^5	3×10^4	1×10^5
Input Offset Voltage, V_{os}	0	2mV	10mV	5mV
Input Offset Current, I_{OS}	0	20nA	250nA	300nA
Output Impedance, Z_{out}	0	75 Ω	75 Ω	0.3 Ω
Input impedance, Z_{in}	∞	2 MΩ	1 MΩ	100MΩ
Bandwidth, BW	∞	1 MHz	65 MHz	10 MHz
Slew Rate, SR	∞	0.7 V/mS	100 V/mS	13 V/mS

2.4.3 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)

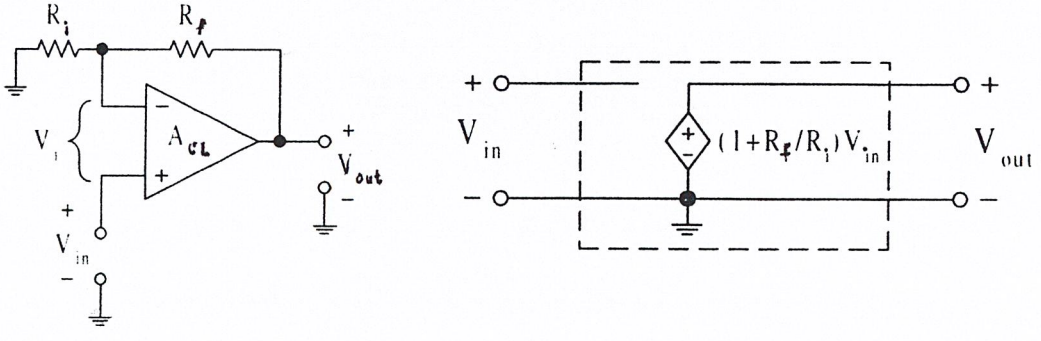
วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (noninverting amplifier) มีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 2.20 สังเกตว่าการต่อวงจรคล้ายกับวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสมากจะต่างกันตรงที่ขาสัญญาณอินพุทของวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสถูกป้อนเข้าทางขาไม่กลับเฟส (noninverting input) เท่านั้น ดังนั้นวงจรนี้จึงมีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์สูงมากเพราะเป็นอินพุทอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์นั่นเอง ลำดับขั้นการวิเคราะห์หาอัตราขยายสัญญาณของวงจรสามารถกระทำได้ดังนี้

จากวงจร R_i และ R_f จัดเป็นวงจรแบ่งแรงดัน เนื่องจากกระแสอินพุทของออปแอมป์มีค่าต่ำมากๆ หรือ $IB \rightarrow 0$

ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านR_i และ R_f จึงเป็นกระแสตัวเดียวกัน ทำให้ได้แรงดันที่ขั้วอินพุทกลับเฟสมีค่าเท่ากับ

$$I_{Ri} = \frac{V_{in} + V_i}{R_i} \cong I_{Rf} = \frac{V_{out} - (V_{in} + V_i)}{R_f}$$

ตัวอย่างเช่น สมมุติว่า $V_{in} = 1$ V ออปแอมป์จะพยายามทำให้ขั้วอินพุทกลับเฟสมีแรงดันเท่ากับที่ขั้วอินพุทไม่กลับเฟส ถ้าให้ $R_i = 10\text{k}\Omega$ และ $R_f = 100\ \text{k}\Omega$ จะได้ $V_{out} = 11$ V



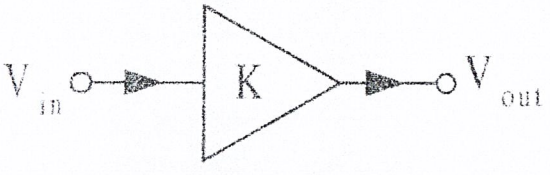
รูปที่ 2.20 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส และวงจรสมมูลทางไฟฟ้า

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ได้ว่า $Z \rightarrow \infty$ และ $I_B = 0$ ดังนั้นจะเห็นว่ากระแสที่ไหลผ่าน R_i จึงเท่ากับกระแสที่ไหลผ่าน R_f หรือนั่นคือโดยที่แรงดันที่ขั้วอินพุทกลับเฟสเท่ากับ $V_{in} + V_i$ แต่ค่า $V_{out} = A_{OL}V_i, V_i = V_{out} / A_{OL}$ เนื่องจาก $AOL \rightarrow \infty$ ดังนั้น $V_i = 0$ เพราะฉะนั้นจะได้จะได้อัตราขยายแรงดันลูปปิดของวงจร เท่ากับ

$$\frac{V_{in}}{R_i} \cong \frac{V_{out} - V_{in}}{R_f}$$

$$ACL = \frac{V_{out}}{V_{in}} \cong \left(1 + \frac{R_f}{Ri}\right)$$

จากสมการข้างต้น จะเห็นว่าวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสนี้มีคุณสมบัติคล้ายกับวงจรขยายสัญญาณเบสร่วม (Common-base amplifier) กล่าวคือจะให้สัญญาณเอาท์พุทที่มีเฟสเหมือนกับสัญญาณอินพุท หรือมุมต่างเฟสของวงจรเป็นศูนย์องศา มีอัตราขยายแรงดันตั้งแต่หนึ่งขึ้นไปและมีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ข้องวงจรเท่ากับ Z_{in} ของออปแอมป์ บล็อคไดอะแกรมของวงจรสามารถเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 2.21

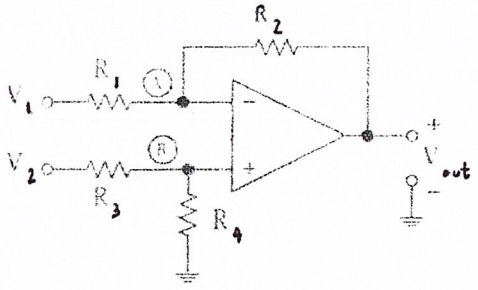


$$K = (1 + R_f / R_i)$$

รูปที่ 2.21 บล็อคไดอะแกรมของวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

2.4.4 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง (Difference Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณผลต่างดังรูปที่ 2.22 ใช้สำหรับหาผลต่างทางพีชคณิตของแรงดันสองชุดหรือผลต่างทางเวคเตอร์ (vector) ของสัญญาณอินพุทสองชุด โดยแรงดันเอาท์พุทที่ได้จะเท่ากับผลต่างของสัญญาณอินพุททั้งสองคูณด้วยอัตราขยายสัญญาณของวงจร ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาท์พุทกับแรงดันดินพุทของวงจรนั้นในที่นี้จะหาโดยใช้วิธีแรงดันโหนดวิเคราะห์ (node Voltage analysis) ดังขั้นตอนต่อไปนี้คือ



รูปที่ 2.22 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง

จากวงจรพิจารณาว่าออปแอมป์มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์สูงมากเป็นอนันต์ทำให้กระแสที่ไหลเข้าขั้วอินพุททั้งสองของออปแอมป์จึงประมาณว่าน้อยมากเป็นศูนย์ (I_B=0) ดังนั้นผลรวมกระแสที่โหนด A จะเท่ากับ

$$\frac{V_1 - V_A}{R_1} = \frac{V_A - V_{out}}{R_2}$$

จะได้

$$V_A = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)V_1 + \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)V_{out}$$

เช่นเดียวกันจะได้ผลรวมกระแสที่โหนด B เท่ากับ

$$\frac{V_2 - V_B}{R_3} = \frac{V_B}{R_4}$$

จะได้

$$V_B = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)V_2$$

และคุณสมบัติของออปแอมป์ที่ว่า $V_1 = V_B - V_A = 0$ หรือ $V_B = V_A$ นั้นคือ

$$\left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)V2 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)V1 + \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)V_{out}$$

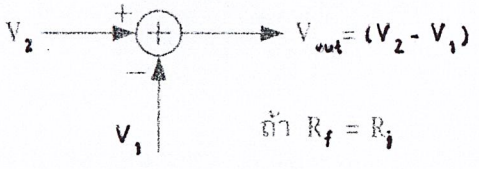
ดังนั้น

$$V_{out} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right)\left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)V_2 - \left(\frac{R_2}{R_1}\right)V1$$

นอกจากนี้ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุท มีค่าเท่ากับ R_1 และอินพุทพีแดนซ์ทางด้านอินพุท มีค่าเท่ากับ $(R_3 + R_4)$ โดยทั่วไปการใช้งานของวงจรนิยมเลือกค่าความต้านทานให้ $R_2 = R_4 = R_f$ ดังนั้นสมการข้างต้นจึงนำมาเขียนใหม่ได้เป็น

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_i}\right)(V_2 - V_1)$$

จะเห็นว่าแรงดันเอาท์พุทของวงจรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของแรงดันอินพุท V_1 และ V_2 ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยบล็อคไดอะแกรมดังรูปที่ 2.23 นอกจากนี้การนำเอาหลักการของวงจรขยายสัญญาณผลต่างตามสมการข้างต้น ไปประยุกต์ใช้งานที่นิยมอย่างหลายมากที่สุดในระบบควบคุมและเครื่องมือวัด ก็คือ วงจรขยายอินสทรูเมนท์ (instrumentation amplifier) ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดในบทถัดไป



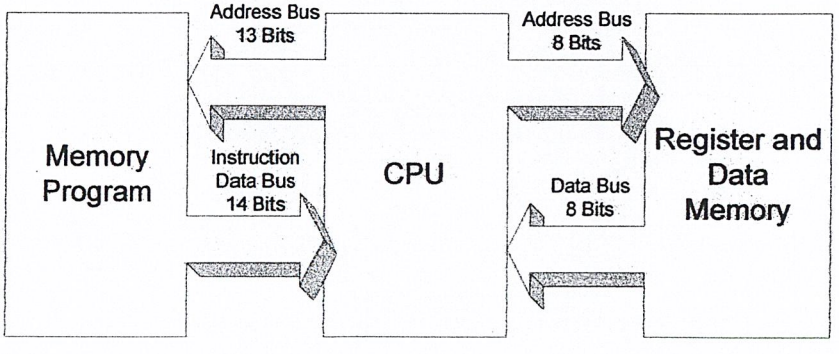
รูปที่ 2.23 บล็อคไดอะแกรมของวงจรขยายสัญญาณผลต่าง

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16F876A

2.5.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล PIC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard architecture) กล่าวคือ มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน โดยมีบัสสำหรับติดต่อแยกกันด้วย ดังแสดงในรูปที่2.24 จะเห็นว่าซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยบัสแอดเดรส 13 บิต และบัสข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรม 14 บิต ในขณะที่บัสสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ภายในเป็นแบบ 8 บิตทั้งบัสแอดเดรสและบัสข้อมูล

นอกจากการจัดสถาปัตยกรรมแบบนี้แล้วการกระทำคำสั่งของโมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ยังใช้กระบวนการที่เรียกว่าไปป์ไลน์ (pipeline) ทำให้สามารถเฟตช์คำสั่งถัดไป ในขณะที่กำลังเอ็กซิคิวต์คำสั่งในปัจจุบัน ส่งผลให้ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มมากขึ้น นั่นจึงเป็นที่มาของความสามารถในการกระทำคำสั่ง 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก (เฟตช์ : fetch เป็นกระบวนการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วแปลเป็นเลขฐานสิบหกเพื่อให้ซีพียูเข้าใจส่วนกระบวนการเอ็กซิคิวต์ (execute) เป็นการกระคำสั่งให้เกิดผลลัพธ์ตามที่คำสั่งนั้น ๆ กำหนด)



รูปที่ 2.24 ไดอะแกรมแสดงรูปแบบสถาปัยกรรมของโมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด

2.5.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC

ส่วนประกอบหลักก็จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F84 แต่จะมีส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามามากพอควร ได้แก่ วงจรบราวเอาต์รีเซต (brown-out reset), ส่วนแก้ไขข้อมูลในวงจรหรือดีบักเกอร์ (In-circuit debugger), วงจรโปรแกรมข้อมูลด้วยแรงดันต่ำ (low-voltage programming), ไทเมอร์ที่มีมากถึง 3 ตัว, วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (SPI : Serial Peripheral Interfacing), วงจรเชื่อมต่อระบบบัส I^2C, วงจรสื่อสารอนุกรม (USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) และโมดูลเปรียบเทียบสัญญาณ-ตรวจจับสัญญาณ-วงจรมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์หรือPWM (CCP : Compare Capture Pulse-width modulation) นอกจากนั้นในอนุกรม PIC16F87xA จะมีวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกและโมดูลสร้างแรงดันอ้างอิงเพิ่มเติมเข้ามาอีกด้วย

2.5.3 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F87x/87xA

คุณสมบัติหลัก

- ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งการกระโดด
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz
- หน่วยความจำโปรแกรม
  - 2 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F870/872
  - 4 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F873/874(A)
  - 8 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F876/877/877A
- หน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรีจิสเตอร์
  - 128 ไบต์ สำหรับ PIC16F870/871/872
  - 192 ไบต์ สำหรับ PIC16F873(A)/874(A)
  - 368 ไบต์ สำหรับ PIC16F876(A)/877(A)
- ขนาดหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม
  - 64 ไบต์ สำหรับ PIC16F870/871/872
  - 128 ไบต์ สำหรับ PIC16F873(A)/874(A)
  - 256 ไบต์ สำหรับ PIC16F876(A)/877(A)
- ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์สูงสุดถึง 15 แหล่งขึ้นกับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

- มีสแต็ก 8 ระดับ
- มีวงจรเพาเวอร์ออนรีเซต (POR)
- มีเพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์สตาร์ตอัปไทเมอร์ (OST)
- มีวงจรวอตช์ด็อกไทเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลสามารถเลือกระดับการป้องกันได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V ได้
- แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ICD (In-circuit Debugger) ผ่านพอร์ตเพียง 2ขา
- ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- ไฟเลี้ยง +2 ถึง +5.5 V
- กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25mA
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด

  น้อยกว่า 2mA ที่ไฟเลี้ยง +5V และสัญญาณนาฬิกา 4MHz

  20uA ที่ไฟเลี้ยง +3V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz

  น้อยกว่า 1 uA ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บาย

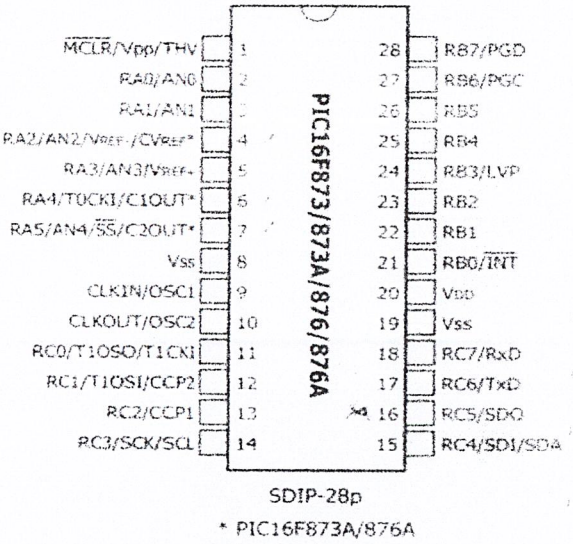
คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม

- ไทเมอร์ 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต มีปรีสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว, ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต พร้อมปรีสเกลเลอร์ และไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปรีสเกลเลอร์, โพสต์สเกลเลอร์ และรีจีสเตอร์คาบเวลา (period register) ขนาด 8 บิตในตัว

- มีโมดูล CCP 2 ชุดโดย

  ส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (Capture) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 นาโนวินาทีส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 200 นาโนวินาที วงจร PWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต (5 ช่องสำหรับPIC16F873(A)/876(A) และ 8 ช่องสำหรับ PIC16F874(A)/877(A)

- วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และบัส I^2C
- วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต
- มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (บราวเอาต์ดีเท็กชั่น : Brown-out detection) เพื่อการรีเซต ซีพียู หรือ เรียกว่า บราวเอาต์รีเซต (Brown-out reset : BOR)



รูปที่ 2.25แสดงการจัดขาของ PIC16F876

2.5.4 การจัดสรรหน่วยความจำและรีจิสเตอร์ควบคุมของ PIC

2.5.4.1 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory) เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากเพราะเป็นที่เก็บข้อมูลคำสั่งทั้งหมดซึ่งใช้ในการกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน หน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F87x เป็นแบบแฟลช (flash memory) ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับแสนครั้ง แต่อย่างไรก็ตามโดยปกติ หน่วยความจำโปรแกรมหลังจากที่ทำการเขียนในขั้นตอนของการโปรแกรมแล้วก็จะมีไว้สำหรับอ่านออกมาได้เพียงทางเดียว สำหรับในหนังสือเล่มนี้จะเน้นไปที่เบอร์ PIC16F873/874/876/877 ทั้งในแบบมาตรฐานและแบบลงท้ายด้วย A

