

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ A123 สำหรับ สตู๊ดเตอร์ไฟฟ้า

A123 BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC SCOOTER



T104239



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....104239
วัน,เดือน,ปี..... 30 ต.ค. 2552



ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมศาสตร์แมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2551


สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ A123 สำหรับ สกู๊ตเตอร์ไฟฟ้า
A123 BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC SCOOTER

ผู้จัดทำ นาย สุติกร กังวารจิตต์
นาย ประภากร แก้วสมนึก
นาย เอกพงศ์ ดำรงวิจิธรรม




.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ A123 สำหรับ สตาร์ทเตอร์ไฟฟ้า

โดย

1. นาย จูติกร กังวารจิตต์
2. นายประภากร แก้วสมนึก
3. นายเอกพงศ์ ดำรงวิถิธรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาวิธีอัดประจุไฟฟ้าและการสร้างเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ A123 โดยใช้หลักในการควบคุมกระแสและแรงดันของวงจรที่เรียกว่า Buck Converter ซึ่งวงจรพื้นฐานประกอบไปด้วย Mosfet , Diode , ขดลวด(Inductor) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) หลักการทำงานของเครื่องอัดประจุไฟฟ้า คือ Microcontroller จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ เมื่อเริ่มชาร์จ Microcontroller จะกำเนิดสัญญาณ PWM จากคริสตอล แล้วส่งไปควบคุมการทำงานของ Mosfet ชนิด N-CHANNEL ซึ่งประกอบเป็นวงจร Buck Converter เพื่อควบคุมกระแสการไหลผ่านไปยังชาร์จแบตเตอรี่ Microcontroller จะทำการอ่านทั้งแรงดันและกระแสกลับมาจากแบตเตอรี่ ผ่านทางภาค ADC เพื่อแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลป้อนกลับสู่ Microcontroller โปรแกรมใน Microcontroller จะนำข้อมูลนี้กลับไปควบคุมสัญญาณ PWM อีกครั้ง เพื่อควบคุมกระแสและแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ให้ได้ตามค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A123 BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC SCOOTER

By

1. Mr. Thitikorn Kangwarnjit
2. Mr. Prapakorn Kaeosomnuk
3. Mr. Eakpong Dumrongwiteetum

Advisor

Songmoung Nundrakwang

Academic Year 2008

ABSTRACT

This project is studying how to charge battery and create the charger for A123 battery by using buck converter to control current and voltage. The basically circuit of buck converter compose of mosfet , diode , inductor and capacitor. The charger can work by microcontroller that control all of action in charger. During the charger charges microcontroller will generate pwm from crystal and send this signal to control mosfet (N-channel) in buck converter to control the flow of charger. Microcontroller will read all of voltage and current signal that return from battery which enter by ADC to convert analog signal to digital signal and return it to microcontroller. Program in microcontroller will analyze this data and generate pwm again to control current and voltage that flow in the system .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้และตัวโครงการนั้น สามารถสำเร็จลงได้ด้วยดีก็เพราะได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจากอาจารย์สองเมือง นันทขว้าง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและยังคอยให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และอาจารย์สมรรถชัย ปัญญา ที่ได้ให้ความรู้และข้อคิดเป็นอันมาก และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ผู้จัดทำ ซึ่งผู้จัดทำขอกราบขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณ แฟรงค์ บอย เอก อาท อ้อป เนส ก๊อ ก ทัช เอฟ หมี ต้ม เบงค์ มาร์ช และเพื่อนภาคแมคคาทริกส์ ภาคไฟฟ้าทุกคน และทุก ๆ คนที่ไม่ได้กล่าวถึงมา ณ ที่นี้ ที่คอยช่วยเหลือในการเรียนและเป็นพี่ปรึกษา จนทำให้ผู้จัดทำได้ทำงานนี้จนสำเร็จลงได้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

และท้ายที่สุดขอกราบขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่รักและเคารพ ที่สนับสนุนให้โอกาสผู้เขียนได้เล่าเรียนจนถึงวันนี้ ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในห้องวิจัยทุกคนที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และเป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมาจนสามารถนำสิ่งต่างๆ ที่ได้รับมานั้นจัดทำเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมาจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ครูอาจารย์ที่เคารพ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

นาย จูติกร กังวารจิตต์
นาย ประภากร แก้วสมนึก
นาย เอกพงษ์ ดำรงวิถิธรรม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ	1
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 แบตเตอรี่ A123	3
2.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ A123	4
2.3 หลักการและวิธีการชาร์จแบตเตอรี่	5
2.3.1 CC-CV (Constant Current - Constant Voltage)	5
2.3.2 Fast Charge	5
2.4 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck converter)	6
2.4.1 หลักการทำงานของวงจรสวิตซ์ซิ่ง	6
2.4.2 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	7
2.4.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุดของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	10
2.4.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันเอาท์พุท	12
2.5 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ (Design of Inductor)	13
2.6 เซนเซอร์ (sensor)	15
2.6.1 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (non-inverting amplifier)	15
2.6.2 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง (differential amplifier)	16
2.7 วงจร Cell – Balancing Circuit	17
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ	18
3.1 การแบบวงจร Buck Converter	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ (Design of inductor)	20
3.3 ออกแบบวงจรเซนเซอร์	22
3.4 ออกแบบวงจร Cell balance	24
3.5 ออกแบบส่วนควบคุมของระบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	24
3.6 วงจรรวมของระบบที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์	18
3.4 การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ (Design of Inductor)	20
3.5 ออกแบบวงจร voltage sensor และ current sensor	21
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	28
4.1 วงจรขับ gate	28
4.2 วงจร Sensor	29
4.3 ชาร์จแบตเตอรี่	30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์	33
5.1 สรุปผลการทดลอง	33
5.2 วิจารณ์การทดลอง	33
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ	33
5.4 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	33
5.5 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	34
ภาคผนวก	35
ภาคผนวก ก เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	35
ก.1 เอกสารคู่มือการใช้งาน PIC16F877	35
ก.2 เอกสารคู่มือการใช้งาน Mosfet IRFP640	52
ภาคผนวก ข	58
ภาคผนวก ข คุณสมบัติและพฤติกรรมแบตเตอรี่ A123	58
ข.1 คุณสมบัติและพฤติกรรมของแบตเตอรี่ A123	58
ภาคผนวก ค	61
ภาคผนวก ค โปรแกรมควบคุม	61
ค.1 โปรแกรมควบคุม	61
เอกสารอ้างอิง	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 Battery A123	3
2.2 (ก) วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงพื้นฐาน	6
2.2 (ข) วงจรสมมูลของสวิตช์	6
2.2 (ค) แรงดันไฟฟ้าด้านออก	6
2.3 การทำงานของวงจร buck converter ขณะสวิตช์นำกระแส	8
2.4 การทำงานของวงจร buck converter ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส	9
2.5 (ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ	10
2.5 (ข) กระแสที่ไหลตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ	10
2.5 (ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ	10
2.6 (ก) กระแสตัวเก็บประจุ	13
2.6 (ข) ระยะเวลาคลื่นแรงดันที่ตัวเก็บประจุ	13
2.7 วงจรขยายสัญญาณแบบ ไม่กลับเฟส	15
2.8 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง	16
2.9 วงจร Cell – Balancing	17
3.1 วงจร buck converter	18
3.2 วงจร buck converter ที่ใช้งาน	20
3.3 รูปวงจร Voltage Sensor	22
3.4 วงจร Current Sensor	23
3.5 วงจร Sensor	23
3.6 วงจร Cell balance	24
3.7 วงจร Driver , Buck Converter , Cell Balance และ Current and Voltage Sensor	25
3.8 วงจรส่วนควบคุมหลักและส่วนแสดงผล	26
4.1 สัญญาณ PWM จาก Microcontroller	28
4.2 สัญญาณ PWM ที่ผ่านวงจรขับ gate	28
4.3 แรงดันแบตเตอรี่ที่วัดได้จากมิเตอร์	29
4.4 แรงดันเอาต์พุตจากวงจร Sensor	30
4.5 สัญญาณ Duty cycle = 21.95 % ขณะเริ่มชาร์จถ่าน	30
4.6 กระแสชาร์จและแรงดันถ่านแต่ละก้อนขณะเริ่มชาร์จถ่าน	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 สัญญาณ Duty cycle = 77.91 % ขณะชาร์จถ่านที่กระแส 10A	31
4.8 แสดงกระแสและแรงดันขณะชาร์จถ่านที่กระแส 10A	32
4.9 แสดงกระแสและแรงดันเมื่อถ่านเต็ม	32



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ A123	4
4.1 ผลการทดลองการวัดแรงดันอินพุตเอาต์พุตของวงจร Sensor	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันปัญหาการเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมัน และความต้องการที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้นทุนในการประกอบธุรกิจ ค่าครองชีพเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลกระทบต่อปัญหาภาวะโลกร้อนอีกด้วย จึงได้มีการคิดค้นหาพลังงานทดแทนที่ ราคาถูก สะอาด ปลอดภัย และก่อกมลพิษน้อยกว่า ซึ่งเป็นทางเลือกทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว ในปัจจุบันพลังงานทดแทนมีอยู่หลายชนิด เช่น ไบโอดีเซล ก๊าซธรรมชาติ เอทานอล และพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น พลังงานไฟฟ้าก็เป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่ง แต่ยังมีประสบปัญหาในการเก็บพลังงาน จนกระทั่งปัจจุบันทางบริษัท A123 SYSTEMS ได้ผลิตแบตเตอรี่ชนิด LiFe ในชื่อว่า A123 ซึ่งมีข้อดีหลายประการ เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น แต่ยังมีข้อจำกัดตรงที่เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่ การที่จะหาเครื่องประจุเฉพาะแบตเตอรี่ชนิดนี้ ยังไม่แพร่หลายในท้องตลาด และมีราคาเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ค่อนข้างสูงอยู่

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของพลังงาน และอุปกรณ์ที่มารองรับกับเทคโนโลยีนี้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวันทั้งทางตรง และทางอ้อม เราจึงควรให้ความสำคัญกับการแก้ปัญหาต่างๆ นี้ ที่ยังมีอยู่ยังสามารถปรับปรุง แก้ไขให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นได้

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาพฤติกรรมและคุณสมบัติของแบตเตอรี่ A123
2. ศึกษาการออกแบบวงจรเครื่องชาร์จแบตเตอรี่
3. ศึกษาการออกแบบวงจรเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และคุณภาพของแบตเตอรี่

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ

การศึกษาและจัดทำโครงการนั้นเริ่มต้นจากการค้นหาข้อมูลพฤติกรรมของแบตเตอรี่ และหลักการชาร์จแบตเตอรี่ โดยนำข้อมูลและหลักการ ไปออกแบบวงจรที่จำเป็นในเครื่องชาร์จแบตเตอรี่

โครงการนี้จะต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับการคำนวณ Buck Converter ซึ่งต้องมาออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อให้มีค่าตามที่ได้กำหนด รวมถึงการควบคุมขนาดของ PWM โดยการควบคุม Duty Cycle เพื่อให้วงจรที่ได้ออกแบบไว้ทำงาน

จากนั้นออกแบบวงจร Current Sensor และ Voltage Sensor เพื่อที่จะตรวจสอบกระแสและแรงดันของแบตเตอรี่เพื่อที่จะได้รู้ว่าค่าต่าง ๆ เป็นไปตามข้อมูลของแบตเตอรี่และหลักการการชาร์จแบตเตอรี่

1.4 รายละเอียดของปริิณยานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริิณยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ

บทที่ 1 จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ในการศึกษาและวิจัย ขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย พร้อมทั้งรายละเอียดของวิถยานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 จะแสดงวิธีคิดและทฤษฎีเบื้องต้นทั้งการออกแบบระบบควบคุมและหลักการใช่วงจร Buck Converter โดยการใช้ PWM และปรับ Duty Cycle เพื่อควบคุมวงจร

บทที่ 3 จะอธิบายเกี่ยวกับการออกแบบและส่วนประกอบของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ รวมถึงวิธีการคิดและเหตุผลที่นำมาใช้

บทที่ 4 เป็นส่วนผลที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์ผล

บทที่ 5 จะเป็นบทวิจารณ์และสรุปผลการดำเนินการและปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขรวมไปถึงแนวทางการพัฒนาต่อไปในอนาคต ในภาคผนวกนั้นก็จะรวมข้อมูลของแบตเตอรี่ A123 และข้อมูลอุปกรณ์ที่ได้นำมาใช้ในวงจร

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบตเตอรี่ A123

แบตเตอรี่ A123 (หรือ LiFe) เป็นชื่อทางการค้าของแบตเตอรี่ชนิดใหม่ ซึ่งถูกพัฒนาโดยบริษัท A123 Systems ที่ก่อตั้งมาตั้งแต่ปี 2001 โดยมีเป้าหมายที่จะพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดใหม่ที่จะไปใช้กับรถยนต์ hybrid โดยนำแบตเตอรี่ lithium-ion มาพัฒนาให้สามารถจ่ายกระแสได้สูงขึ้น สามารถชาร์จประจุกลับได้รวดเร็วขึ้น และมีความทนทานมากขึ้น โดยใช้เทคโนโลยี nanophosphate ที่ค้นคว้าวิจัยโดยสถาบัน MIT (Massachusetts Institute of Technology)

ในปี 2006 บริษัท A123 Systems ได้เริ่มผลิตแบตเตอรี่ชนิดใหม่ออกขาย โดยนำไปใช้กับเครื่องมือก่อสร้างไร้สาย ที่ผลิตโดยบริษัท DeWalt จากนั้นก็เริ่มมีคนแกะเอาแบตเตอรี่ A123 ที่อยู่ในเครื่องมือของ DeWalt มาใช้ในเครื่องบินบังคับวิทยุ นั่นเป็นจุดเริ่มต้นให้แบตเตอรี่ A123 เริ่มเป็นที่รู้จักกันมากขึ้น

แบตเตอรี่ A123 เพิ่งเข้ามาในบ้านเราได้ไม่นาน แต่ก็ทำให้มีคน สนใจกันเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหนือกว่าแบตเตอรี่แบบทั่วไปหลายด้าน โดยเฉพาะเรื่องของการชาร์จประจุกลับได้อย่างรวดเร็วและความสามารถจ่ายกระแสสูงๆ ได้ต่อเนื่อง โดยไม่เกิดความเสียหายได้ง่าย



รูปที่ 2.1 battery A123 M1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ A123

แบตเตอรี่แบบ A123 ที่ผลิตออกมาจำหน่ายในปัจจุบัน จะมีขนาดความจุเพียงค่าเดียวคือ 2.3Ah โดยมีคุณสมบัติและข้อกำหนดต่างๆ (parameter) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติแบตเตอรี่

Specification	
Nominal voltage	3.3 V
Nominal capacity	2.3 Ah
Nominal dimension	26mm \varnothing x 66.5mm ht
Nominal cell weight	70 g
Cell charging parameters: CC-CV	
Recommended charge current (0°C to 60°C ambient temp)	3 A
Recommended charge voltage	3.6 V
Recommended float charge voltage	3.45 V
Recommended cut-off current for CV hold (indicating 100%SOC):	0.05A
Maximum continuous charge current (20°C to 60°C ambient)	10A
Maximum allowable charge voltage	4.2V MAX
Fast charge time	15 minutes
Cell discharging parameters (-30°C to +60°C ambient temperature)	
Recommended discharge cut-off voltage	2.0V
Maximum continuous discharge current	60A
Cell temperature parameters (skin temperature)	
Maximum recommended cell temperature	70°C
Maximum allowable cell temperature	85°C
Allowable storage temperature range	50°C to +60°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการวิธีการชาร์จแบตเตอรี่

หลักการวิธีการชาร์จแบตเตอรี่แบบ A123 มีอยู่ 2 วิธีคือ

2.3.1 CC-CV (Constant Current - Constant Voltage)

- วิธีการชาร์จแบบนี้จะเหมือนกับการชาร์จแบตเตอรี่แบบ LiPo/LiION ทุกอย่าง ต่างกันที่ค่า parameter โดยการชาร์จแบตเตอรี่แบบ A123 มีข้อกำหนดดังนี้

- เริ่มต้นการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกระแสชาร์จคงที่ 3A ต่อเนื่องจนกว่าค่าแรงดันแบตเตอรี่ขึ้นถึง 3.6V ต่อเซลล์
- เปลี่ยนการชาร์จจากกระแสไฟคงที่ไปชาร์จแบบแรงดันคงที่ โดยรักษาแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 3.6V
- จุดสิ้นสุดการชาร์จ (cut-off) เมื่อกระแสชาร์จมีค่าต่ำกว่า 0.05A หรือเวลาชาร์จทั้งหมดเกิน 45 นาที ขึ้นอยู่กับว่าอย่างใดถึงก่อน
- วิธีนี้จะชาร์จแบตเตอรี่ได้เต็ม 100%

2.3.2 Fast Charge เป็นการชาร์จแบตเตอรี่อย่างรวดเร็ว

โดยใช้เวลาไม่เกิน 15 นาที มีขั้นตอนการชาร์จดังนี้

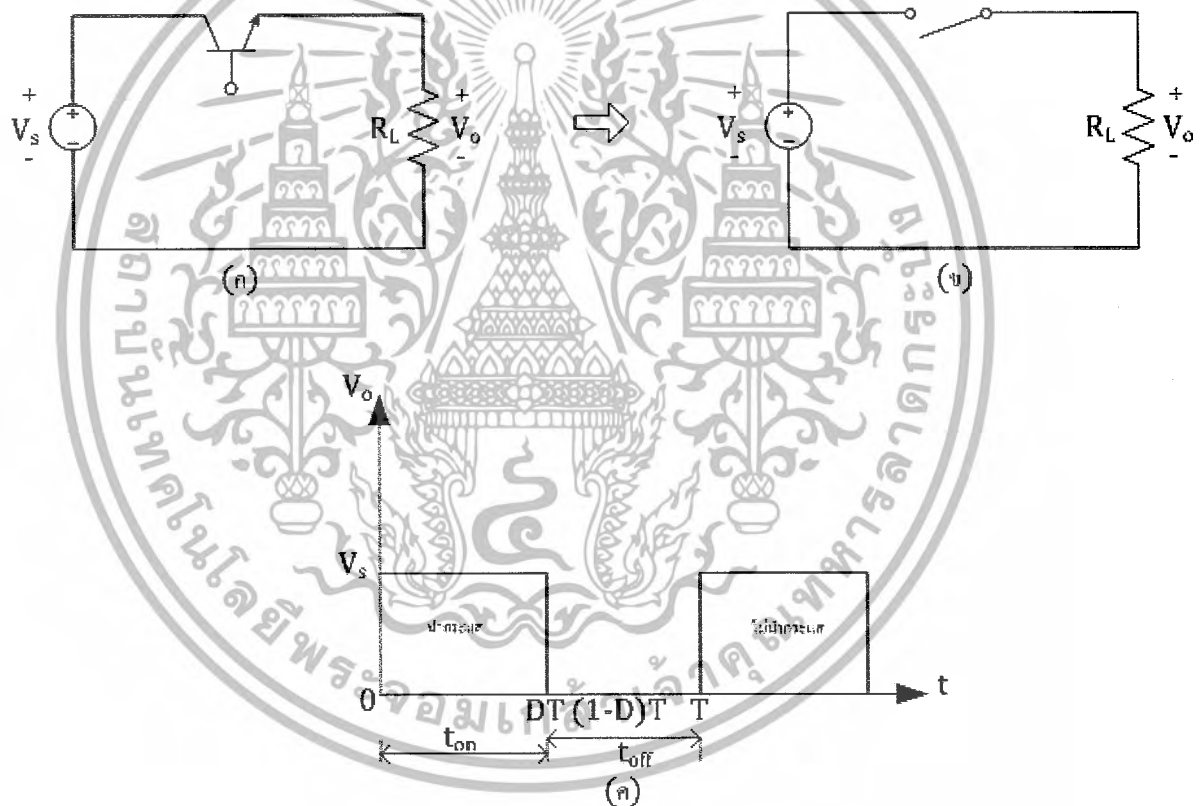
- เริ่มต้นชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟคงที่ 10A ต่อเนื่องจนกว่าค่าแรงดันแบตเตอรี่ขึ้นถึง 4.2V ต่อเซลล์
- เปลี่ยนการชาร์จจากกระแสไฟคงที่ไปชาร์จแบบแรงดันคงที่ โดยรักษาแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 4.2V
- เวลาที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ทั้งหมดต้องไม่เกิน 15 นาที
- ต้องมีการตรวจสอบอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตลอดเวลา ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70C ต้องหยุดการชาร์จทันที
- วิธีนี้จะชาร์จแบตเตอรี่ได้เต็มแค่ 96%

