เครื่องประจุแบตเตอรี่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

PROGRAMMABLE BATTERY CHARGER

โดย

นาย คำรงเกียรติ	สมยิ้ม	38013183
นาย นรินทร	อุดมเจตจำนง	38013190

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. กิติพล ชิตสกุล

วัน เดือน ปี 22 ตค 2541
เลขทะเบียน 039127
เลขเรียกหนังสือ T 40366 ก 491ค

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

039127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องประจุแบตเตอรี่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

PROGRAMMABLE BATTERY CHARGER

โดย

นาย ดำรงเกียรติ สมยิ้ม

นาย นรินทร อุดมเจตจำนง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2540

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องประจุแบตเตอรี่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

โดย

1. นายดำรงเกียรติ สมยิ้ม
2. นายนรินทร อุดมเจตจำนง

.....

(ดร.กิติพล ชิตสกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องประจุแบตเตอรี่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

PROGRAMMABLE BATTERY CHARGER

นายดำรงเกียรติ สมยิ้ม 38013183

นายนรินทร อุดมเจตจำนง 38013190

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

.....

(ดร. กิติพล ชิตสกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

...../...../.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลาย ๆ ท่าน อาทิ เช่น อาจารย์ ดร. กิตติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งให้คำแนะนำที่ดีตลอดมา ช่วยในการหาข้อมูลและอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย รวมทั้งอาจารย์ท่านอื่นๆ และเพื่อนนิสิตทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจให้กับผู้จัดทำมาโดยตลอด

นายดำรงเกียรติ สมยิ้ม

นายนรินทร อุดมเจตจำนง

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องประจุแบตเตอรี่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

PROGRAMMABLE BATTERY CHARGER

นายดำรงเกียรติ สมยิ้ม
นายนรินทร อุดมเจตจำนงค์
ดร.กิติพล ชิตสกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)
ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา2540

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มาควบคุมการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ โดยที่สามารถควบคุมกระแสและแรงดันให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่แต่ละชนิดได้ มีการทำงาน 3 แบบ คือ การประจุกระแสแบบเร็ว แบบธรรมดา และแบบอ่อนๆ มีการรับข้อมูลต่างๆ ของแบตเตอรี่ทางคีย์บอร์ดและแสดงผลทางจอแอลซีดี ตลอดการทำงานจะทำงานแบบอัตโนมัติ เมื่อประจุกระแสจนเต็มเครื่องจะเปลี่ยนการทำงานมาประจุกระแสแบบอ่อนๆ เสมอ เพื่อลดการสูญเสียภายในของแบตเตอรี่เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMMABLE BATTERY CHARGER

Mr.Damrongkiat	Somyim	38013183
Mr.Narinthon	Udomjetjamnong	38013190
Dr.Kittipol	Chaitakul	(Advisor)

1st Semester , Educational Year 1997

Abstract

This thesis is a study of using the micro-controller (MCS-51 family) as the controller of a battery charger. With specially designed hardware and software developed, the charger can be used for many kinds of rechargeable batteries by controlling suitable charging current and voltage. Three modes of operation are available, quick , normal and trickle charge. In operation, when a battery to be charged is installed in place, the charger waits for the charging data (kind of battery, mode of charging) entered from the keyboard and display on the LCD then the charger operates automatically. Once the batter is fully charged, the controller will always switch to trickle mode for decreasing the power loss.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
Abstract	III
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 ลักษณะและโครงสร้างของโครงงาน	1
1.3 โครงร่างปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่	4
2.1 การทำงานของเซลไฟฟ้า	4
2.2 แรงดันกับความต้านทาน	5
2.3 กำลังงานต่อชั่วโมง	6
2.4 เซลแบบตะกั่ว-กรด (Lead-Acid)	6
2.5 เซลแบบนิเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium)	8
2.6 เซลแบบนิเกิล - เมตัลไฮไดร์ (Nickel-Metal Hydry)	9
2.7 หลักการประจุแบตเตอรี่	10
2.8 ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่	12
2.8.1 ประสิทธิภาพแอมป์ฮาวร์ (Ampere-Hour Efficiency)	12
2.8.2 ประสิทธิภาพวัตต์ฮาวร์ (Watt-Hour Efficiency)	12
2.9 ระดับโวลท์เตจที่กระทบกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่	13
2.9.1 Under Charge	13
2.9.2 Over Charge	13
2.10 วิธีการประจุแบตเตอรี่	14
2.10.1 การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging)	14
2.10.2 การประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charge)	15
2.10.3 การประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการเปลี่ยนระดับกระแส (Tapered Current Charging	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10.4 การประจุแบตเตอรี่โดยวิธีร่วม(Combination Charging or Tow-Step)	17
2.11 การประยุกต์การใช้งาน	17
2.11.1 การทำงานแบบเป็นรอบ(Cyclic Operation)	17
2.11.2 การใช้งานแบบชั่วคราว (Standby / Backup Charging)	18
บทที่ 3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์	19
3.1 คุณสมบัติของ MCS-51	20
3.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	22
3.3 ตำแหน่งขาของ MCS-51	23
3.4 โครงสร้างภายในของ MCS-51	26
3.4.1 โครงสร้างหน่วยความจำภายใน MCS-51	26
3.4.2 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม	27
3.4.3 หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล	27
3.4.4 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ	29
3.4.5 รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป	30
3.4.6 โครงสร้างพอร์ต	31
3.4.7 โครงสร้างการอินเตอร์รัปต์	32
3.4.8 ไทม์เมอร์/เคาเตอร์	35
3.4.9 พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	35
3.5 กลุ่มคำสั่งมใน MCS-51	35
3.5.1 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรง (Direct Addressing)	36
3.5.2 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม (Indirect Addressing)	36
3.5.3 วิธีการเข้าถึงข้อมุลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (Register Instruction)	36
3.5.4 วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของคำสั่ง (Register-Specific)	36
3.5.5 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรง (Immediate Constants)	37
3.5.6 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ตัวชี้อ้างอิง (Indexed Addressing)	37
บทที่ 4 วงจรประจุแบตเตอรี่	38
4.1 ภาค Rectifier and Filter	39
4.2 วงจรภาค Regulator	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 วงจร Current Limiter	41
4.4 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก (Digital to Analog Converter:DAC)	42
4.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter:ADC)	43
4.5.1 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Theory)	43
4.5.2 Successive-approximation ADC	45
4.5.3 Quantizing Error	46
4.6 ส่วนแสดงผลชนิด LCD module	47
4.7 ส่วนรับข้อมูล Keyboard	50
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	57
5.1 การทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด(Lead-Acid)	58
5.2 การทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เมตัลไฮไดร์ (Nickel-Metal Hydry)	61
5.3 การทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมี่ยม (Nickel-Cadmium)	63
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	65
6.1 สรุปผลการทดลอง	65
6.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	66
ภาคผนวก	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 Block Diagram ของ Programmable Battery Charger 2

รูปที่ 2.1 แสดงวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ 5

รูปที่ 2.2 แสดงทิศทางการไหลของกระแสประจุแบตเตอรี่ 10

รูปที่ 2.3 วงจรที่ต่อความต้านทานอนุกรมเพื่อจำกัดกระแส 11

รูปที่ 2.4 รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบกระแสคงที่ 15

รูปที่ 2.5 การประจุแบบแรงดันคงที่ 16

รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8051 23

รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 26

รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป MCS-51 27

รูปที่ 3.4 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปทั้งสองส่วน 28

รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างและตำแหน่งของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะใน MCS-51 29

รูปที่ 3.6 แสดงการเลือกรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 แต่ละกลุ่ม 30

รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งหน่วยความจำของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิดใน MCS-51 32

รูปที่ 3.8 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE 33

รูปที่ 3.9 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP 34

รูปที่ 4.1 Block Diagram ของเครื่องประจุแบตเตอรี่ 38

รูปที่ 4.2 วงจรภาค Rectifier and Filter 39

รูปที่ 4.3 วงจรภาค Regulator 40

รูปที่ 4.4 วงจรภาค Current Limiter 41

รูปที่ 4.5 แสดงวงจร R2R Ladder D/A Converter 42

รูปที่ 4.6 การสุ่มหลาย ๆ ช่วง จากสัญญาณอินพุทอนาลอกจะมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณกับสัญญารดั้งเดิม เมื่อมีการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จาก D/A Converter 44

รูปที่ 4.7 Successive Approximation Register (SAR) เป็นตัวเร่งความเร็วของกระบวนการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นดิจิตอล 45

รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างทั่วไปของ LCD module 47

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการอินเตอร์เฟส MCS-51 กับ LCM 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.1การต่อสวิตช์เพื่อเป็นอุปกรณ์อินพุท	51
รูปที่ 4.11 ลักษณะของสัญญาณบาวนซ์	51
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างผังงานการแก้บาวนซ์	52
รูปที่ 4.13 การต่อสวิตช์แบบเมตริกซ์แบบ 3X3	54
รูปที่ 4.14 ผังงานของการอ่านคีย์ที่ต่อแบบเมตริกซ์	55
รูปที่ 5.1 วงจรสมมูลของการประจุแบตเตอรี่	57
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid)	60
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เมตัลไฮไดร (Nickel-Metaal Hydry)	62
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมี่ยม (Nickel-Cadmium)	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงการทำงานของสัญญาณ E 50

ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนสายกับจำนวนสวิตช์ในการต่อแบบแมตริกซ์ 53

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ Lead-Acid 6V 10 Ah 58

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ Nickel-Metal Hydry 2.4 V 1.2 Ah 61

ตารางที่ 5.3 ถสดงผลการทดลองประจุ แบตเตอรี่ Nickel-Cadmium 2.4 V 0.5 Ah 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ปัจจุบันนี้แบตเตอรี่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนเรามากขึ้นทุกที โดยเราได้ใช้แบตเตอรี่ เพื่อทำการจ่ายกำลังงานให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทกระเป๋าหิ้วต่าง ๆ อย่างเช่น วิทยุเทป ซาวน์อะเบาต์ เครื่องคิดเลข โทรศัพท์มือถือ กล้องวีดีโอ คอมพิวเตอร์กระเป๋าหิ้ว เครื่องรับ-ส่งรีโมทคอนโทรล และอื่น ๆ อีกมากมายก็ล้วนแต่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานทั้งสิ้น