PIC16F87x มีโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ขนาด 13 บิตเพื่อกำหนดการเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรม โดยใน PIC16F873/874 จะมีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรม 4K x 14 บิต (หรือ 4 กิโลเวิร์ด โดย 1 เวิร์ดมีขนาด 14 บิต) ส่วน PIC16F876/877 จะมีขนาด 8K x 14 บิต (หรือ 8 กิโลเวิร์ด) เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรมนี้มีขนาดหน่วยความจำโปรแกรมที่ค่อนข้างใหญ่มากจึงต้องมีการจัดสรรเป็นเพจ (page) หรือเป็นหน้า โดยในแต่เพจจะมีขนาด 2 กิโลเวิร์ด ทั้งนี้

เนื่องจากชุดคำสั่งเกี่ยวกับการกระโดดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC สามารถอ้างถึงตำแหน่งของหน่วยความจำได้สูงสุด 2,048 ตำแหน่ง

ในรูปที่ 2.27 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC 16F87x การจัดสรรดังกล่าวเป็นการจัดสรรปกติ

สำหรับ PIC16F876/877 ซึ่งมีขนาดหน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลเวิร์ด มีการจัดสรรพื้นที่ดังในรูปที่ มีการสงวนแอดเดรส 0x0000 และ 0x0004 ไว้เช่นกัน หรืออาจกล่าวได้ว่า เป็นรูปแบบมาตรฐานของการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ สำหรับ PIC16F876/877 มีการแบ่งหน่วยความจำโปรแกรมออกเป็น 4 เพจ ดังนี้

เพจ 0 มีแอดเดรสในช่วง 0x0000-0x07FF (โดยควรสงวนแอดเดรส 0x0000 และ 0x0004 ไว้)

เพจ 1 มีแอดเดรสในช่วง 0x0800-0x0FFF

เพจ 2 มีแอดเดรสในช่วง 0x1000-0x17FF

เพจ 3 มีแอดเดรสในช่วง 0x1800-0x1FFF

นอกจากนั้นใน PIC16F87x ยังมีพื้นที่หน่วยความจำพิเศษสำหรับเก็บค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ชั่วคราวขนาด 13 บิต เรียกว่า สแต็ก (stack) ซึ่งจะมีบทบาทมากในการกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อยของ PIC16F87x โดยเมื่อกระทำคำสั่งให้กระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อย ซีพียูจะทำการเก็บค่าโปรแกรมเคาร์เตอร์หรือ PC ในขณะนั้นไว้ในสแต็ก จากสแต็กกลับมา แล้วทำงานตามกระบวนการในโปรแกรมหลักต่อไป สำหรับสแต็กใน PIC16F87x มีขนาด 13 บิต สามารถเก็บค่าของ PC ได้ 8 ระดับ

2.5.4.2 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลของ PIC16F876/877

ใน PIC16F876/877 มีหน่วยความจำข้อมูลแรมสำหรับใช้งานทั่วไป 368 ไบต์ และมีรีจิสเตอร์ไฟล์ 8 บิต 57 ตัว หรือ 59 ตัวในเบอร์ PIC16F876/877A ดังนั้นในรูปที่2.26 แต่ละแบงก์มีขนาดสูงสุด 128 ไบต์ แต่มีการใช้งานได้จริงในแต่ละแบงก์ต่างกัน โดยในแต่แบงก์มีการจัดสรรพื้นที่ดังนี้

แบงก์ 0 มีช่วงแอดเดรส 0x00-0x7F

แอดเดรส 0x00-0x1F เป็นพื้นที่ของรีจีสเตอร์ไฟล์

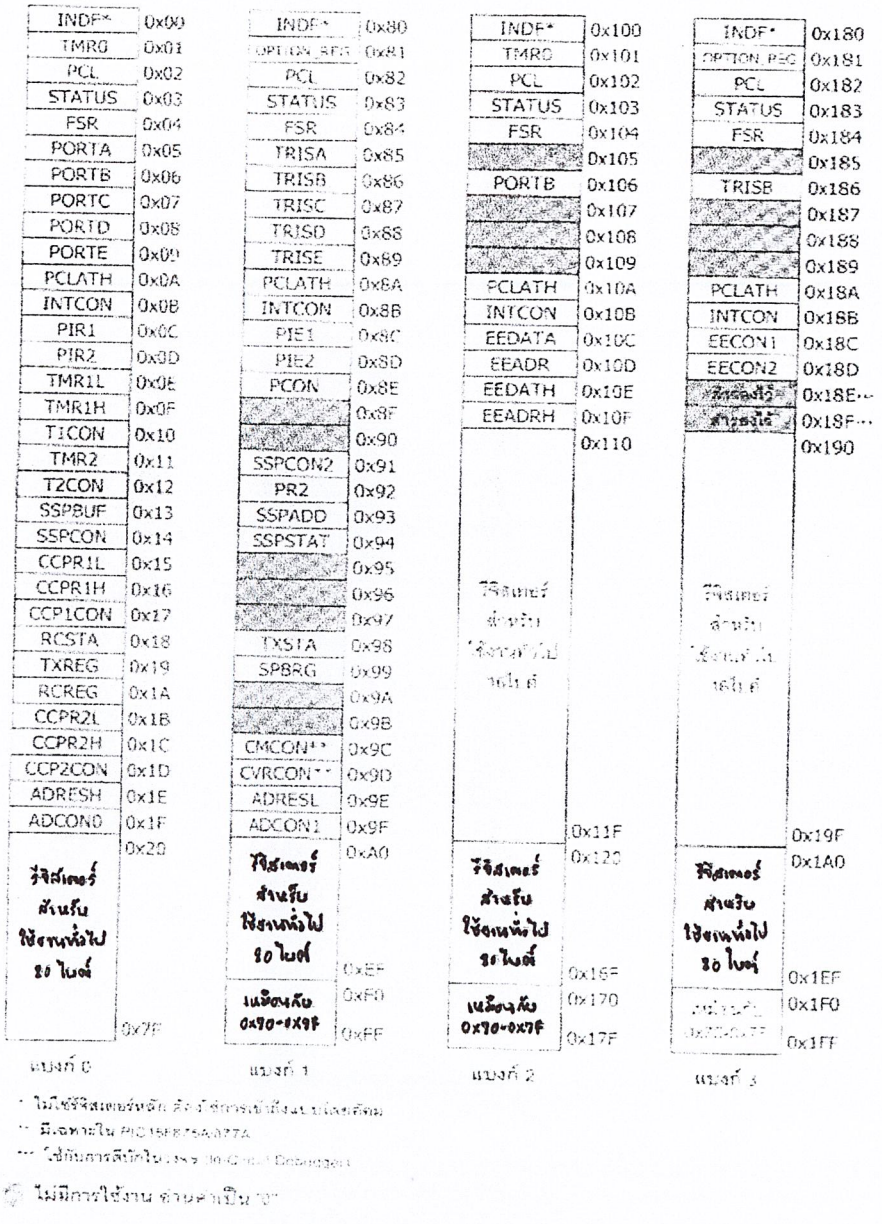
แอดเดรส 0x00-0x7F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 96 ไบต์

แบงก์ 1 มีช่วงแอดเดรส 0x80-0xFF

แอดเดรส 0x80-0x9F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน

แอดเดรส 0xA0-0xEF เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

แอดเดรส 0xF0-0xFF บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์



รูปที่ 2.26 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลแรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876(A)/877(A)

แบงก์ 2 มีช่วงแอดเดรส 0x100-0x17F

แอดเดรส 0x100-0x10F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน

แอดเดรส 0x110-0x11F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 16 ไบต์

แอดเดรส 0x120-0x16F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

แอดเดรส 0x170-0x17F บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

แบงก์ 3 มีช่วงแอดเดรส 0x180-0x1FF

แอดเดรส 0x180-0x18F เป็นพื้นที่ของรีจิตเตอร์ไฟต์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน

แอดเดรส 0x190-0x19F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 16 ไบต์

แอดเดรส 0x1A0-0x1EF เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

แอดเดรส 0x1F0-0x1FF บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

2.2.5 การสร้างสัญญาณ PWM (CCP Module) ใน PIC 16F876A

2.2.5.1 CCP Module

โมดูล CCP (Capture\Compare\PWM module)สำหรับโมดูล CCP (Capture\Compare\PWM module) จะมีอยู่ 2 ชุด โมดูล CCP ต้องทำงานร่วมกับไทเมอร์เนื่องจากต้องอาศัยฐานเวลาในการเปลี่ยนแปลงค่าสำหรับไทเมอร์ที่ใช้มี 2 ตัวคือ ไทเมอร์ 1 และไทเมอร์ 2 สำหรับการใช้งานในโหมด PWM จะใช้ไทเมอร์ เป็นตัวกำหนดฐานเวลา ซึ่งไทเมอร์ 2 จะมีรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูล คือ TMR2 สามารถเข้าถึงเพื่อทำการอ่านและเขียนได้ เมื่อเกิดการรีเซตไม่ว่าจากสาเหตุใดค่าของ TMR2 จะถูกเคลียร์เป็น 0x00 ด้วยเสมอ ภายในไทเมอร์ 2 ยังมีรีจิสเตอร์ ขนาด 8 บิตอีกตัวหนึ่งคือรีจิสเตอร์ PR2 เมื่อค่าของไทเมอร์ 2 เพิ่มจาก 0x00 จนถึงค่าของ PR2 ทำให้ TMR2 ถูกเคลียร์เป็น 0x00 ในไซเคิลถัดไป นั่นหมายความว่าสามารถกำหนดขอบเขตในการเพิ่มค่าของไทเมอร์ 2 ด้วยการกำหนดค่าลงในรีจิสเตอร์ PR2 การใช้งานโหมด PWM ก็เพื่อเป็นสัญญาณอินพุตของวงจร Buck Converter ในการปรับค่ากระแสตามต้องการ การทำงานในโหมด PWM

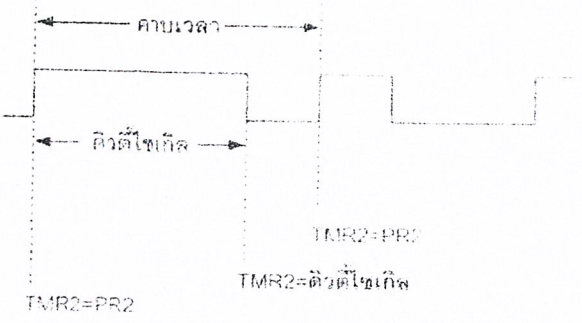
2.2.5.2 การทำงานในโหมด PWM

ในโหมดนี้โมดูล CCP จะกำเนิดสัญญาณ PWM ความละเอียด 10 บิต ลักษณะของสัญญาณ PWM รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่ควรทราบแสดงในรูปที่2.27 ไดอะแกรมการทำงานแสดงในรูปที่2.28 สัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นนี้จะส่งออกทางขา CDPx หลักการสร้างสัญญาณ PWM มีดังนี้

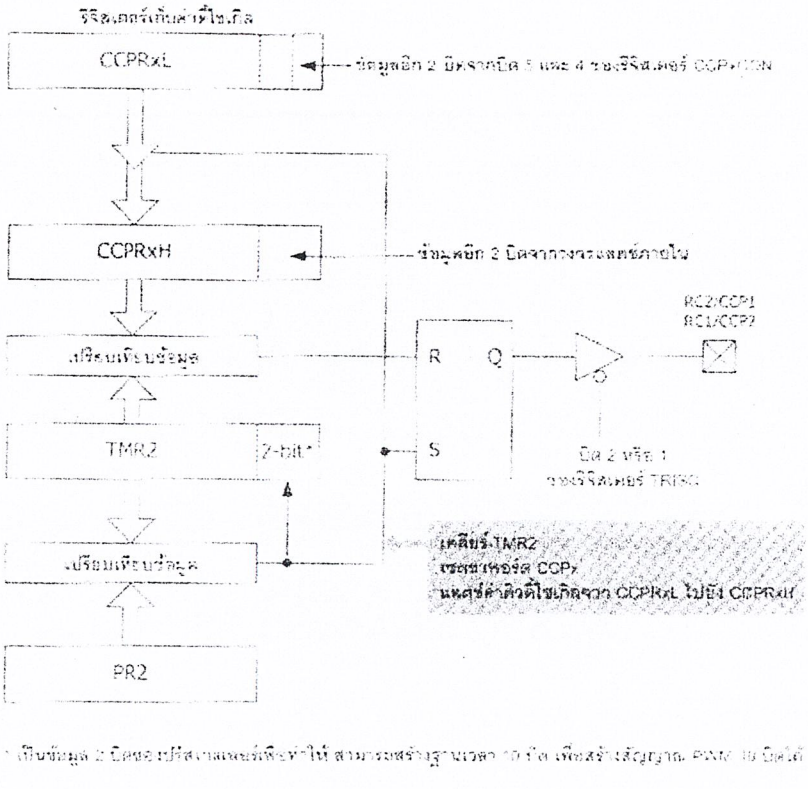
1. กำหนดค่าให้แก่รีจิสเตอร์ PR2 เพื่อกำหนดคาบเวลาของสัญญาณ PWM ที่ต้องการ
2. กำหนดค่าดิวตี้ไซเกิลโดยเขียนข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ CCPRxL ร่วมกับบิต 5 และ 4 ในรีจิสเตอร์
3. กำหนดให้ขาพอร์ต CCPx เป็นเอาต์พุต โดยการเคลียร์บิต 2 หรือ 1 ของรีจิสเตอร์ TRISC
4. กำหนดค่าปรีสเกลเลอร์ของ TMR2 และเอ็นเอเบิลการทำงานของไทเมอร์ 2
5. กำหนดให้โมดูล CCP ทำงานในโหมด PWM

ทันทีที่โมดูล CCP เริ่มทำงานค่าของ TMR2 จะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับ PR2 ที่ขาพอร์ต CCPx จะเกิดลอจิก “1” และคงสถานะอยู่เช่นนั้น หลังจากนั้นค่าของ TMR2 จะเคลียร์พร้อมกันนั้นค่าดิวตี้ไซเกิลที่กำหนดไว้ในรีจิสเตอร์ CCPRxL และ 2 บิตใน CCPxCON จะถูกถ่ายทอดไปยัง CCPRxH และ 2 บิตในหน่วยความจำพิเศษเพื่อเปรียบเทียบกับค่าใน TMR2 และบิตปรีสเกลเลอร์ 2 บิต ซึ่งเริ่มต้นเพิ่มค่าใหม่จนกระทั่งเมื่อข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มเท่ากัน จะส่งสัญญาณไปทำให้ขา CCPx กลับมาเป็นลอจิก “0” และคงสถานะอยู่เช่นนั้นจนกระทั่งค่าของ TMR2 เท่ากับ PR2 อีกครั้ง ก็จะเกิดสัญญาณลอจิก “1” เป็นการเริ่มต้นรอบใหม่ของสัญญาณ และจะทำงานเช่นนี้จนกระทั่งมีการดิสเอเบิล

ค่าดิวตี้ไซเกิลของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา แต่ค่าของคาบเวลาหรือความถี่จะไม่เปลี่ยนแปลง จนกว่าจะหยุดการทำงาน แล้วกำหนดค่าของคาบเวลาลงในรีจีสเตอร์ PR2 ใหม่ ดังนั้นสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นอาจมีทั้งช่วงดิวตี้ไซเกิลสูงหรือต่ำสลับไปมาได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน



รูปที่ 2.27 ตัวอย่างสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นจากโมดูล CCP ใน PIC16F87x และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการสร้างสัญญาณ



รูปที่ 2.28 ไดอะแกรมการทำงานของโมดูล CDP เพื่อสร้างสัญญาณ PWM

ประโยชน์ของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นนี้คือนำไปใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรง ควบคุมความสว่างของหลอดไฟหรือใช้ในวงจรหรี่ไฟนั่นเอง ใช้ในการปรับแรงดันโดยต้องมีการต่อวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่เอาต์พุตของขาพอร์ต CCPx เป็นต้น

2.6 วิธีการประจุแบตเตอรี่

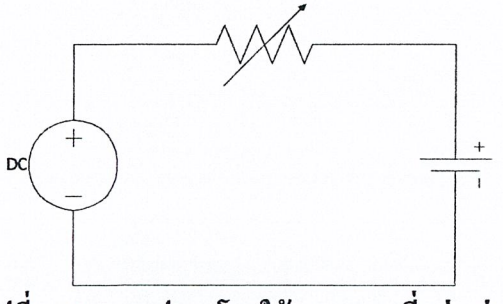
วิธีการประจุแบตเตอรี่มี 2 วิธีง่ายๆ ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน คือ

1) แบบกระแสคงที่
2) แบบแรงดันคงที่

ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดดังนี้

2.6.1 แบบกระแสคงที่ (Constant Current Method)

วิธีการนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมทำได้ง่ายและไม่แพง อย่างไรก็ตามถ้าแบตเตอรี่ถูกประจุด้วยกระแสที่สูงๆ ถ้าไม่ได้รับการถูกตัดออกอย่างทันทีเมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุอย่างเต็มที่แล้ว ก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวกจะไม่สามารถไปรวมกันที่ขั้วลบในปริมาณเพียงพอความดันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและแบตเตอรี่จะระบายก๊าซออกซิเจนกับอิเลคทรอไลท์บางส่วนออกไป เนื่องจากเมื่ออิเลคทรอไลท์สูญเสียออกมาจากแบตเตอรี่แล้วก็ไม่สามารถเติมกลับเข้าไปใหม่ได้ดังนั้นค่าความจุของแบตเตอรี่จะลดลงอย่างถาวร ถ้าประจุด้วยกระแสต่ำ จะใช้เวลานาน ซึ่งบางครั้งไม่สามารถยอมรับได้ ซึ่งการประจุด้วยกระแส C/10 จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับแบตเตอรี่ การประจุวิธีนี้จะใช้กับแบตเตอรี่ชนิด Ni-Cd และ Ni-Mh การประจุแบบนี้ สามารถสร้างวงจรได้ง่ายๆ ดังรูปที่2.29 กระแสจะควบคุมโดยตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่และ DC Power Supply



รูปที่ 2.29 วงจรประจุโดยใช้กระแสคงที่อย่างง่าย

ข้อดีของการประจุด้วยกระแสคงที่

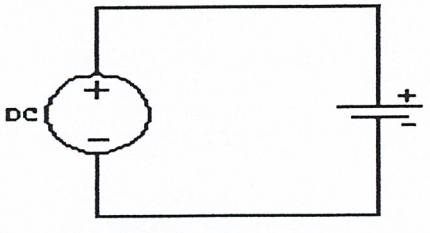
1. วงจรประจุที่ใช้สามารถสร้างได้ง่ายและราคาไม่แพง
2. ถ้าประจุด้วยกระแสต่ำๆ (C/10 หรือน้อยกว่า) จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับแบตเตอรี่

ข้อเสียของการประจุด้วยกระแสคงที่

1. ถ้าประจุด้วยกระแสต่ำๆ (C/10 หรือน้อยกว่า) เวลาที่ใช้ในการประจุจะนาน(ประมาณ 10-14 ชม.)
2. การประจุด้วยวิธีนี้ถ้าใช้กระแสสูง จะต้องมีวงจรตัดกระแสเมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มแล้ว จึงทำให้วงจรมีราคาแพงขึ้น

2.6.2 แบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Method)

สำหรับด้วยแรงดันคงที่ แรงดันที่ใช้จะต้องมีค่าสูงกว่าแบตเตอรี่ในช่วง 1.1 – 1.25 เท่าของแรงดันของแบตเตอรี่โดยปกติ ทำให้มีกระแสสูงขณะที่เริ่มต้นการประจุ และค่ากระแสจะลดลงเนื่องจากแรงดันของแบตเตอรี่สูงขึ้นและจะมีค่าน้อยมากเมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันใกล้เคียงกับแหล่งจ่าย ถ้าเราใช้แรงดันที่สูงในการประจุ ความร้อนที่ตัวแบตเตอรี่จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้ สำหรับวงจรที่ใช้ในการประจุแสดงให้เห็นแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ต่ออยู่กับแบตเตอรี่ วงจรสมมูลย์ของรูปทางขวามือ แสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่จะถูกพิจารณาว่าประกอบด้วยตัวต้านทาน 2 ตัว โดยตัวต้านทาน R1 จะเป็นค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่เอง จะมีอยู่ในแบตเตอรี่เสมอไม่ว่าแบตเตอรี่นั้นกำลังถูกประจุหรือคายประจุอยู่ ส่วนตัวต้านทาน R2 นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับสถานะการหมดประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุหมดเต็มที่ ค่าความต้านทานตัวนี้จะมีค่าต่ำ ดังนั้นกระแสที่ใช้ในประจุจึงมีค่าสูง อย่างไรก็ตามเมื่อแบตเตอรี่ใกล้เต็มค่าความต้านทาน R2 จะมีค่าสูงขึ้นทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุลดลง วิธีนี้จะใช้กับแบตเตอรี่ชนิด ตะกั่ว-กรด (Lead-Acid)



รูปที่ 2.30 แสดงวงจรประจุแบบใช้แรงดันคงที่

ข้อดีของการประจุด้วยแรงดันคงที่

ไม่จำเป็นต้องมีวงจรตัดกระแสเพราะกระแสจะลดลงเมื่อแบตเตอรี่ใกล้เต็ม

ข้อเสียของการประจุด้วยแรงดันคงที่

1. เกิดกระแสสูงในขณะที่เริ่มต้นการประจุอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อแบตเตอรี่ได้
2. มีผลของอุณหภูมิสูงเมื่อใช้แรงดันในการประจุสูงกว่าแรงดันของแบตเตอรี่มากๆ

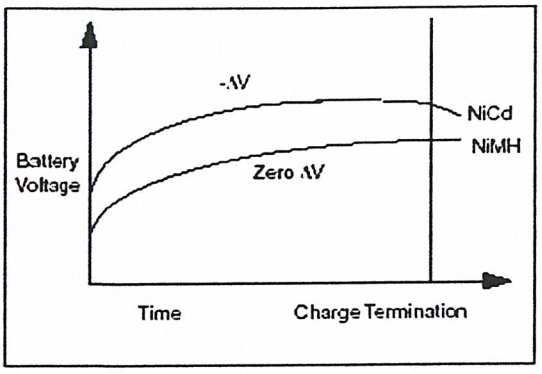
2.7 กระบวนการสิ้นสุดการ ประจุ(Charge Terminations)

การประจุด้วยกระแสสูงๆ นั้นเมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มแล้วจะเกิดความร้อนขึ้นถ้าไม่มีการตัดกระแสที่ประจุ ความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้แบตเตอรี่เสียหายรวมถึงค่าความจุของแบตเตอรี่จะลดลงด้วย ดังนั้นวงจรที่ใช้ต้องมีการตัดกระแสที่ใช้ประจุ การกำหนดกระบวนการสิ้นสุดการประจุมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี การเลือกใช้จำเป็นจะต้องดูชนิดของแบตเตอรี่ด้วย เพราะคุณสมบัติของแบตเตอรี่แต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ดังนั้นกระบวนการสิ้นสุดการประจุจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก กระบวนการสิ้นสุดการประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิด Ni-Cd และ Ni-Mh จะมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ

1. Negative Delta V ($-\Delta V$) Charge Termination
2. Zero Delta V (Zero ΔV) Charge Termination
3. Delta T / Delta t ($\Delta T / \Delta t$) Charge Termination

2.7.1 วิธีหาคำนวนค่าแรงดันผลต่างเป็นลบและค่าแรงดันผลต่างเท่ากับศูนย์ ($-\Delta V$/Zero ΔV Charge Termination)

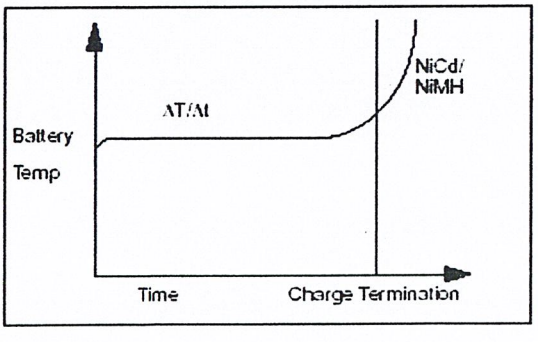
สำหรับแบตเตอรี่ชนิด Ni-Cd คุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ เมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มแล้วแรงดันของแบตเตอรี่จะลดลง เราจึงใช้คุณสมบัติอันนี้เป็นตัวบอกค่าเมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จจนเต็ม วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ส่วนแบตเตอรี่ชนิด Ni-Mh จะมีค่าแรงดันที่ลดลงไม่ชัดเจน เราจึงต้องใช้วิธี Zero Delta V แทนคือเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่แทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยจะแสดงให้ดูดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 กราฟแสดงแรงดันในขณะประจุแบตเตอรี่ชนิด Ni-Cd และ NiMh

2.7.2 วิธีคำนวนจากการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของเวลาDelta T / Delta t ($\Delta T / \Delta t$) Charge Termination

เมื่อแบตเตอรี่ Ni-cd , Ni-Mh ใกล้เต็มอุณหภูมิของแบตเตอรี่จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเราจึงใช้วิธีนี้ในการตรวจวัดว่าแบตเตอรี่เต็ม โดยการติดตั้ง Thermistor ที่ตัวแบตเตอรี่เพื่อจะตรวจสอบอุณหภูมิของแบตเตอรี่ได้โดยตรง โดยที่ตัวควบคุมจะทำการวัดค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่แล้วนำมาคำนวนกับค่าการเปลี่ยนแปลงของเวลา เมื่อค่าที่คำนวนได้มีค่ามากกว่าค่าที่เราตั้งไว้ ตัวควบคุมก็จะทำกระบวนการสิ้นสุดการประจุ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 กราฟแสดงการประจุด้วยวิธี Delta T / Delta t ($\Delta T / \Delta t$) Charge Termination

2.8สรุป

จากหลักการและทฤษฎี เราสามารถสรุปได้ดังนี้

1.การประจุแบตเตอรี่ในโครงงานนี้ เราจะเลือกใช้วิธีประจุด้วยกระแสคงที่ เนื่องจากข้อดีของมันดังที่ได้กล่าวถึงไปแล้ว สำหรับกระบวนการสิ้นสุดการประจุ เราจะใช้วิธีการคำนวนค่าแรงดันผลต่างเป็นลบ และค่าแรงดันผลต่างเท่ากับศูนย์ แต่เนื่องจากถ้าเราใช้กระแสค่าสูงในการประจุแบตเตอรี่อาจเกิดปัญหาความร้อนขึ้น จึงสมควรนำวิธีคำนวนจากการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของเวลา มาใช้ควบคู่กันไปด้วย เพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการประจุ

2.จากหลักการของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิด ทำให้เราทราบว่า ข้อสำคัญยิ่งซึ่งต้องทำทุกครั้งไปก่อนที่จะทำการประจุครั้งใหม่ คือควรทำการคายประจุแบตเตอรี่ให้หมดก่อนที่จะทำการประจุครั้งใหม่ เพราะแบตเตอรี่จะเกิดปัญหาปรากฏการณ์การจำสถานะค่าแรงดันต่ำ(Memory Effect)

3.วงจรจ่ายกระแสในการประจุ เราเลือกใช้วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) เนื่องจากความไม่ยุ่งยาก ประสิทธิภาพของวงจร และการสูญเสียเนื่องจากความร้อนต่ำ

4.วงจรวัดกระแสในการประจุ และวัดแรงดันของแบตเตอรี่ เราจะใช้วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส และวงจรขยายสัญญาณผลต่าง ตามลำดับ เนื่องจากเป็นวงจรที่ง่ายต่อการออกแบบมีราคาไม่สูง โดยเราจะใช้สองวงจรนี้ทำการขยายสัญญาณเพื่อส่งต่อให้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล(ADC) ที่มีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876A ทำการประมวลผลต่อไป สำหรับอุปกรณ์ OP-AMP เราเลือกใช้เบอร์741 เนื่องจากหาซื้อง่ายในท้องตลาด ราคาไม่สูง และสามารถปรับค่า OFFSET ได้

5. เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876A เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งาน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876A จะมีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล และโมดูล CCP ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณ PWM อยู่ภายในตัวเอง

บทที่ 3
กระบวนการทำงานของเครื่องประจุ

ในระหว่างการประจุด้วยกระแสที่สูง ความดันและอุณหภูมิของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบแบตเตอรี่อย่างระมัดระวังในขณะที่ทำการประจุ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดกับตัวของแบตเตอรี่ โดยที่กระบวนการในการควบคุมการทำงานทั้งหมดในโครงงานนี้ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC โดยจะใช้เบอร์ 16F876A เนื่องจากมี พอร์ตการแปลงสัญญาณ อนาลอกเป็นดิจิตอลในตัว(A/D) และมีโมดูลสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่า Duty Cycle ได้ตลอดเวลาอีกด้วย ทำให้สะดวกในการใช้งานและลดเนื้อที่ของวงจรลง

กระบวนการเริ่มจากการกำหนดสถานะของแบตเตอรี่ก่อน โดยเราจะต้องทำการวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่ โดยวัดขณะเปิดวงจร เพื่อกำหนดสถานะของแบตเตอรี่ ถ้าแบตเตอรี่มีค่าน้อยกว่า 1V/Cellต้องตรวจสอบก่อนว่าแบตเตอรี่เสียหรือไม่ แต่ถ้าหากว่ามีค่าแรงดันมากกว่า 1V/Cell ก็ต้องตรวจสอบอีกว่าแบตเตอรี่จำเป็นต้องคายประจุออกหรือเปล่า หรือว่าแบตเตอรี่เต็มแล้วจะแสดงในรายละเอียดต่อไป

3.1 การประเมินสถานะของแบตเตอรี่

การกำหนดสถานะของแบตเตอรี่จะต้องทำเป็นอันดับแรกเพื่อให้การประจุมีประสิทธิภาพและใช้เวลาน้อยโดยไม่ให้เกิดผลเสียต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เราจะกำหนดได้ดังนี้

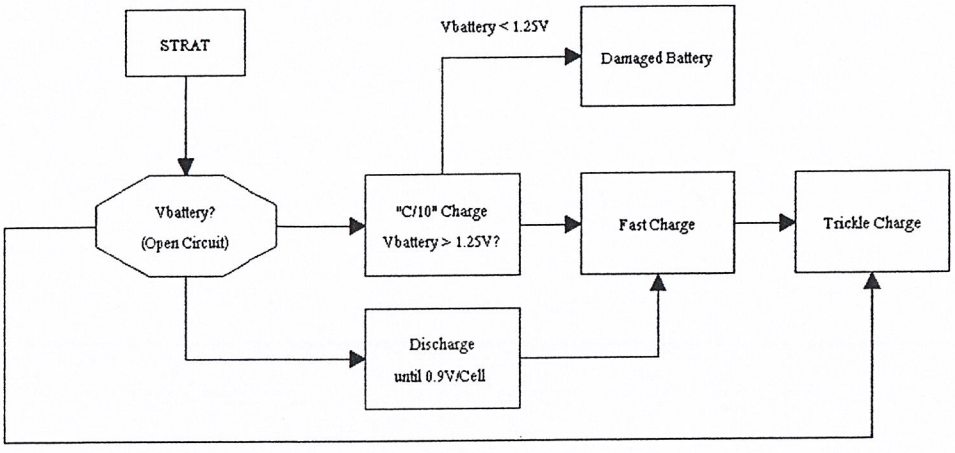
3.1.1 การตรวจสอบความเสียหายของแบตเตอรี่

การตรวจสอบว่าแบตเตอรี่เสียหายหรือไม่ทำได้โดยการวัดแบตเตอรี่ขณะเปิดวงจร ถ้าแรงดันของแบตเตอรี่มีค่าน้อยกว่า 1 V/Cell อาจเป็นไปได้ 2 กรณี คือ Over Discharge หรือ แบตเตอรี่อาจจะเสีย วิธีการในการตรวจสอบ คือ จ่ายค่ากระแสต่ำๆ (C/10) เข้าแบตเตอรี่ประมาณ 5 นาที จากนั้นจึงวัดแรงดันของแบตเตอรี่ ถ้าแรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มมากกว่าประมาณ 1.25 V/Cell แสดงว่าแบตเตอรี่ใช้การได้ แต่ถ้าต่ำกว่า 1.25 V/Cell แสดงว่า แบตเตอรี่เสีย

3.3.2 การประเมินสถานะการประจุของแบตเตอรี่

ถ้าแบตเตอรี่มีแรงดันมากกว่า 1 V/Cell จะมี 2 สถานะที่ต้องพิจารณาคือ แบตเตอรี่ผ่านการใช้งานแล้วแต่ยังคายประจุไม่หมด แบตเตอรี่ต้องได้รับการคายประจุก่อนแล้วจึงทำการคายประจุเพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะ Memory Effect โดยที่การคายประจุให้แรงดันของแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 0.9 ถึง 1.0 V แต่ถ้าแบตเตอรี่ยังมีความจุอยู่เยอะ การประจุด้วยกระแสสูงจะก่อให้เกิดอันตรายกับ

แบตเตอรี่ได้ จึงควรประจุด้วยกระแสต่ำๆ (C/10) ซึ่งกระแสระดับนี้จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับแบตเตอรี่ สำหรับแบตเตอรี่ ชนิด Ni-Mh ควรใช้กระแสต่ำกว่านี้ เนื่องจากมีความไวจากผลของความร้อนต่อกระแสมากกว่า