2.4 วงจรบัคควอเตอร์เตอร์ (Buck converter)

วงจรแปลงกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง หรือ DC to DC Converter เป็นที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมและในงานสวิทช์ซึ่งอย่างแพร่หลาย

2.4.1 หลักการทำงานของวงจรสวิทช์ชิ่ง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสวิทช์ชิ่งตัวอย่างเช่น มอสเฟต หรือไอจีบีที จะทำหน้าที่เป็นตัวสวิทช์ อิเล็กทรอนิกส์ จะถูกกำหนดให้ทำงานในโหมด นำกระแส และหยุดนำกระแส โดยสมมติ ให้ทำงานเช่นเดียวกับการทำงานของสวิทช์ในอุดมคติ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 (ก) วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงพื้นฐาน (ข) วงจรสมมูลของสวิทช์ (ค) แรงดันไฟฟ้าด้านออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสวิตช์นำกระแส แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต ($V_o = V_s$) และหากสวิตช์ไม่นำกระแส แรงดันเอาต์พุต จะมีค่าเท่ากับ 0 ($V_o = 0$) ซึ่งช่วงเวลาในการนำกระแสและหยุดนำกระแสจะได้แรงดันเอาต์พุตออกเป็นสัญญาณพัลส์ดัง แสดงในรูป ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตได้จากสมการที่ 2.1

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^t V_o(t) dt$$

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s dt$$

$$V_o = V_s D \tag{2.1}$$

เมื่อ V_s คือแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

D คือ Duty cycle

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \tag{2.2}$$

$$t_{on} = DT$$

$$t_{off} = (1 - D)T$$

เมื่อ t_{on} คือช่วงเวลานำกระแส

t_{off} คือช่วงเวลาหยุดนำกระแส

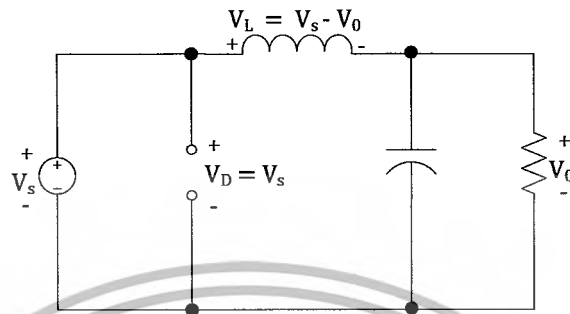
T คือเวลาหนึ่งคาบ

2.4.2 วงจรมัลติเพล็กซ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรมัลติเพล็กซ์คอนเวอร์เตอร์ หรือเรียกว่า วงจรทอนระดับ เป็นวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตมีค่าต่ำกว่าแรงดันด้านอินพุต และเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตที่มีความเป็นกระแสดตรงมากๆ จะนิยมใช้ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass filter) ซึ่งโดยมากจะเลือกใช้วงจรกรองแบบ LC เพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ ผกผันกับกำลังสองของความถี่

หลักการทํางานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

ขณะสวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.3 การทํางานของวงจร buck converter ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปที่ 2.3 กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ผ่านสวิตช์ ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด โดยที่กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะเก็บที่ตัวเก็บประจุ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ สามารถเขียนสมการของแรงดันไฟฟ้าได้ดังนี้

$$-V_s + V_L + V_o = 0$$

$$V_L = V_s - V_o$$

(2.3)

$$V_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

(2.4)

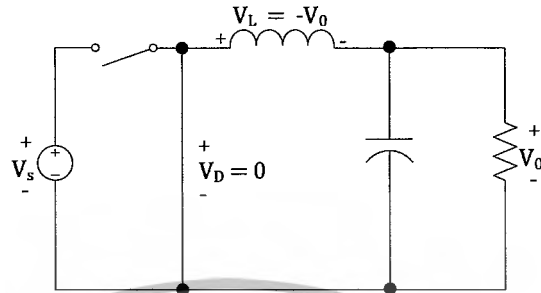
dt ในกรณีอยู่ในช่วงนำกระแส คือ dt = DT

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT$$

(2.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.4 การทำงานของวงจร buck converter ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

จากรูปที่ 2.4 เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดจะถูกไบอัสตรง จากการคืนพลังงานของตัวเหนี่ยวนำ ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำผ่านโหลด ทำให้เกิดการไหลของกระแสอย่างต่อเนื่อง และจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้

$$V_L = -V_o \quad (2.6)$$

$$V_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.7)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_o}{L} \quad (2.8)$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ จะค่อยๆมีค่าลดลง เพราะการเปลี่ยนแปลงกระแสตัวเหนี่ยวนำต่อเวลามีค่าเป็นลบ

dt ในกรณีที่อยู่ในช่วงเวลาหยุดนำกระแส จะมีค่าเท่ากับ $dt = (1 - D)T$

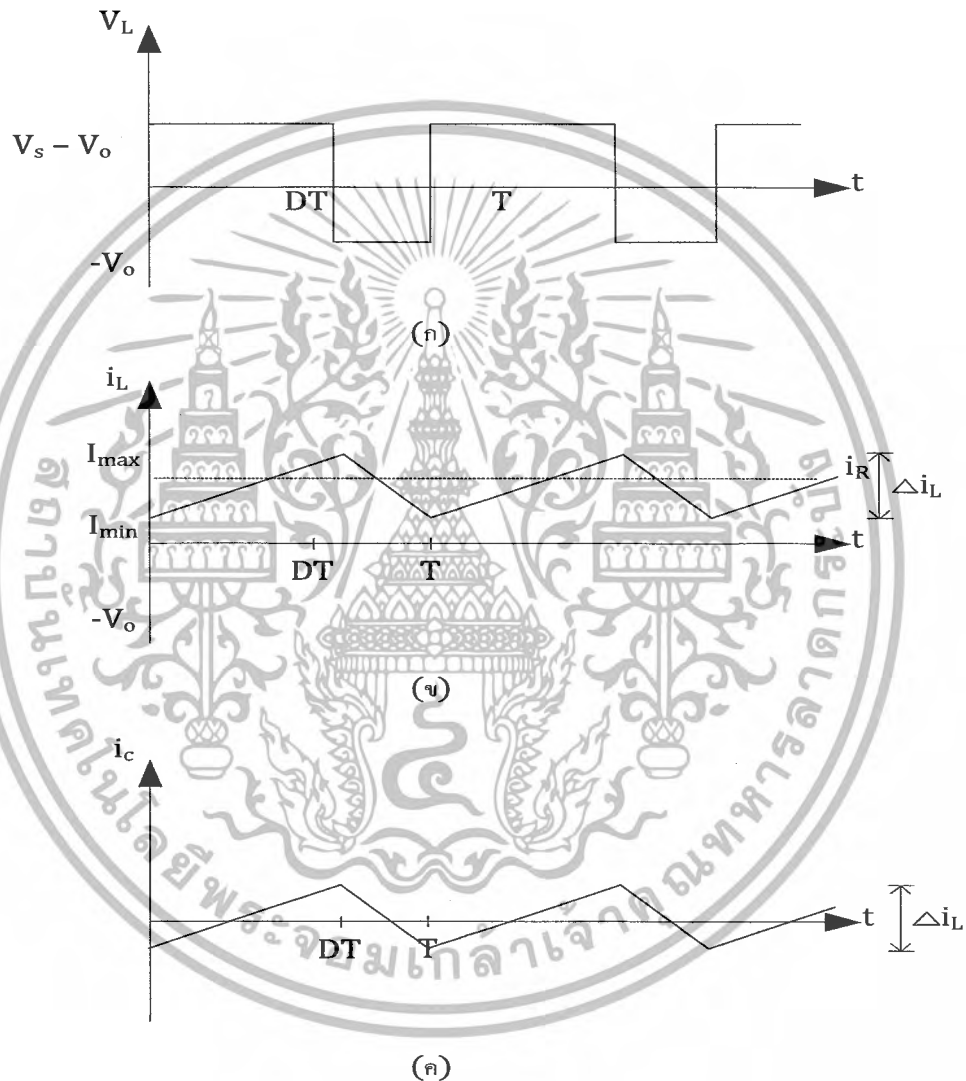
$$\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1 - D)T$$

อัตราขยายแรงดันของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 100% ตามค่า D ซึ่งวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า D

2.4.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุดของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่ต่ำสุดที่จะทำให้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง โดยเริ่มจากการหากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะเท่ากับกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลด เนื่องจากขณะที่อยู่ในสภาวะการทำงานอยู่ตัว กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้

$$I_L = I_O = \frac{V_O}{R} \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.5 (ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสที่ไหลตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5 จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดได้จากสมการ 2.9 ในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส ดังนี้

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.10)$$

$$I_{L,max} = \frac{V_O}{R} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_O}{L} (1-D)T \right]$$

$$I_{L,max} = V_O \left[\frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.11)$$

ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด คือ

$$I_{L,min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$I_{L,min} = \frac{V_O}{R} - \frac{1}{2} \left[\frac{V_O}{L} (1-D)T \right]$$

$$I_{L,min} = \frac{V_O}{R} - \frac{V_O}{2} \left[\frac{(1-D)T}{L} \right]$$

$$I_{L,min} = V_O \left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.12)$$

สำหรับการทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะต้องเป็นบวกเสมอ

จากค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดน้อยสุดที่ยังทำให้กระแสไหลผ่านแบบต่อเนื่อง

$$I_{L,min} = V_O \left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] = 0$$

$$V_O \left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] = 0$$

$$\frac{1}{R} = \frac{(1-D)}{2Lf}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้ว่า

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (2.13)$$

$$f = \frac{(1-D)R}{2L_{\min}} \quad (2.14)$$

จากสมการจะเป็นการหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ยังทำให้กระแสไหลได้อย่างต่อเนื่องซึ่งหาต้องการจะออกแบบให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำเล็กที่สุดที่ยังคงให้กระแสไหลได้อย่างต่อเนื่อง จะสามารถเลือกได้ 2 แนวทางคือ

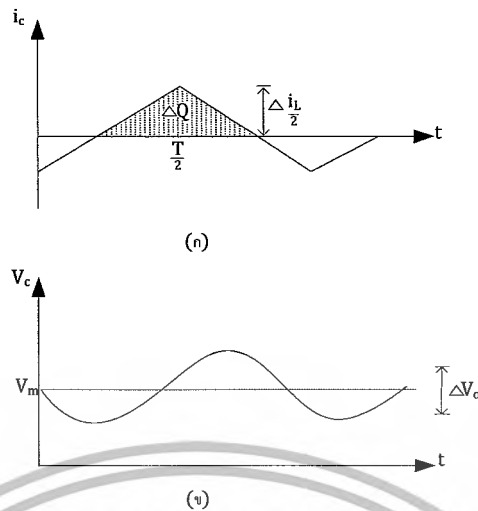
1. พยายามทำเศษในสมการ $L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f}$ ให้มีค่าน้อยที่สุด โดยการทำให้ค่า D มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ การเลือกโหลดให้มีค่า R น้อยๆ แต่ผลกระทบคือกระแสไหลจะสูง

2. พยายามทำให้ส่วนของสมการ $L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f}$ มีค่ามาก เช่นการเพิ่มความถี่เพิ่มขึ้นจาก 50 kHz เป็น 100 kHz ก็จะทำให้ตัวเหนี่ยวนำเล็กลง 2 เท่า ส่วนสมการ $f = \frac{(1-D)R}{2L_{\min}}$ ใช้ในการหาความถี่ที่เหมาะสม เมื่อได้กำหนดค่า L แล้ว

2.4.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันเอาต์พุต

โดยปกติ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน หรือวงจรกรองแบบ LC ที่อยู่ในวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์จะมีตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ เพื่อรักษาแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ แต่ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถเลือกตัวเก็บประจุขนาดใหญ่มาๆได้ เนื่องจากมีราคาแพงและใช้พื้นที่มาก จึงควรเลือกใช้ C ที่มีขนาดเหมาะสม และให้ค่าระลอกคลื่นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ สำหรับการคำนวณหาอัตราระลอกคลื่น (Ripple ratio) สามารถหาได้จาก

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.6 (ก) กระแสตัวเก็บประจุ (ข) ระลอกคลื่นแรงดันที่ตัวเก็บประจุ

หากต้องการให้อัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตมีค่าน้อย ซึ่งหมายถึงได้แรงดันไฟฟ้าที่เรียบมากยิ่งขึ้น สามารถเลือกได้ 2 แนวทางคือ

1. พยายามทำให้เศษในสมการ มีค่าน้อยที่สุด โดยการทำให้ D มีค่าเข้าใกล้ 1
2. พยายามทำให้ส่วนมีค่ามาก โดยการเพิ่มค่าตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ หรือความถี่ให้มากขึ้น

2.5 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ (Design of Inductor)

ในการออกแบบสร้างตัวเหนี่ยวนำ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงคือ ตัวเหนี่ยวนำจะต้องไม่อิ่มตัวแม่ในขณะ que กระแสเอาต์พุตมีค่าสูงสุด โดยวิธีการออกแบบที่ใช้คือ วิธีการกำหนดขนาดของแกนด้วยค่าผลคูณพื้นที่ (area product, A_p) ระหว่างพื้นที่ตัดขวางของแกน (core cross section area, A_c) กับพื้นที่ที่ใช้บรรจุขดลวด (window area, A_w) ซึ่งค่าผลคูณพื้นที่ดังกล่าวแสดงได้ดังสมการ(2.16)

$$A_p = A_c A_w = \frac{2E}{k_w k_c J B_{max}} \quad (2.16)$$

โดยที่

A_p คือ ค่าผลคูณพื้นที่ระหว่างพื้นที่ตัดขวางของแกนกับพื้นที่ที่ใช้บรรจุขดลวด

A_c คือ พื้นที่ตัดขวางของแกน

A_w คือ พื้นที่ที่ใช้บรรจุขดลวด

E คือ พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- k_w คือ ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่ใช้บรรจุควด
- k_c คือ อัตราส่วนระหว่างกระแสสูงสุดกับกระแสอาร์เอ็มเอสของตัวเหนี่ยวนำ (crest factor)
- J คือ ความหนาแน่นกระแสในเส้นลวดทองแดง
- B_{max} คือ ความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุด

พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำคำนวณได้จากสมการ(2.17)

$$E = \frac{1}{2} LI_{L,max}^2 \quad (2.17)$$

ลวดที่ใช้พันตัวเหนี่ยวนำจะใช้แผ่นทองแดงเพื่อช่วยลดปริมาณฟลักซ์รั่วไหลเนื่องจากการพันด้วยลวดทองแดงจำนวนหลายเส้น โดยจำนวนรอบของแผ่นคำนวณได้จากสมการ(2.18)

$$N = \frac{LI_{L,max}}{A_c B_{max}} \quad (2.18)$$

โดยที่

N คือ จำนวนรอบของแผ่นทองแดงของตัวเหนี่ยวนำ

เราสามารถตรวจสอบแกนของตัวเหนี่ยวนำว่าสามารถพันลวดทองแดงได้พอหรือไม่จากสมการ(2.19)

$$A_w K_w > aN \quad (2.20)$$

และระยะของช่องอากาศ (air gap) ที่ทำให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการคำนวณได้จากสมการ(2.19)

$$l_g = \frac{4\pi \times 10^{-7} N^2 A_c}{L} \quad (2.20)$$

โดยที่

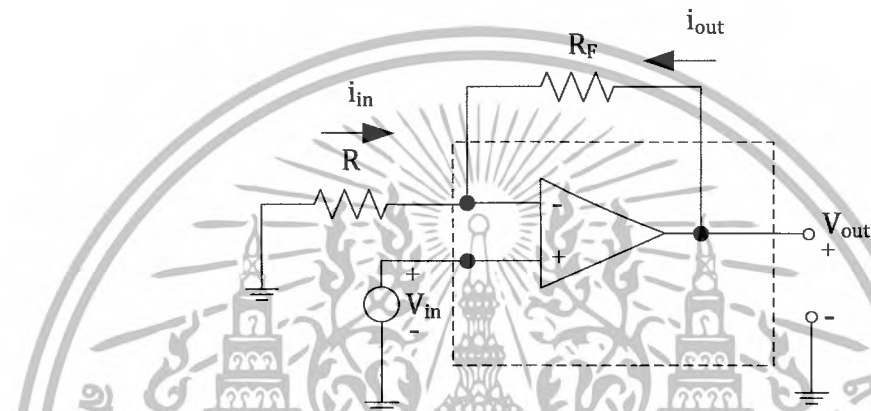
l_g คือ ความยาวช่องอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เซนเซอร์ (sensor)

ในส่วนของวงจรเซนเซอร์ แรงดันและกระแส เราจะใช้วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (non-inverting amplifier) ในการวัดกระแสและวงจรขยายสัญญาณผลต่าง (differential amplifier) ในการวัดแรงดัน

2.6.1 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส(non-inverting amplifier)



รูปที่ 2.7 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

อาศัยคุณสมบัติของออปแอมป์จะได้ว่า

$$-I_{in} = I_{out}$$

โดยที่ $I_{in} = \frac{0 - V_{in}}{R}$ และ $I_{out} = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_F}$

$$\frac{V_{in}}{R} = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_F}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \left(1 + \frac{R_F}{R}\right) \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

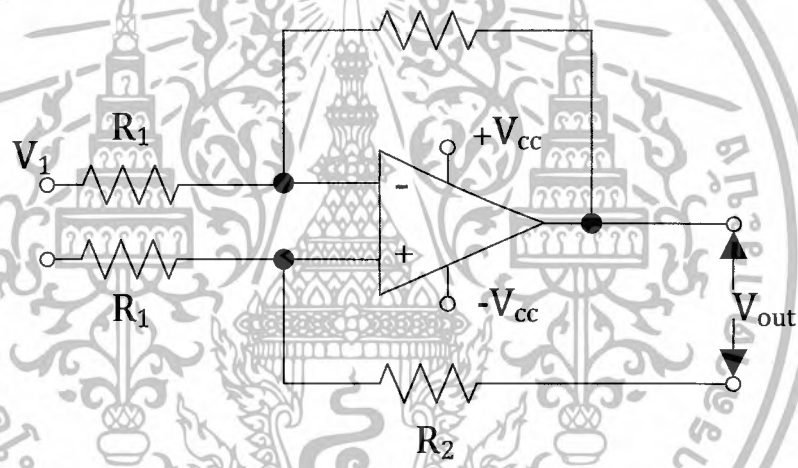
อัตราขยายแรงดันลูปิด A_{CL} ของวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส มีค่าเป็น

$$A_{CL} = \left(1 + \frac{R_F}{R}\right) \quad (2.22)$$

2.6.2 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง (differential amplifier)