โดยทั่วไปแล้วแบตเตอรี่จะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบปฐมภูมิ และแบบทุติยภูมิ แบบแรกนั้นเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้เพียงครั้งเดียว ส่วนแบบที่ 2 เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถใช้งานได้หลายครั้ง โดยนำมาประจุใหม่ได้เรื่อย ๆ จนกว่าแบตเตอรี่จะหมดอายุการใช้งานไปเอง จะเห็นว่าแบบทุติยภูมิจะใช้งานได้คุ้มค่ากว่าแบบปฐมภูมิ ทั้งยังเป็นการช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมลดปริมาณขยะไปด้วย

เครื่องประจุแบตเตอรี่โดยทั่วไปแล้วจะสามารถประจุแบตเตอรี่ทุติยภูมิได้เฉพาะอย่างเท่านั้น เช่น เครื่องประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด(Lead-Acid) เครื่องประจุแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium) เครื่องประจุแบตเตอรี่นิเกิล-เมตัลไฮไดร์(Nickel-Metal Hydry) เป็นต้น และบางเครื่องก็ประจุแบตเตอรี่ได้เฉพาะขนาดและเฉพาะความจุเท่านั้น ถ้าเราจะเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดใดขนาดใดก็ต้องเลือกเครื่องประจุแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกันด้วย จะเห็นว่าเป็นการยากมากสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้เกี่ยวกับแบตเตอรี่โดยเฉพาะ

ปัญหาอีกประการหนึ่งของเครื่องประจุแบตเตอรี่ก็คือ เครื่องประจุแบตเตอรี่บางเครื่องไม่ค่อยมีคุณภาพนัก กล่าวคือเมื่อทำการประจุกระแสไปแล้วนั้นก็ไม่มีระบบตรวจสอบแบตเตอรี่ว่าเต็มหรือยัง จึงทำให้แบตเตอรี่ได้รับประจุมากเกินไป เป็นผลทำให้อายุการใช้งานของเซลทุติยภูมินั้นสั้นลงไปด้วย ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น

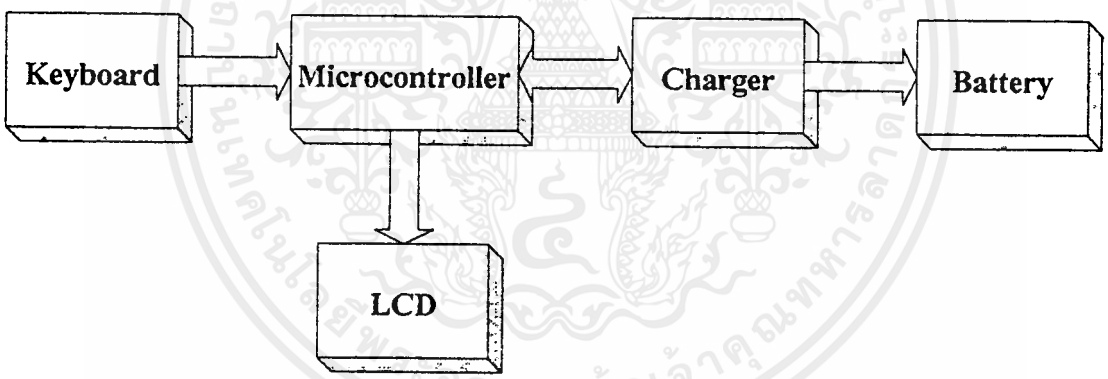
1.2 ลักษณะและโครงสร้างของโครงงาน

เครื่องประจุแบตเตอรี่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Programmable Battery Charger) นี้มีความสามารถต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สามารถประจุแบตเตอรี่ได้ทุกชนิด ทุกขนาด และทุกความจุของเซลทุติยภูมิ ไม่ว่าจะเป็นเซลแบบตะกั่ว-กรด แบบนิเกิล-แคดเมียม แบบนิเกิล-เมตัลไฮไดร์
2. มีการรับข้อมูลต่างๆ ของแบตเตอรี่ที่จะทำการประจุทางคีย์บอร์ด และแสดงผลทางจอ LCD จึงทำให้มีการใช้งานที่ง่ายและสะดวกอย่างยิ่ง
3. มีการทำงาน 3 แบบ คือ การประจุกระแสแบบเร็ว แบบธรรมดา และแบบอ่อนๆ ซึ่งแต่ละแบบก็จะประจุกระแสในปริมาณที่ต่างกัน
4. เครื่องจะทำงานแบบอัตโนมัติตลอดการทำงาน กล่าวคือเมื่อทำการประจุจนแบตเตอรี่เต็มแล้วก็จะเปลี่ยนการทำงานมาประจุกระแสแบบอ่อนๆเสมอ เพื่อลดการสูญเสีย ภายในของแบตเตอรี่เอง

การทำงานในส่วนต่างๆ ของเครื่องประจุแบตเตอรี่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Programmable Battery Charger) นั้น สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 1.1 Block Diagram ของ Programmable Battery Charger

1.3 โครงร่างปริญญานิพนธ์

ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้สามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็นบทต่างๆ ได้ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงรายละเอียดโดยย่อ ขอบเขตของโครงงาน และผลที่คาดว่าจะได้รับในโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่ กล่าวถึงโครงสร้างและคุณสมบัติของแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิแต่ละแบบ และหลักการประจุแบตเตอรี่แบบต่างๆ

บทที่ 3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์กล่าวถึง โครงสร้างพื้นฐานทางสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

บทที่ 4 วงจรประจุแบตเตอรี่ กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการทำงานส่วนต่างๆ และการออกแบบวงจร ทั้งภาคจ่ายกระแสและภาคควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

บทที่ 5 การทดลอง และผลการทดลอง กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองประจุแบตเตอรี่แบบต่างๆ

บทที่ 6 บทสรุป สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่

2.1 การทำงานของเซลไฟฟ้า

เซลไฟฟ้านั้นสร้างขึ้นได้โดยการนำแท่งตัวนำ หรือเรียกว่า แท่งอิเล็กโทรด(Electrode) 2 แท่งมาจุ่มลงไปในสารละลายที่เรียกว่า อิเล็กทรอไลท์(Electrolyte) แท่งอิเล็กโทรดแท่งหนึ่งจะเรียกว่า อาโนด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโลหะ ส่วนอีกแท่งหนึ่งเรียกว่า คาโถด ซึ่งส่วนใหญ่จะทำมาจากออกไซด์ของโลหะ

ออกไซด์ของโลหะเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างอะตอมของโลหะกับออกซิเจน ตัวอย่างที่เห็นกันบ่อยๆ ของออกไซด์ของโลหะก็คือ ออกไซด์ของเหล็กที่เรียกกันว่าสนิมเหล็ก ซึ่งเกิดจากการทิ้งเหล็กไว้ในอากาศ ซึ่งโลหะส่วนมากแล้วจะรวมตัวกับออกซิเจน เมื่อนำออกไซด์ของโลหะมาใช้ในเซลจะเป็นการใช้ในทางสร้างสรรค์ ไม่เหมือนกับสนิมเหล็กซึ่งเป็นตัวทำลาย

ส่วนอิเล็กทรอไลท์ทำจากสารต่างๆได้หลายชนิด ซึ่งจะเลือกใช้ให้เหมาะกับอิเล็กโทรดแต่ละชนิดเท่านั้น โดยที่เซลต่างชนิดกันจะใช้อิเล็กโทรดต่างกัน ทำให้ใช้อิเล็กทรอไลท์ต่างกันด้วย แต่อิเล็กทรอไลท์แบบใดก็ตามก็เป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งจะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในทิศทางใดโดยเฉพาะเท่านั้น

โลหะที่ใช้เป็นอาโนดนั้น จะเลือกให้มีความสามารถในการรวมตัวกับออกซิเจนได้ดีกว่าโลหะที่ใช้เป็นคาโถด ถ้านำเอาอาโนดและคาโถดมาวางไว้ด้วยกัน อาโนดจะดึงเอาออกซิเจนออกจากออกไซด์ของโลหะซึ่งเป็นคาโถดและทิ้งแท่งคาโถดไว้เป็นโลหะ ในกรณีนี้เราเรียกว่าอาโนดถูกออกซิไดซ์ (Oxidised) ส่วนคาโถดนั้นจะถูกรีดิวซ์ (Reduced)

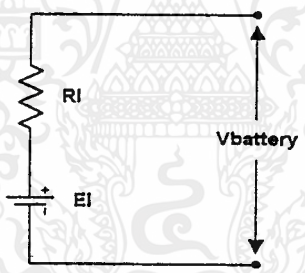
อิเล็กทรอไลท์นั้นเป็นสารเคมีเฉพาะซึ่งยอมให้การเปลี่ยนของออกซิเจนระหว่างอาโนดและคาโถดเกิดขึ้น โดยแท่งอาโนดและคาโถดไม่จำเป็นต้องมาแตะกัน ในกรณีนี้สารอิเล็กทรอไลท์จะเป็นตัวนำอนุภาคของออกซิเจน (ซึ่งมีประจุลบ) ซึ่งเกิดขึ้นที่คาโถดเคลื่อนที่ข้ามไปสู่อาโนด ดังนั้นคาโถดจึงถูกรีดิวซ์ ส่วนอาโนดจะถูกออกซิไดซ์ เราจะเรียกว่าเกิดความต่างศักย์ขึ้น ซึ่งหมายถึงแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แรงดันกับความต้านทาน

ความต่างศักย์ภายนอกของเซลนั้นเรียกกันว่าเป็น แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force หรือย่อว่า EMF) ค่าที่แน่นอนนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่นำมาเป็นอาโนดและคาโถด และชนิดของสารอิเล็กทรอไลท์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอายุของเซล สำหรับเซลใหม่แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะสูงกว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด (Rated) อยู่เล็กน้อย และจะตกลงมาเป็นค่าต่ำเมื่อเซลเก่าและคายประจุหมด