รูปที่ 3.1ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องประจุ

3.2 การคายประจุแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่จะนำมาประจุควรถูกคายประจุก่อนที่จะประจุเนื่องจากแบตเตอรี่จะเกิดการจำค่าซึ่งจะมีผลต่อค่าความจุของแบตเตอรี่ การคายประจุแบตเตอรี่จะใช้ทรานซิสเตอร์แบบ NPN ในการดึงกระแสออกจากแบตเตอรี่ โดยจะทำการคายประจุสลับกับการวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่ การวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่จะต้องทำการวัดขณะที่ไม่มีการดึงกระแสออกจากตัวแบตเตอรี่ เพื่อให้ได้ค่าแรงดันที่แท้จริงของแบตเตอรี่ การคายประจุจะสิ้นสุดลงเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงเหลือ 1 โวลต์ต่อเซล

3.3 การประจุแบบเร็ว

ในการประจุเพื่อให้แบตเตอรี่เต็มได้เร็วนั้นจะต้องจ่ายกระแสสูงๆ แต่ต้องมีการตัดกระแสด้วยดังที่กล่าวมาแล้ว สำหรับแบตเตอรี่ชนิด Ni-Cd สามารถจ่ายกระแสได้ถึง 4C แต่จะใช้แค่ 1C เนื่องจากความอุณหภูมิจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและแบตเตอรี่ชนิด Ni-Mh ควรจะจ่ายแค่ 1C ถ้าจ่ายกระแสมากกว่านั้นจะมีผลเนื่องจากความร้อนและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เอง ในการวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่จะวัดในขณะที่ไม่มีการจ่ายกระแสให้แก่แบตเตอรี่ เพราะว่าจะได้ค่าแรงดันที่แท้

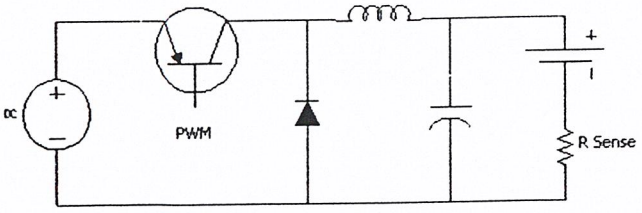
จริง ในวัดค่าแรงดันในขณะที่จ่ายกระแสให้แก่แบตเตอรี่ ถ้าจ่ายกระแสไม่เท่ากันแก่แบตเตอรี่ชนิดเดียวกันมาเปรียบเทียบกัน ค่าแรงดันที่ได้ของแบตเตอรี่ที่ถูกจ่ายกระแสให้มากกว่าจะมีแรงดันมากกว่าแบตเตอรี่ที่ถูกจ่ายกระแสให้น้อยกว่าทำให้การอ่านค่าแรงดันของแบตเตอรี่ผิดพลาดไป

3.4 วิธีการสิ้นสุดการประจุแบบเร็ว

สำหรับแบตเตอรี่ชนิด Ni-Cd และ Ni-Mh ความดันและอุณหภูมิของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างการเกิด Over Charge (หลังจากแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มแล้ว) ดังนั้นการประจุแบบเร็วด้วยกระแสสูง จึงจำเป็นต้องตัดกระแสเพื่อหลีกเลี่ยงการก่อให้เกิดความเสียหายดังกล่าว ในโครงงานนี้จะใช้วิธี Negative Delta V อาศัยคุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่เมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มแล้วแรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงดังรูป และหลังจากนั้นจึงจ่ายกระแสค่าต่ำๆให้แก่แบตเตอรี่

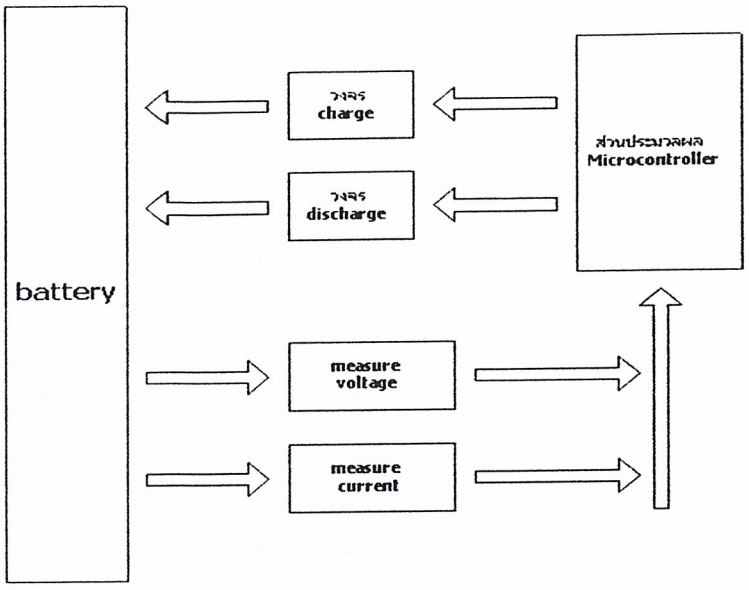
3.5 เครื่องประจุแบบใช้วงจร DC-DC Buck Converter ในการควบคุมกระแส

การประจุแบตเตอรี่โดยทั่วไปนั้น เพื่อให้การประจุมีประสิทธิภาพที่ดี ควรจะประจุด้วยกระแสที่เหมาะสม กับตัวของแบตเตอรี่เพื่อแบตเตอรี่จะได้ไม่เกิดการเสียหายเนื่องจากความร้อน ซึ่งโดยปกติแล้วเราควรใช้กระแสต่ำๆ ในการประจุ แต่เนื่องจากการประจุด้วยกระแสที่ต่ำนั้นจะต้องใช้เวลาในการประจุซึ่งนานมาก ถ้าใช้กระแส C/10 เวลาที่ใช้ในการประจุจะประมาณ 10-14ชม. ซึ่งการประจุแบบนี้จะเรียกว่า Trickle Charge ดังนั้นเพื่อให้การประจุเป็นไปอย่างรวดเร็วจะต้องใช้กระแสสูงๆ ในการประจุ แต่การประจุด้วยวิธีนี้จะก่อให้เกิดอันตรายต่อแบตเตอรี่เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่ประจุจนแบตเตอรี่เต็มแล้วและจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง รวมทั้งค่าความจุของแบตเตอรี่ลดลงด้วย ดังนั้นเราจะต้องมีการควบคุมกระแสในการประจุ ให้เหมาะสม คือเมื่อแบตเตอรี่เต็มแล้วควรจะประจุด้วยค่ากระแสต่ำเพื่อป้องการเกิด Over Charge และในการประจุด้วยกระต่ำๆ จะทำให้แบตเตอรี่เต็มยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงใช้วงจร Buck Converter ทำหน้าที่จ่ายกระแสในการประจุ สาเหตุที่เลือกใช้วงจร Buck Converter เพราะว่าเป็นวงจรที่ง่าย มีประสิทธิภาพดี สามารถปรับค่ากระแสได้ตามต้องการโดยการปรับที่ PWM และมีการกระจายความร้อนต่ำ โดยส่วนประกอบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจร Buck Converter

ในการควบคุมกระแสของการประจุแบตเตอรี่ เราสามารถวัดค่ากระแสได้จาก โวลท์ตกคร่อมที่ R Sense ซึ่งเป็นตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่โดยที่กระแสที่ไหลผ่านแบตเตอรี่จะเท่ากับแรงดันที่ไหลผ่าน R Sense แล้วนำโวลท์ที่ได้ไปทำการอ่านค่ากระแสเพื่อที่จะคำนวณผลแล้วจึงปรับค่า PWM เพื่อให้ได้ค่ากระแสที่ต้องการ โดยตัวควบคุมเราจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมค่า PWM สำหรับโวลท์ที่จ่ายให้แก่วงจรต้องมีค่ามากกว่าแรงดันของแบตเตอรี่ที่จะทำการประจุ ส่วนการวัดค่า แรงดันของแบตเตอรี่เราจะใช้วงจร ขยายผลต่าง (Differential Amp) โดยที่วัดสัญญาณจากขั้วบวกและลบของแบตเตอรี่ เข้าที่วงจรขยายผลต่างเพื่อแปลงค่าให้เหมาะสมกับ วงจร A/D เพราะว่าวงจร A/D สามารถที่จะรับค่าได้ตั้งแต่ 0 – 5 โวลท์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการประมวลผลว่าแบตเตอรี่มีค่าความจุเต็มหรือยัง โดยใช้วิธี Negative Delta V ($-\Delta V$) เมื่อแบตเตอรี่เต็มแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้จ่ายค่ากระแสน้อยๆ โดยการปรับ PWM โดยแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการทำงานของเครื่องประจุ

3.6 สรุป

สามารถสรุปกระบวนการทำงานของเครื่องประจุได้ดังนี้

1. การประเมินสถานะของแบตเตอรี่

1.1 ทำการตรวจสอบความเสียหายของแบตเตอรี่

โดยทำการประจุด้วยค่ากระแสต่ำๆ ประมาณ C/10 ให้กับแบตเตอรี่ประมาณ 5 นาที จากนั้นจึงทำการวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่ แล้วทำการประเมินความเสียหายของแบตเตอรี่ ถ้าแรงดันของแบตเตอรี่มีค่ามากกว่า 1.25 V/Cell แสดงว่าแบตเตอรี่ยังไม่เสียหาย แต่ถ้าต่ำกว่า 1.25 V/Cell แสดงว่าแบตเตอรี่เสีย

1.2 ทำการประเมินสถานะการประจุแบตเตอรี่

พิจารณาได้ดังนี้ คือ ถ้าแบตเตอรี่มีค่าแรงดันมากกว่า 1 V/Cell มี 2 สภาวะที่ต้องพิจารณาคือ ถ้ามากกว่าเล็กน้อยประมาณ 1.25-1.30 V/Cell ให้ทำการคายประจุจนเหลือประมาณ 0.9 ถึง 1.0 V/Cell แล้วจึงทำการประจุต่อไป โดยเราสามารถประจุแบบเร็วได้ แต่ถ้าแรงดันของแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 1.30-1.50 V/Cell ให้ทำการประจุด้วยกระแสต่ำๆ เพราะถ้าใช้กระแสสูงอาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้

2. อัตราการประจุ

2.1 การประจุแบบเร็ว

เป็นการประจุโดยใช้ค่ากระแสสูงๆ ที่อัตราประมาณ 1C-4C แต่ไม่ควรใช้ถึง 4C เนื่องจากผลของอุณหภูมิ ซึ่งอาจทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้ จึงเลือกใช้ที่อัตรา 1C เท่านั้น

2.2 การประจุด้วยกระแสต่ำๆ

เป็นการประจุโดยใช้อัตรา C/10 ควรใช้ในกรณีที่แบตเตอรี่มีค่าสูงประมาณ 1.3 ถึง 1.5 V นั่นคือแบตเตอรี่ใกล้เต็มแล้ว

3. การสิ้นสุดการประจุ

เราจะใช้วิธี Negative Delta V และ วิธี Delta T/Delta t ควบคู่กันไปเพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิสูงด้วย

บทที่ 4
การออกแบบวงจร

4.1 วงจร DC-DC Buck Converter

วงจร Buck Converter เป็นวงจรลดระดับแรงดันโดยใช้การสวิตช์ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะสามารถรักษาระดับของแรงดันให้คงที่ตลอดเวลาโดยจะมีวงจรป้อนกลับเพื่อควบคุมระดับของแรงดันให้คงที่โดยการปรับค่า Duty Cycle จึงอาศัยหลักการดังกล่าวมารักษาระดับของแรงดันที่ตกคร่อม ตัวต้านทาน 0.1 โอห์มซึ่งเป็นตัวต้านทานที่ใช้วัดค่ากระแส โดยใช้กฎของโอห์ม คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานก็จะเกิดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน แล้วนำค่าแรงดันที่ได้เข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อใช้ในการประมวลผล ให้รักษาค่ากระแสให้คงที่ตลอด

ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันเอาท์พุตและ สัญญาณ PWM คือ

$$\frac{t_{ON}}{T} = \left(\frac{Vo+Vd}{Vi-Vsat+Vd}\right)$$

เมื่อ

t_{on} = ช่วงเวลาสวิตช์ปิดของ PWM

T = คาบเวลา PWM

V_i = แรงดันที่อินพุต

V_o = แรงดันที่เอาท์พุต

V_{sat} = แรงดันตกคร่อมขาคอลเล็คเตอร์และอีมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ขณะอิ่มตัว

V_D = แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะได้รับไบอัสตรง

สำหรับค่า V_D , V_I , V_{sat} และ T เป็นค่าคงที่ เพราะฉะนั้น แรงดันเอาท์พุตจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะขึ้นอยู่กับค่า t_{on}

การคำนวนค่า ตัวเก็บประจุที่เอาท์พุต

หาได้ดังนี้

$$Co \geq \frac{I_{pk}}{8V_{ripple}} \times T$$

เมื่อ

$I_{pk} = 2\ I_{oMAX}$

I_{oMAX} = กระแสเอาท์พุตสูงสุด

T = คาบเวลา PWM

V_{ripple} = แรงดันกระเพื่อมที่ เอาท์พุต

จากสมการจะเห็นว่าถ้าต้องการให้มี V_{ripple} ค่า C_o จะมีค่ามาก

การคำนวนค่า ตัวเหนี่ยวนำ

หาได้ดังนี้

$$L = \left(\frac{(Vi - Vsat - Vo)ton}{Ipk} \right)$$

เมื่อ

V_i = แรงดันที่อินพุต

V_{sat} = แรงดันตกคร่อมขาคอลเล็คเตอร์และอีมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ขณะอิ่มตัว

V_o = แรงดันที่เอาท์พุต

t_{on} = ช่วงเวลาสวิตช์ปิดของ PWM

$I_{pk} = 2\ I_{oMAX}$

4.1.1 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

กำหนดค่าที่ต้องการต่อไปนี้

V_I = 18 โวลท์

V_{sat} = 0.2 โวลท์

V_o = 7.2 โวลท์

เลือกใช้ความถี่ 25 KHz เพราะฉะนั้น คาบเวลา จะเท่ากับ 40 μs เลือก duty cycle = 50% ดังนั้น t_{on} จะเท่ากับ 20 μs

I_{pk} เรากำหนดให้ I_{oMAX} = 2 A เพราะฉะนั้น I_{pk} = 4 A

แทนค่าต่างในสมการจะได้

$$L = \left(\frac{(18 - 0.2 - 7.2)20\mu}{4} \right)$$

$$L = 53\mu H$$

เลือกค่า 100 μH เพราะว่าป้องกันการเปลี่ยนแปลงจาก Continuous Mode ไปเป็น Discontinuous Mode

4.1.2 การออกแบบตัวเก็บประจุ

กำหนดให้ $V_{ripple} = 0.1$ โวลท์

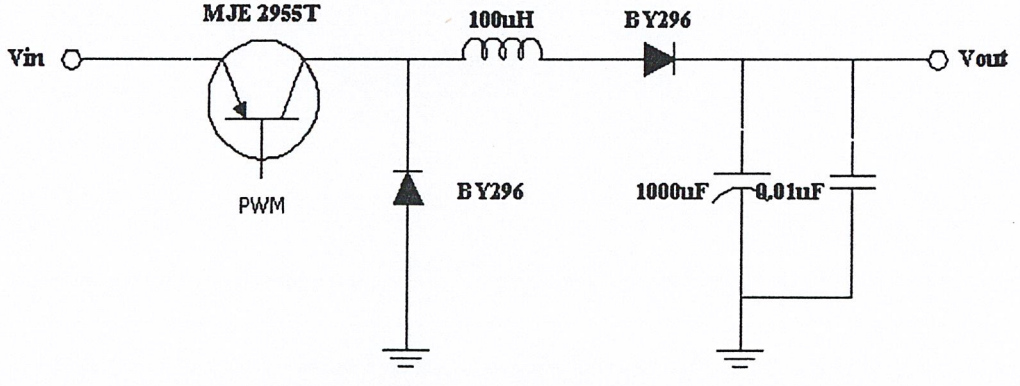
แทนค่าในสมการ

$$Co \geq \left(\frac{(4 \times 40\mu s)}{(8 \times 0.1)} \right)$$

$$Co \geq 200\mu F$$

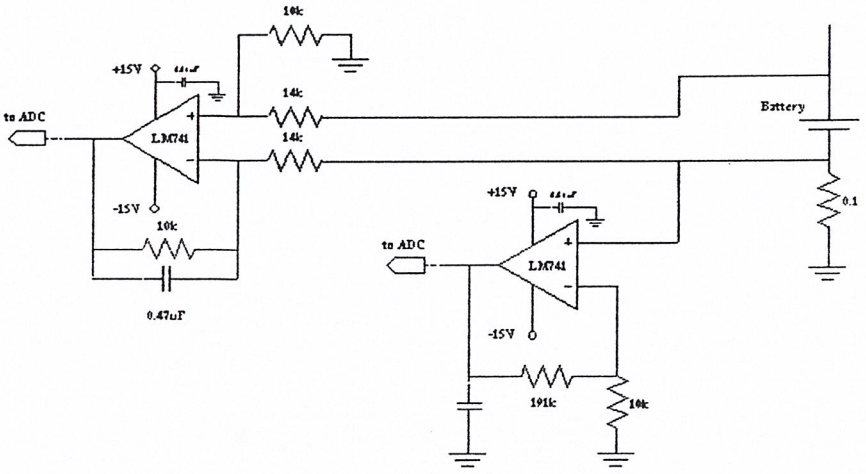
แต่จะใช้ค่าเท่ากับ 1000μF เพื่อให้ค่าแรงดันกระเพื่อมมีค่าน้อยลง ทรานซิสเตอร์ใช้ เบอร์ MJE 2955T ซึ่งมี Total Power Dissipation ที่อุณหภูมิ 25 องศา เท่ากับ 90 W และ Maximum Collector Current เท่ากับ 15A สำหรับฟลายวิลลิ่งไดโอดใช้เบอร์ BY 296 เป็นไดโอด ชนิด Fast Recovery ใช้ในการสวิตช์ที่ความถี่สูงได้ดี ส่วนไดโอด BY296 ที่ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ ทำหน้าที่ป้องกันแบตเตอรี่คายประจุขณะที่ต่อแบตเตอรี่กับวงจรโดยที่วงจรไม่ได้ทำงาน