เป็นวงจรขยายสัญญาณอีกชนิดหนึ่งที่ทำให้แรงดันเอาต์พุตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าผลต่างของแรงดันอินพุตสองชุดที่ป้อนให้ก็ยวงจร ซึ่งสามารถเขียนอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.23) ดังต่อไปนี้

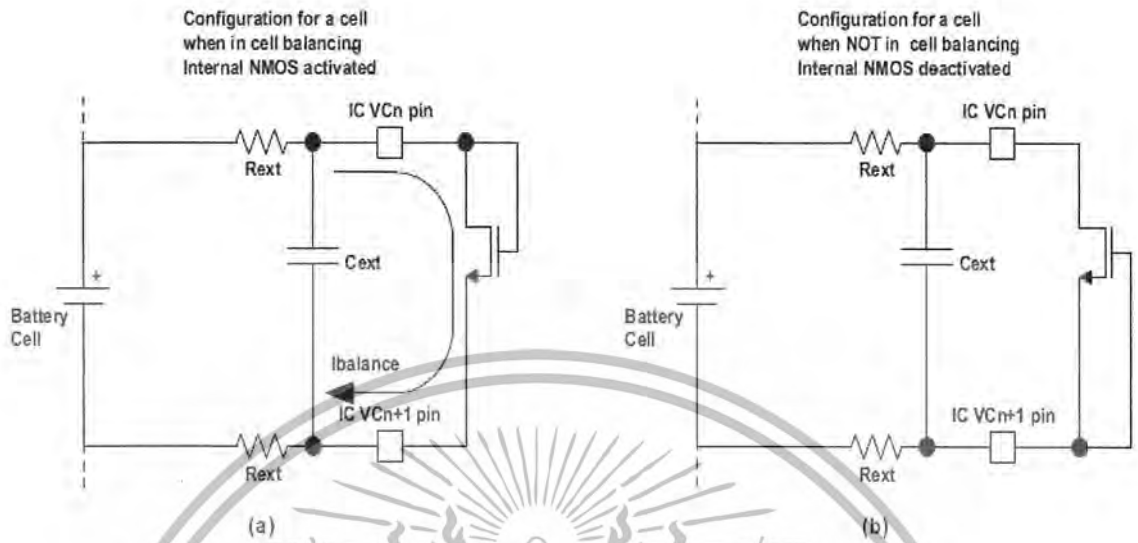
$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (2.23)$$



รูปที่ 2.8 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 วงจร Cell – Balancing Circuit



รูปที่ 2.9 วงจร Cell – Balancing

ในการชาร์ตถ่านที่ต่อเนื่องกันนั้นในระหว่างการชาร์ต ถ่านแต่ละก้อนอาจจะเต็มไม่พร้อมกัน เราจึงต้องมีวงจรสำหรับ bypass กระแสถ่านก้อนที่เต็มแล้วเพื่อไม่ให้เกิดการ over charge ลักษณะของวงจรประกอบด้วย NMOS switch ค่อยชานกับถ่านแต่ละเซลล์เพื่อควบคุมการเปิดปิดวงจรและมีตัวต้านทานเป็นตัวกำหนดขนาดของกระแส (Current – limit resistor)

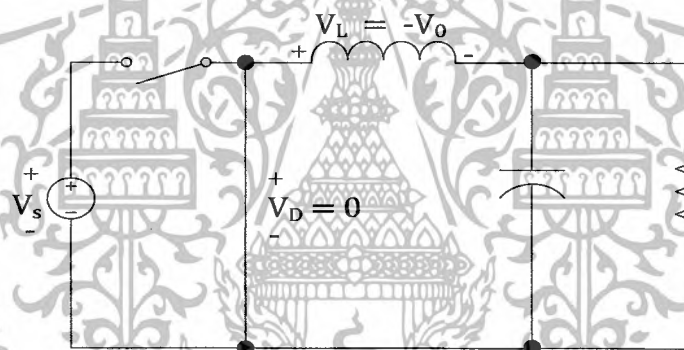
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

3.1 การออกแบบวงจร Buck Converter

ในการออกแบบวงจร buck converter เรามักค่าที่เราทราบอยู่แล้วนั้นจาก แรงดันของแบตเตอรี่สูงสุด ในขณะที่ชาร์จเท่ากับ 18 โวลต์กระแสสูงสุดที่จะใช้ชาร์จเท่ากับ 10 แอมป์ ค่า Duty cycle ที่เลือกใช้ในการออกแบบเท่ากับ 0.5 สาเหตุที่เลือกใช้ค่า 0.5 เนื่องจากเป็นค่าที่ยืดหยุ่นมากที่สุด กล่าวคือเราสามารถควบคุม Duty cycle ขึ้นลงได้มาก และความในการสวิทช์ซึ่งเท่า 25 kHz จากนั้นเรานำค่าต่างๆเหล่านี้ การคำนวณและออกแบบ หากค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด และตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับวงจร



รูปที่ 3.1 วงจร buck converter

$$\text{กำหนด } V_o = 18 \text{ v} , D = 0.5$$

$$V_o = V_s(D)$$

$$18 = V_s(0.5)$$

$$V_s = 36 \text{ v}$$

$$R = \frac{V_o}{I_o} = \frac{18}{10} = 1.8 \text{ ohm} ; I_o = 10 \text{ A}$$

$$D = \frac{t_{on}}{T}$$

$$t_{on} = DT = 0.5 \times 4 \times 10^{-5} \text{ s} = 2 \times 10^{-5} \text{ s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหา L_{\min}

$$L_{\min} = \frac{(1 - D)R}{2f}$$

$$L_{\min} = \frac{(1 - 0.5)1.8}{2(25 \times 10^3)} \mu\text{H}$$

$$= 18 \mu\text{H}$$

กำหนด L เพื่อไว้ 25% เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่องอย่างแน่นอน

$$L = 1.25L_{\min}$$

$$L = (1.25)(18\mu\text{H})$$

$$L = 22.5 \mu\text{H}$$

คำนวณหากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่าน L

$$\Delta i_L = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT$$

$$\Delta i_L = \left(\frac{36 - 18}{22.5} \right) (0.5)(4 \times 10^{-5}) \text{ A}$$

$$\Delta i_L = 16 \text{ A}$$

คำนวณหาค่า I_{\max} , I_{\min}

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$= 10 + \frac{16}{2}$$

$$= 18 \text{ A}$$

$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$= 10 - \frac{16}{2} = 2 \text{ A}$$

คำนวณหาค่า $I_{L,rms}$

$$I_{L,rms} = \sqrt{I_L^2 + \left(\frac{\Delta i_L/2}{\sqrt{3}} \right)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \sqrt{10^2 + \left(\frac{16^2/2}{\sqrt{3}}\right)^2} \text{ A}$$

$$= 11.01 \text{ A}$$

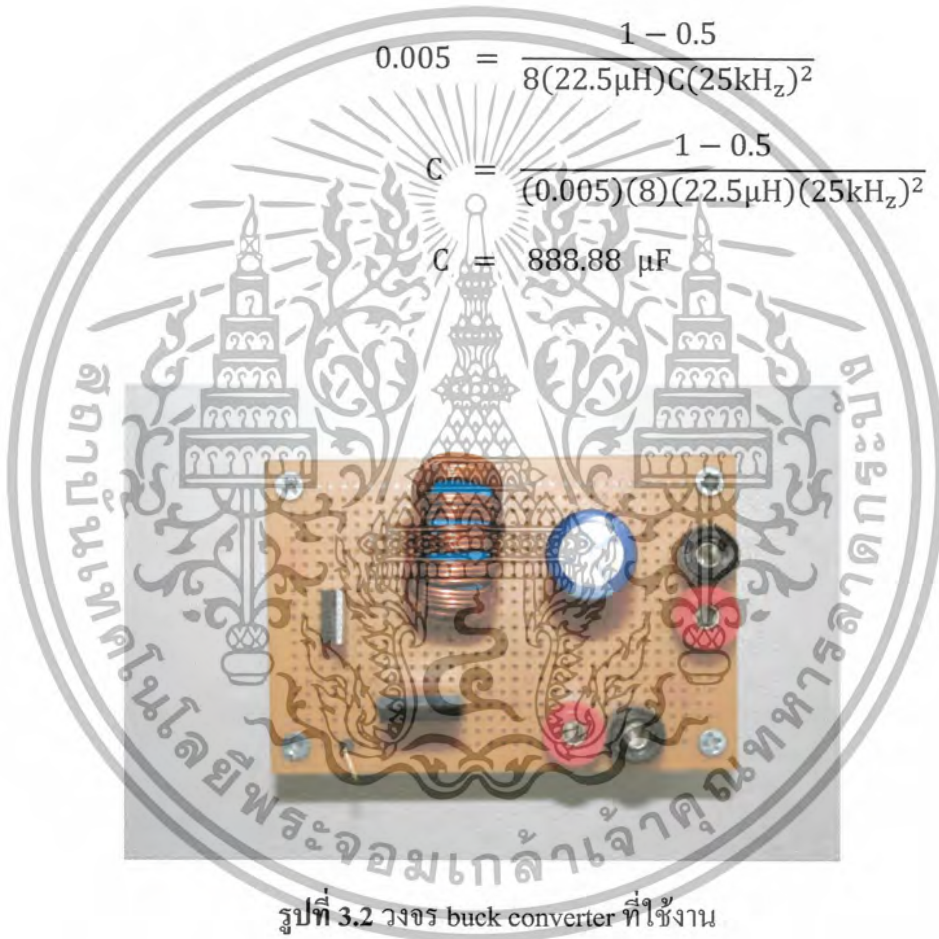
คำนวณหาค่า C โดยต้องการแรงดันไฟฟ้า Ripple เท่ากับ 0.5 %

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1 - D}{8LCf^2}$$

$$0.005 = \frac{1 - 0.5}{8(22.5\mu\text{H})C(25\text{kHz})^2}$$

$$C = \frac{1 - 0.5}{(0.005)(8)(22.5\mu\text{H})(25\text{kHz})^2} \text{ F}$$

$$C = 888.88 \mu\text{F}$$



รูปที่ 3.2 วงจร buck converter ที่ใช้งาน

3.2 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ (Design of Inductor)

$$L = 22.5 \mu\text{H}$$

คำนวณ Area Product

$$E = \frac{1}{2} LI_{L,\text{max}}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{1}{2}(22.5)(18)^2 J$$

$$= 3.645 \times 10^{-3} J$$

ให้ $B_{\max} = 0.2 \text{ T}$ สำหรับ ferrite, $J = 3 \text{ A/mm}^2$, $K_c = 1, K_w = 0.6$

$$A_p = A_c A_w = \frac{2E}{k_w k_c J B_{\max}}$$

$$= \frac{2(3645 \times 10^{-6})}{(0.6)(1)(3 \times 10^6)(0.2)}$$

$$= 20,250 \text{ mm}^2$$

จากค่าที่ได้เลือกแกน E42/21/9 จะได้ค่า $A_p = 27390 \text{ mm}^2, A_w = 256 \text{ mm}^2, A_c = 107 \text{ mm}^2$

คำนวณจำนวนรอบ

$$N = \frac{L I_{L,\max}}{A_c B_{\max}}$$

$$N = \frac{(22.5 \times 10^{-6})(18)}{(107 \times 10^{-6})(0.2)}$$

$$= 18.925$$

จำนวนรอบได้เท่ากับ 19 รอบ

คำนวณขนาดเส้นลวด $a = \frac{I}{J}$; $J = 3 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$, $I = 10 \text{ A}$

$$a = 3.33 \text{ mm}^2$$

เลือกลวดทองแดงเบอร์ SWG 13

Cross Check

$$A_w K_w > a N$$

$$(256)(0.6) > (3.33)(19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณ air gab length (l_g)

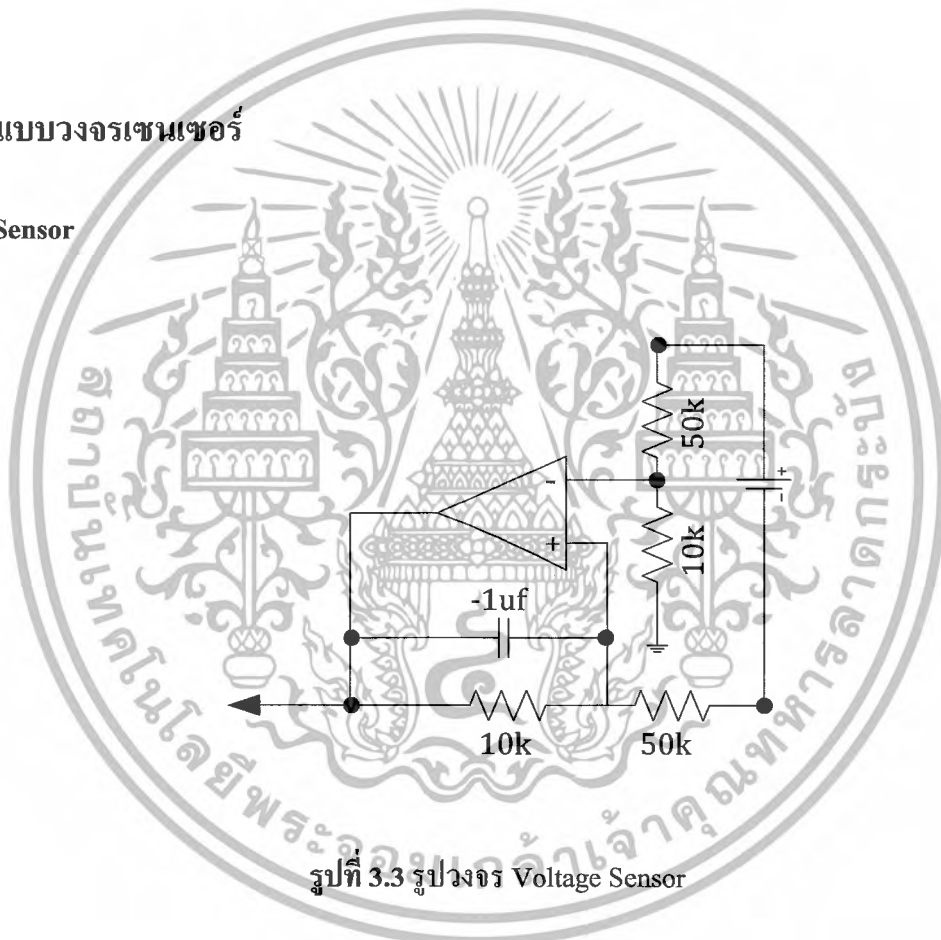
$$l_g = \frac{4\pi \times 10^{-7} N^2 A_c}{L}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} (19)^2 (107 \times 10^{-6})}{22.5 \times 10^{-6}}$$

$$= 0.0021582 \text{ m}$$

3.3 ออกแบบวงจรเซนเซอร์

Voltage Sensor



เนื่องจากตัวต้านทานแต่ละตัวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ เราจึงเลือกตัวต้านทานที่มีค่าสูงๆ ในค่าที่พอเหมาะเพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนดังกล่าว

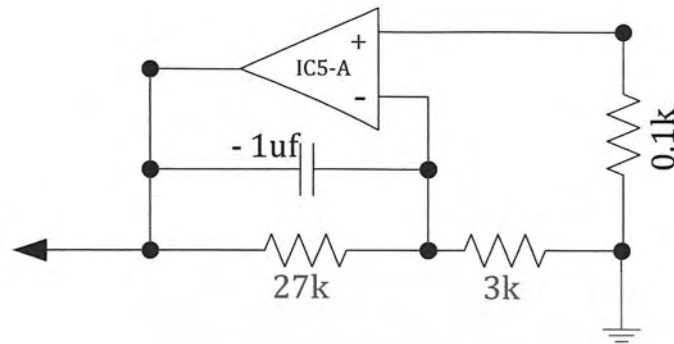
เลือก $R_1 = 50k \text{ ohm}$, $R_2 = 10k \text{ ohm}$

$$V_O = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad ; \quad V_2 - V_1 = \text{ความต่างศักย์ของถ่านแต่ละก้อน}$$

$$= \frac{10k}{50k} (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor



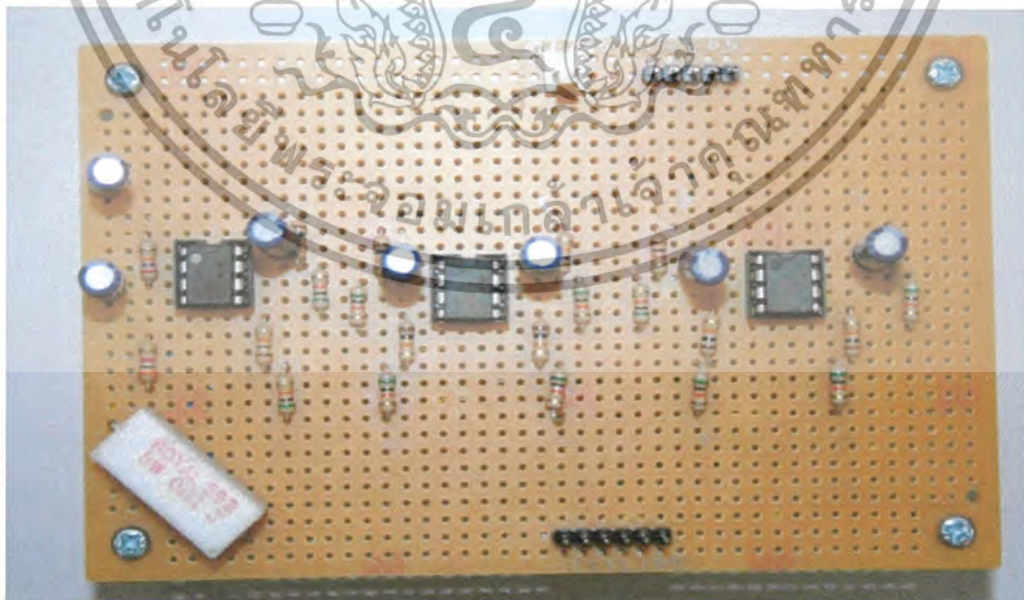
รูปที่ 3.4 วงจร Current Sensor

ในการวัดกระแสทำได้โดยให้กระแสผ่านตัวต้านทาน 0.1 ohm จากนั้นวัดแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานผ่านวงจรขยายสัญญาณแบบ ไม่กลับเฟส (non – inverting amplifier) โดยวงจรจะขยายแรงดันขึ้น 10 เท่า

$$A_{CL} = \left(1 + \frac{R_F}{R}\right) ; R_f = 27k \text{ ohm}, R = 3k \text{ ohm}$$

$$= \left(1 + \frac{27k}{3k}\right)$$

$$= 10$$



รูปที่ 3.5 วงจร Sensor

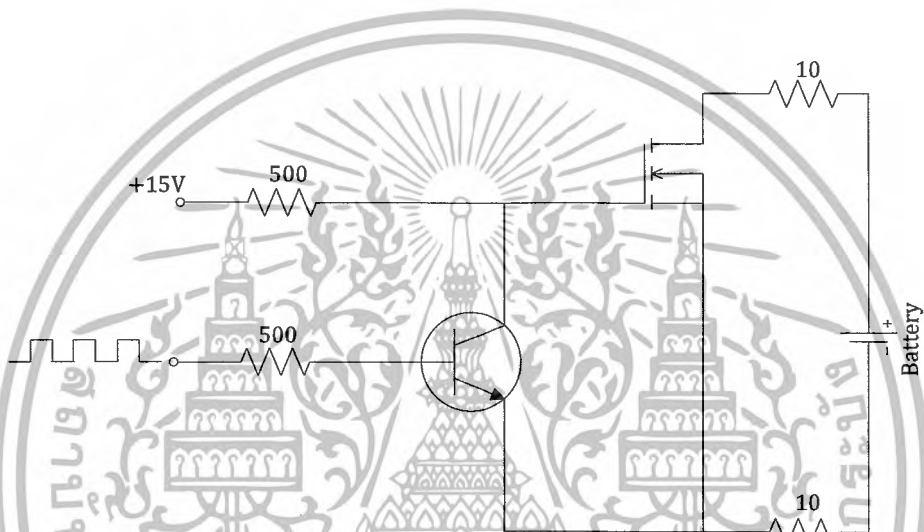
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ออกแบบวงจร Cell balance