การแปรเปลี่ยนไปของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลแม้ว่าจะเป็นสิ่งสำคัญ แต่ก็ไม่เจาะจงนัก เนื่องจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดไม่ต้องการแรงดันไฟฟ้าคงที่และสม่ำเสมอในการทำงาน อย่างไรก็ตามมีอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญกว่า นั่นคือความต้านทานภายในของเซล (Internal Resistance) ซึ่งเป็นความต้านทานเสมือน (Effective Resistance) ภายในตัวเซลเอง เกิดจากโครงสร้างและสารที่ใช้ทำ ค่าความต้านทานภายในนี้ไม่สามารถละทิ้งได้ แต่จะมีค่าน้อยมากซึ่งขึ้นอยู่กับเซลแต่ละชนิด



รูปที่ 2.1 แสดงวงจรสมมูลของแบตเตอรี่

วงจรเทียบเท่าของเซลไฟฟ้าประกอบด้วยตัวกำเนิดแรงดันต่ออนุกรมอยู่กับตัวต้านทานภายใน ในขณะที่เรานำเอาเซลไฟฟ้ามาต่อกับโหลดกระแสต่างๆ จะเห็นว่าค่าความต้านทานภายในไม่ค่อยจะมีผลต่อวงจรมากนัก ในกรณีตรงกันข้ามถ้าเรานำเอาเซลไฟฟ้ามาต่อกับโหลดกระแสสูงๆ ค่าความต้านทานภายในจะเริ่มกระทบอย่างมากกับวงจร ไม่เฉพาะแต่ความต้านทานภายในเซลจะไปลดค่ากระแสที่ไหลผ่านวงจรภายนอกซึ่งเซลจะจ่ายออกไป แต่ยังเป็นการสูญเสียพลังงานอีกด้วย ซึ่งจะสูญเสียไปเป็นความร้อน เนื่องมาจากความต้านทานภายในเซลจะอุ่นขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานภายในขึ้นอีก และจะมีผลให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานภายในเพิ่มขึ้น ทำให้ไปเพิ่มค่ากำลังงานและไปเพิ่มแรงดันที่ตกคร่อมขึ้นอีกวนเวียนกันเป็นวัฏจักรไปเรื่อยๆ ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่เลวร้ายทำให้วงจรภายนอกที่นำมาต่อมีกระแสไฟไม่พอเลี้ยงให้วงจรทำงานต่อไปได้ และถึงแม้ว่ากระแสจะพอเลี้ยงวงจรได้ พลังงานที่สูญเปล่านี้ก็จะไปลดอายุการใช้งานของเซลลง

2.3 กำลังงานต่อชั่วโมง

คุณลักษณะสำคัญอันหนึ่งของเซลไฟฟ้า ซึ่งเราจำเป็นต้องศึกษาก่อนที่จะรู้ถึงชนิดของเซลแบบต่างๆ นั้นก็คือ ค่าความจุของเซล (Cell Capacity) ซึ่งคือปริมาณของกระแสไฟฟ้าซึ่งเซลหนึ่งๆ สามารถจ่ายกระแสออกไปได้ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น เซลไฟฟ้าเซลหนึ่งมีความจุ 1,000 มิลลิแอมป์ชั่วโมง หมายความว่าเซลนี้สามารถจ่ายกระแสได้ 1,000 มิลลิแอมป์เป็นระยะเวลา 1 ชั่งโมง (โดยการไม่คิดถึงค่าความต้านภายในเซล) เป็นต้น

แต่ถ้ากล่าวถึงค่าความจุกระแสของเซลในรูปของมิลลิแอมป์-ชั่วโมงโดยลำพัง ไม่ได้หมายถึงความจุทั้งหมดของเซล บางครั้งเราจะคำนึงถึงค่าแรงดันของเซลเป็นส่วนหนึ่งของค่าความจุของเซลด้วย ซึ่งทำได้โดยการคูณค่าความจุกระแสของเซลด้วยค่าแรงดันของเซลซึ่งจากตัวอย่างแรงดันของเซลเท่ากับ 1.5 โวลท์ ดังนั้นมันจะมีความจุของพลังงานทั้งหมดอยู่ในหน่วยของมิลลิวัตต์-ชั่วโมง เช่น 1000mA X 1.5V = 1500mWh

2.4 เซลแบบตะกั่ว-กรด (Lead Acid)

เซลแบบทุติยภูมิชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากก็คือ เซลแบบตะกั่ว-กรด ซึ่งใช้กันทั่วไปในรถยนต์ มันจะประกอบไปด้วยแผ่นอาโนดวางสลับกันจุ่มอยู่ในอิเล็กทรอไลท์ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถัน แผ่นเพลทจะวางสลับกันเพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กทรอไลท์ได้มากในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ การที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดและอิเล็กทรอไลท์มากเท่าไรปฏิกิริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลจะยิ่งมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสวิธีที่นิยม ใช้กันก็คือใช้แผ่นเพลทบางๆ คั่นด้วยฉนวนแบบมีรูพรุน

อิเล็กโทรดที่เป็นอาโนดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่คาโถดจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลคายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้นอะตอมของตะกั่วจากแผ่นอาโนดจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเล็กทรอไลท์ และทิ้งอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่คาโถด ตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่วซึ่งมีประจุบวกสูง และเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่ประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอกเพื่อรวมตัวกลายเป็นอิออนตะกั่วที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่อาโนดทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโถดผ่านไปยังวงจรภายนอก

ไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันซึ่งเป็นอิเล็กทรอไลท์ กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (Lead Sulphate) ซึ่งจะเห็นเป็นตะกอนสีขาวเกาะอยู่ที่อิเล็กโทรดทั้งสอง และก๊าซไฮโดรเจนซึ่งจะรวมกับอิออนของออกซิเจนจากคาโถดกลายเป็นน้ำ เราสามารถจะเขียนสูตรสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \Leftrightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O \qquad (2.1)$$

ซึ่งแสดงโดยลูกศร 2 ทิศทางว่าเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงสามารถที่จะประจุเซลใหม่โดยการต่อวงจรซึ่งจะขับอิเล็กตรอนให้ไหลจากคาโถดไปสู่อาโนด

สูตรทางเคมีแสดงให้เห็นว่าสารละลายอิเล็กทรอไลท์ จะเจือจางลงโดยโมเลกุลของน้ำที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นขณะเดียวกับที่เซลคายประจุ ทำให้เราสามารถใช้เป็นวิธีการหาสถานะการประจุและคายประจุของเซลได้ โดยการวัดความถ่วงจำเพาะ(Specific Gravity) ของสารละลายอิเล็กคทรอไลท์ ซึ่งจะบอกว่าเซลใกล้จะถึงสถานะคายประจุหมดหรือยัง เพื่อจะได้ประจุไฟกลับเข้าไปใหม่ โดยค่าความถ่วงจำเพาะของเซลที่ประจุมาเต็มที่จะมีค่าประมาณ 1.25 และค่าความถ่วงจำเพาะของเซลที่คายประจุหมดจะมีค่าระบุไว้ประมาณ 1.2 เราใช้ไฮโดรมิเตอร์ในการวัด แรงดันของเซลโดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 2 โวลท์

เซลแบบตะกั่ว-กรดนี้มีโครงสร้างแบบที่กล่าวมาเป็นระยะเวลานานแล้ว การปรับปรุงที่เกิดขึ้นเร็วๆ นี้ได้ทำการปรับปรุงให้เซลมีอายุการใช้งานนานขึ้น โดยที่แบตเตอรี่ที่มีการผนึกอย่างดีและมีอิเลคทรอไลท์เป็นของแข็งได้ถูกผลิตขึ้นมาแล้ว ซึ่งไม่ต้องมีการบำรุงรักษาเลย จึงสามารถนำไปใช้ที่ใดก็ได้ นับว่ามีประโยชน์ในการใช้แทนหรือใช้อย่างปกติแทนเซลแบบปฐมภูมิในเครื่องมือวัดแบบกระเป๋าหิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เซลแบบนิกเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium)

เซลแบบทุติยภูมิชนิดที่สองที่จะกล่าวถึงก็คือ เซลแบบนิกเกิล-แคดเมียม เรียกกันย่อๆว่า นิ-แคด บางครั้งเซลแบบนิ-แคดนี้จะถูกเรียกว่า เซลแบบ DEAC ซึ่งเป็นชื่อย่อของบริษัทแรกที่ผลิตขึ้นมาคือ Deutsche Edison Akkulumulatoren Company ซึ่งอยู่ในเยอรมัน

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

$$Cd + 2NiOOH + 2H_2O \Leftrightarrow Cd(OH)_2 + 2Ni(OH)_2 \qquad (2.2)$$

โดยสถานะประจุเต็มที่คือทางด้านซ้ายมือ และสถานะหมดประจุเต็มที่อยู่ทางด้านขวามือ ในเซลที่ได้รับการประจุจนเต็ม ขั้วลบจะเป็นแคดเมี่ยมบริสุทธิ์ ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์(Oxidised) ในระหว่างการคายประจุ ส่วนขั้วบวกจะค่อยๆลดระดับในการเกิดออกซิเดชั่น(Oxidation) ระหว่างการคายประจุ

ในระหว่างการประจุนอกจากปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวกแล้วนั้น จะมีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้นด้วย ซึ่งจะก่อให้เกิดก๊าซออกซิเจน แต่ก็ไม่เป็นปัญหาเนื่องจากก๊าซออกซิเจนสามารถเคลื่อนที่จากขั้วบวกไปรวมตัวกับขั้วลบ

ปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบจะผลิตก๊าซไฮโดรเจนขึ้น โดยจะเกิดขึ้นเมื่อขั้วลบอยู่ในสถานะประจุเต็มที่ โดยเราจะแน่ใจได้ว่าก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะไม่รั่วไหลออกไป ถ้าทำให้ขนาดของขั้วลบใหญ่กว่าขั้วบวก

เมื่อเซลถูกประจุจนเต็ม กระแสที่ไหลผ่านเซลทั้งหมดจะใช้ในการผลิตก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวกซึ่งจะผ่านไปรวมตัวกันที่ขั้วลบ ซึ่งโครงสร้างของเซลเป็นสิ่งที่จำเป็นมากที่จะต้องสร้างให้มีทางให้ก๊าซออกซิเจนมารวมตัวได้ ถ้าไม่เช่นนั้นแล้วก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เซลแบบนิเกิล-เมตัลไฮไดร์ (Nickel-Metal Hydry)