สำหรับวงจร Buck Converter ที่ออกแบบสมบูรณ์แล้วแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจร Buck Converter

4.2 วงจรตรวจวัดกระแสและแรงดัน



รูปที่ 4.2 วงจรวัดกระแสและแรงดัน

การออกแบบวงจรวัดกระแสจะใช้วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non inverting Amp) เพราะถ้าใช้วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amp) จะต้องใช้ Op Amp เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัวเพื่อกลับสัญญาณ และอาศัยคุณสมบัติของ Op Amp ที่มีอินพุตอิมพิแดนซ์สูงเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับไมโครคอนโทรลเลอร์เนื่องจากกระแสที่มีค่าสูง การออกแบบเราจะใช้อัตราขยาย 20 เท่า เพื่อขยายแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 0.1 โอห์ม วงจรถูกออกแบบให้จ่ายกระแสสูงสุดที่ 2 A ดังนั้นโวลต์ตกคร่อมตัวต้านทานจะมีค่าสูงสุด 0.2 โวลต์ ถูกขยาย 20 เท่า จะมีค่า 4 โวลต์ ขาการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล สามารถอ่านค่าได้ถึง 0 – 5 โวลต์ แต่จะไม่ออกแบบให้ขยายเต็มย่านเพราะอาจเกิดค่าผิดพลาดจากการอ่านสัญญาณได้เพราะโวลต์ที่อ่านได้อาจมีค่าเกิน 5 โวลต์ การออกแบบค่าตัวต้านทานหาได้ดังนี้

สมการหาค่าอัตราขยายของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสคือ

$$\frac{Vo}{Vi} = \left(\frac{Rf}{Ri} + 1\right)$$

เมื่อ

Vo = แรงดันเอาต์พุต

Vi = แรงดันอินพุต

Rf = ตัวต้านทานป้อนกลับ

Ri = ตัวต้านทานอินพุต

เลือก Ri = 10k และต้องการอัตราขยาย 20 เท่า

เมื่อแทนค่าในสมการจะได้ Rf = 190k แต่เนื่องจาก ตัวต้านทานไม่มีค่า 190k จึงเลือกค่า 191k ซึ่งจะมีค่าผิดพลาดประมาณ 1% สามารถยอมรับได้ คาปาซิเตอร์ที่ต่ออยู่กับขาเอาต์พุตทำให้วงจรเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านด้วยเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนโดยอาจทำให้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลอ่านค่าผิดพลาดได้ ซึ่งทำให้การควบคุมกระแสไม่ได้ค่าตามที่ต้องการ ส่วนการต่อดีคัปปลิ้งคาปาซิเตอร์ที่ต่อกับขา +15 โวลต์ เพื่อไม่ให้สัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายมากวน Op Amp

ในการออกแบบวงจรวัดค่าแรงดันจะใช้วงจรขยายผลต่าง จำนวนแบตเตอรี่สูงสุดที่ใช้ในการประจุกำหนดไว้ 4 ก้อน ซึ่งโดยปกติแรงดันของแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับ 1.2 โวลต์ แต่เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จะมีค่าสูงขึ้น โดยที่ย่านของแรงดันมีค่าเท่ากับ 0.8 – 1.6 โวลต์ การออกแบบจะใช้แรงดันสูงสุดคูณกับจำนวนแบตเตอรี่สูงสุดที่ใช้ในการประจุ จะได้ค่าเท่ากับ 6.4 โวลต์ซึ่งเกินค่าสูงสุดที่วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลสามารถแปลงได้ จึงต้องลดระดับของแรงดันลงให้อยู่ในช่วง 0 – 5 โวลต์ เพราะฉะนั้น อัตราขยายจะมีค่าเท่ากับ 0.78 การออกแบบทำได้ดังนี้

$$\frac{Vo}{Vi} = \frac{Rf}{Ri}(V1 - V2)$$

เลือกค่า Rf = 10k อัตราขยายที่ต้องการคือ 0.78 เพราะฉะนั้นจะได้ค่า Ri = 12.8k แต่ไม่มีค่านี้จึงเลือกใช้ค่า 13k โดยค่าที่อ่านได้จะถูกคูณด้วย 1.3 ด้วยกระบวนการทาง ซอฟต์แวร์เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแล้วทำการประมวณผลเพื่อนำไปใช้งาน สำหรับความละเอียดในการอ่านค่านั้น วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16F876A มีขนาด 10 บิต ดังนั้นความละเอียดที่อ่านได้ (5/(1024 x 0.78)) เท่ากับ 6.26 มิลลิโวลต์ ส่วนคาปาซิเตอร์ที่ต่อคร่อมกับตัวต้านทานป้อนกลับเป็นตัวกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อลดสัญญาณรบกวนไม่ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าที่ได้ผิดพลาด โดยถ้าใส่ค่าของคาปาซิเตอร์มีค่ายิ่งสูงก็ยิ่งจะทำให้สัญญาณรบกวนมีค่าน้อยลง

4.3 วงจรเลือกแบตเตอรี่และค่ากระแสในการประจุ

วงจรนี้จะใช้สวิตช์ในการเลือกจำนวนแบตเตอรี่และค่ากระแสที่ใช้ในการประจุ โดยการเลือกจำนวนแบตเตอรี่จะใช้ลิมิตสวิตช์ ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ใต้ที่ใส่แบตเตอรี่เชื่อมต่อกับช่องสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ หลักการทำงานคือเมื่อนำแบตเตอรี่ใส่ในที่ใส่แบตเตอรี่ตัวแบตเตอรี่จะกดลิมิตสวิตช์ให้ ON ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรู้ว่ามีจำนวนแบตเตอรี่เท่าไร ส่วนการเลือกค่า

กระแสที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่จะใช้สวิตช์ 4 ตัวในการเลือกค่ากระแส 4 ค่า คือ 500mA ,750mA 1000mA และ 2000mA ซึ่งสวิตช์เหล่านี้จะเชื่อมต่อกับช่องสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่ากระแสที่ใช้ในการประจุทั้ง 4 ค่านี้จะครอบคุมค่าความจุของแบตเตอรี่ที่ใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งสามารถเลือกค่ากระแสให้ใกล้เคียงกับค่าความจุของแบตเตอรี่ได้ยกตัวอย่างเช่น ถ้าแบตเตอรี่มีความจุเท่ากับ 700mAh ก็สามารถเลือกใช้ค่ากระแส 750mAh ในการประจุได้โดยวงจรนี้จะถูกต่อเข้าที่ขาพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกตั้งค่าให้เป็นพอร์ตอินพุตโดยจะคงสถานะ " 1 " ไว้ ถ้าขาใดมีค่าเป็น " 0 " จะแสดงว่าสวิตช์ที่ขานั้นถูกเลือก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลว่าขาที่เป็น " 0 " คือค่ากระแสเท่าใดซึ่งเป็นไปตามการเขียนโปรแกรม

4.4 การใช้งานโหมด PWM ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในโครงงานนี้ใช้ภาษา C ในการโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากเป็นภาษาที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถเขียนโปรแกรมเข้าถึงระดับบิตได้ และง่ายแก่การตรวจสอบข้อผิดพลาด คริสตอลที่ใช้ในการกำหนดสัญญาณนาฬิกาเลือกค่า 4MHz

การกำหนดคาบเวลาของสัญญาณ PWM

สามารถกำหนดได้ดังนี้

1. กำหนดให้ขา RC1/CCP2 เป็นเอาต์พุต
2. กำหนดค่าคาบเวลาของสัญญาณให้กับรีจิสเตอร์ PR2
3. กำหนดค่า Duty Cycle ลงในรีจิสเตอร์ CCPR2L และบิต CCP2X , CCP2Y ในรีจิสเตอร์ CCP2CON
4. เลือกโหมดของสัญญาณ PWM โดยกำหนดข้อมูล 4 บิตล่างของรีจิสเตอร์ CCP2CON เท่ากับ 11XX
5. เคลียร์ค่าของไทเมอร์ 2 และกำหนดค่าปรีสเกลเลอร์ในรีจิสเตอร์ T2CON
6. สั่งให้ ไทเมอร์ 2 ทำงาน

การทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ กำหนดให้ความถี่ของสัญญาณ PWM มีค่าเท่ากับ 25kHz กำหนดค่า PR2 ดังนี้

$$PR2 = \left(\frac{PWMperiod}{4 \times Tosc \times PRESCALER} \right) - 1$$

$$PWMperiod = \frac{1}{25kHz}$$

$$= 40\mu s$$

$$Tosc = \frac{1}{4MHz}$$

$$= 200ns$$

กำหนดให้ปรีสเกลเลอร์เท่ากับ 1

แทนค่าลงในสมการ

$$PR2 = \left(\frac{40\mu s}{4 \times 200ns \times 1}\right) - 1$$

$$PR2 = 39$$

ภาษา C ของไมโครคอนโทลเลอร์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันสำเร็จรูปสามารถเขียนได้ดังนี้

```
setup_ccp1(CCP_PWM);
setup_timer_2(T2_DIV_BY_1, 39, 1);
```

ส่วนการกำหนดค่า Duty Cycle สามารถโปรแกรมได้ดังนี้

```
set_pwm1_duty(duty);
```

โดยที่ค่า duty ในวงเล็บ คือ ค่า Duty Cycle ที่ต้องการ ค่าความละเอียดของสัญญาณ PWM จะขึ้นอยู่กับความถี่ที่กำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาและค่าของปรีสเกลเลอร์ ซึ่งสามารถคำนวนได้ดังนี้

$$\text{ความละเอียด} = \frac{Fosc}{(Fpwm \times N)}$$

โดยที่

Fosc คือ ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาหลักในหน่วย Hz

Fpwm คือ ความถี่ของสัญญาณ PWM ในหน่วย Hz

N คือ ค่าของปรีสเกลเลอร์ในไทเมอร์ 2

เพราะฉะนั้นหาค่าความละเอียดได้โดยแทนค่าลงในสมการ

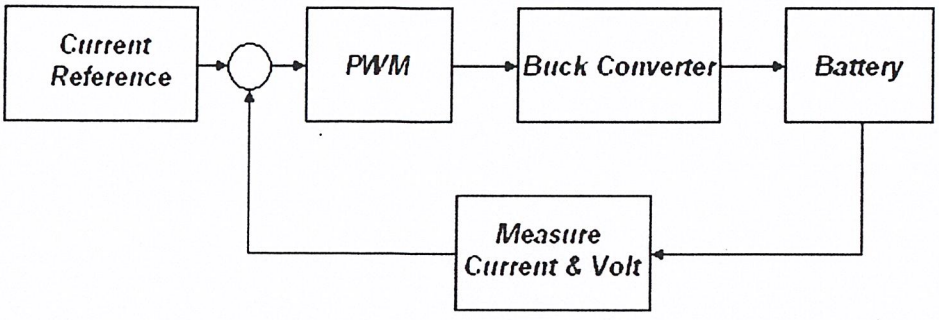
$$\text{ความละเอียด} = = \frac{4MHz}{(25kHz \times 1)}$$

เพราะฉะนั้น ความละเอียด = 160

นั่นคือ สามารถใส่ค่า Duty Cycle ในวงเล็บได้ตั้งแต่ 0 – 160

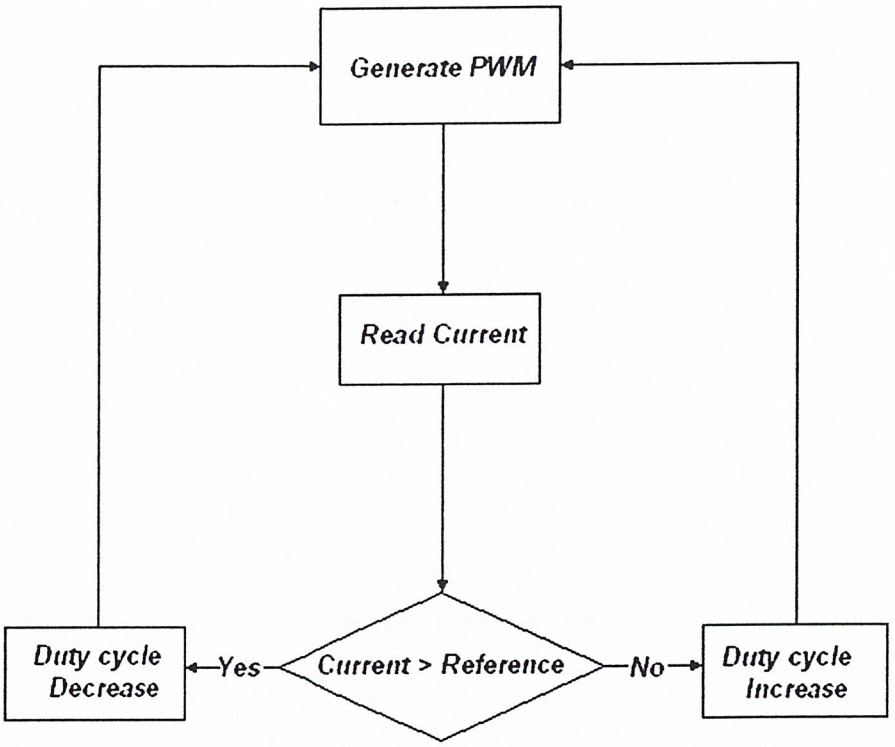
4.5 การควบคุมกระแส

การควบคุมกระแสโดยใช้วงจร Buck Converter จะแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 บล๊อกไดอะแกรมการควบคุมกระแส

ในการควบคุมกระแสที่ใช้ในการประจุจะใช้การปรับค่า Duty Cycle โดยการปรับค่า Duty Cycle จะปรับได้ด้วยการเขียนโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะมีค่าอ้างอิงที่กำหนดกระแสที่ใช้ในการประจุ เมื่ออยู่ในสภาวะของการประจุ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าของกระแสที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง ถ้าค่ากระแสที่อ่านได้มีค่ามากกว่าแรงดันที่อ้างอิงไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ลดค่า Duty Cycle ของ PWM ลงจนกว่าค่าของกระแสเท่ากับค่าอ้างอิง แต่ถ้าค่ากระแสที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าอ้างอิง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้เพิ่มค่า Duty Cycle ของ PWM จนกว่าค่ากระแสเท่ากับค่าอ้างอิง ซึ่งแสดงไดอะแกรม ดังรูปที่ 4.4