เลือกใช้ mosfet การควบคุมการไหลของกระแส และ เลือกใช้ current-limit resistor = 10 ohm ก็จะได้ กระแสที่ bypass เท่ากับ

$$\frac{V_{\text{battery}}}{\text{current} - \text{limit resistor}} = 3.6/10$$

$$= 0.36 \text{ A}$$



รูปที่ 3.6 วงจร Cell balance

3.5 ออกแบบส่วนควบคุมของระบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

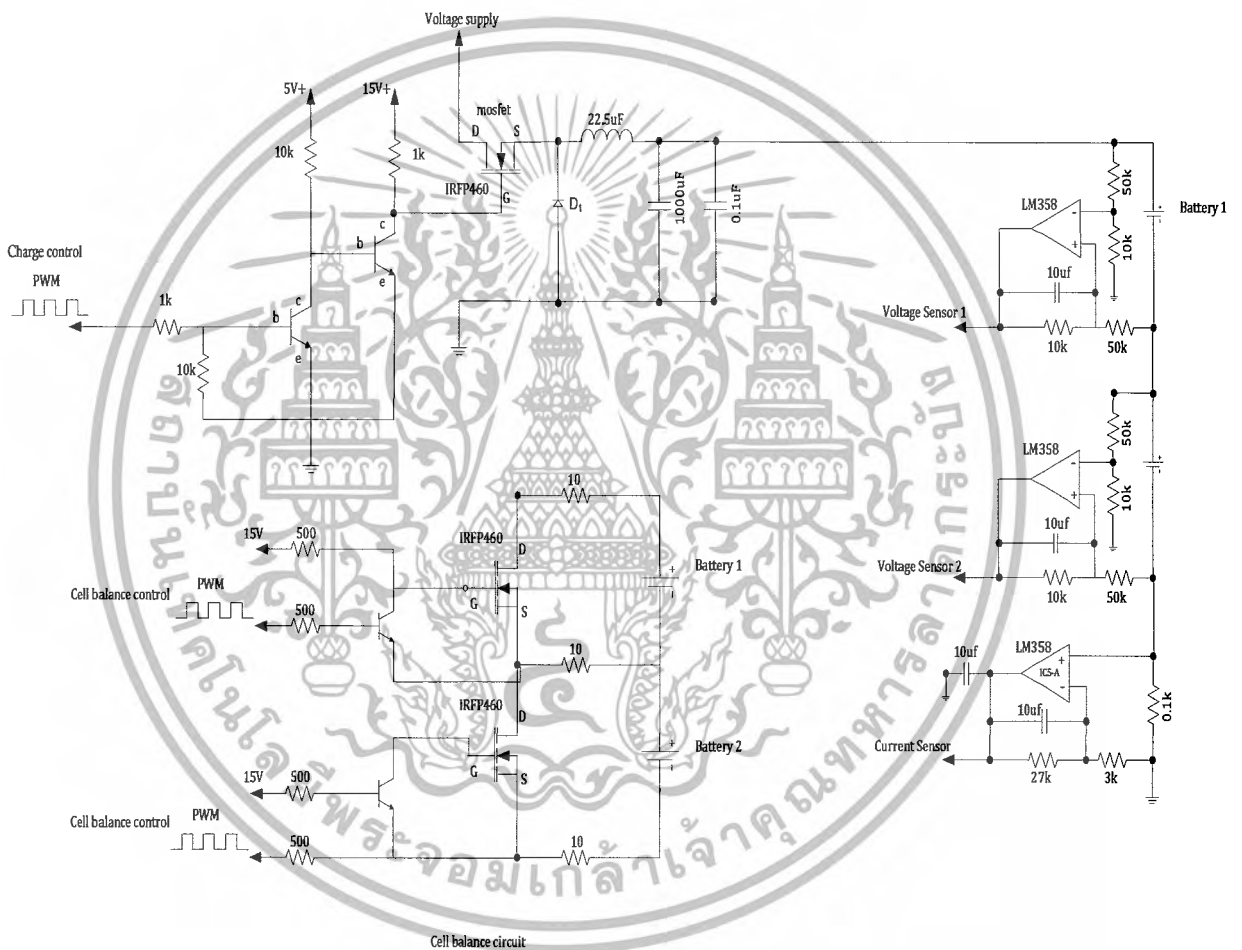
Microcontroller จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ เมื่อเริ่มต้นการชาร์จ Microcontroller จะสร้างสัญญาณ PWM ส่งไปยัง Driver ไปควบคุมการทำงานของ MOSFET ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์ซึ่งให้กับวงจร Buck Converter เพื่อควบคุมกระแสชาร์จแบตเตอรี่ Microcontroller จะรับค่าแรงดันและกระแสจากเซนเซอร์ ทำการแปลงข้อมูลจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลนำไปประมวลผลแล้ว จะนำข้อมูลนี้กลับไปควบคุมสัญญาณ PWM อีกครั้ง เพื่อควบคุมกระแสและแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ให้ได้ตามค่าที่ตั้งไว้ และแสดงผลไปยัง LCD

โปรแกรมในการชาร์จแบตเตอรี่มี 2 แบบคือควบคุมกระแสคงที่ กับควบคุมแรงดันคงที่ โดยเริ่ม Start PWM ด้วย duty cycle ต่ำๆก่อนแล้วตรวจสอบกระแสชาร์จว่าถึงค่าที่กำหนดหรือยัง ถ้ายังให้เพิ่ม

ค่า duty cycle จนได้ค่าที่ตั้งไว้และตรวจสอบแรงดันของแบตเตอรี่ว่าถึงค่าที่กำหนดหรือยัง(3.6V ต่อเซลล์) ถ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

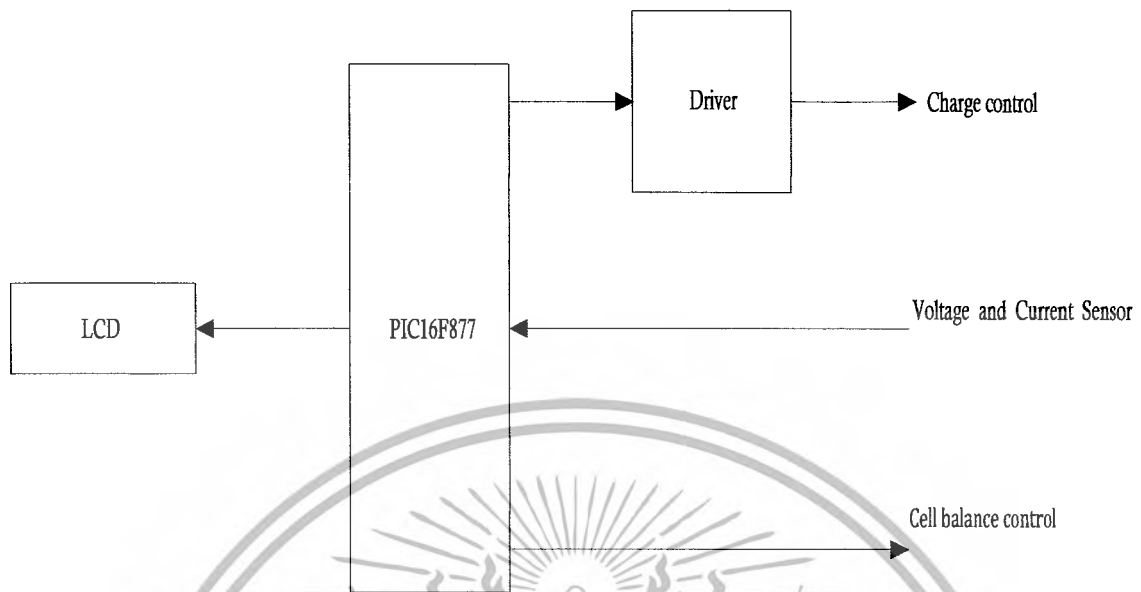
ยังให้ตรวจสอบกระแสชาร์จว่ามากหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดหรือไม่ ถ้ามากไปให้ลดค่า duty cycle ถ้าน้อยไปให้เพิ่ม duty cycle แล้วทำต่อไปเรื่อย ๆ เมื่อทดสอบแรงดันของแบตเตอรี่ว่าถึงค่าที่กำหนด จะทำการตรวจสอบแรงดันของแบตเตอรี่ ถ้ามากกว่าค่าที่กำหนด ให้ลดค่า duty cycle ลง ถ้าน้อยกว่าค่าที่กำหนด ให้เพิ่มค่า duty cycle ทำการตรวจสอบกระแสชาร์จว่าต่ำกว่า 100mA หรือยัง ถ้าใช่ให้จบการทำงาน

3.6 วงจรรวมของระบบที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.7 วงจร Driver , Buck Converter ,Cell Balance และ Current and Voltage Sensor

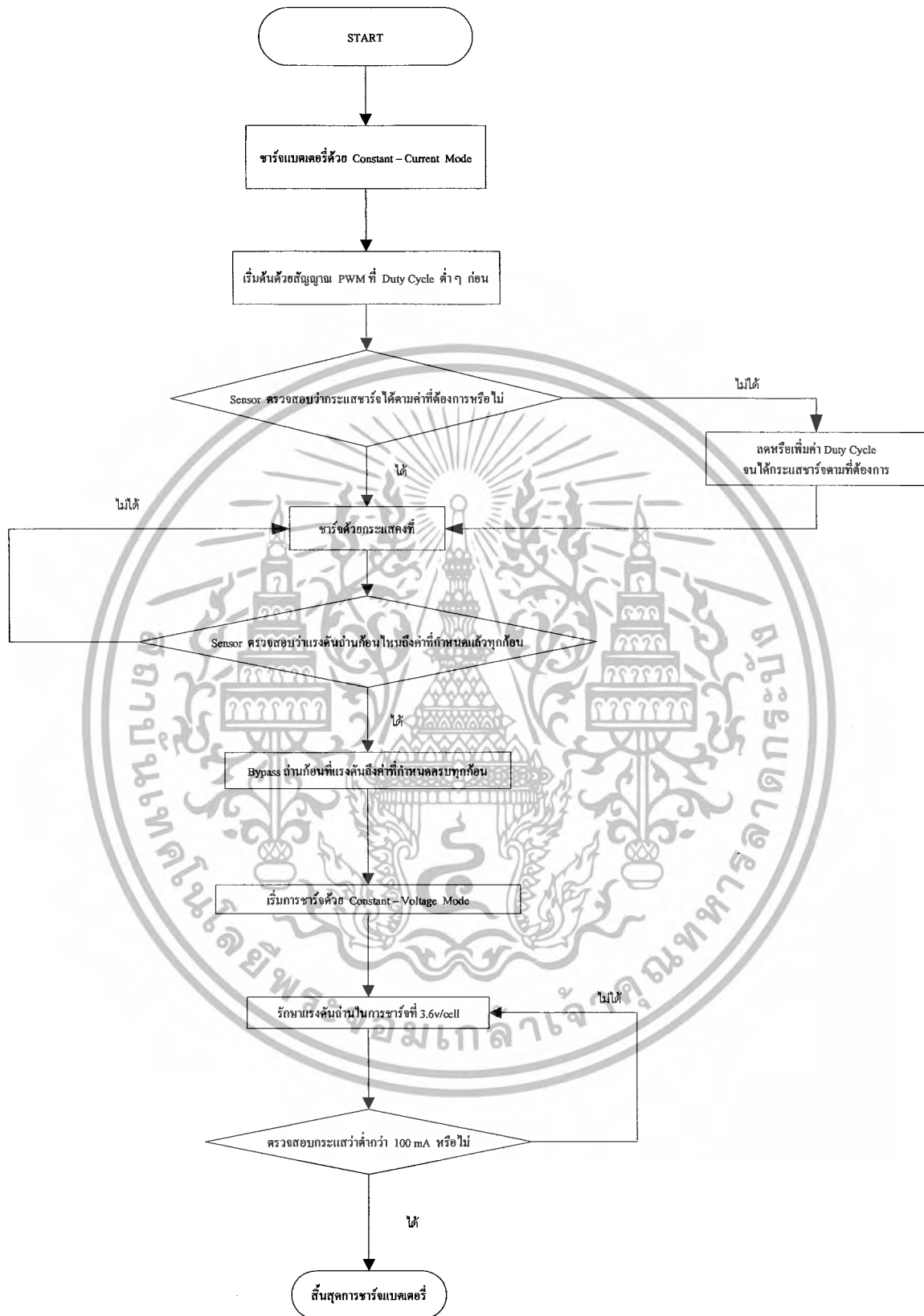
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรส่วนควบคุมหลักและส่วนแสดงผล

จากรูปที่ 3.8 ในส่วนควบคุมหลักประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC16F877) ควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ผ่านวงจร Driver ขยายสัญญาณ pwm ควบคุมการสวิทช์ชิงของมอสเฟต ในส่วนของเซนเซอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าแรงดันและกระแสผ่านวงจรออปแอมป์แบบ Differential และ non – inverting amplifier ไปประมวลผลแล้วนำมาควบคุมส่วนของการชาร์จและ Cell balance แล้วแสดงผลออกทางจอ LCD

แผนภาพโฟลว์ชาร์ตการเขียนโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วงจรขับ gate

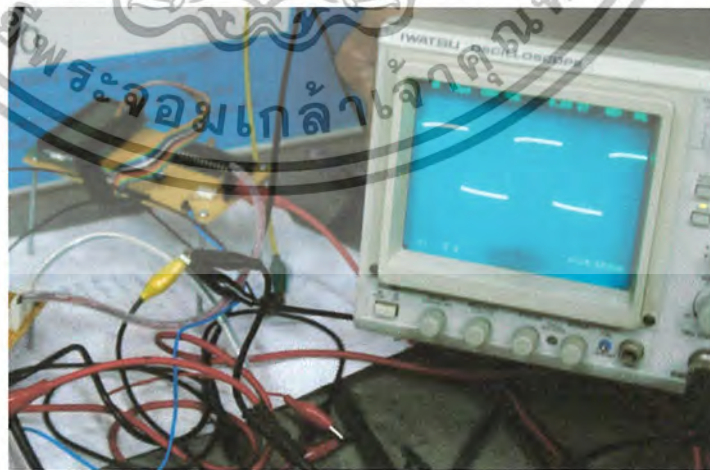
การทดลอง

ใช้วิธีการป้อนสัญญาณควบคุมแบบ PWM ที่ความถี่ 25kHz จาก Microcontroller ผ่านวงจรขับ gate แล้วใช้ scope วัด โดยป้อนสัญญาณ PWM ที่ Duty cycle ตั้งแต่ 0-100%

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 สัญญาณ PWM จาก Microcontroller



รูปที่ 4.2 สัญญาณ PWM ที่ผ่านวงจรขับ gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ PWM ที่ออกจาก Microcontroller มีขนาด Amplitude เท่ากับ 5 โวลต์ มีความถี่ 25 kHz เมื่อผ่านวงจรขับ gate แล้ว สัญญาณ PWM มีขนาด 15 โวลต์ สามารถปรับ Duty circle ได้ ประมาณ 0-100% วงจรสามารถทำงานได้ในความถี่ 25kHz

4.2 วงจร Sensor

การทดลอง

ป้อนแรงดันจากถ่านให้กับวงจร Sensor แล้วตรวจสอบสัญญาณเอาต์พุตจากวงจร Sensor ว่า ได้สัญญาณตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวัดแรงดันอินพุตเอาต์พุตของวงจร Sensor

ก้านที่	แรงดันจริงที่ มิเตอร์วัดได้ (v)	แรงดันจริง เฉพาะก้อน(v)	แรงดันที่ Sensor วัดได้ (v)	แรงดันจริงที่ Sensor วัด ได้เมื่อคูณด้วยจำนวนเท่า ของการทอนกำลัง (v)	Error (%)
1	3.279v	3.279v	0.664v	3.32v	1.25%
2	6.595v	3.316v	0.675v	3.375v	1.78%
3	9.920	3.325v	0.662v	3.31v	0.45%
4	13.25	3.330v	0.675v	3.375v	1.35%
5	16.58	3.330v	0.667v	3.335v	0.15%



รูปที่ 4.3 แรงดันแบตเตอรี่ที่วัดได้จากมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



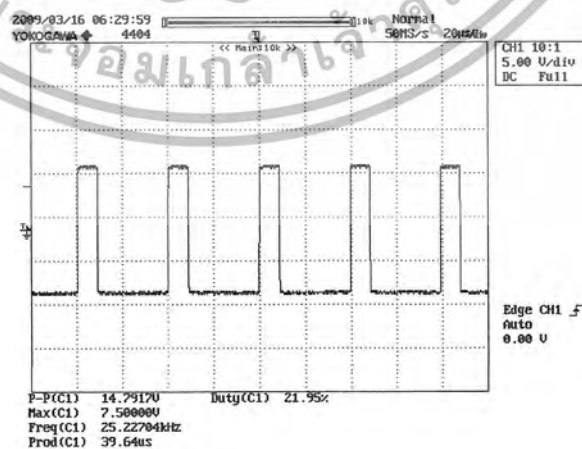
รูปที่ 4.4 แรงดันเอาต์พุตจากวงจร Sensor

4.3 ชาร์จแบตเตอรี่

การทดลอง

ชาร์จถ่านที่กระแส 3A และ 10A แล้วตั้งเกอตัวค่ากระแส, แรงดัน และ Duty cycle ขณะชาร์จ ถ่าน ผลการทดลอง

ชาร์จถ่านที่กระแส 3A ถ่านจะเต็มในเวลา 30 นาที เมื่อถ่านเต็มกระแสชาร์จจะลดเหลือ 0.3A แรงดันถ่านจะอยู่ที่ 3.6v ชาร์จถ่านที่กระแส 10A ถ่านจะเต็มในเวลา 5 นาที ในขณะที่ชาร์จถ่านกระแสชาร์จจะแกว่งไปมาในช่วงประมาณ 0.3A และ 10A เมื่อถ่านเต็มกระแสชาร์จจะลดเหลือ 0.3A แรงดันถ่านจะอยู่ที่ 4.2v ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แรงดันถ่านจะลดลงเหลือ 3.6v



รูปที่ 4.5 สัญญาณ Duty cycle = 21.95% ขณะเริ่มชาร์จถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กระแสชาร์จและแรงดันก่อนแต่ก่อนขณะเริ่มชาร์จถ่าน



รูปที่ 4.7 สัญญาณ Duty cycle = 77.91% ขณะชาร์จถ่านที่กระแส 10A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงกระแสและแรงดันขณะชาร์จผ่านที่กระแส 10A