แบตเตอรี่นิเกิล-เมตัลไฮไดร์(Ni-MH) จัดอยู่ในพวกแบตเตรี่ชนิดทุติยภูมิเซล ซึ่งแบตเตอรี่นิเกิล-เมตัลไฮไดร์ อาศัยการทำงานโดยใช้ปฏิกิริยาย้อนกลับทางไฟฟ้าและการดูดกลืนของไฮโดรเจนทางเคมี โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดนี้ประกอบไปด้วยขั้วบวกที่เป็นนิเกิลออกไซด์และขั้วลบเป็นโลหะผสมที่ดูดกลืนไฮโดรเจนได้ ส่วนอิเล็กทรอไลต์ประกอบไปด้วยสารละลายน้ำ ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

ส่วนการทำงานของแบตเตอรี่นิเกิล-เมตัลไฮไดร์ ขั้นตอนของการประจุจะเริ่มขึ้น โดยมีการประจุให้กับขั้วบวกและในขณะเริ่มต้นการประจุ แบตเตอรี่จะมีความจุต่ำ และถ้าทำการประจุอย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เป็นลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่นิเกิล-เมตัลไฮไดร์ นั่นก็คือมีก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นซึ่งถ้าเขียนเป็นสูตรสำหรับปฏิกิริยานี้ก็จะได้ว่า

$$OH\,\frac{1}{2}H_2O+\frac{1}{4}O_2+e^- \qquad (2.3)$$

และเนื่องจากขั้วลบยังคงไม่ได้รับการประจุที่แผ่ขึ้นจากขั้วบวกในขณะเริ่มต้นซึ่งตัวแบตเตอรี่เองก็จะยังไม่กำเนิดก๊าซไฮโดรเจนออกมา ทำให้ก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวกแผ่กระจายผ่านทะลุตัวกั้นระหว่างขั้วทั้งสองเข้าไปในขั้วลบ ทำให้เกิดการออกซิเดชั่นกับไฮโดรเจนในโลหะผสมและเกิดการรวมตัวกันเป็นน้ำขึ้นมา จากสูตรดังนี้

$$4MH+O_2\rightarrow 4M+2H_2O \qquad (2.4)$$

ดังนั้นในขณะเกิดปฏิกิริยาการประจุระหว่างการรวมตัวของน้ำที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ดังที่กล่าวมาแล้ว ก็จะสลายตัวไป จากสูตรดังนี้คือ

$$M+H_2O+e^-\rightarrow MH+OH^- \qquad (2.5)$$

โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ เมื่อทำการแยกออกมาทางเคมีก็จะได้ดังนี้คือ ปฏิกิริยาของการสลายตัวของก๊าซออกซิเจนกับปฏิกิริยาของการสลายตัวของน้ำ และถ้าแทนสิ่งที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้จากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าและทางเคมี จะได้สูตรออกมาคือ

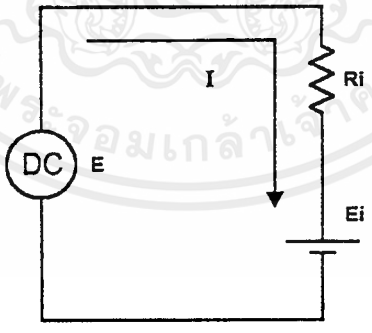
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^- \qquad (2.6)$$

โลหะผสมที่ใช้ดูดกลืนไฮโดรเจนสามารถแบ่งชนิดของโลหะผสมเหล่านี้ออกเป็นกลุ่มต่างๆได้ดังนี้ เช่น โลหะผสมอัลคาไลน์ โลหะผสมออกไซด์ และไตตาเนียมผสมไซร์โคเนียม โดยการแบ่งกลุ่มนี้จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบมูลฐานของโลหะผสม โดยส่วนใหญ่แล้วแบตเตอรี่นิเกิล-เมตัลไฮไดร์จะใช้โลหะผสมออกไซด์ของโลหะชนิดพิเศษ หรือไตตาเนียมผสมไซร์โคเนียม ซึ่งบรรดาผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิของญี่ปุ่น โดยส่วนใหญ่ก็ใช้โลหะผสมที่ดูดกลืนไฮโดรเจนนี้จากโลหะผสมออกไซด์ของโลหะชนิดพิเศษ ซึ่งบริษัทซันโยเองก็เลือกใช้เช่นเดียวกัน จากคุณสมบัติที่หลากหลายของมัน

2.7 หลักการประจุแบตเตอรี่

เครื่องประจุแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ซึ่งจะให้ระดับแรงดันสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการเก็บประจุ ในการประจุแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่องประจุต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยกระแสที่ทำการประจุจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา ดังแสดงได้ดังรูป 2.2



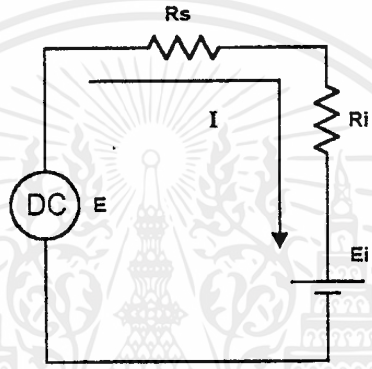
รูปที่ 2.2 แสดงทิศทางการไหลของกระแสประจุแบตเตอรี่

จากรูปที่ 2.2 จะได้สมการ

$$I = \frac{(E - E_i)}{R_i} \qquad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่ (E_i) มีค่าเท่ากับแรงดันประจุ จะไม่มีกระแสไหลในวงจรถ้าแรงดันที่แบตเตอรี่ต่ำกว่าแรงดันประจุจะทำให้มีกระแสไหล เพื่อเข้าไปอัดประจุให้กับแบตเตอรี่แต่ได้แรงดันที่แบตเตอรี่สูงกว่าแรงดันประจุจะทำให้กระแสถูกประจุย้อนกลับจากแบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ส่วนมากจะมีค่าน้อยซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการประจุแบตเตอรี่ โดยจะมีผลต่อปริมาณกระแสที่ประจุว่ามากหรือน้อย ถ้ากระแสในการประจุมีปริมาณมากกว่าที่แบตเตอรี่จะทนได้ อาจจะทำให้แบตเตอรี่ชำรุดได้ การจะลดปริมาณกระแสการประจุแบตเตอรี่ให้ต่ำลงทำได้โดยเอาความต้านทานต่ออนุกรมเข้าไป เพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลได้ตามต้องการ ซึ่งมีวงจรจะมีลักษณะดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรที่ต่อความต้านทานอนุกรมเพื่อกำจัดกระแส

จากรูปเราจะหาค่าความต้านทานจำกัดกระแสได้จากสมการ

$$I = \frac{E - E_C}{R_S + R_i} \tag{2.8}$$

$$R_S = \frac{E - E_C}{I} - R_i \tag{2.9}$$

แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ อัตราการอัดประจุและอัตราการคายประจุจะขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่พิกัดของกระแสอัดประจุแบตเตอรี่จะบอกไว้เป็นชั่วโมง ฉะนั้นค่าของกระแสจะหาได้จากค่าความจุซึ่งมีหน่วยเป็นแอมป์-ชั่วโมง (Ah) หารด้วยจำนวนชั่วโมง ในทำนองเดียวกันถ้าเรารู้กระแส จำนวนชั่วโมงจะหาได้จากความจุ (Ah) หารด้วยกระแสจะได้จำนวนชั่วโมง แต่ทว่าค่าความสัมพันธ์ของกระแสและชั่วโมงในการคายประจุนี้จะไม่แปรผันตามกันตลอด เช่น แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 Ah คายประจุกระแส 5 แอมป์ ในเวลา 20 ชั่วโมง แต่ถ้าจ่าย 10 แอมป์ อาจจะจ่ายได้ในเวลาเพียง 7 ชั่วโมง หรืออาจจะจ่าย 20 แอมป์ ได้ในเวลาเพียง 3 ชั่วโมง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าถ้าจ่ายกระแสในปริมาณมากค่าพิกัดแอมป์-ชั่วโมง (Ah) ของแบตเตอรี่ อาจมีค่าน้อยลงซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการคายประจุของแบตเตอรี่ (Rate of Discharge) ซึ่งราคาของแบตเตอรี่ก็จะแตกต่างกันไปด้วย

อีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงว่าค่าของกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ควรมีค่าเท่าใดนั่นคือค่ากำลังสูญเสียในแบตเตอรี่ เมื่อค่ากระแสในการประจุมีค่าสูง จะทำให้มีค่าสูญเสียมากซึ่งจะมีผลทำให้เกิดความร้อนขึ้นในแบตเตอรี่ ถ้ามีค่าสูงมากจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานน้อยลงหรืออาจทำให้เสียหายเลยก็ได้ ฉะนั้นในการอัดประจุแบตเตอรี่ต้องพิจารณาข้อจำกัดดังกล่าวนี้ด้วย

2.8 ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องคำนึงถึง ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่มีอยู่ 2 ชนิด คือ

2.8.1 ประสิทธิภาพแอมป์ฮาวร์ (Ampere-Hour Efficiency)

ประสิทธิภาพแอมป์ฮาวร์ ซึ่งค่านี้ทางบริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดมาให้ โดยปกติมีค่าประมาณ 90 % หาได้จาก

$$\%\text{A-H Eff} = \text{ประจุที่จ่ายออกมา} / \text{ประจุที่จ่ายเข้าไป} \sim 90\% \qquad (2.10)$$

2.8.2 ประสิทธิภาพวัตต์ฮาวร์ (Watt - Hour Efficiency)

ประสิทธิภาพวัตต์ฮาวร์ เป็นค่าที่ผู้ใช้จะต้องคำนึงถึงเช่นกัน ซึ่งสามารถหาได้โดย

$$\%\text{ W-H Eff} = \%\text{ A-H Eff} * (V_{discharge} / V_{charge}) \qquad (2.11)$$

V_{charge} สำหรับเซลล์ตะกั่ว-กรดเท่ากับ 2.15 Volt/cell ที่ 25 องศาเซลเซียส

V_{charge} สำหรับเซลล์นิกเกิล-แคดเมียมเท่ากับ 1.35-1.45 Volt/cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_{discharge}$ จะอยู่ที่ผู้ใช้ต้องการ ถ้ามีค่าต่ำมากจะทำให้ % Watt - Hour มีค่าต่ำ ดังนั้นเราจึงจำเป็นที่ให้ระดับ $V_{discharge}$ มีค่าลงต่ำไม่มากนักเพื่อจะให้ค่าประสิทธิภาพสูง