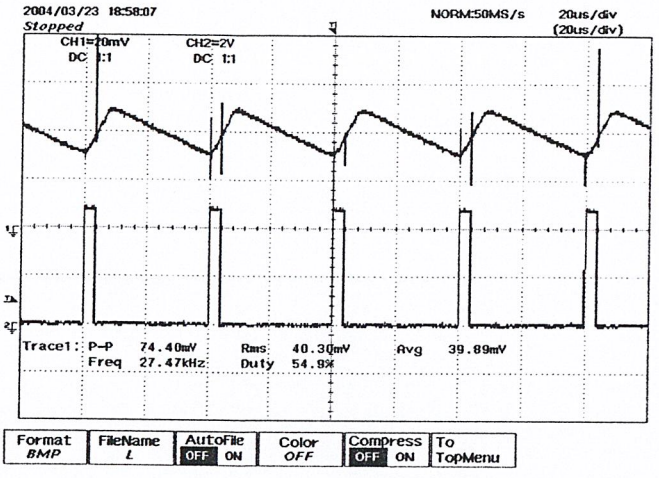
รูปที่4.4 ไดอะแกรมแสดงการควบคุมกระแส

บทที่ 5

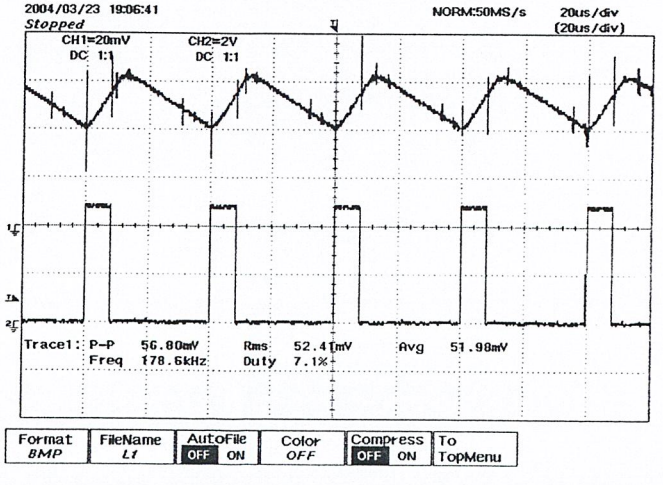
ผลการทดลอง

5.1 ทดลองการทำงานของวงจร

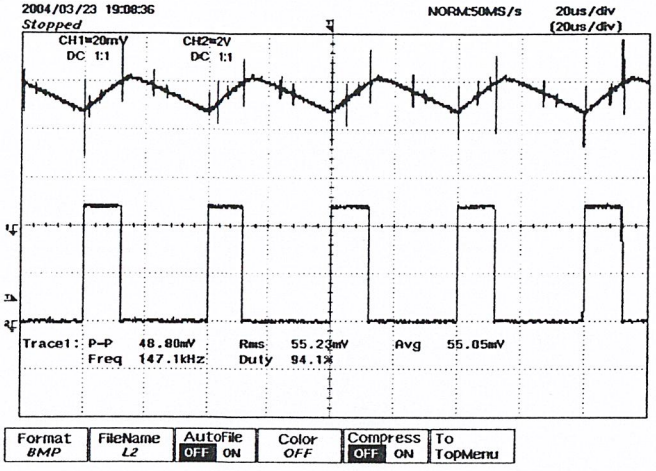
จากการทดสอบวงจร Buck Converter จ่ายกระแสคงที่มีค่า 500mA ประจุแบตเตอรี่ตั้งแต่ 1 – 4 ก้อนเพื่อทดสอบการทำงานของวงจรได้ผลดังรูป



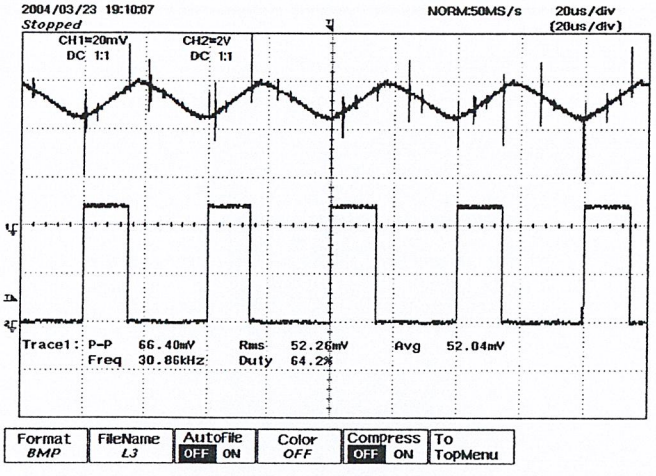
รูปที่ 5.1 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 1 ก้อน กระแส 500mA



รูปที่ 5.2 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 2 ก้อน กระแส 500mA



รูปที่ 5.3 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 3 ก้อน กระแส 500mA

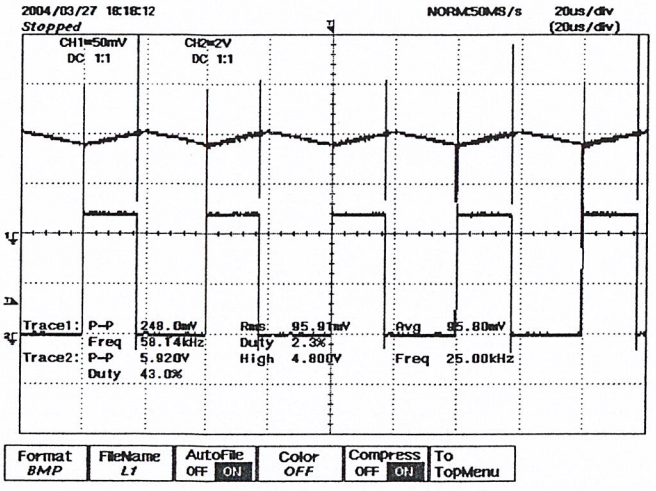


รูปที่ 5.4 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 4 ก้อน กระแส 500mA

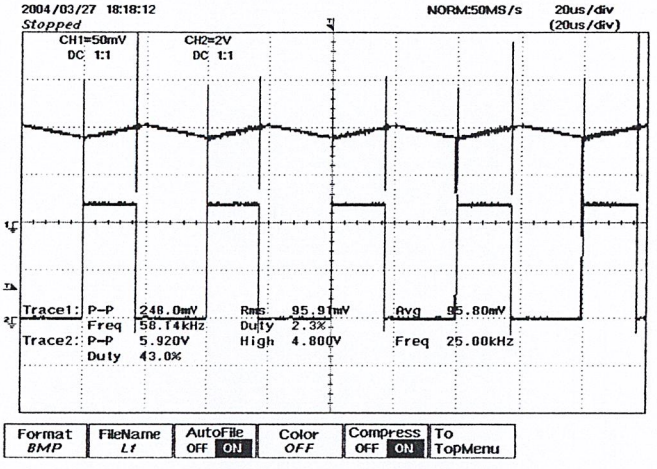
จากรูปแสดงการทำงานของวงจร Buck Converter ที่ทำหน้าที่จ่ายกระแสประจุแบตเตอรี่ที่ 500 mA โดยสัญญาณ PWM ถูกสร้างขึ้นโดยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อจ่ายให้แก่วงจร โดยสัญญาณด้านบนเป็นแรงดันที่ตกคร่อม R sense 0.1โอห์ม เพื่อวัดค่ากระแส โดย R sense ต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่ ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน R sense จะเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ ดังนั้นที่ค่ากระแส 500 mA แรงดันที่ตกคร่อม R sense จะเท่ากับ 50 mV จากผลการทดลองค่าที่ได้จะมีค่าผิดพลาดเล็กน้อยเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวัดกระแส โดยค่าผิดพลาดของ R sense ซึ่งมีค่า 5% วงจรขยายที่ใช้ Op Amp รวมถึงค่าแรงดันที่กระเพื่อมเนื่องจากการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์ส่วนสัญญาณด้านล่างแสดงสัญญาณ PWM ที่กำเนิดจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ความถี่ของสัญญาณ PWM มีค่าเท่ากับ 25KHz ดังนั้นคาบเวลาจะเท่ากับ 40us จากรูปที่ 5. 4 จะแสดงค่า PWMที่มี Duty Cycle เพิ่มขึ้น

เนื่องจากการจ่ายกระแสให้แก่แบตเตอรี่ที่เพิ่มจำนวนขึ้น เพราะว่า แรงดันที่เอาท์พุตเพิ่มขึ้นแต่ความต้องการกระแสยังเท่าเดิม จึงต้องให้ช่วงเวลา ON ของทรานซิสเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น

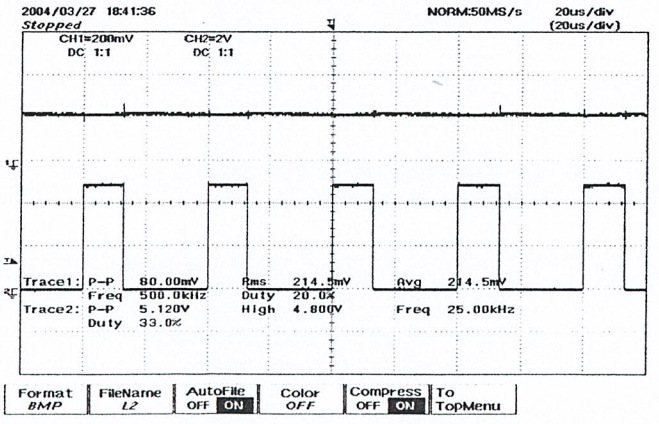
สำหรับผลการทดลองที่ค่ากระแส 1000 mA และ 2000 mA แสดงได้ดังรูปที่ 5.5 ถึง 5.8



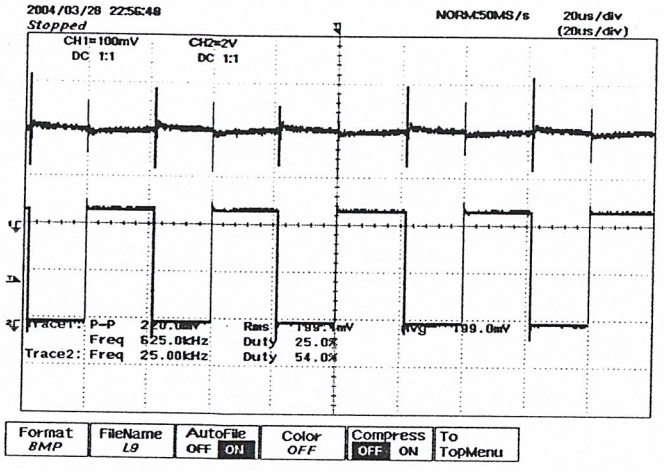
รูปที่ 5.5 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 2 ก้อน กระแส 1000 mA



รูปที่ 5.6 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 4 ก้อน กระแส 1000 mA



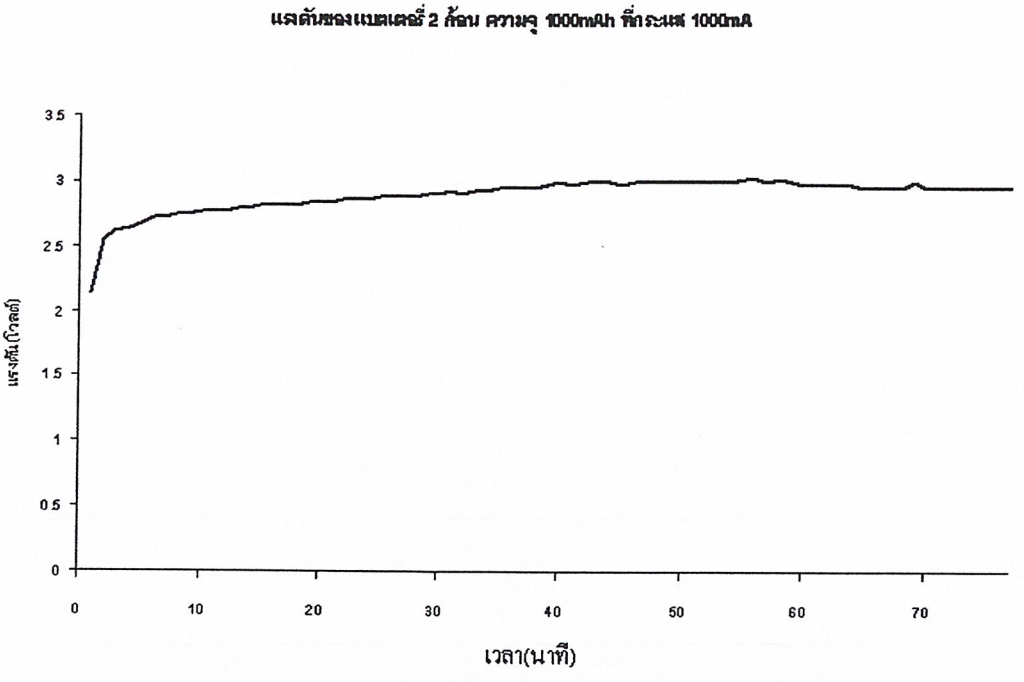
รูปที่ 5.7 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 2 ก้อน กระแส 2000 mA



รูปที่ 5.8 แสดงการประจุแบตเตอรี่ 4 ก้อน กระแส 2000 mA

จากรูปแสดงการทำงานของวงจร Buck Converter ที่ทำหน้าที่จ่ายกระแสประจุแบตเตอรี่ที่ 1000 mA, 2000 mA โดยสัญญาณ PWM ถูกสร้างขึ้นโดยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อจ่ายให้แก่วงจร โดยสัญญาณด้านบนเป็นแรงดันที่ตกคร่อม R sense 0.1โอห์ม เพื่อวัดค่ากระแส โดย R sense ต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่ ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน R sense จะเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ ดังนั้นที่ค่ากระแส 1000 mA และ 2000 mA แรงดันที่ตกคร่อม R sense จะเท่ากับ 100 mV และ 200 mV ตามลำดับ จากผลการทดลองค่าที่ได้จะมีค่าผิดพลาดเล็กน้อยเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวัดกระแสโดยค่าผิดพลาดของ R sense ซึ่งมีค่า 5% วงจรขยายที่ใช้ Op Amp รวมถึงค่าแรงดันที่กระเพื่อมเนื่องจากการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์ส่วนสัญญาณด้านล่างแสดงสัญญาณ PWM ที่กำเนิดจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ความถี่ของสัญญาณ PWM มีค่าเท่ากับ 25KHz ดังนั้นคาบเวลาจะเท่ากับ 40us จากรูปที่ 5.6 และ 5.8 จะแสดงค่า PWMที่มี Duty Cycle เพิ่มขึ้นเนื่องจากการจ่ายกระแสให้แก่แบตเตอรี่ที่เพิ่มจำนวนขึ้น เพราะว่า แรงดันที่เอาท์พุตเพิ่มขึ้นแต่ความต้องการกระแสยังเท่าเดิม จึงต้องให้ช่วงเวลา ON ของทรานซิสเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น

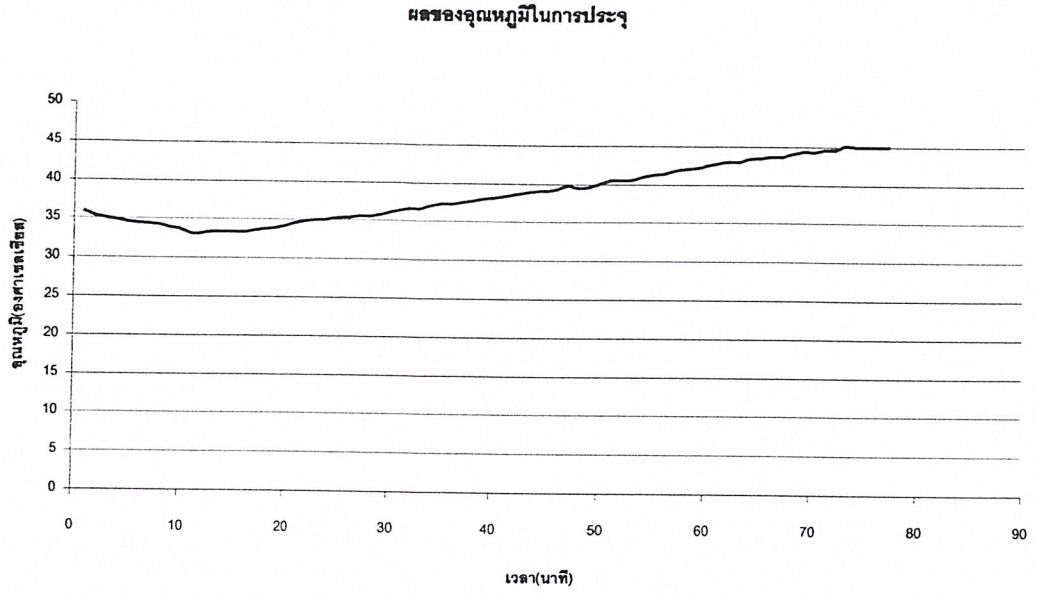
สำหรับผลการทดลองประจุแบตเตอรี่เมื่อคิดที่เวลาจริงในหน่วยนาที แสดงได้ดังรูปที่ 5.9



รูปที่5.9 แสดงผลการประจุแบตเตอรี่ความจุ 1000 mAh 2 ก้อน

จากรูปที่ 5.9 จะเห็นได้ว่า เราจะใช้เวลาในการประจุประมาณ 1 ชั่วโมง และในช่วงสิ้นสุดการประจุนั้น ค่าแรงดันของแบตเตอรี่จะคงที่ แสดงว่าแบตเตอรี่เต็มแล้ว