รูปที่ 4.9 แสดงกระแสและแรงดันเมื่อถ่านเต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อชาร์จแบตเตอรี่ที่ 3A และ 10A แบตเตอรี่สามารถรองรับกระแสชาร์จได้ตามคุณสมบัติของแบตเตอรี่และเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่เป็นไปตามคุณสมบัติของแบตเตอรี่แต่ยังมีความผิดพลาดในส่วนของสัญญาณเอาต์พุตเซนเซอร์กระแสและแรงดันอยู่ เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนของตัวต้านทานสามารถแก้ไข ซดเซยได้จากการเขียน โปรแกรม หรือวัดแรงดันและกระแสโดยตรงด้วยมิเตอร์ขณะชาร์จแบตเตอรี่

5.2 วิจารณ์การทดลอง

การทำโครงการนี้ต้องทำการศึกษาความรู้พื้นฐานที่จำเป็นได้แก่ การคำนวณวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ วิธีการคำนวณขดลวดเหนี่ยวนำ การควบคุมกระแส แรงดัน และความรู้ในวงจรการแปลงสัญญาณ อนาคตเป็นดิจิทัล ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบแบบอื่น ๆ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวงจรอื่น ๆ ได้

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

ได้นำความรู้ที่เรียนมาใช้ ทั้งได้ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบวงจร การปรับค่า Duty Cycle เพื่อที่จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพ อีกทั้งทำให้เกิดทักษะในการเขียน โปรแกรมภาษาซี ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับภาษาโปรแกรมอื่นได้อีกมากมาย และได้รับความรู้เกี่ยวกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากการทำวงจรควบคุมกระแส แรงดัน และวงจรไฟเลี้ยงระบบ อีกทั้งได้ฝึกการแก้ปัญหาทั้งที่เกิดจากการทำงานและปัญหาที่เกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอกต่าง ๆ ทำให้มีการฝึกการวางแผนอย่างเป็นระบบขึ้นและมีวิธีคิดแก้ปัญหาที่ดีขึ้น

5.4 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการศึกษาและทำโครงการนี้ในช่วงแรกเกิดปัญหาคือ ใช้เวลาในการศึกษาหาข้อมูลแบตเตอรี่ A123 เป็นเวลาค่อนข้างนานเนื่องจากเป็นแบตเตอรี่ชนิดใหม่ ยังไม่ค่อยมีข้อมูล อีกทั้งในการหาซื้อแบตเตอรี่ชนิดนี้ใช้เวลาในการหาซื้อเป็นเวลานานเนื่องจากร้านค้าที่ขายเป็นร้านเฉพาะ ถ้าสินค้าหมดต้องรอนำเข้ามาจากต่างประเทศ และอีกปัญหาคือการออกแบบวงจร ซึ่งในวงจรต้องมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งปัญหาคือไม่สามารถพันขดลวดได้ตามค่าที่คำนวณได้ ดังนั้นจึงใช้การพันขดลวดให้เกินค่าที่คำนวณได้

ในส่วนปัญหาที่พบและยังไม่ได้ปรับปรุงแก้ไข ได้แก่ การแก้ไขโปรแกรมซึ่งปัญหาเกิดมาจาก การไม่ชำนาญในการเขียนโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมที่เขียนนั้นอาจจะมีข้อผิดพลาดอยู่ อาจจะไม่สามารถปรับค่า pwm ได้ค่าที่เหมาะสมและอาจทำให้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ทำงานได้อย่างไม่สมบูรณ์

5.5 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

ในการทำโครงการนี้ ยังมีข้อผิดพลาดอยู่เนื่องด้วยข้อจำกัดของโครงสร้างซึ่ง เราสามารถเปลี่ยนขดลวดด้านทานเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม เพื่อสามารถให้ขดลวดคายแรงดันได้มากขึ้น และการปรับค่า $duty\ cycle$ ให้ได้ค่าที่สมบูรณ์กว่านี้และในปัจจุบันอาจจะมีกรออกแบบวงจรได้สมบูรณ์มากกว่าโดยอาจจะใช้ไอซีเฉพาะโดยไม่ต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะเป็นการง่ายในการประกอบและวงจรอาจจะไม่ยุ่งยากเหมือนกับการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพราะต้องเขียนโปรแกรมซึ่งมีความยุ่งยากมากกว่า





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารคู่มืออิเล็กทรอนิกส์

ก.1 เอกสารคู่มือการใช้งาน PIC16F877

PIC16F877 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด 8 บิต 40 ขา มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้





PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

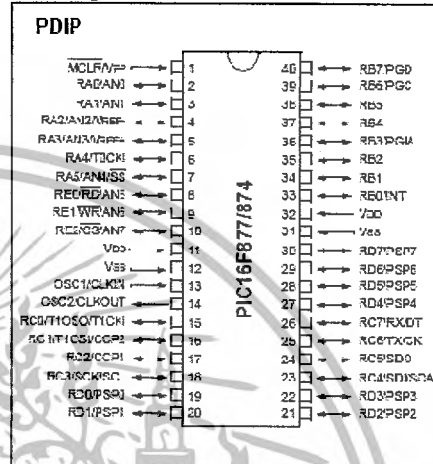
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed, DC - 20 MHz clock input, DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM), Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability up to 14 sources
- Eight level deep hardware stack
- Direct, Indirect, and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protector
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.3V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BCR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	2	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

8.0 CAPTURE/COMPARE/PWM MODULES

Each Capture/Compare/PWM (CCP) module contains a 16-bit register which can operate as a:

- 16-bit Capture register
- 16-bit Compare register
- PWM Master/Slave Duty Cycle register

Both the CCP1 and CCP2 modules are identical in operation, with the exception being the operation of the special event trigger. Table 8-1 and Table 8-2 show the resources and interactions of the CCP module(s). In the following sections, the operation of a CCP module is described with respect to CCP1. CCP2 operates the same as CCP1, except where noted.

CCP1 Module:

Capture/Compare/PWM Register1 (CCPR1) is comprised of two 8-bit registers: CCPR1L (low byte) and CCPR1H (high byte). The CCP1CON register controls the operation of CCP1. The special event trigger is generated by a compare match and will reset Timer1.

CCP2 Module:

Capture/Compare/PWM Register2 (CCPR2) is comprised of two 8-bit registers: CCPR2L (low byte) and CCPR2H (high byte). The CCP2CON register controls the operation of CCP2. The special event trigger is generated by a compare match and will reset Timer1 and start an A/D conversion (if the A/D module is enabled).

Additional information on CCP modules is available in the PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023) and in application note AN594, "Using the CCP Modules" (DS00594).

TABLE 8-1: CCP MODE - TIMER RESOURCES REQUIRED

CCP Mode	Timer Resource
Capture	Timer1
Compare	Timer1
PWM	Timer2

TABLE 8-2: INTERACTION OF TWO CCP MODULES

CCPx Mode	CCPy Mode	Interaction
Capture	Capture	Same TMR1 time-base
Capture	Compare	The compare should be configured for the special event trigger, which clears TMR1
Compare	Compare	The compare(s) should be configured for the special event trigger, which clears TMR1
PWM	PWM	The PWMs will have the same frequency and update rate (TMR2 interrupt)
PWM	Capture	None
PWM	Compare	None

PIC16F87X

REGISTER 8-1: CCP1CON REGISTER/CCP2CON REGISTER (ADDRESS: 17h/1Dh)

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	
—	—	CCPxX	CCPxY	CCPxM3	CCPxM2	CCPxM1	CCPxM0	
bit 7								bit 0

bit 7-6 **Unimplemented: Read as '0'**

bit 5-4 **CCPxX:CCPxY: PWM Least Significant bits**

Capture mode:

Unused

Compare mode:

Unused

PWM mode:

These bits are the two LSbs of the PWM duty cycle. The eight MSbs are found in CCPxL.

bit 3-0 **CCPxM3:CCPxM0: CCPx Mode Select bits**

0000 = Capture/Compare/PWM disabled (resets CCPx module)

0100 = Capture mode, every falling edge

0101 = Capture mode, every rising edge

0110 = Capture mode, every 4th rising edge

0111 = Capture mode, every 16th rising edge

1000 = Compare mode, set output on match (CCPxIF bit is set)

1001 = Compare mode, clear output on match (CCPxIF bit is set)

1010 = Compare mode, generate software interrupt on match (CCPxIF bit is set, CCPx pin is unaffected)

1011 = Compare mode, trigger special event (CCPxIF bit is set, CCPx pin is unaffected); CCP1 resets TMR1; CCP2 resets TMR1 and starts an A/D conversion (if A/D module is enabled)

11xx = PWM mode

Legend:

R = Readable bit

W = Writable bit

U = Unimplemented bit, read as '0'

- n = Value at POR

'1' = Bit is set

'0' = Bit is cleared

x = Bit is unknown

PIC16F87X

8.1 Capture Mode

In Capture mode, CCPR1H:CCPR1L captures the 16-bit value of the TMR1 register when an event occurs on pin RC2/CCP1. An event is defined as one of the following:

- Every falling edge
- Every rising edge
- Every 4th rising edge
- Every 16th rising edge

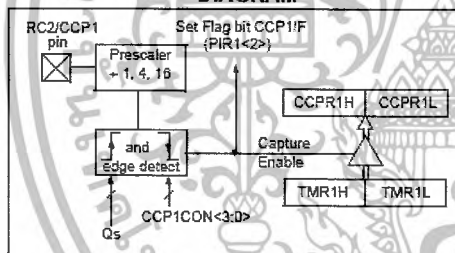
The type of event is configured by control bits CCP1M3:CCP1M0 (CCPxCON<3:0>). When a capture is made, the interrupt request flag bit CCP1IF (PIR1<2>) is set. The interrupt flag must be cleared in software. If another capture occurs before the value in register CCPR1 is read, the old captured value is overwritten by the new value.

8.1.1 CCP PIN CONFIGURATION

In Capture mode, the RC2/CCP1 pin should be configured as an input by setting the TRISC<2> bit.

Note: If the RC2/CCP1 pin is configured as an output, a write to the port can cause a capture condition.

FIGURE 8-1: CAPTURE MODE OPERATION BLOCK DIAGRAM



8.1.2 TIMER1 MODE SELECTION

Timer1 must be running in Timer mode, or Synchronized Counter mode, for the CCP module to use the capture feature. In Asynchronous Counter mode, the capture operation may not work.

8.1.3 SOFTWARE INTERRUPT

When the Capture mode is changed, a false capture interrupt may be generated. The user should keep bit CCP1IE (PIE1<2>) clear to avoid false interrupts and should clear the flag bit CCP1IF, following any such change in operating mode.

8.1.4 CCP PRESCALER

There are four prescaler settings, specified by bits CCP1M3:CCP1M0. Whenever the CCP module is turned off, or the CCP module is not in Capture mode, the prescaler counter is cleared. Any RESET will clear the prescaler counter.

Switching from one capture prescaler to another may generate an interrupt. Also, the prescaler counter will not be cleared, therefore, the first capture may be from a non-zero prescaler. Example 8-1 shows the recommended method for switching between capture prescalers. This example also clears the prescaler counter and will not generate the "false" interrupt.

EXAMPLE 8-1: CHANGING BETWEEN CAPTURE PRESCALERS

```
CLRF  CCP1CON    ; Turn CCP module off
MOVLW NEW_CAPT_PS ; Load the W reg with
                  ; the new prescaler
MOVWF CCP1CON    ; move value and CCP ON
MOVWF  CCP1CON    ; Load CCP1CON with this
                  ; value
```

PIC16F87X

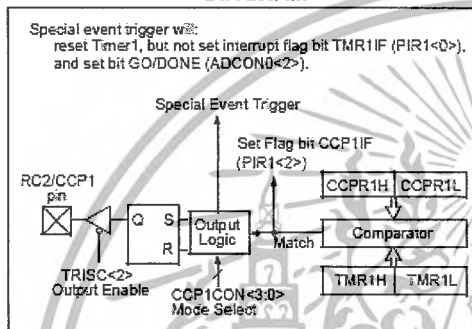
8.2 Compare Mode

In Compare mode, the 16-bit CCP1 register value is constantly compared against the TMR1 register pair value. When a match occurs, the RC2/CCP1 pin is:

- Driven high
- Driven low
- Remains unchanged

The action on the pin is based on the value of control bits CCP1M3:CCP1M0 (CCP1CON<3:0>). At the same time, interrupt flag bit CCP1IF is set.

FIGURE 8-2: COMPARE MODE OPERATION BLOCK DIAGRAM



8.2.2 TIMER1 MODE SELECTION

Timer1 must be running in Timer mode, or Synchronized Counter mode, if the CCP module is using the compare feature. In Asynchronous Counter mode, the compare operation may not work.

8.2.3 SOFTWARE INTERRUPT MODE

When Generate Software Interrupt mode is chosen, the CCP1 pin is not affected. The CCPIF bit is set, causing a CCP interrupt (if enabled).

8.2.4 SPECIAL EVENT TRIGGER

In this mode, an internal hardware trigger is generated, which may be used to initiate an action.

The special event trigger output of CCP1 resets the TMR1 register pair. This allows the CCP1 register to effectively be a 16-bit programmable period register for Timer1.

The special event trigger output of CCP2 resets the TMR1 register pair and starts an A/D conversion (if the A/D module is enabled).

Note: The special event trigger from the CCP1 and CCP2 modules will not set interrupt flag bit TMR1IF (PIR1<0>).

8.2.1 CCP PIN CONFIGURATION

The user must configure the RC2/CCP1 pin as an output by clearing the TRISC<2> bit.

Note: Clearing the CCP1CON register will force the RC2/CCP1 compare output latch to the default low level. This is not the PORTC I/O data latch.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

8.3 PWM Mode (PWM)

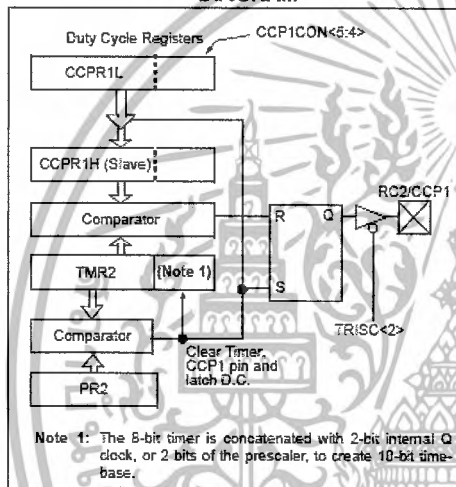
In Pulse Width Modulation mode, the CCPx pin produces up to a 10-bit resolution PWM output. Since the CCP1 pin is multiplexed with the PORTC data latch, the TRISC<2> bit must be cleared to make the CCP1 pin an output.

Note: Clearing the CCP1CON register will force the CCP1 PWM output latch to the default low level. This is not the PORTC I/O data latch.

Figure 8-3 shows a simplified block diagram of the CCP module in PWM mode.

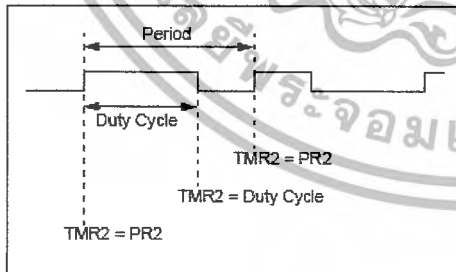
For a step-by-step procedure on how to set up the CCP module for PWM operation, see Section 8.3.3.

FIGURE 8-3: SIMPLIFIED PWM BLOCK DIAGRAM



A PWM output (Figure 8-4) has a time-base (period) and a time that the output stays high (duty cycle). The frequency of the PWM is the inverse of the period (1/period).

FIGURE 8-4: PWM OUTPUT



8.3.1 PWM PERIOD

The PWM period is specified by writing to the PR2 register. The PWM period can be calculated using the following formula:

$$\text{PWM period} = [(PR2) + 1] \cdot 4 \cdot T_{osc} \cdot (\text{TMR2 prescale value})$$

PWM frequency is defined as 1 / [PWM period].

When TMR2 is equal to PR2, the following three events occur on the next increment cycle:

- TMR2 is cleared
- The CCP1 pin is set (exception: if PWM duty cycle = 0%, the CCP1 pin will not be set)
- The PWM duty cycle is latched from CCPR1L into CCPR1H

Note: The Timer2 postscaler (see Section 7.1) is not used in the determination of the PWM frequency. The postscaler could be used to have a servo update rate at a different frequency than the PWM output.

8.3.2 PWM DUTY CYCLE

The PWM duty cycle is specified by writing to the CCPR1L register and to the CCP1CON<5:4> bits. Up to 10-bit resolution is available. The CCPR1L contains the eight MSbs and the CCP1CON<5:4> contains the two LSbs. This 10-bit value is represented by CCPR1L:CCP1CON<5:4>. The following equation is used to calculate the PWM duty cycle in time:

$$\text{PWM duty cycle} = (\text{CCPR1L:CCP1CON<5:4>}) \cdot T_{osc} \cdot (\text{TMR2 prescale value})$$

CCPR1L and CCP1CON<5:4> can be written to at any time, but the duty cycle value is not latched into CCPR1H until after a match between PR2 and TMR2 occurs (i.e., the period is complete). In PWM mode, CCPR1H is a read-only register.

The CCPR1H register and a 2-bit internal latch are used to double buffer the PWM duty cycle. This double buffering is essential for glitch-free PWM operation.

When the CCPR1H and 2-bit latch match TMR2, concatenated with an internal 2-bit Q clock, or 2 bits of the TMR2 prescaler, the CCP1 pin is cleared.

The maximum PWM resolution (bits) for a given PWM frequency is given by the formula:

$$\text{Resolution} = \frac{\log\left(\frac{F_{osc}}{F_{PWM}}\right)}{\log(2)} \text{ bits}$$

Note: If the PWM duty cycle value is longer than the PWM period, the CCP1 pin will not be cleared.

PIC16F87X

8.3.3 SETUP FOR PWM OPERATION

The following steps should be taken when configuring the CCP module for PWM operation:

1. Set the PWM period by writing to the PR2 register.
2. Set the PWM duty cycle by writing to the CCP1L register and CCP1CON<5:4> bits.
3. Make the CCP1 pin an output by clearing the TRISC<2> bit.
4. Set the TMR2 prescale value and enable Timer2 by writing to T2CON.
5. Configure the CCP1 module for PWM operation.

TABLE 8-3: EXAMPLE PWM FREQUENCIES AND RESOLUTIONS AT 20 MHz

PWM Frequency	1.22 KHz	4.88 KHz	19.53 KHz	78.12KHz	156.3 KHz	208.3 KHz
Timer Prescaler (1, 4, 16)	16	4	1	1	1	1
PR2 Value	0xFFh	0xFFh	0xFFh	0x3Fh	0x1Fh	0x17h
Maximum Resolution (bits)	10	10	10	8	7	5.5

TABLE 8-4: REGISTERS ASSOCIATED WITH CAPTURE, COMPARE, AND TIMER1

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: PCR, BOR	Value on all other RESETS
0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh	INTCON	GIE	PEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1F	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
0Dh	PIR2	—	—	—	—	—	—	—	CCP2IF	---- --0	---- --0
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
8Dh	PIE2	—	—	—	—	—	—	—	CCP2IE	---- --0	---- --0
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
0Eh	TMR1L	Holding Register for the Least Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register								x00x x00x	uuuu uuuu
0Fh	TMR1H	Holding Register for the Most Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register								x00x x00x	uuuu uuuu
10h	T1CON	—	—	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	T1SYNC	TMR1CS	TMR1ON	--00 0000	--uu uuuu
15h	CCPR1L	Capture/Compare/PWM Register1 (LSB)								x00x x00x	uuuu uuuu
16h	CCPR1H	Capture/Compare/PWM Register1 (MSB)								x00x x00x	uuuu uuuu
17h	CCP1CON	—	—	CCP1X	CCP1Y	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0	--00 0000	--00 0000
18h	CCPR2L	Capture/Compare/PWM Register2 (LSB)								x00x x00x	uuuu uuuu
1Ch	CCPR2H	Capture/Compare/PWM Register2 (MSB)								x00x x00x	uuuu uuuu
1Dh	CCP2CON	—	—	CCP2X	CCP2Y	CCP2M3	CCP2M2	CCP2M1	CCP2M0	--00 0000	--00 0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by Capture and Timer1.