2.9 ระดับโวลท์เตจที่กระทบกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่

การปรับระดับโวลท์เตจในการชาร์จแบตเตอรี่นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ถ้าหากการปรับระดับโวลท์เตจในการประจุไม่ถูกต้อง ในขณะที่มีการประจุปกติประจำทุกๆ วันแบตเตอรี่จะได้รับโวลท์เตจในการประจุโดยตรงจากแบตเตอรี่อยู่ตลอดเวลา จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายขึ้นสองลักษณะคือ

2.9.1 Under Charge

คือการใช้โวลท์เตจในการชาร์จแบตเตอรี่ ในระดับ Float Charge ต่ำกว่า 2.15 โวลท์ต่อเซลล์ ถ้าหากใช้โวลท์เตจในการชาร์จระดับนี้ไปนานๆ จะทำให้เกิดซัลเฟตเกาะจับที่แผ่นเพลตทั้งบวกและลบ หากทิ้งไว้นานวันปริมาณซัลเฟตนี้จะเพิ่มมากขึ้น จนเป็นสาเหตุให้การทำปฏิกิริยาระหว่างแผ่นเพลตบวกและลบกับน้ำยาอิเล็กโตรไลท์ ทั้งการชาร์จและดิสชาร์จเป็นไปด้วยความยากลำบาก ซึ่งส่งผลทำให้ Capacity ของแบตเตอรี่ลดลงตามลำดับ ถ้าหากทิ้งไว้นานวันจะส่งผลกระทบกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่ ดังนั้นหากตรวจพบว่าแบตเตอรี่เกิด Under Charge ขึ้นจะต้องรีบแก้ไข การเกิด Under Charge สังเกตุได้ดังนี้

- มีการปรับระดับน้ำยาอิเล็คโตรไลท์น้อยครั้งที่สุด ในระยะเวลาอันยาวนานหรือไม่มีการเติมน้ำกลั่นเลยตลอดเวลาที่แบตเตอรี่ใช้งานอยู่
- มีฟองอากาศผุดภายในเซลล์น้อยที่สุดหรือน้อยกว่าปกติ
- สีของแผ่นเพลตแบตเตอรี่ที่แผ่นเพลตลบจะมีสีขาวเกาะจับ
- ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็คโตรไลท์ในเซลล์ต่ำกว่า 1.180
- วัดโวลท์เตจตกคร่อมในแต่ละเซลล์ต่ำกว่า 2.15 โวลท์
- ความร้อนในเซลล์แบตเตอรี่ต่ำกว่าปกติ

2.9.2 Over Charge

คือการใช้โวลท์เตจในการประจุในระดับ Float Charge สูงกว่า 2.15 โวลท์ต่อเซลล์ ซึ่งเป็นระดับโวลท์เตจที่สูงกว่าปกติ ทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรแบตเตอรี่สูงทำให้การทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างน้ำยาอิเล็คโตรไลท์กับแผ่นเพลตเป็นไปอย่างรุนแรงและรวดเร็วกว่าปกติ ซึ่งทำให้แผ่นเพลตทั้งสองเกิดการสึกกร่อนอย่างรวดเร็วเช่นกัน

2.10 วิธีการประจุแบตเตอรี่

เราอาจแบ่งวิธีการประจุแบตเตอรี่ได้ดังนี้

2.10.1 การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging)

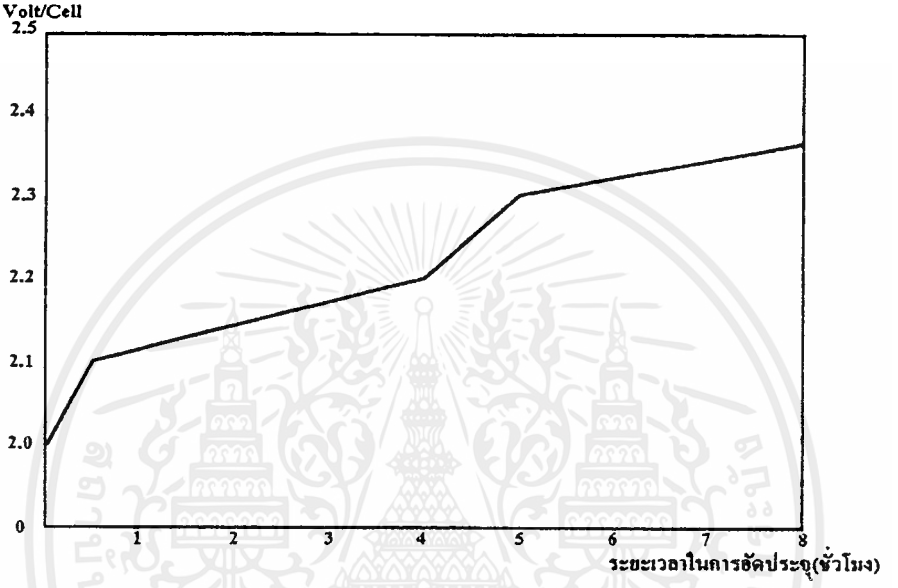
การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่นับว่าเป็นการประจุที่มีประสิทธิภาพกว่าการประจุแบบแรงดันคงที่ แต่การประจุแบบกระแสคงที่นี้จะใช้ระยะเวลาในการประจุนานกว่าแบบแรงดันคงที่ ทั้งนี้เพราะการประจุแบบกระแสคงที่นี้ จะถูกจำกัดปริมาณการประจุของกระแสจากเครื่องประจุเข้าวงจรแบตเตอรี่เป็นจำนวนแอมแปร์ต่อชั่วโมง ดังนั้นแบตเตอรี่จะได้รับกระแสในการประจุเป็นไปตามที่กำหนด เมื่อเป็นเช่นนี้อาจเป็นที่สงสัยว่าทำไมไม่ตั้งให้กระแสในการประจุสูงขึ้น จะทำให้เวลาในการประจุน้อยลง แต่จะเกิดผลเสียหายขึ้นกับตัวแบตเตอรี่คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามปริมาณของกระแสที่ทำการประจุและในที่สุดแผ่นเพลตของแบตเตอรี่ที่เป็นวัสดุแอ็คทีฟ (Active Material) ของเซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการคดงอ แตก หรือเกิดรอยร้าวอันเนื่องจากความร้อนนี้ ถ้าเซลล์แบตเตอรี่เกิดความร้อนสูงกว่าปกติมากๆ หรือความร้อนในเซลล์สูงกว่ากำหนดจะทำให้เซลล์แบตเตอรี่เกิดระเบิดขึ้นได้

การประจุแบบกระแสคงที่มีข้อดีที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่คือจะทำให้เซลล์ทุกเซลล์ในชุดของแบตเตอรี่ได้รับในการประจุกระแสในการประจุที่มีสัดส่วนเท่าๆกันทุกเซลล์ตลอดชุดของแบตเตอรี่ ซึ่งในการประจุด้วยกระแสคงที่นี้ทำให้การคำนวณหาค่าความจุของแบตเตอรี่ง่ายและสะดวกเช่นถ้านำแบตเตอรี่ที่มีความจุขนาด 34 แอมป์ฮาวร์ หากเราจะใช้เวลาในการ Charge 5 ชั่วโมงเต็ม เราจะต้องใช้กระแสในการประจุเท่ากับ 6.8 แอมป์ต่อชั่วโมง ดังนั้นค่าความจุของแบตเตอรี่จะเท่ากับ 5 x 6.8 เท่ากับ 34 Ah ดังนั้นเราจะพอสรุปได้ว่าเหตุผลที่ทำให้การประจุแบบกระแสคงที่ใช้เวลานานหรือช้าด้วยเหตุผลดังนี้

- ขึ้นอยู่กับค่าความจุหรือขนาดของแบตเตอรี่ที่นำมาทำการประจุ
- ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ทำการประจุ
- ขึ้นอยู่กับสภาพของแบตเตอรี่ก่อนที่จะนำมาประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประจุแบบกระแสคงที่ เราไม่ได้กล่าวถึงแรงดันที่อัดประจุแบตเตอรี่เลย อย่างไรก็ตามในขณะที่เราทำการอัดประจุแบตเตอรี่อยู่นั้น ระดับแรงดันที่เซลล์ของแบตเตอรี่จะเริ่มจาก 2.00 Volt/cell จนถึง 2.33 Volt/cell ดังแสดงในรูปที่ 2.4



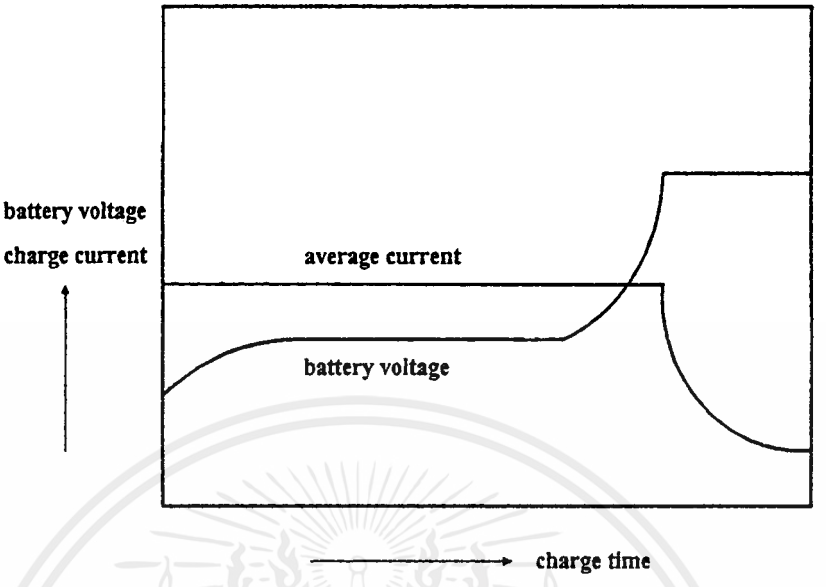
รูปที่ 2.4 รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบกระแสคงที่