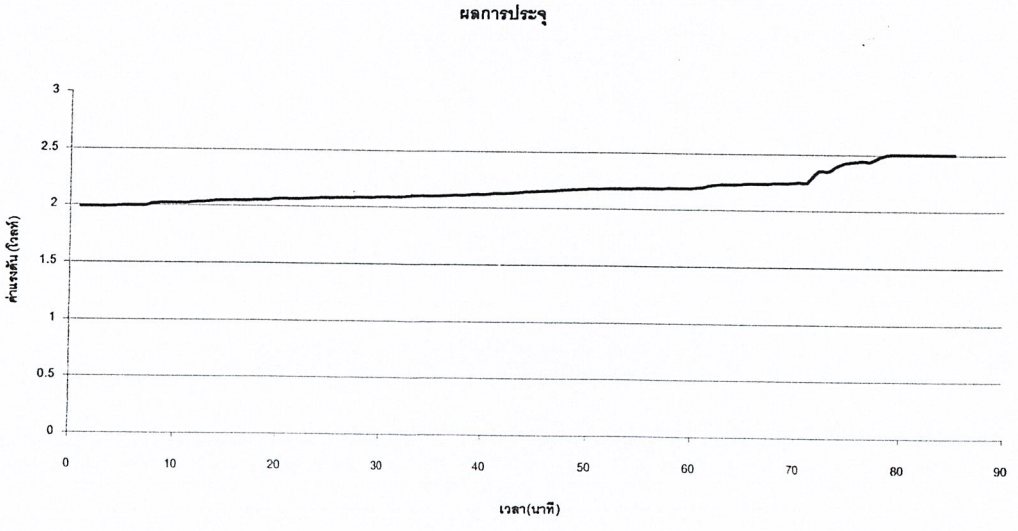
จากที่ได้เคยกล่าวไปแล้วว่า การประจุแบตเตอรี่จะมีผลต่อค่าของอุณหภูมิของแบตเตอรี่ด้วย ซึ่งผลของอุณหภูมิแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 ดังนี้



รูปที่ 5.10 แสดงผลของอุณหภูมิในการประจุแบตเตอรี่ 1000 mAh 2 ก้อน ที่กระแส 1000mA

จากรูปที่5.10 จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิค่อนข้างเมื่อเราใช้ค่ากระแสสูงในการประจุ แต่ในการทดลอง ค่าอุณหภูมิมีค่าไม่ถึง 45 องศาเซลเซียส ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงไม่ตัดกระแสในการประจุ

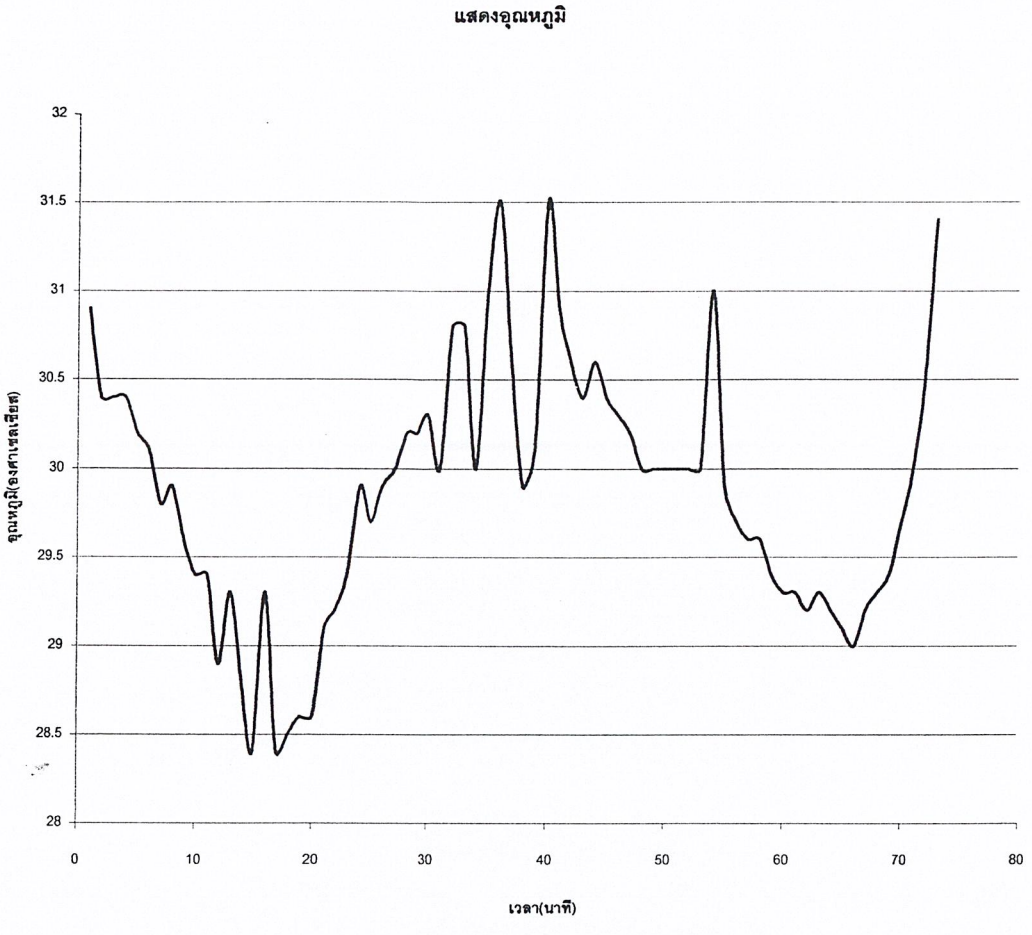
สำหรับผลการทดลองประจุที่ค่ากระแส 750 mA แสดงได้ดังรูปที่ 5.11ถึง รูปที่ 5.14



รูปที่ 5.11 แสดงผลการประจุแบตเตอรี่ ความจุ 1000 mAh ที่กระแส 750 mA

จากรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่า เราจะใช้เวลาในการประจุประมาณ 80 นาที และในช่วงสิ้นสุดการประจุนั้น ค่าแรงดันของแบตเตอรี่จะคงที่ แสดงว่าแบตเตอรี่เต็มแล้ว

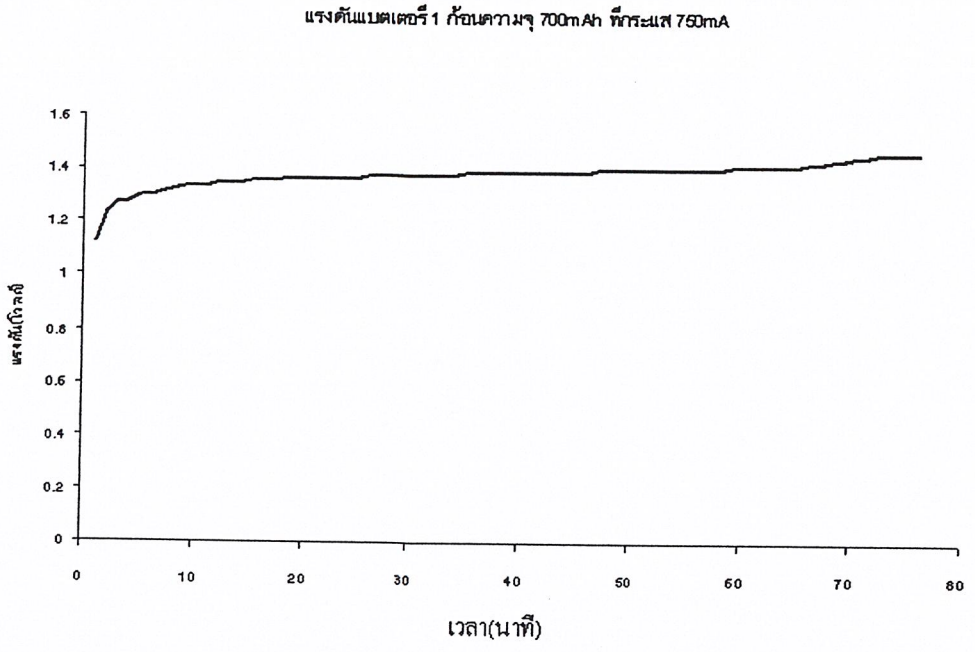
สำหรับผลของอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 แสดงผลของอุณหภูมิในการประจุที่ 750 mA

จากรูปที่ 5.12 แสดงให้เราเห็นว่า การประจุที่ค่ากระแสต่ำลงมานั้น มักไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องของอุณหภูมิ จากรูป อุณหภูมิสูงสุดมีค่าอยู่ที่ประมาณ 32 องศาเซลเซียสเท่านั้น

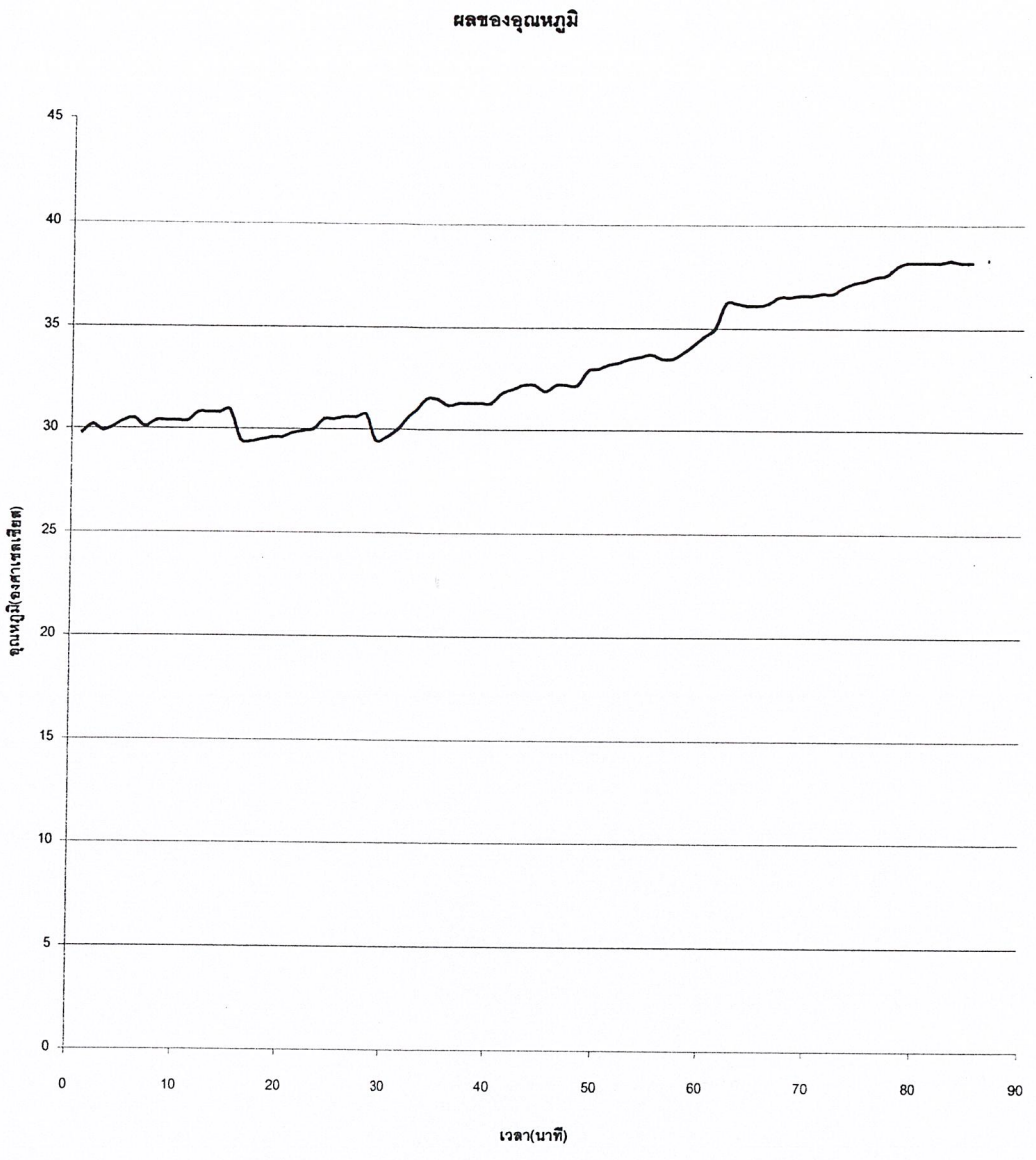
สำหรับผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ความจุ 700 mAh และผลของอุณหภูมิ แสดงในรูปที่ 5.13 และ 5.14 ตามลำดับ



รูปที่5.13 แสดงผลการประจุแบตเตอรี่ความจุ 700mAh 1 ก้อน

จากรูปที่ 5.13 จะเห็นได้ว่า เราจะใช้เวลาในการประจุประมาณ 80 นาที และในช่วงสิ้นสุดการประจุนั้น ค่าแรงดันของแบตเตอรี่จะคงที่ แสดงว่าแบตเตอรี่เต็มแล้ว

ในส่วนของผลของอุณหภูมิในการประจุแสดงได้ดังรูปที่ 5.14



รูปที่5.14 แสดงผลของอุณหภูมิในการประจุแบตเตอรี่ความจุ 700mAh 1 ก้อน

จากรูปที่ 5.14 จะเห็นการประจุที่ค่ากระแสต่ำ จะไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องอุณหภูมิ จากรูปผลการทดลองจะเห็นว่าอุณหภูมิมีค่าสูงสุดเพียง 42 องศาเซลเซียสเท่านั้น

5.2 สรุป

การประจุแบตเตอรี่ที่ค่ากระแสต่างๆ นั้น เวลาที่ใช้ในการประจุและผลของอุณหภูมิ จะเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวถึงไปแล้ว นั่นคือ ถ้ายิ่งใช้กระแสสูงในการประจุมากขึ้นเท่าไร เราจะใช้เวลาเร็วขึ้นแต่ก็จะมีผลของอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่สูงขึ้นมา ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อแบตเตอรี่ได้

บทที่ 6
บทสรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่องประจุแบตเตอรี่โดยใช้วงจร Buck Converter เป็นแหล่งจ่ายกระแสโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมกระแสในการประจุ ซึ่งสามารถเลือกค่ากระแสได้ตามที่กำหนดไว้ 4 ค่า คือ 500 mA, 750mA, 1000 mA และ2000mA ประจุแบตเตอรี่ได้ 1-4 ก้อน สรุปได้ว่าสามารถทำงานได้ผลตามต้องการคือจ่ายกระแสได้ตามการเลือกค่ากระแสในการประจุ เมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันเพิ่มขึ้นค่ากระแสก็ยังคงเท่าเดิม แต่ค่ากระแสที่วัดได้มีค่าผิดพลาดเล็กน้อยเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่ากระแส วงจรสวิตชิ่งที่ใช้มีการสูญเสียความร้อนที่ทรานซิสเตอร์ต่ำกว่าการประจุโดยใช้วงจรแบบลิเนียร์ ส่วนการทดลองการประจุแบตเตอรี่โดยใช้ค่ากระแส 750mA และ 1000 mA ในการประจุแบตเตอรี่ขนาด 700 mAh และ 1000 mAh ตามลำดับจะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานนี้

ได้รู้หลักการประจุแบตเตอรี่ชนิด Ni-Cd และ Ni-Mh อย่างไรให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี และใช้เวลาน้อยในการประจุโดยไม่ให้เกิดผลเสียกับแบตเตอรี่ การประยุกต์ใช้วงจร Buck Converter เป็นแหล่งจ่ายกระแสในการประจุ ซึ่งสามารถปรับค่ากระแสได้ตามต้องการเพื่อให้เหมาะสมกับค่าความจุของแบตเตอรี่ที่มีค่าความจุที่ต่างกันออกไป รวมถึงการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 16F876A ในการควบคุมกระบวนการในการประจุแบตเตอรี่ โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ดังกล่าวมีโมดูลการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและโมดูลสัญญาณพัลซ์วิทช์มอดูเลท (PWM)ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการควบคุมกระแสในการประจุ

6.3 ปัญหาที่พบในการทำโครงงานนี้

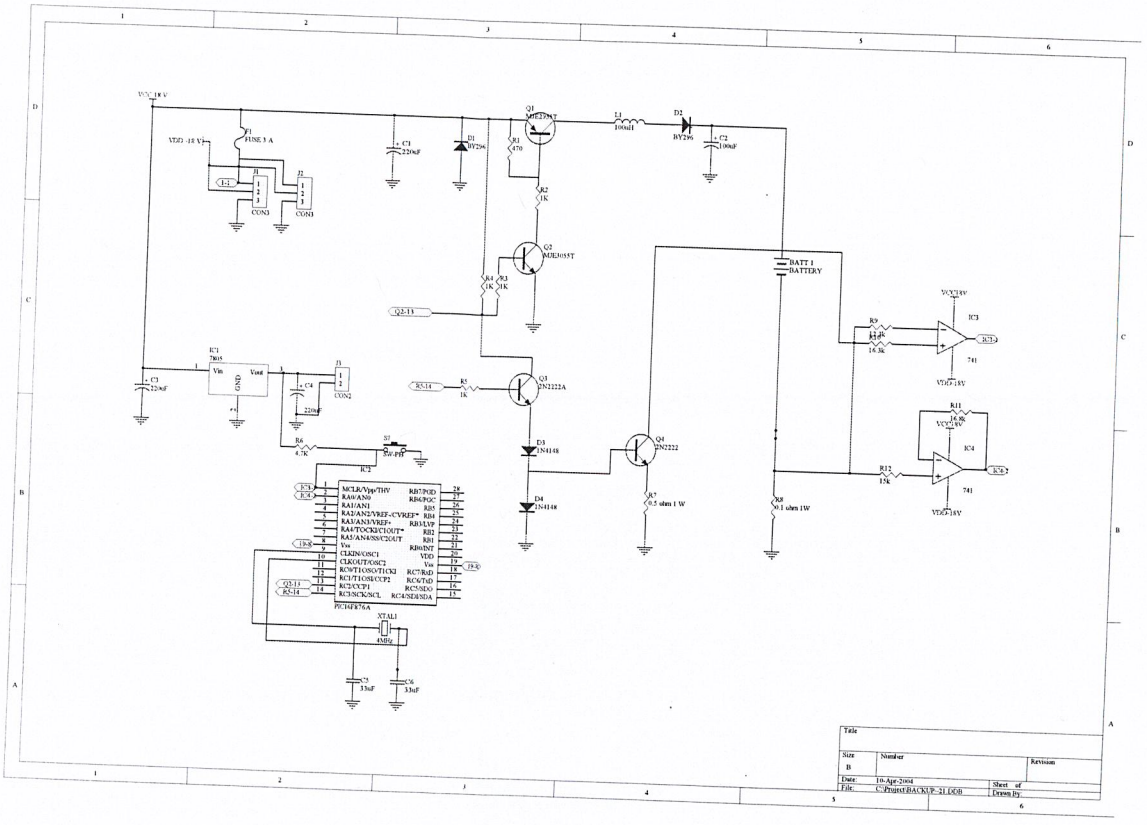
- เนื่องจากแรงดันของแบตเตอรี่สูงสุดในการประจุมีค่าเกินกว่าย่านแรงดันสูงสุดของวงจรการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลซึ่งมีค่า 0 – 5 โวลท์ จึงต้องหารแรงดันของแบตเตอรี่ก่อนที่จะเข้าสู่วงจรการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ทำให้ค่าแรงดันที่อ่านได้มีค่าความละเอียดน้อยลง

- การวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่ขณะทำการประจุและทำการคายประจุต้องวัดขณะเปิดวงจร คือต้องไม่มีการจ่ายกระแสให้แก่แบตเตอรี่หรือดึงกระแสออกจากแบตเตอรี่ พบว่าค่าแรงดันของแบตเตอรี่จะไม่ลดลงอย่างทันทีหรือเพิ่มขึ้นอย่างทันทีขณะทำการประจุหรือคายประจุตามลำดับทำให้ต้องหน่วงเวลาก่อนการวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่ ซึ่งต้องทำการทดลองหลายๆครั้งเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในการวัด ถ้าหน่วงเวลาน้อยไปอาจทำให้การวัดค่าแรงดันผิดพลาดได้
- การออกแบบ PCB (Print Circuit Board) ต้องคำนึงถึงการออกแบบ Signal Return ของวงจร คือขณะวงจรทำงานแรงดันที่ตกคร่อม Signal Return ต้องมีค่าเป็นศูนย์หรือน้อยมากที่สุด เพื่อให้แรงดันจุดต่างๆมีจุดอ้างอิงจุดเดียวกัน เนื่องแรงดันที่ใช้ในการประมวลผลมีหน่วยเป็นมิลลิโวลท์ เพื่อให้ค่าแรงดันที่วัดได้มีค่าถูกต้อง

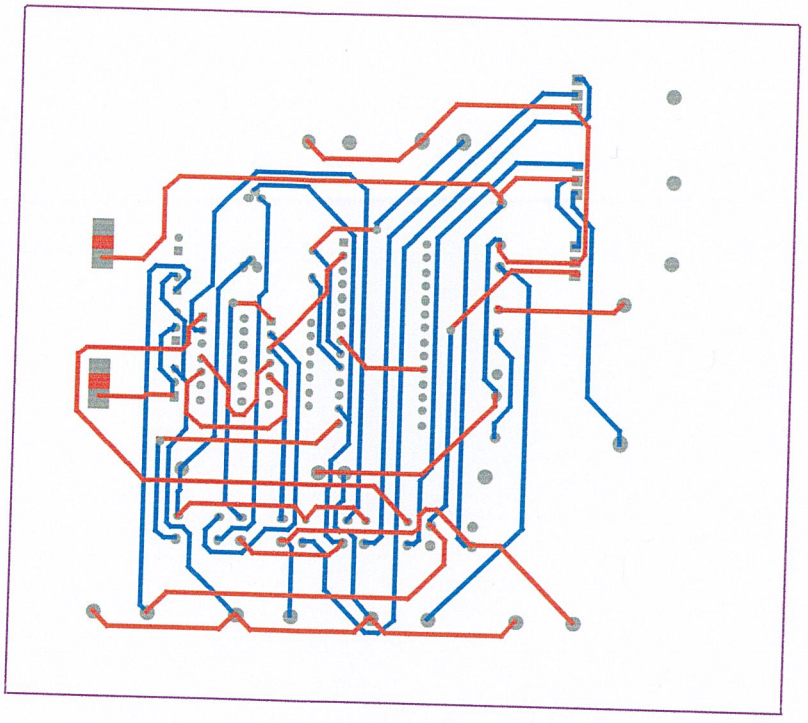
6.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

เนื่องจาก Op Amp ที่ใช้ในวงจรเบอร์ 741 เป็น Op Amp ที่ต้องใช้ทั้งแหล่งจ่ายไฟบวกและลบ แต่ถ้าใช้ Op Amp ที่มีประสิทธิภาพดีเท่ากับเบอร์ 741หรือมากกว่า และใช้กับ Single Supply ได้จะสามารถใช้แหล่งจ่ายไฟสวิทชิ่งเป็นแหล่งจ่าย ซึ่งจะมีขนาดเล็กกว่าทำให้สะดวกต่อการพกพาและสามารถต่อกับแหล่งจ่ายไฟที่อยู่ในรถยนต์ได้ ส่วนวงจรที่ใช้ คือวงจร Buck Converter สามารถทำเป็นแหล่งจ่ายกระแสคงที่หรือแรงดันคงที่ได้ โดยเลือกที่วงจรป้อนกลับในการวัดค่ากระแสหรือวัดค่าแรงดัน ซึ่งสามารถประจุแบตเตอรี่ชนิด ตะกั่ว – กรด (Lead - Acid) ซึ่งใช้วิธีการประจุแบบแรงดันคงที่ แบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ(Li – on) และแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ได้อีกมากมาย

ภาคผนวก ก.



รูปที่ ผ.1 แสดงSchematic Diagramของวงจรประจุแบตเตอรี่



รูปที่ ผ.2 แสดงลายทองแดงของวงจรประจุแบตเตอรี่

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่

```
#include <16F876A.h>
#device *=16
#device ADC=10
#fuses XT,WDT
#use delay(clock=40000000,RESTART_WDT)

#byte PORTB = 0x06
#bit dis_pin = 0x07.3
#bit SW1 = 0x07.0
#bit SW2 = 0x07.1
#bit SW3 = 0x07.4
#bit SW4 = 0x07.5

long clk;
float Current_in , C , vbatt;
int  duty , count_time , min , state;

float measure(int x)
{
int i;
long value_adc,tmp;
float result;

set_adc_channel(x);
delay_us(10);

tmp = 0;
for(i=0; i<5; i++)
{
value_adc = read_adc();
```

```
value_adc = value_adc & 0x03ff;
tmp = tmp + value_adc;
}
value_adc = tmp/5;
 result = value_adc;
 result = result * 0.0048;

 return(result);
}

float check_vbatt(void)
{
int volt;
 float data;

volt = 1;      // select chennal measure vbatt
 data = measure(volt);
data = data*1.3;

return(data);
}

void process(float c)
{
 int current;
float Current_in;

while(count_time < 20)
{
 ;
}
count_time = 0;
current = 0;     // select chennal measure current
Current_in = measure(current);
```

```
if(Current_in > c)
{
 --duty;
set_pwm1_duty(duty);
if(duty > 150)  // limit pwm
{
--duty;
 set_pwm1_duty(duty);
}
}
else
{
++duty;
set_pwm1_duty(duty);
 if(Current_in > 4)  //  limit current not over 2A
{
--duty;
set_pwm1_duty(duty);
 }
}
}

void discharge(void)
{
 set_pwm1_duty(0);
 vbatt = 1.2;
PORTB = 0x00;
clk = 0;
while(vbatt > 1.0)
{
float check;
while(clk < 28000)
 {
dis_pin = 1;
```

```
PORTB = 0x7A;
}
clk = 0;
while(clk < 2000)
{
 dis_pin = 0;
PORTB = 0x7A;
}
 clk = 0;
vbatt = check_vbatt();
}
}

void trickle_charge(void)
{
delay_ms(100);
while(1)
{
C = C/10;
process(C);
PORTB = 0x8E;
}
}

void charging(void)
{
 float  check;
PORTB = 0x00;
while(1)
{
while(clk < 28000)
{
process(C);
PORTB = 0x9C;
```

```
 }
clk = 0;

{
 set_pwm1_duty(0);
PORTB = 0x9C;
}
clk = 0;
check = 0;
while(clk < 20)
{
set_pwm1_duty(0);
}
vbatt = check_vbatt();

if(vbatt > 1.4)
{
state = 2;
break;
}
}
}

void init(void)
{
vbatt = check_vbatt();
if(vbatt < 1.0)   // case overdischarge
{
C = C/10;
min = 0;
while(min < 5)   // time out 5 minute
{
while(clk < 60000)
{
```

```
process(C);   // charge C/10
 }
clk = 0;
min++;
}
min = 0;
 set_pwm1_duty(0);
vbatt = check_vbatt();
 if(vbatt < 1.25)      //  detection of damaged battery
{
while(1);
{
 ;      PORT B=0X8E;
       delay_ms(500);
       PORT B=0X00;
      delay_ms(500);
 }
}
}
else
{
discharge();
}
}

float select_c(void)
{
 float c;
while(1)
{
if(!sw1)
{
c = 0.5;
break;
```

```
}
 if(!sw2)
{
 c = 0.75;
break;
 }
if(!sw3)
{
c = 1.0;
break;
}
 if(!sw4)
{
c = 2.0;
 break;
}
 }
 return(c);
}

#int_RTCC
RTCC_isr() // overflow every 1ms
{
restart_wdt();
count_time++;
clk++;
}

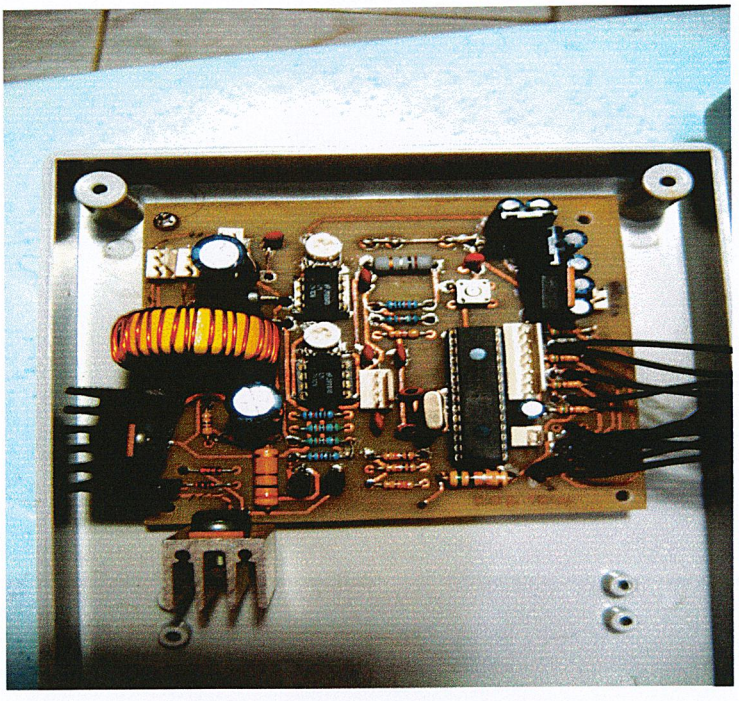
void main()
{
port_b_pullups(TRUE);
 setup_adc_ports(RA0_RA1_RA3_ANALOG);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
setup_counters(RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_4);
```

```
setup_timer_2(T2_DIV_BY_1, 39, 1);
enable_interrupts(INT_RTCC);
enable_interrupts(global);
setup_ccp1(CCP_PWM);
set_tris_c(0x33);
set_tris_b(0x00);
clk = 0;
 count_time = 0;
delay_ms(1000);
C = select_C();
C = (C*2.0);
state = 0;

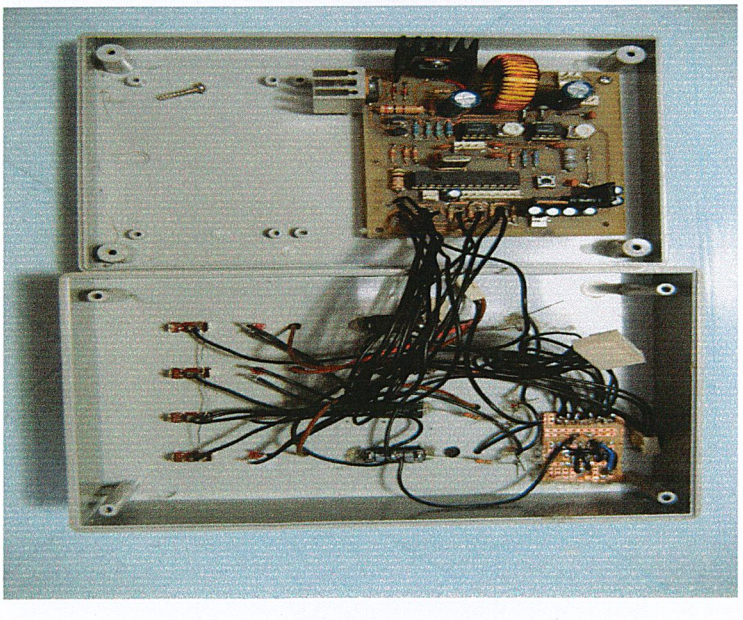
while(1)
{
switch(state) {
case 0:
{
init();
state = 1;
 break;
 }
case 1:
{
 charging();
break;
}
default:
{
 trickle_charge();
}
 }
}
}
```

ภาคผนวก ค.

รูปถ่ายโครงงาน



รูปที่ ผ.3 รูปถ่ายวงจรประจุแบตเตอรี่



รูปที่ ผ.4 โครงสร้างภายในของโครงงาน



รูปที่ ผ.5 โครงสร้างภายนอกของโครงงาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บุพการี ผู้ให้กำเนิดลูก รวมทั้งเป็นต้นแบบในการดำเนินชีวิตของลูก ที่ดูแลเลี้ยงดูลูกจนเติบใหญ่ รวมทั้งให้การอบรม สั่งสอน ให้กำลังใจในยามท้อแท้ และช่วยสนับสนุนทุนทรัพย์

ขอขอบคุณ รศ.ดร. วันชัย ริ้วรุจา,อ.ธวัชชัย คำศรี และ อ.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า เป็นอย่างสูงที่ให้คำชี้แนะ และเป็นที่ปรึกษาให้กับโครงงานและ คอยเตือน คอยแนะนำ รวมทั้งคอยกระตุ้นงาน

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้จัดให้มีการทำโครงงานขึ้น เพื่อเป็นประโยชน์ต่อไปเมื่อเวลาไปทำงานข้างนอก และทำให้ได้เรียนรู้ว่าการทำงาน กับผู้อื่น เป็นสิ่งที่ไม่ง่ายเลย ต้องอาศัยความเข้าใจกันอย่างมาก

เอกสารอ้างอิง

1. ผศ.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์, "ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาลอก", ว.เพ็ชรสกุล, 280หน้า, 2545
2. Jai P.Agrawal, "Power electronic System:theory and design", Prentice Hall, 562 p., 2001
3. Sergio Franco, "Design with Operational Amplifier and Analog Integrated Circuits" , Mcgraw-Hill, 668 p. , 1997
4. T.R. Crompton, "Battery reference book", Oxford, 1038 p. , 2000