Note 1: The PSP is not implemented on the PIC16F873/878, always maintain these bits clear.

PIC16F87X

TABLE 8-5: REGISTERS ASSOCIATED WITH PWM AND TIMER2

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh	INTCON	GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	REIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
0Dh	PIR2	—	—	—	—	—	—	—	CCF2IF	---- --0	---- --0
9Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
9Dh	PIE2	—	—	—	—	—	—	—	CCF2IE	---- --0	---- --0
97h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1:1:1 1:1:1	1:1:1 1:1:1
11h	TMR2	Timer2 Module's Register								0000 0000	0000 0000
92h	PR2	Timer2 Module's Period Register								1:1:1 1:1:1	1:1:1 1:1:1
12h	T2CON	—	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2GN	T2CKPS1	T2CKPS0	-000 0000	-000 0000
15h	CCPR1L	Capture/Compare/PWM Register1 (LSB)								xxxx xxxx	uuuu uuuu
16h	CCPR1H	Capture/Compare/PWM Register1 (MSB)								xxxx xxxx	uuuu uuuu
17h	CCP1CON	—	—	CCP1X	CCP1Y	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0	--00 0000	--00 0000
1Bh	CCPR2L	Capture/Compare/PWM Register2 (LSB)								xxxx xxxx	uuuu uuuu
1Ch	CCPR2H	Capture/Compare/PWM Register2 (MSB)								xxxx xxxx	uuuu uuuu
1Dh	CCP2CON	—	—	CCP2X	CCP2Y	CCP2M3	CCP2M2	CCP2M1	CCP2M0	--00 0000	--00 0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by PWM and Timer2

Note 1: Bits PSPIE and PSPIF are reserved on the PIC16F873/876; always maintain these bits clear.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

11.0 ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER (A/D) MODULE

The Analog-to-Digital (A/D) Converter module has five inputs for the 28-pin devices and eight for the other devices.

The analog input charges a sample and hold capacitor. The output of the sample and hold capacitor is the input into the converter. The converter then generates a digital result of this analog level via successive approximation. The A/D conversion of the analog input signal results in a corresponding 10-bit digital number. The A/D module has high and low voltage reference input that is software selectable to some combination of V_{DD} , V_{SS} , RA2, or RA3.

The A/D converter has a unique feature of being able to operate while the device is in SLEEP mode. To operate in SLEEP, the A/D clock must be derived from the A/D's internal RC oscillator.

The A/D module has four registers. These registers are:

- A/D Result High Register (ADRESH)
- A/D Result Low Register (ADRESL)
- A/D Control Register0 (ADCON0)
- A/D Control Register1 (ADCON1)

The ADCON0 register, shown in Register 11-1, controls the operation of the A/D module. The ADCON1 register, shown in Register 11-2, configures the functions of the port pins. The port pins can be configured as analog inputs (RA3 can also be the voltage reference), or as digital I/O.

Additional information on using the A/D module can be found in the PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023).

REGISTER 11-1: ADCON0 REGISTER (ADDRESS: 1Fh)

	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
	ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
	bit 7							bit 0
bit 7-6	ADCS1:ADCS0: A/D Conversion Clock Select bits 00 = FOSC/2 01 = FOSC/8 10 = FOSC/32 11 = FRC (clock derived from the internal A/D module RC oscillator)							
bit 5-3	CHS2:CHS0: Analog Channel Select bits 000 = channel 0, (RA0/AN0) 001 = channel 1, (RA1/AN1) 010 = channel 2, (RA2/AN2) 011 = channel 3, (RA3/AN3) 100 = channel 4, (RA5/AN4) 101 = channel 5, (RE0/AN5) ⁽¹⁾ 110 = channel 6, (RE1/AN6) ⁽¹⁾ 111 = channel 7, (RE2/AN7) ⁽¹⁾							
bit 2	GO/DONE: A/D Conversion Status bit If ADON = 1: 1 = A/D conversion in progress (setting this bit starts the A/D conversion) 0 = A/D conversion not in progress (this bit is automatically cleared by hardware when the A/D conversion is complete)							
bit 1	Unimplemented: Read as '0'							
bit 0	ADON: A/D On bit 1 = A/D converter module is operating 0 = A/D converter module is shut-off and consumes no operating current							

Note 1: These channels are not available on PIC16F873/876 devices.

Legend:

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared
		x = Bit is unknown

PIC16F87X

REGISTER 11-2: ADCON1 REGISTER (ADDRESS 9Fh)

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7				bit 0			

- bit 7 **ADFM:** A/D Result Format Select bit
 1 = Right justified. 6 Most Significant bits of ADRESH are read as 'U'.
 0 = Left justified. 6 Least Significant bits of ADRESL are read as '0'.
- bit 6-4 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 3-0 **PCFG3:PCFG0:** A/D Port Configuration Control bits:

PCFG3: PCFG0	AN7 ⁽¹⁾ RE2	AN6 ⁽¹⁾ RE1	AN5 ⁽¹⁾ RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	VREF+	VREF-	CHAN/ Refs ⁽²⁾
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	RA3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	VDD	VSS	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	RA3	RA2	1/2

A = Analog input D = Digital I/O

- Note 1:** These channels are not available on PIC16F873/876 devices.
Note 2: This column indicates the number of analog channels available as A/D inputs and the number of analog channels used as voltage reference inputs.

Legend:

R = Readable bit W = Writable bit U = Unimplemented bit, read as '0'
 - n = Value at POR '1' = Bit is set '0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

The ADRESH:ADRESL registers contain the 10-bit result of the A/D conversion. When the A/D conversion is complete, the result is loaded into this A/D result register pair, the GO/DONE bit (ADCON0<2>) is cleared and the A/D interrupt flag bit ADIF is set. The block diagram of the A/D module is shown in Figure 11-1.

After the A/D module has been configured as desired, the selected channel must be acquired before the conversion is started. The analog input channels must have their corresponding TRIS bits selected as inputs.

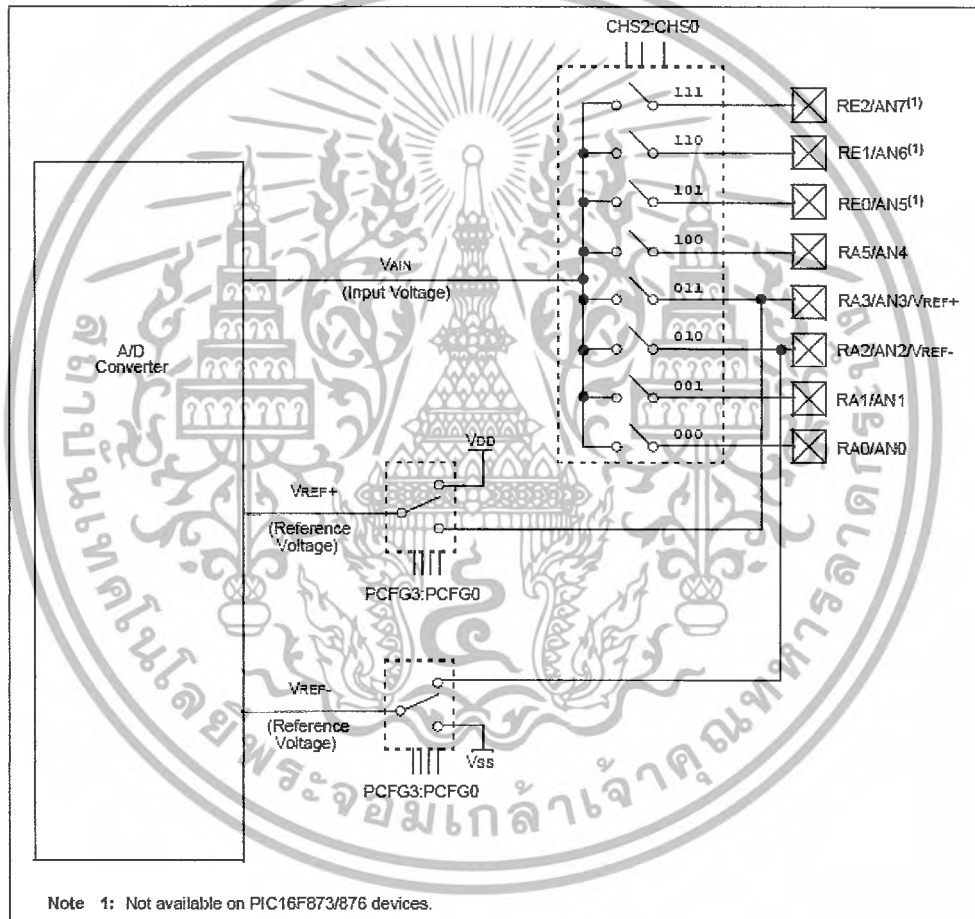
To determine sample time, see Section 11.1. After this acquisition time has elapsed, the A/D conversion can be started.

PIC16F87X

These steps should be followed for doing an A/D Conversion:

1. Configure the A/D module:
 - Configure analog pins/voltage reference and digital I/O (ADCON1)
 - Select A/D input channel (ADCON0)
 - Select A/D conversion clock (ADCON0)
 - Turn on A/D module (ADCON0)
2. Configure A/D interrupt (if desired):
 - Clear ADIF bit
 - Set ADIE bit
 - Set PEIE bit
 - Set GIE bit
3. Wait the required acquisition time.
4. Start conversion:
 - Set GO/DONE bit (ADCON0)
5. Wait for A/D conversion to complete, by either:
 - Polling for the GO/DONE bit to be cleared (with interrupts enabled); OR
 - Waiting for the A/D interrupt
6. Read A/D result register pair (ADRESH:ADRESL), clear bit ADIF if required.
7. For the next conversion, go to step 1 or step 2, as required. The A/D conversion time per bit is defined as T_{AD} . A minimum wait of $2T_{AD}$ is required before the next acquisition starts.

FIGURE 11-1: A/D BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

11.1 A/D Acquisition Requirements

For the A/D converter to meet its specified accuracy, the charge holding capacitor (CHOLD) must be allowed to fully charge to the input channel voltage level. The analog input model is shown in Figure 11-2. The source impedance (Rs) and the internal sampling switch (Rss) impedance directly affect the time required to charge the capacitor CHOLD. The sampling switch (Rss) impedance varies over the device voltage (VDD), see Figure 11-2. The maximum recommended impedance for analog sources is 10 kΩ. As the impedance is decreased, the acquisition time may be decreased.

After the analog input channel is selected (changed), this acquisition must be done before the conversion can be started.

To calculate the minimum acquisition time, Equation 11-1 may be used. This equation assumes that 1/2 LSB error is used (1024 steps for the A/D). The 1/2 LSB error is the maximum error allowed for the A/D to meet its specified resolution.

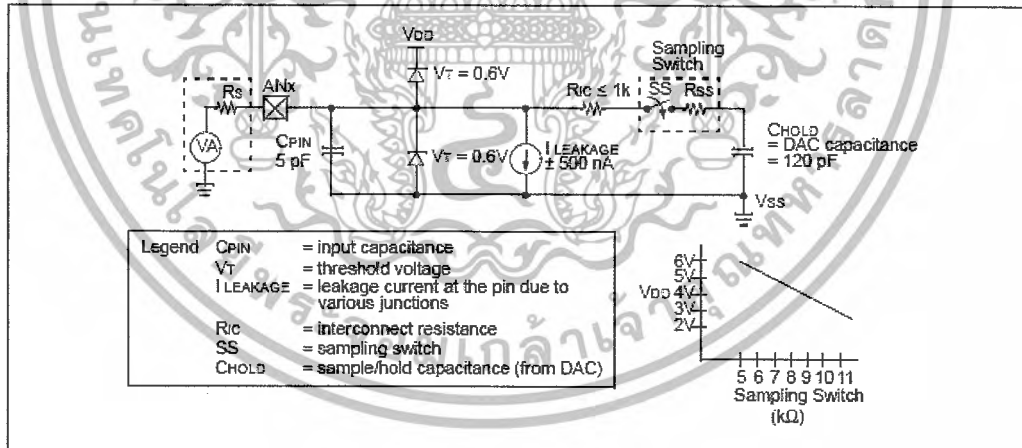
To calculate the minimum acquisition time, TACQ, see the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023).

EQUATION 11-1: ACQUISITION TIME

$$\begin{aligned}
 T_{ACQ} &= \text{Amplifier Settling Time} + \\
 &\quad \text{Hold Capacitor Charging Time} + \\
 &\quad \text{Temperature Coefficient} \\
 &= T_{AMP} + T_C + T_{COFF} \\
 &= 2\mu\text{s} + T_C + [(\text{Temperature} - 25^\circ\text{C})(0.05\mu\text{s}/^\circ\text{C})] \\
 T_C &= \text{CHOLD} (R_{IC} + R_{SS} + R_S) \ln(1/2047) \\
 &= 120\text{pF} (1\text{k}\Omega + 7\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega) \ln(0.0004885) \\
 &= 16.47\mu\text{s} \\
 T_{ACQ} &= 2\mu\text{s} + 16.47\mu\text{s} + [(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})(0.05\mu\text{s}/^\circ\text{C})] \\
 &= 19.72\mu\text{s}
 \end{aligned}$$

- Note 1: The reference voltage (VREF) has no effect on the equation, since it cancels itself out.
- Note 2: The charge holding capacitor (CHOLD) is not discharged after each conversion.
- Note 3: The maximum recommended impedance for analog sources is 10 kΩ. This is required to meet the pin leakage specification.
- Note 4: After a conversion has completed, a 2.0TAD delay must complete before acquisition can begin again. During this time, the holding capacitor is not connected to the selected A/D input channel.

FIGURE 11-2: ANALOG INPUT MODEL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

11.2 Selecting the A/D Conversion Clock

The A/D conversion time per bit is defined as T_{AD} . The A/D conversion requires a minimum $12T_{AD}$ per 10-bit conversion. The source of the A/D conversion clock is software selected. The four possible options for T_{AD} are:

- $2T_{osc}$
- $8T_{osc}$
- $32T_{osc}$
- Internal A/D module RC oscillator (2-6 μ s)

For correct A/D conversions, the A/D conversion clock (T_{AD}) must be selected to ensure a minimum T_{AD} time of 1.6 μ s.

Table 11-1 shows the resultant T_{AD} times derived from the device operating frequencies and the A/D clock source selected.

TABLE 11-1: T_{AD} vs. MAXIMUM DEVICE OPERATING FREQUENCIES (STANDARD DEVICES (C))

AD Clock Source (T_{AD})		Maximum Device Frequency
Operation	ADCS1:ADCS0	Max.
$2T_{osc}$	00	1.25 MHz
$8T_{osc}$	01	5 MHz
$32T_{osc}$	10	20 MHz
RC ^(1, 2, 3)	11	(Note 1)

Note 1: The RC source has a typical T_{AD} time of 4 μ s, but can vary between 2-6 μ s.

Note 2: When the device frequencies are greater than 1 MHz, the RC A/D conversion clock source is only recommended for SLEEP operation.

Note 3: For extended voltage devices (LC), please refer to the Electrical Characteristics (Sections 15.1 and 15.2).

11.3 Configuring Analog Port Pins

The ADCON1 and TRIS registers control the operation of the A/D port pins. The port pins that are desired as analog inputs must have their corresponding TRIS bits set (input). If the TRIS bit is cleared (output), the digital output level (V_{OH} or V_{OL}) will be converted.

The A/D operation is independent of the state of the CHS2:CHS0 bits and the TRIS bits.

Note 1: When reading the port register, any pin configured as an analog input channel will read as cleared (a low level). Pins configured as digital inputs will convert an analog input. Analog levels on a digitally configured input will not affect the conversion accuracy.

Note 2: Analog levels on any pin that is defined as a digital input (including the AN7:AN0 pins), may cause the input buffer to consume current that is out of the device specifications.

PIC16F87X

11.4 A/D Conversions

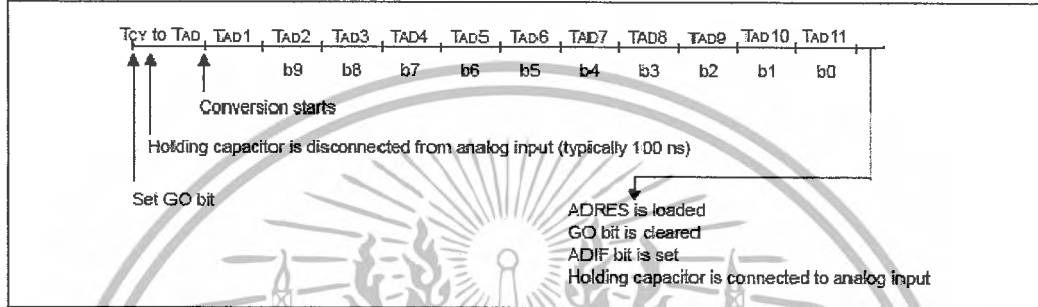
Clearing the GO/DONE bit during a conversion will abort the current conversion. The A/D result register pair will NOT be updated with the partially completed A/D conversion sample. That is, the ADRESH:ADRESL registers will continue to contain the value of the last completed conversion (or the last value written to the ADRESH:ADRESL registers). After the A/D conversion is aborted, a 2TAD wait is required before the next

acquisition is started. After this 2TAD wait, acquisition on the selected channel is automatically started. The GO/DONE bit can then be set to start the conversion.

In Figure 11-3, after the GO bit is set, the first time segment has a minimum of Tcy and a maximum of TAD.

Note: The GO/DONE bit should NOT be set in the same instruction that turns on the A/D.

FIGURE 11-3: A/D CONVERSION TAD CYCLES

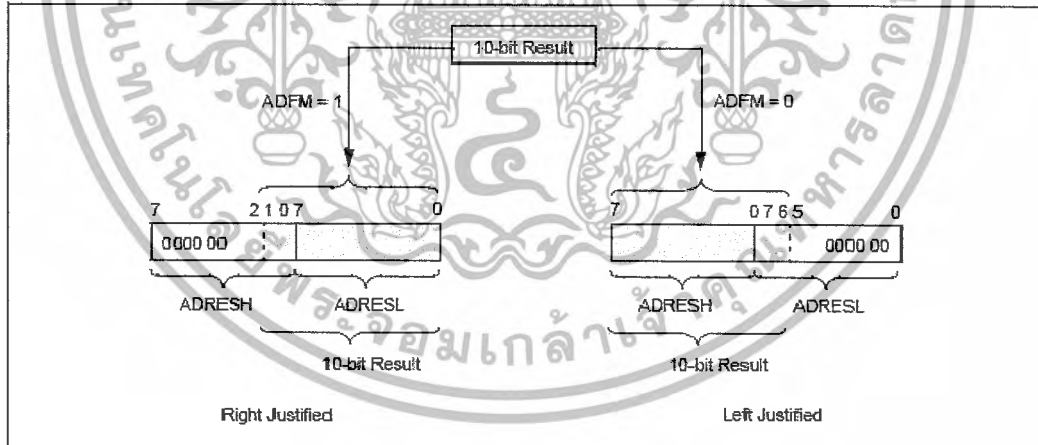


11.4.1 A/D RESULT REGISTERS

The ADRESH:ADRESL register pair is the location where the 10-bit A/D result is loaded at the completion of the A/D conversion. This register pair is 16-bits wide. The A/D module gives the flexibility to left or right justify the 10-bit result in the 16-bit result register. The A/D

Format Select bit (ADFM) controls this justification. Figure 11-4 shows the operation of the A/D result justification. The extra bits are loaded with '0's'. When an A/D result will not overwrite these locations (A/D disable), these registers may be used as two general purpose 8-bit registers.