การประจุจะทำอย่างรวดเร็วไม่ได้ เพราะจะต้องถูกจำกัดปริมาณของกระแสในการประจุที่คงตัวตามข้อมูลของแบตเตอรี่ชนิดนั้นกำหนดมา และอีกประการหนึ่งจะต้องคำนึงถึงความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของแบตเตอรี่ ตลอดจนค่าความจุแบตเตอรี่

2.10.2 การประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charge)

จากที่เราได้ทราบมาแล้วว่าการประจุแบบกระแสคงที่ เราจะทำการประจุอย่างรวดเร็วไม่ได้ ต่อไปนี้เราจะได้ศึกษาถึงการประจุแบบแรงดันคงที่ในการประจุแบบนี้จะใช้ระยะเวลาในการประจุน้อยกว่าการประจุในแบบแรก หรือทำการประจุได้รวดเร็วกว่านั่นเอง ระยะเวลาในการประจุจะเร็วเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องประจุว่าจ่ายกระแสออกมายังวงจรแบตเตอรี่ได้มากน้อยเพียงไร โดยทั่วไปเครื่องประจุจะต้องจ่ายกระแสออกมาได้ 50% ของค่าความจุของแบตเตอรี่ที่จะนำมาทำการประจุ เช่น แบตเตอรี่ขนาด 100 แอมแปร์ต่อชั่วโมงจะใช้เวลาในการประจุเท่ากับ 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่

การประจุแบตเตอรี่เกิดจากเมื่อแบตเตอรี่ถูกนำเอาพลังงานออกไปใช้งานจะต้องมีการประจุไฟให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มดังเดิม การประจุแบตเตอรี่โดยระบบโวลท์เตจคงที่ทำได้โดยการใช้เครื่องประจุหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดโวลท์เตจขึ้นมา แล้วป้อนเข้าแบตเตอรี่ แต่การกำเนิดโวลท์เตจจากเครื่องประจุหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น อาจจะมีโวลท์เตจท์ที่ไม่คงที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีตัวควบคุมโวลท์เตจที่จะนำเข้าประจุแบตเตอรี่ ให้คงที่อยู่ตลอดเวลาของการประจุซึ่งตัวนี้เราเรียกกันทั่วๆไปว่า วงจรโวลท์เตจเร็กกูเลเตอร์ (Voltage Regulator) ดังนั้นวงจรเร็คกูเลเตอร์นี้จะทำหน้าที่ให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุที่คงที่ และนับว่าเป็นวงจรที่สำคัญยิ่งสำหรับการประจุแบบแรงดันคงที่ และในทำนองเดียวกันถ้าหากวงจรเร็กกูเลเตอร์นี้เสียจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับระดับโวลท์เตจในการประจุที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับแรงดันในการประจุมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งระดับแรงดันทั้งสองที่กล่าวมานี้จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อของระดับแรงดันในการประจุโดยทั่วๆ ไปนั้นการตั้งวงจรเร็กกูเลเตอร์จะมีค่าแรงดันเท่าไรนั้นให้ดูคู่มือของแบตเตอรี่นั้นๆ เป็นหลัก ในกรณีที่ไม่มีหนังสือคู่มือให้ใช้หลักการดังนี้ ให้ใช้จำนวนแรงดันในการประจุต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ที่จะทำการประจุ เช่น แบตเตอรี่ 24 เซลล์จะปรับแต่งแรงดันของเครื่องประจุเท่ากับ 2.15 คูณด้วย 24 เท่ากับ 51.6 โวลท์ ขณะที่ทำการประจุปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.3 การประจุแบตเตอรี่โดยวิธีการเปลี่ยนระดับกระแส (Tapered Current Charging)

เป็นวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ง่ายไม่ซับซ้อน และราคาถูก วงจรการอัดประจุประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง วงจรเรียงกระแส และค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับจำกัดกระแส แต่วิธีนี้ ไม่เหมาะสมในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดปิดผนึก เนื่องจากกระแสที่ใช้อัดประจุจะกระเพื่อมตามแรงดันไลน์ซึ่งทำให้แรงดันแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่สามารถลดผลอันนี้โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีแรงดันด้านทุติยภูมิสูงกว่าแรงดันแบตเตอรี่ และเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการจำกัดกระแส การประจุชนิดนี้สามารถใช้แทนการประจุแบบกระแสคงที่ได้ไม่เฉพาะอัดประจุแบตเตอรี่หลายๆลูก ในครั้งเดียวเท่านั้นยังสามารถใช้ในระบบการประจุแบบทริกเกิล (Trickle Charge) ได้อีกด้วย

2.10.4 การประจุแบตเตอรี่โดยวิธีร่วม (Combination Charging or Two - Step)

วิธีนี้บางทีเรียกว่า "two – step" หรือ "two – rate" เกิดจากการรวม 2 วิธี คือ การประจุแบบกระแสคงที่กับการประจุแบบแรงดันคงที่เข้าด้วยกัน โดยขั้นแรกจะใช้วิธีการอัดประจุเร็ว และขั้นที่สองจะอัดประจุด้วยกระแสค่าต่ำๆ การสวิทช์จากขั้นแรก ไปยังขั้นที่สอง อาจทำได้หลายวิธี เช่น ตรวจสอบแรงดันที่แบตเตอรี่ หรือควบคุมเวลาในการอัดประจุ หรือ ตรวจสอบกระแสในการอัดประจุ เป็นต้น

2.11 การประยุกต์การใช้งาน

การประยุกต์การใช้งานของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด (Sealed Lead-Acid Battery) แบ่งอย่างกว้างเป็น 2 แบบ คือ

2.11.1 การทำงานแบบเป็นรอบ (Cyclic Operation)

การทำงานเป็นรอบๆ ต้องการเวลาในการอัดประจุสั้น และต้องป้องกันการอัดประจุและการคายประจุเกิน สิ่งสำคัญในการอัดประจุด้วยเทคนิคแรงดันคงที่ คือการรักษาเอาท์พุทไว้ที่ระดับแรงดันสุดท้ายของการอัดประจุ (Final Voltage) และจำกัดกระแสให้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบสูงสุดไว้ ค่าแบตเตอรี่จะถูกอัดประจุในช่วงอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมกว้างๆ จะต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิด้วย มิฉะนั้นการอัดประจุสูงไปหรือต่ำไปในอุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 การใช้งานแบบชั่วคราว (Standby / Backup Charging)

ใช้ในงานประเภทสำรองเอาไว้ใช้ในยามฉุกเฉิน ปกติจะเก็บในสภาวะแบตเตอรี่เดิมตลอดเวลา และการจ่ายพลังงานไปให้โหลด เมื่อแหล่งจ่ายไฟหลัก (Line Voltage) ผิดปกติซึ่งการทำงานแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ

- **การประจุแบตเตอรี่แบบทริกเกิล (Trickle Charge)**

ระบบนี้ปกติแหล่งจ่ายไฟปกติ (AC Line Voltage) จะจ่ายพลังงานให้โหลดหรืออุปกรณ์ในขณะที่แบตเตอรี่ไม่ได้ถูกต่อกับโหลด ถ้าเกิดความผิดปกติกับแหล่งจ่ายไฟปกติขึ้น วงจรแบตเตอรี่จะถูกเชื่อมเข้ากับโหลดเพื่อจ่ายพลังงาน การอัดประจุแบบทริกเกิลจะต้องพิจารณาการชดเชยสำหรับการคายประจุขณะไร้ภาระ โดยการอัดประจุแบตเตอรี่ต่อเนื่องที่กระแสคงที่ค่าต่างๆ เพื่อให้แบตเตอรี่ประจุอยู่ในสภาวะอัดประจุเต็มที่ (Fully Charge)ตลอดเวลา กรณีการคายประจุมากเกินไป (Deep Discharge) จะต้องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นเวลานานฉะนั้นวิธีการอัดประจุแบบ สองอัตรา (Two-Rate Charger) กับการอัดประจุแบบแรงดันคงที่จะเหมาะสมมาก ในการอัดประจุเนื่องจากมีโหลดการอัดประจุเริ่มต้นเร็ว แต่การประจุแบบอัตราจังหวะจะเหมาะสมกว่า เพราะไม่จำเป็นต้องชดเชยทางอุณหภูมิ

- **การประจุแบตเตอรี่แบบโฟลท (Float charge)**

ระบบนี้โหลดและแบตเตอรี่ต่อกันแบบขนานกับ วงจรเร็ตติไฟเออร์ ระบบนี้ใช้ได้เฉพาะการอัดประจุแบบแรงดันคงที่เท่านั้น ซึ่งแรงดันที่อัดประจุต้องมีเสถียรภาพการกระเพื่อมอย่างมาก ของแรงดันที่อัดประจุมีผลให้แบตเตอรี่คายประจุเพียงเล็กน้อย การประจุแบบแรงดันคงที่ต้องออกแบบให้จ่ายได้ที่โหลดมีค่าสูงสุด มิฉะนั้นจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะต่ำลง ตามปกติอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ระบบการประจุแบบนี้จะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ในปี ค.ศ. 1976 บริษัท INTEL ได้เริ่มผลิตและจำหน่ายชิปไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล MCS-48 เพื่อใช้ในการควบคุมโดยเฉพาะ และเนื่องจากชิปไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูลนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อใช้ในงานควบคุม ดังนั้นจึงมีวงจรพื้นฐานที่จำเป็นรวมอยู่ภายในชิปแล้ว ทำให้สามารถทำงานได้โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกอีกเท่าใดนัก ไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูลนี้จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือซิงเกิลชิป(Single Chip)

เนื่องจากทางบริษัท INTEL ได้ออกแบบโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-48 ให้มีวงจรพื้นฐานที่จำเป็นรวมอยู่ภายในชิป ทำให้บริษัทผู้ผลิตสินค้าต่าง ๆ นำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ไปประยุกต์ใช้งานในผลิตภัณฑ์ของตนเป็นจำนวนมาก เนื่องจากสามารถลดต้นทุนของการผลิตได้สูง สินค้าที่ผลิตโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้จึงมีอยู่ด้วยกันเป็นจำนวนมาก นับตั้งแต่เครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป เช่น วิดีโอ กล้องถ่ายรูป เครื่องซักผ้า เครื่องถ่ายเอกสาร รวมไปถึงระบบควบคุมการฉีดน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ ระบบสื่อสารข้อมูล เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ และระบบอิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์ ตลอดจนใช้ในการควบคุมเป็นจุด ๆ ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมทั้งนี้เนื่องจากสินค้าหรือระบบที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานจะมีความสามารถในการตัดสินใจทำงานต่าง ๆ ตามสภาพเหตุการณ์ภายนอก ดังนั้นการควบคุมการทำงานจึงทำได้สะดวกและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นมาก

ต่อมาบริษัท INTEL ได้พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ให้มีความสามารถสูงขึ้น เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์บางเบอร์ในตระกูลสามารถทำงานได้เร็วขึ้นโดยใช้พลังงานน้อยลง ทำให้การนำไปใช้งานมีความคล่องตัวสูงยิ่งขึ้น

นับตั้งแต่บริษัท INTEL ได้ทำการผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-48 ขึ้นมาจนกระทั่งปัจจุบันนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-48 ได้มีการพัฒนาการก้าวหน้าไปมาก แต่ทางบริษัท INTEL ก็ไม่ได้หยุดการพัฒนาไว้เพียงเท่านี้ วิศวกรของบริษัท INTEL ได้พยายามหาทางปรับปรุงไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลใหม่ ๆ ออกมาเพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดบางอย่างที่มีอยู่ในตระกูล MCS-48 และเพื่อประยุกต์ใช้ให้ทันกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 จึงได้ถูกผลิตขึ้นมา โดยมีการใช้เทคโนโลยี HMOS (High Performance MOS Technology) ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้มีความจุของหน่วยความจำมากกว่าในตระกูล MCS-48 ถึง 4 เท่า และยังเพิ่มความสามารถของวงจรภายในให้มากขึ้น เช่น มีพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรมเพื่อรับหรือส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ด้วยตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

039127

เพิ่มคำสั่งที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมให้มากกว่าเดิมแต่ใช้เวลาทำงานแต่ละคำสั่งสั้น และคำสั่งที่เพิ่มขึ้นช่วยทำให้การเขียนโปรแกรมให้มากกว่า ด้วยเหตุนี้การนำไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ไปประยุกต์ในงานควบคุมต่าง ๆ จะสามารถทำได้สะดวกและคล่องตัวกว่าการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-48

นอกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แล้ว ทางบริษัท INTEL ยังได้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-96 ซึ่งมีความสามารถสูงกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งสองตระกูลที่กล่าวมาแล้ว โดยมีจุดประสงค์หลักไว้ใช้ในงานควบคุมที่ต้องการความเร็ว ความแม่นยำและความละเอียดสูงมาก เช่น งานทางด้านวิศวกรรมสื่อสาร ระบบการควบคุมหุ่นยนต์ ระบบการประมวลผลภาพแบบดิจิตอล (Digital Image Processing) ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในงานควบคุมขนาดปานกลางดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในขณะนี้คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีความเร็วและประสิทธิภาพสูงพอที่จะควบคุมระบบตั้งแต่ขนาดเล็ก ๆ จนถึงระบบขนาดใหญ่ที่ซับซ้อนมากขึ้น นอกจากนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ยังมีสมาชิกอีกหลายเบอร์ที่ออกแบบไว้เพื่อจุดประสงค์เฉพาะอย่างโดยตรง เช่น มีระบบสื่อสารข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อใช้ควบคุมระบบที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง สามารถใช้ภาษาเบสิกเพื่อให้การเขียนโปรแกรมควบคุมทำได้ระบบที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง สามารถใช้ภาษาเบสิกเพื่อให้การเขียนโปรแกรมควบคุมทำได้สะดวกและง่ายขึ้น มีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลในตัวเองเพื่อใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณอนาลอก จึงเป็นผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ มากมากในปัจจุบัน

3.1 คุณสมบัติของ MCS-51

คุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ เพียงชุดเดียว
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ภายในชิปจำนวน 4 กิโลไบต์ (เบอร์ 8031, 8032 ไม่มีหน่วยความจำส่วนนี้ ส่วนเบอร์ 8052 มีหน่วยความจำส่วนนี้ 8 กิโลไบต์ และสำหรับเบอร์ 83C51FB จะมีหน่วยความจำส่วนนี้รวมทั้งสิ้น 16 กิโลไบต์)
- มีหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปได้อย่างละ 64 กิโลไบต์ แยกจากกัน
- คำสั่งส่วนใหญ่ใช้เวลาทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีพอร์ตที่สามารถรับหรือส่งข้อมูลได้ทั้ง 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ต ๆ ละ 8 บิต หรือสามารถใช้งานเป็นพอร์ตขนาด 1 บิตแยกจากกัน ทำให้เสมือนที่พอร์ตขนาด 1 บิตใช้งานรวมทั้งสิ้น 32 พอร์ต
- รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในตัว โดยสามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูล (baud rate) ได้ตั้งแต่ 300 ถึง 375 กิโลบิตต่อวินาที
- จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ 2 ระดับ
- มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานเป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์เพื่อนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาภายในชิป หรือนับการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอกขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว เพื่อสำหรับนับจำนวนพัลส์ วัดความกว้างของพัลส์หรือใช้วัดช่วงเวลา (ในเบอร์ 8052 จะมี 3 ตัว)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบางส่วน สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับไบต์และระดับบิต เพื่อให้การออกแบบโปรแกรมและการควบคุมระบบทำได้ง่ายขึ้น
- มีคำสั่งคูณและหารเลขขนาด 8 บิตในตัวเอง
- สามารถประมวลผลแบบบูลีน เพื่อใช้ในงานควบคุมโดยเฉพาะ
- ใช้โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-48 (Uupwardly Ccompatible) ได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ที่จัดว่าเป็นเบอร์พื้นฐานในตระกูลนี้คือ เบอร์ 8051, 8751 และ 8031 ซึ่งมีจำนวนขาภายนอก 40 ขาเท่ากัน ใช้เวลาและสัญญาณในการปฏิบัติคำสั่งแต่ละคำสั่งเท่ากัน ใช้แรงดันไฟฟ้าเท่ากัน สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างเบอร์ทั้งสามคือ ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป (On Chip Program Memory) ซึ่งมีไว้เพื่อตอบสนองความต้องการที่ไม่เหมือนกัน ดังจะกล่าวต่อไปดังนี้

- เบอร์ 8751 มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป เป็น EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์ ทำให้สามารถใช้รังสีอัลตราไวโอเลตในการลบโปรแกรมเก่าที่มีอยู่ และบรรจุโปรแกรมใหม่ลงไปได้ทันที ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการแก้ไขหรือปรับปรุงโปรแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 8751 มีไว้ใช้ในงานที่เป็นการพัฒนาเบื้องต้น (Prototyping) ซึ่งจำเป็นต้องทดสอบโปรแกรมเพื่อหาข้อผิดพลาด (Bugs) และแก้ไขให้เรียบร้อยก่อนทำการผลิตจริง การแก้ไขโดยการใช้รังสีอัลตราไวโอเลตและการบรรจุโปรแกรมที่แก้ไขใหม่สามารถทำให้ได้ในจำนวนครั้งที่จำกัด ทั้งนี้เพราะหน่วยความจำที่เป็น EPROM เมื่อใช้ไปนาน ๆ จะเกิดการเสื่อมสภาพทำให้ไม่สามารถบรรจุโปรแกรมเข้าไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เบอร์ 8051 หลังจากทดสอบโปรแกรมจนไม่พบข้อผิดพลาดแล้ว จะเป็นช่วงของการผลิตจริง ซึ่งต้องพิจารณาถึงต้นทุนเป็นอันดับแรก ในการผลิตจริงจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8051 ซึ่งมีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในเป็น ROM (Read Only Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์แทน เพราะราคาต่ำกว่ามาก แต่มีข้อจำกัดตรงที่ไม่สามารถแก้ไขโปรแกรมที่ได้บรรจุไปแล้วไม่ว่าจะด้วยวิธีใดก็ตาม
- เบอร์ 8031 เบอร์นี้ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป แต่สามารถใช้หน่วยความจำเพื่อเก็บโปรแกรมที่อยู่ภายนอกได้มากถึง 64 กิโลไบต์ ซึ่งอาจใช้เป็น ROM, PROM, EPROM ตามความต้องการของผู้ผลิต เบอร์ 8031 นี้มีไว้ใช้ในกรณีที่โปรแกรมมีขนาดเล็กกว่า 4 กิโลไบต์ หรือมากกว่า 4 กิโลไบต์มาก

3.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีสมาชิกในตระกูลหลายเบอร์ด้วยกัน แต่ละเบอร์จะมีคุณสมบัติพิเศษบางอย่างแตกต่างกัน เช่น มีหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายในชิป เพิ่มขึ้นมีวงจรเปลี่ยนค่าสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลในตัว สามารถรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้หลายชนิด ทำกระบวนการ DMA (Direct Memory Access) ได้ในตัว มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์เพิ่มขึ้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ที่นับได้ว่าเป็นเบอร์พื้นฐานสำหรับตระกูล MCS-51 นี้ได้แก่ เบอร์ 8051, 8031, 8751 โดยเบอร์ 8051 จัดเป็นสมาชิกตัวแรกในตระกูล ซึ่งมีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป เป็น ROM ขนาด 4 กิโลไบต์ และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายใน MCS-51 (RAM) เองจำนวน 128 ไบต์ มีพอร์ตขนาด 8 บิต 4 พอร์ต มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต รวม 2 ตัว รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกได้ 2 ชนิด สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทางพอร์ต สื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมีวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานในตัวเอง ส่วนเบอร์ 8751 จะมีคุณสมบัติเหมือนเบอร์ 8051 ทุกอย่าง ต่างกันเพียงชนิดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป ของเบอร์ 8751 จะเป็น EPROM แทนที่จะเป็น ROM ส่วนเบอร์ 8031 จะเหมือนกับเบอร์ 8051 ต่างกันเพียงในเบอร์ 8031 ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป เท่านั้น