FIGURE 11-4: A/D RESULT JUSTIFICATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

11.5 A/D Operation During SLEEP

The A/D module can operate during SLEEP mode. This requires that the A/D clock source be set to RC (ADCS1:ADCS0 = 11). When the RC clock source is selected, the A/D module waits one instruction cycle before starting the conversion. This allows the SLEEP instruction to be executed, which eliminates all digital switching noise from the conversion. When the conversion is completed, the GO/DONE bit will be cleared and the result loaded into the ADRES register. If the A/D interrupt is enabled, the device will wake-up from SLEEP. If the A/D interrupt is not enabled, the A/D module will then be turned off, although the ADON bit will remain set.

When the A/D clock source is another clock option (not RC), a SLEEP instruction will cause the present conversion to be aborted and the A/D module to be turned off, though the ADON bit will remain set.

Turning off the A/D places the A/D module in its lowest current consumption state.

Note: For the A/D module to operate in SLEEP, the A/D clock source must be set to RC (ADCS1:ADCS0 = 11). To allow the conversion to occur during SLEEP, ensure the SLEEP instruction immediately follows the instruction that sets the GO/DONE bit.

11.6 Effects of a RESET

A device RESET forces all registers to their RESET state. This forces the A/D module to be turned off, and any conversion is aborted. All A/D input pins are configured as analog inputs.

The value that is in the ADRESH:ADRESL registers is not modified for a Power-on Reset. The ADRESH:ADRESL registers will contain unknown data after a Power-on Reset.

TABLE 11-2: REGISTERS/BITS ASSOCIATED WITH A/D

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on MCLR, WDT
08h, 8Bh, 10Bh, 18Bh	INTCON	GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
1Eh	ADRESH	A/D Result Register High Byte								xxxx xxxx	uuuu uuuu
9Eh	ADRESL	A/D Result Register Low Byte								xxxx xxxx	uuuu uuuu
1Fh	ADCON0	ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON	0000 00-0	0000 00-0
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
05h	PORTA	—	—	PORTA Data Latch when written: PORTA pins when read						--0x 0000	--0u 0000
89h ⁽¹⁾	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction bits			0000 -111	0000 -111
09h ⁽¹⁾	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	--- -xxx	--- -uuu

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used for A/D conversion.

Note 1: These registers/bits are not available on the 28-pin devices.

ก.2 เอกสารคู่มือการใช้งาน Mosfet IRFP640

Mosfet เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำหน้าที่สวิตซ์ซึ่งในวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

IXYS

MegaMOS™
Power MOSFET

IRFP 460

N-Channel Enhancement Mode, HDMOS™ Family

V_{DS} = 500 V

$I_{D(cont)}$ = 20 A

$R_{DS(on)}$ = 0.27Ω

Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings	TO-247 AD
V_{DS}	$T_c = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	500	V
V_{DSM}	$T_c = 25^\circ\text{C}$ to 150°C ; $R_{\theta(jc)} = 1\text{M}\Omega$	500	V
V_{DS}	Continuous	±120	V
V_{DSM}	Transient	±30	V
I_{DM}	$T_c = 25^\circ\text{C}$	20	A
I_{DM}	$T_c = 25^\circ\text{C}$, pulse width limited by T_{DM}	80	A
I_{SM}		20	A
E_{AS}	$T_c = 25^\circ\text{C}$	28	mJ
dV/dt	$I_{D(on)} \leq 10\text{A}$, $dI_{D(on)}/dt \leq 100\text{A}/\mu\text{s}$, $V_{GS} \leq V_{GS(max)}$, $T_c \leq 150^\circ\text{C}$, $R_{\theta(jc)} = 2\text{M}\Omega$	3.5	V/ns
P_D	$T_c = 25^\circ\text{C}$	360	W
T_c		-55 ... +150	$^\circ\text{C}$
T_{DM}		150	$^\circ\text{C}$
T_{SM}		-55 ... +150	$^\circ\text{C}$
M_s	Mounting torque	1.15/10	Nm/in.
Weight		0.9	g
Maximum lead temperature for soldering 1.6 mm (0.062 in.) from case for 10 s		300	$^\circ\text{C}$

Features

- Repetitive avalanche energy rated
- Fast switching times
- Low $R_{DS(on)}$ (HDMOS™ process)
- Rugged polysilicon gate cell structure
- High Commutating dV/dt Rating

Applications

- Switching Power Supplies
- Motor controls

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values (T _c = 25°C, unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
V_{GS}	$V_{DS} = 0\text{V}$, $I_D = 250\ \mu\text{A}$	500		V
$V_{GS(sat)}$	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 250\ \mu\text{A}$	2		V
I_{GSS}	$V_{DS} = \pm 120\text{V}$, $V_{GS} = 0$			±100 nA
I_{GSM}	$V_{DS} = 0.8 \cdot V_{DSM}$, $V_{GS} = 0\text{V}$			25 μA 250 μA
$R_{DS(on)}$	$V_{DS} = 10\text{V}$, $I_D = 12\text{A}$ Pulse test, $t \leq 300\ \mu\text{s}$, duty cycle $d \leq 2\%$	0.25	0.27	Ω

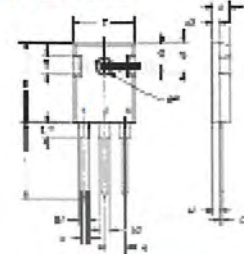
IXYS reserves the right to change limits, test conditions, and dimensions. 92825D(5/08)

© 2000 IXYS. All rights reserved. 1 - 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ($T_j = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)			
		min.	typ.	max.	
Q_{gs}	$V_{ds} = 10\text{ V}; I_{ds} = 12\text{ A}$, pulse test	13	21	0	
C_{iss}	$V_{gs} = 0\text{ V}, V_{ds} = 25\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$		4200	pF	
C_{oss}			450	pF	
C_{rss}			135	pF	
$t_{d(on)}$	$V_{ds} = 10\text{ V}, V_{gs} = 250\text{ V}, I_{ds} = 20\text{ A}$ $R_{\theta jc} = 4.3\text{ }^\circ\text{C/W}$ (Extreme)		23	35	ns
t_r			81	120	ns
$t_{d(off)}$			85	130	ns
t_f			65	98	ns
$Q_{g(off)}$	$V_{ds} = 10\text{ V}, V_{gs} = 200\text{ V}, I_{ds} = 20\text{ A}$		195	210	nC
Q_{gs}			28	40	nC
Q_{gd}			62	110	nC
$R_{\theta(jc)}$			0.45	K/W	
$R_{\theta(jc)}$			0.25	K/W	

TO-247 A.D Outline



Terminals: 0 - Gate
3 - Source
2 - Drain
Tab - Drain

Dim.	Millimeter		Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	4.7	5.3	.185	.209
A ₁	2.2	2.54	.087	.102
A ₂	2.2	2.85	.089	.113
b	1.0	1.4	.040	.055
b ₁	1.65	2.13	.065	.084
b ₂	2.87	3.12	.113	.123
C	.4	.8	.016	.031
D	20.80	21.45	.819	.845
E	15.75	16.25	.610	.640
e	16.20	16.22	0.205	0.225
L	19.81	20.32	.780	.800
L-1		4.50		.177
DP	3.55	3.65	.140	.144
O	5.85	6.40	0.232	0.252
W	4.92	5.40	.170	.215
S	5.15	5.55	.202	.219

Source-Drain Diode		Characteristic Values ($T_j = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)		
Symbol	Test Conditions	min.	typ.	max.
I_s	$V_{ds} = 0\text{ V}$			20 A
I_{SM}	Repetitive; pulse width limited by T_{jM}			80 A
V_{SD}	$I_s = 20\text{ A}, V_{gs} = 0\text{ V}$ Pulse test; $t_r \leq 300\text{ }^\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$			1.8 V
t_{rr}	$I_s = 20\text{ A}, dV/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}, V_{gs} = 100\text{ V}$	570	860	ns
Q_{rr}		5.7		nC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 เอกสารคู่มือการใช้งาน LM358

LM358 เป็นออปแอมป์ใช้ในวงจรเซนเซอร์ ขนาด 8 ขา ภายในมีออปแอมป์ 2 ตัว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



MOTOROLA

Order this document by LM358/D

LM358, LM258, LM2904, LM2904V

Dual Low Power Operational Amplifiers

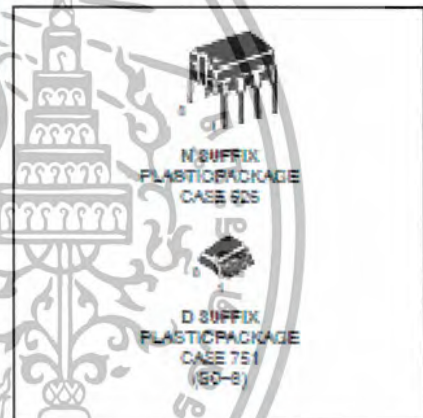
Utilizing the circuit designs perfected for recently introduced Quad Operational Amplifiers, these dual operational amplifiers feature 1) low power drain, 2) a common mode input voltage range extending to ground/ V_{EE} , 3) single supply or split supply operation and 4) pinouts compatible with the popular MC1558 dual operational amplifier. The LM158 series is equivalent to one-half of an LM124.

These amplifiers have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. They can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Single and Split Supply Operation
- Similar Performance to the Popular MC1558
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness of the Device without Affecting Operation

DUAL DIFFERENTIAL INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

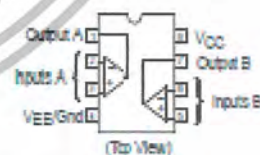


MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	LM258 LM358	LM2904 LM2904V	Unit
Power Supply Voltages				Vdc
Single Supply	V_{CC}	32	28	
Split Supplies	V_{CC}, V_{EE}	+16	+14	
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{ICR}	+32	+28	Vdc
Input Common Mode Voltage Range (Note 2)	V_{ICR}	-0.3 to 32	-0.3 to 28	Vdc
Output Short Circuit Duration	t_{SC}	Continuous		
Junction Temperature	T_J	150		$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-55 to +125		$^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range	T_A			$^\circ\text{C}$
LM258		-25 to +85	-	
LM358		0 to +70	-	
LM2904		-	-40 to +105	
LM2904V		-	-40 to +125	

NOTES: 1. Split Power Supplies.
2. For Supply Voltages less than 32 V for the LM258/358 and 28 V for the LM2904, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM2904D	$T_A = -40^\circ\text{ to } +105^\circ\text{C}$	SO-8
LM2904N		Plastic DIP
LM2904V0	$T_A = -40^\circ\text{ to } +125^\circ\text{C}$	SO-8
LM2904VN		Plastic DIP
LM258D	$T_A = -25^\circ\text{ to } +85^\circ\text{C}$	SO-8
LM258N		Plastic DIP
LM358D	$T_A = 0^\circ\text{ to } +70^\circ\text{C}$	SO-8
LM358N		Plastic DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในระบบงานด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM358, LM258, LM2904, LM2904V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{Gnd}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM258			LM358			LM2904			LM2904V			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V (28 V for LM2904, V), $V_{IC} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_{IO} = 1.4\text{ V}$, $R_{IS} = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 1) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 1)	V_{IO}	-	2.0	5.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	-	-	-	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 1)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 1)	I_{IO}	-	3.0	30	-	5.0	50	-	5.0	50	-	5.0	50	nA
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 1)	I_{IB}	-	-45	-150	-	-45	-250	-	-45	-250	-	-45	-250	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 1)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Input Common Mode Voltage Range (Note 2), $V_{CC} = 30\text{ V}$ (28 V for LM2904, V), $V_{CC} = 30\text{ V}$ (28 V for LM2904, V), $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}	V_{ICM}	0	-	25.5	0	-	28.5	0	-	24.5	0	-	24.5	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$ For Large V_{IC} Swing, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 1)	A_{VOL}	55	100	-	55	100	-	55	100	-	55	100	-	V/mV
Channel Separation 1.0 MHz < f < 20 kHz, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection $R_S = 10\text{ k}\Omega$	CMR	70	55	-	55	70	-	50	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	55	100	-	55	100	-	50	100	-	50	100	-	dB
Output Voltage—High Limit ($T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}) (Note 3) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 30\text{ V}$ (28 V for LM2904, V), $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (28 V for LM2904, V), $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	V
Output Voltage—Low Limit $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = (V_{OH})$ to T_{low} (Note 1)	V_{OL}	-	50	20	-	50	20	-	50	20	-	50	20	mV
Output Source Current $V_{ID} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	I_{OS}	20	40	-	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
Output Sink Current $V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$ $V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 200\text{ mV}$	I_{OS}	10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
Output Short Circuit to Ground (Note 3)	I_{SC}	-	40	50	-	40	50	-	40	50	-	40	50	mA
Power Supply Current ($T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}) (Note 1) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (28 V for LM2904, V), $V_{IO} = 0\text{ V}$, $R_L = -$ $V_{CC} = 5\text{ V}$, $V_{IO} = 0\text{ V}$, $R_L = -$	I_{CC}	-	0.5	3.0	-	1.5	3.0	-	1.5	3.0	-	1.5	3.0	mA

NOTES: 1. $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$ for LM2904
 $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$ for LM2904V
 $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$ for LM258
 $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$ for LM358
 $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$ for LM2904
 $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$ for LM2904V
 $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$ for LM258
 $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$ for LM358

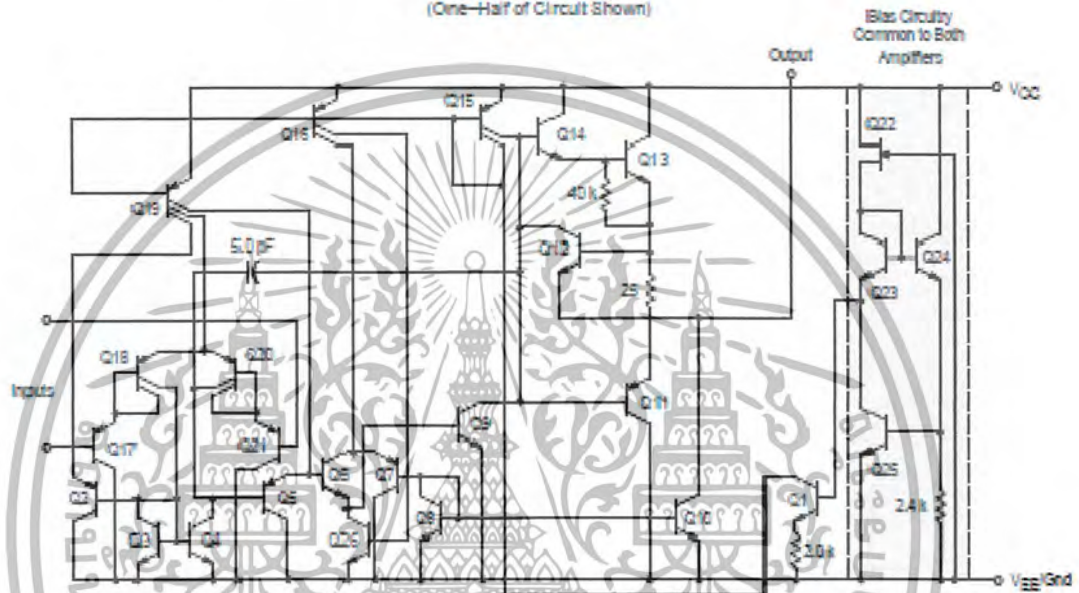
2. The input-common mode voltage or other input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.5 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$.
 3. Short circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM358, LM258, LM2904, LM2904V



Representative Schematic Diagram
(One-Half of Circuit Shown)

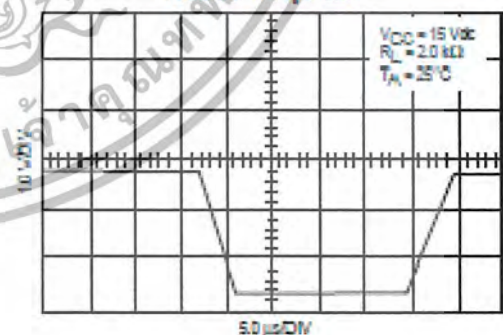


CIRCUIT DESCRIPTION

The LM258 series is made using two internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single-ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance, a smaller compensation capacitor (only 5.0 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

Each amplifier is biased from an internal voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.

Large Signal Voltage Follower Response



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM358, LM258, LM2904, LM2904V

Figure 7. Voltage Reference

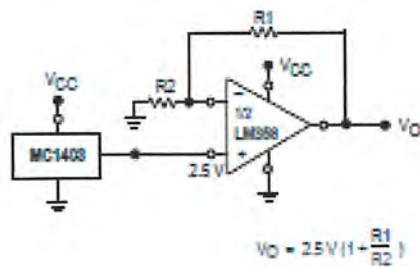


Figure 8. Wien Bridge Oscillator

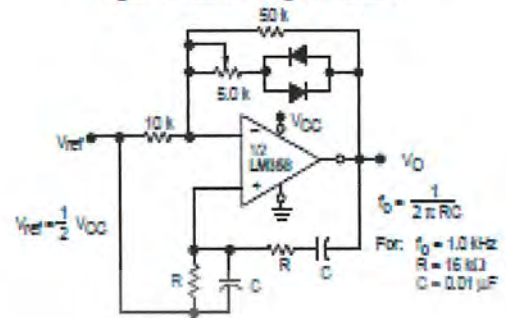


Figure 9. High Impedance Differential Amplifier

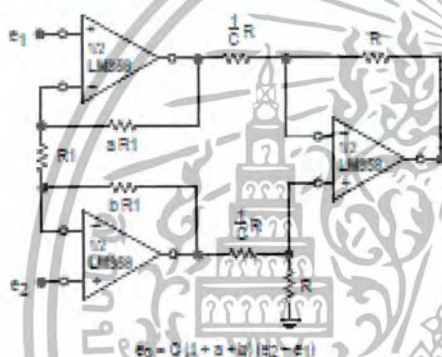


Figure 10. Comparator with Hysteresis

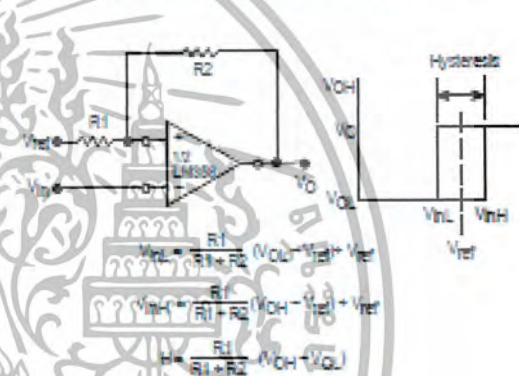
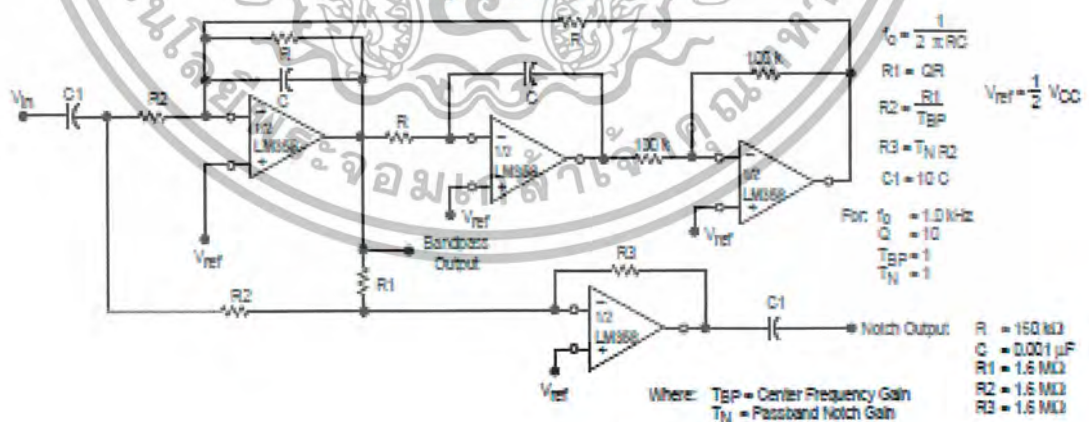


Figure 11. Bi-Quad Filter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

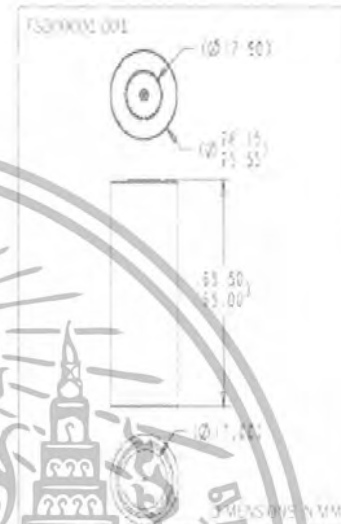
ภาคผนวก ข

คุณสมบัติและพฤติกรรมของแบตเตอรี่ A123

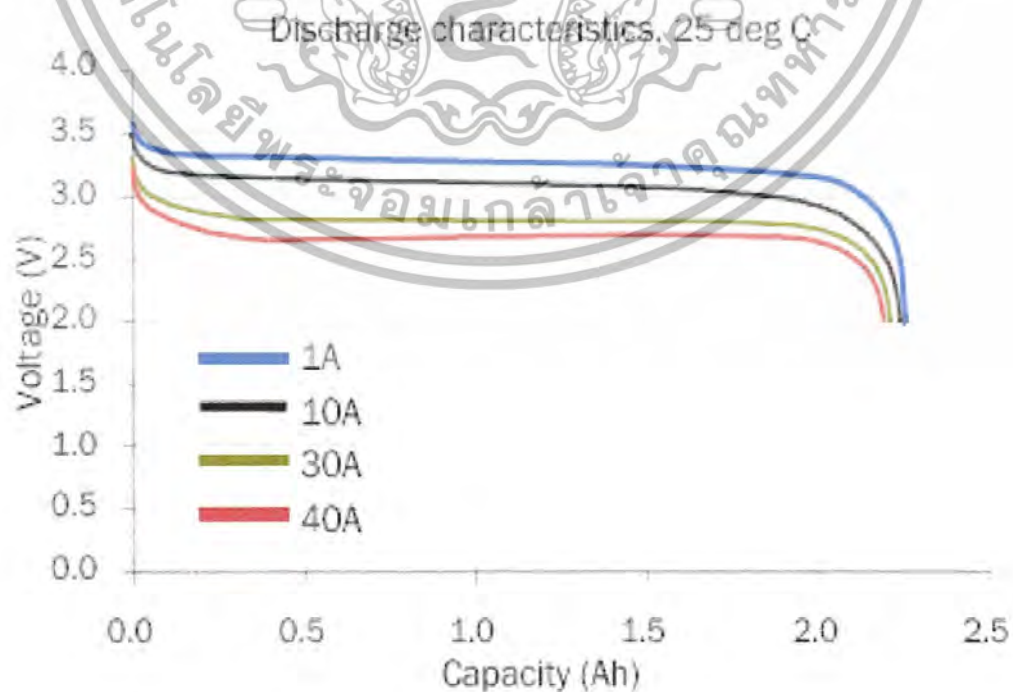
ANR26650MI

A123Systems lithium-ion rechargeable ANR26650M1 cell is capable of very high power, long cycle and storage life, and is inherently safe due to its use of patented nanophosphate technology.

Nominal capacity and voltage	2.3 Ah, 3.3 V
Energy	7.6 Wh
Internal impedance (1kHz AC)	8 mΩ typical
Internal resistance (10A, 1s DC)	10 mΩ typical
Standard charge method	3A to 3.6V CCCV, 45 min
Max charge current	10A to 3.6V CCCV, 15 min
Max continuous discharge	60A
Max pulse discharge (10 sec)	120A
Cycle life at 10C discharge, 100% DOD	Over 1,000 cycles
Operating temperature range	-30°C to +60°C
Storage temperature range	-50°C to +60°C
Core cell weight	70 grams

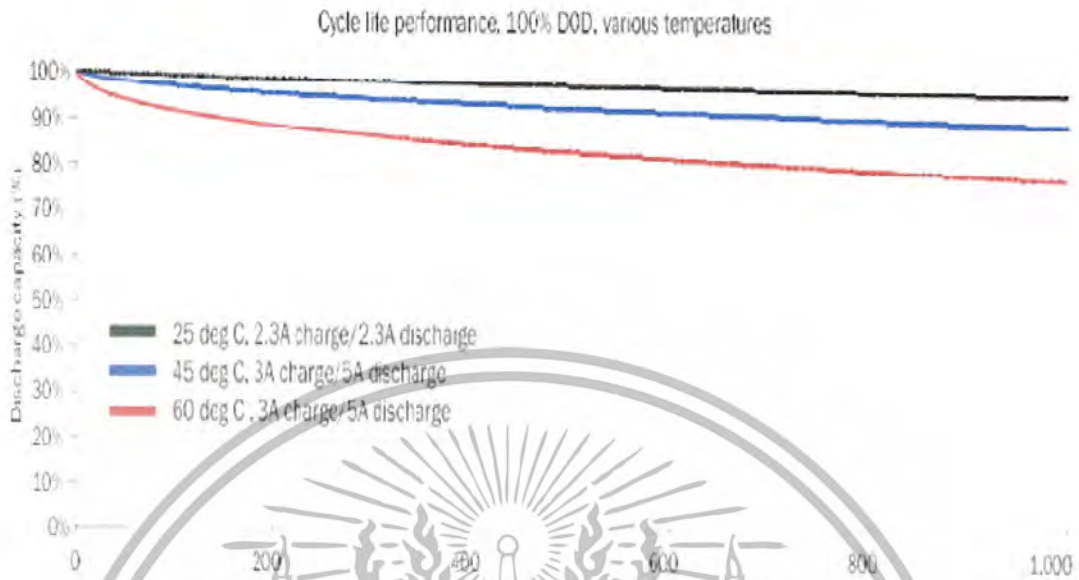


Discharge characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

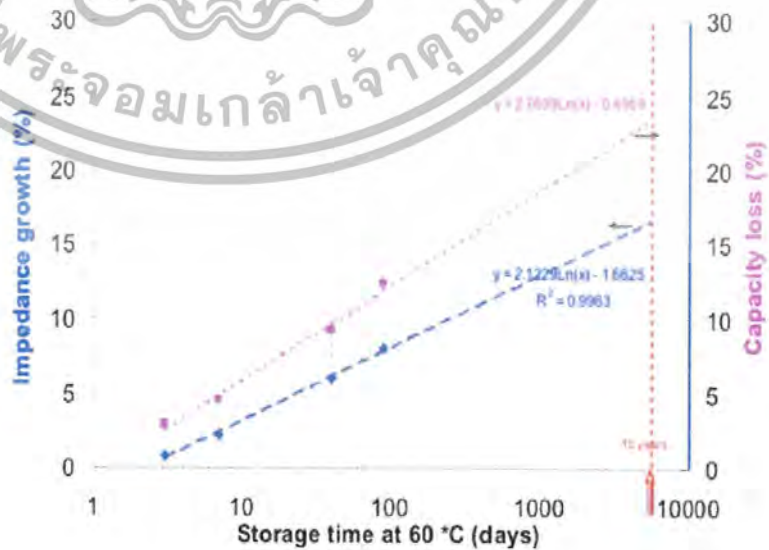
Cycle Lift



Calendar Lift Data

Storage at 100% SOC, 60°C

- Current test projecting excellent calendar life: 17% impedance growth and 23% capacity loss in 15 years at 100 % SOC, 60 °C
- Each data point is an average of six cells

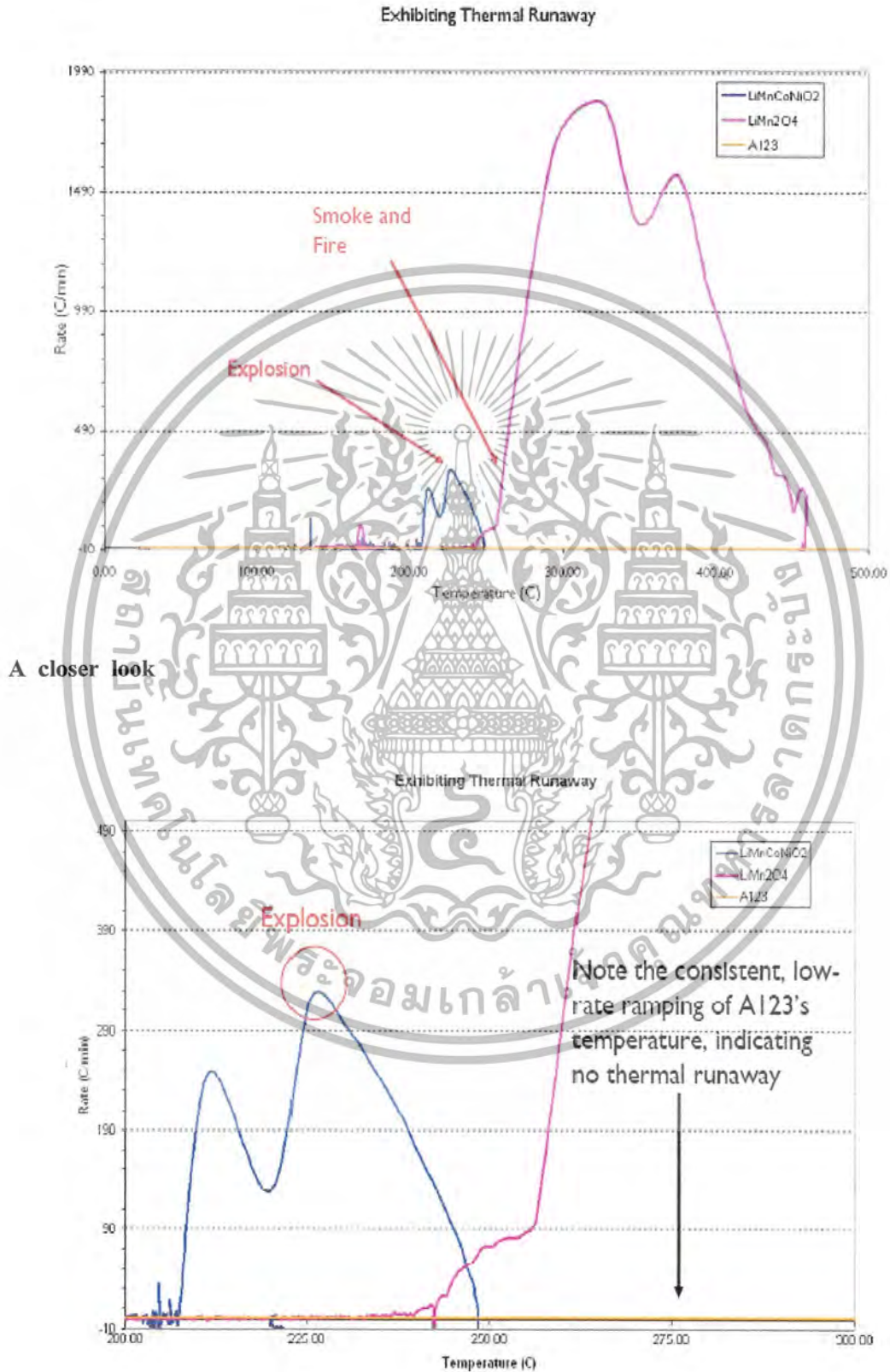


Sept 06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermal runaway comparison

A123 versus mixed oxides and manganese spinel



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

โปรแกรมควบคุม

โปรแกรม PICC ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะใช้ภาษาซีในการเขียนคำสั่งต่าง ๆ ในการควบคุมเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ รายละเอียดของโปรแกรมนี้นี้มีดังต่อไปนี้

```
#include<16F877.h>
#device ADC=10
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay(clock=20000000)
#include<lcd.c>
#use rs232(baud=9600,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)
#int_ccp1
unsigned long duty_value;
float k;
int i,j=0;
int16 value,value1,value2;//,value3,value4,value5;
int32 sub_amp;
float volt,Ampare;
float Vbe = 0.0048875855327468230694037145650049;

void CCP1_ISR();
void mode_ADC();
void manual_control();
void feedback_control();
void full_option_charge();
void constant_i();
void constant_v();
void increase();
void decrease();
void check_analog();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void check_v();

void check_i();

void set_pwm();

void initial_pwm();

void CCP1_ISR()
{
;

}

void main()
{
output_bit(PIN_B3,0);
lcd_init();
lcd_gotoxy(1,1);
lcd_putc(" START ");
lcd_gotoxy(1,2);
lcd_putc(" BATTERY A123 ");
lcd_gotoxy(1,1);
lcd_putc(" feedback control ");
lcd_gotoxy(1,2);
lcd_putc(" ");
delay_ms(5000);

set_tris_c(0x00);

enable_interrupts(GLOBAL);

enable_interrupts(INT_CCP1);

setup_ccp1(CCP_PWM);

setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);

setup_adc_ports(RA0_ANALOG);

setup_timer_0(RTCC_INTERNAL);

setup_timer_1(T1_DISABLED);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,199,1);
set_timer2(0);
start:
while(TRUE)
{
    duty_value=0;
    set_pwm1_duty(duty_value);
    delay_ms(10);

    if(!input(PIN_A0))
    {
        manual_control();
    }

    if(!input(PIN_A1))
    {
        while(!input(PIN_A1));
        while(True)
        {
            lcd_gotoxy(1,1);
            lcd_putc("Constant Voltage 1 ");
            lcd_gotoxy(1,2);
            lcd_putc("Full option 2 ");
            delay_ms(2000);

            if(!input(PIN_A0))
            {
                feedback_control();
            }

            if(!input(PIN_A1))
            {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        full_option_charge();
        goto start;
    }

    delay_ms(10);

}

}

}

}

void mode_adc()
{
    int16 value;
    setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    set_adc_channel(0);

    while(1)
    {
        set_adc_channel(0);
        delay_us(10);
        value1 = read_adc();

        set_adc_channel(1);
        delay_us(10);
        value2 = read_adc();

        set_adc_channel(2);
        delay_us(10);
        value3 = read_adc();

        set_adc_channel(3);
        delay_us(10);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

value4 = read_adc();

set_adc_channel(4);
delay_us(10);
value5 = read_adc();

value = value1 + value2 ;//value3 + value4 + value5;
delay_ms(100);
}
}
void initial_pwm()
{
  lcd_gotoxy(1,1);
  lcd_putc("Duty cycle=");
  lcd_putc("V= v, I= A");
  for(duty_value=1;duty_value<161;duty_value++)
  {
    set_pwm();
    delay_ms(1);
  }
  check_analog();
}
void manual_control()
{
  lcd_gotoxy(1,1);
  lcd_putc("manual control...");
  lcd_gotoxy(1,2);
  lcd_putc(" increase decrease ");
  initial_pwm();
  while(TRUE)
  {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

set_pwm1_duty(duty_value);

if(!input(PIN_A0))
{
    increase();
}

if(!input(PIN_A1))
{
    decrease();
}

check_analog();

delay_ms(100);
}
}

void feedback_control()
{
    start:
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc(" CHARGING.... ");
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc(" ");
    initial_pwm();

    while(volt<5)
    {

    }

    while(TRUE)
    {
        if((volt<18)&&(duty_value<400))
        {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

duty_value = duty_value +2;
set_pwm();
check_analog();
}

else if((volt>18)&&(duty_value>3))
{
duty_value = duty_value -2;
set_pwm();
check_analog();
}
else
{
set_pwm();
check_analog();
if(volt<5)
{
goto start;
}
}
}

```

```

void increase()
{
if(duty_value < 400)
{
for(i=1;i<10;i++)
{
duty_value = duty_value +1;
set_pwm();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        delay_us(1000);
    }
    while(!input(PIN_A0)){};
}
}

```

```
void decrease()
```

```

{
    if(duty_value > 41)
    {
        for(i=1;i<10;i++)
        {
            duty_value = duty_value -1;
            set_pwm();
            delay_us(1000);
        }
        while(!input(PIN_A1)){};
    }
}

```

```
void full_option_charge()
```

```

{
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc(" CHARGING.... ");
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc("          ");
    initial_pwm();

    while(TRUE)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(volt<18)
{
    duty_value = duty_value +2;
    set_pwm();
    check_analog();
    if(Ampare>3)
    {
        constant_i();
    }
}
else if((volt>18) && (Ampare!=0.1))
{
    constant_v();
}
else if((volt>18) && (Ampare==0.1))
{
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc(" Battery full ");
    goto battery_full;
}
delay_ms(100);
}
battery_full ::
}

```

```

void constant_i()
{
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc(" Constant Current ");
    if((Ampare<3) && (duty_value<400))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    duty_value = duty_value +2;
    set_pwm();
    check_analog();
}
else if((Ampare>3) && (duty_value>3))
{
    duty_value = duty_value -2;
    set_pwm();
    check_analog();
}
else if(volt>18)
{constant_v0;}
}

void constant_v0
{
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc(" Constant Voltage ");
    if((volt<18)&&(duty_value<400))
    {
        duty_value = duty_value +1;
        set_pwm();
        check_analog();
    }
}
else if((volt>18)&&(duty_value>3))
{
    duty_value = duty_value -1;
    set_pwm();
    check_analog();
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if(Ampare==0.1)
{
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc(" Battery full ");
    goto battery_full;
}
battery_full ;;
}

```

```

void check_analog()
{
    check_v();
    check_i();
}

```

```

void check_v()
{
    mode_ADC();
    value = value1 + value2+ value3 + value4 + value5;
    volt = Vbe*(float)value*19;
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc," Voltage = %f",volt);
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"%f",volt);
}

```

```

void check_i()
{
    set_adc_channel(2);
    value=read_adc();
    if(j<10)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    sub_amp = ((sub_amp*j)+value)/(j+1);
    j++;
}
else
{
    j=0;
}
Ampare = (Vbe*(float)sub_amp);
Ampare = (Ampare-2.45)*13;
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc," Current = %f",Ampare);
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"%f",Ampare);
}

void set_pwm()
{
    set_pwm1_duty(duty_value);
    k= duty_value*0.125;
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"%f",k);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน วุฒิพล ธาราธิ์เศรษฐ์ , อิเล็กทรอนิกส์กำลัง Power Electronics
- [2] นภัทร วัฒนเทพินทร์ , อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2 ภาคปฏิบัติ
- [3] พันธุ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์ , วงจรพัลส์ และ สวิตชิง
- [4] ภัทธริยา กิตติเดชาชาญ , อิเล็กทรอนิกส์ในงานอุตสาหกรรม
- [5] Sedra/Smith , Microelectronic Circuits
- [6] ประจัน พลังสันติกุล. เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์ เขียนโปรแกรมภาษา C ควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร : อินโนเวตีฟอิเล็กทรอนิกส์. 2547.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้