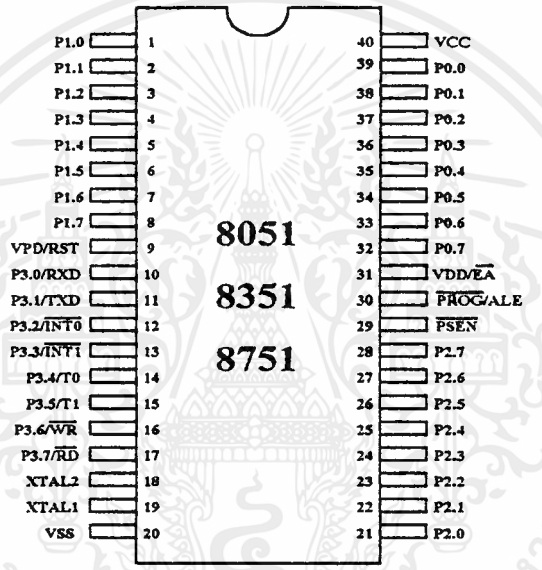
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์ใช้แรงดันไฟเพียง 5 โวลต์ในการทำงาน ส่วนกระแสไฟฟ้าจะแตกต่างกันไปตามชนิดของเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ที่มีตัวอักษร C อยู่ตรงตรงกลางเบอร์เช่น 80C31, 80C5 จะเป็นเบอร์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิปที่ผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยี CHMOS ซึ่งใช้พลังงานในการทำงานน้อยกว่า และสามารถควบคุมการใช้พลังงานของตัวชิป ได้จากโปรแกรมเพื่อการประหยัดพลังงานในระบบ

3.3 ตำแหน่งขาของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8051

หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- ขา V_{ss} (ขา 20) สำหรับต่อลงกราวด์
- ขา V_{cc} (ขา 40) สำหรับต่อแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาด 5 (DC. 5 Volt)
- ขาพอร์ต 0 (ขา 32-39) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต (P0.0-P0.7) แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะถูกปล่อยลอย (มีสถานะ High Impedance) นอกจากใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตแล้ว พอร์ต 0 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วย โดยส่งค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอดเดรสบัสไบต์ต่ำ (A0-A7) และมัลติเพลกซ์กับการรับส่งข้อมูล (D0-D7) จากหน่วยความจำภายนอกในระหว่างการเขียนหรืออ่านข้อมูลโดยมีวงจรพูลอัพภายใน

- ขาพอร์ต 1 (ขา 1-8) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 1 (P1.0 - P1.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ high impedance โดยมีวงจรพูลอัพภายในขา P1.0, P1.1 ในเบอร์ 8052 จะใช้งานในหน้าที่อย่างอื่นนอกเหนือจากใช้เป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปด้วย

ขา P1.0, P1.1 ในเบอร์ 8052 จะใช้งานในหน้าที่อย่างอื่นนอกเหนือจากใช้เป็นอินพุตเอาท์พุตพอร์ตทั่วไปด้วย

- ขาพอร์ต 2 (ขา 21-28) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) ขนาด 8 บิตแบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้สมารถใช้งานเป็นอินพุตเอต์พุตพอร์ตทั่วไปได้โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะ high impedance นอกจากจะใช้งานเป็นอินพุต/เอาต์พุตพอร์ตทั่วไปแล้ว พอร์ต 2 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกด้วย โดยใช้สำหรับส่งค่าแอดเดรสบัสไบต์สูง (A8-A15) และมีวงจรพูลอัพภายใน
- ขาพอร์ต 3 (ขา 10-17) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 3 (P3.0 - P3.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ high impedance โดยใช้วงจรพูลอัพภายใน นอกจากนี้ยังใช้งานในหน้าที่พิเศษต่าง ๆ อีกหลายอย่างดังนี้

  ขา P3.0 ใช้รับข้อมูลจากภายนอกแบบอนุกรม

  ขา P3.1 ใช้ส่งข้อมูลออกไปภายนอกแบบอนุกรม

  ขา P3.2 ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 0

  ขา P3.3 ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 1

  ขา P3.4 สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 0

  ขา P3.5 สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 1

  ขา P3.6 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำภายนอกชิป

  ขา P3.7 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกชิป

การใช้งานพอร์ต 3 ในหน้าที่พิเศษดังกล่าวนี้จะต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้ก่อนทุกครั้ง

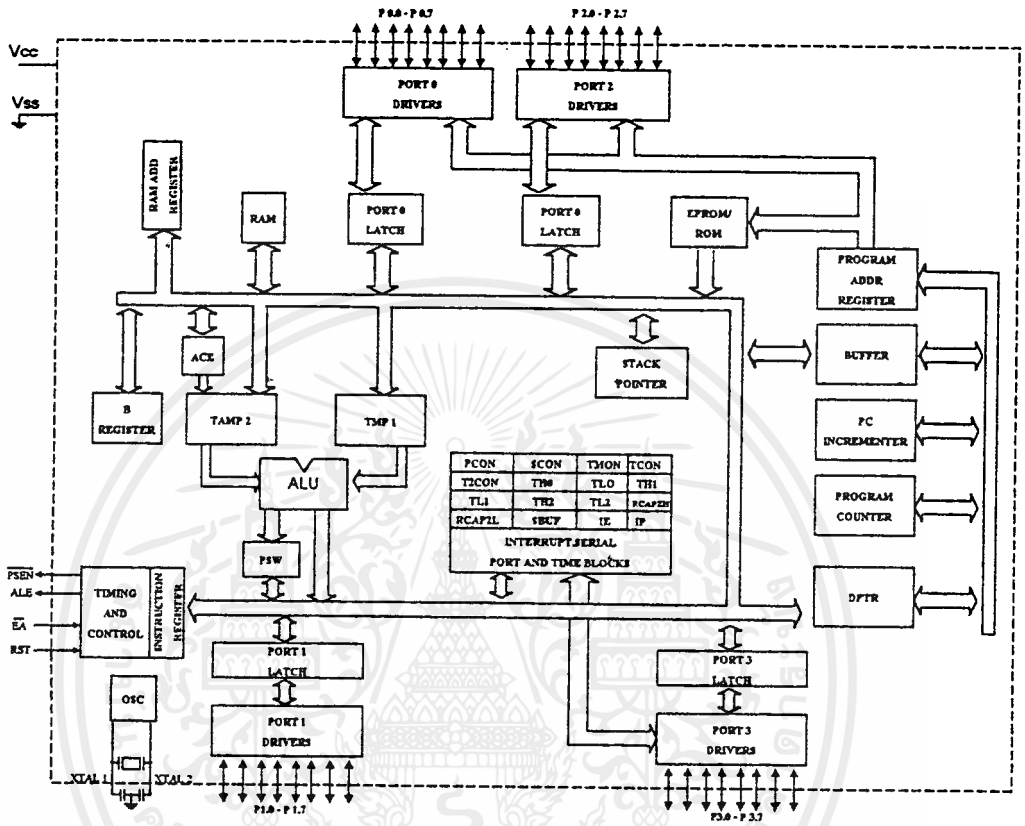
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา RST (ขา 9) ใช้สำหรับการรีเซตวงจรทุกอย่างภายในชิป เพื่อเริ่มการทำงานใหม่การรีเซตใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานหรือเมื่อโปรแกรมเกิดทำงานผิดพลาด เมื่อต้องการรีเซตชิป MCS-51 ขานี้ต้องมีสถานะ 1 เป็นเวลาอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเกิลระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่ โดยต้องต่อตัวต้านทางค่า 8.2 กิโลโอห์มเพื่อทำหน้าที่พูลดาวน์ (รักษาค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีสถานะเป็นกราวด์) และเพื่อให้ตัวชิปรีเซตเองเมื่อเริ่มจ่ายพลังงานให้ต่อตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัดคร่อมระหว่างขา RST กับ V_{CC}
- ขา ALE/PROG (ขา 30) เป็นขาสำหรับใช้ส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (Address Latch Enable) จากพอร์ต 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหรือข้อมูลภายนอก ปกติเมื่อไม่มีการติดต่อหน่วยความจำภายนอกขานี้จะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาด้วยความถี่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ตลอดเวลา ดังนั้นเราสามารถใช้ความถี่ที่ได้จากขานี้ไปใช้งานอย่างอื่นได้ แต่ความถี่ที่ขานี้จะลดลงครึ่งหนึ่งในระหว่างติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป นอกจากนี้ขา ALE ยังใช้สำหรับควบคุมการเขียนโปรแกรมลงไปใน EPROM สำหรับ MCS-51 เบอร์ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น EPROM
- ขา PSEN (ขา 29) ใช้ส่งสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป (Program Strobe Enable) เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมจากภายนอกขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบสองครั้งในแต่ละแมชชีนไซเกิล แต่ในช่วงการเขียนหรืออ่านข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก หรือเมื่อใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปจะไม่มีสัญญาณออกมาจากขานี้
- ขา EA/V_{PP} (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MCS-51 ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายในหรือภายนอกชิป โดยหากขานี้มีสถานะเป็น 0 หมายถึงให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมภายนอก หากขานี้มีสถานะเป็น 1 หมายถึงบังคับให้ MCS-51 ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป และสำหรับ MCS-51 ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป สามารถเลือกให้ทำงานได้ทั้งจากโปรแกรมที่เก็บในหน่วยความจำภายในชิป หรือจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิปด้วยการต่อขา EA กับไฟเลี้ยงหรือกราวด์ตามลำดับ ส่วนใน MCS-51 ที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปให้ต่อขาลงกราวด์เสมอ
- ขา XTAL 1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์
- ขา XTAL 2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นเอาต์พุตออกจากวงจรออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 โครงสร้างภายในของ MCS-51

โครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

3.4.1 โครงสร้างหน่วยความจำภายใน MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็นสองส่วน คือ

- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (program memory)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (data memory)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมจะใช้เก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของชิป MCS-51 บางเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิป แต่บางเบอร์จะไม่มี ทำให้ต้องเก็บโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำภายนอกทั้งหมด ส่วนหน่วยความจำส่วนที่สองคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลซึ่งใช้สำหรับเก็บข้อมูลระหว่างการทำงาน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิปจำนวนหนึ่ง แต่จะมีจำนวนมากหรือน้อยเท่าใดขึ้นกับเบอร์ของชิป

3.4.2 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม

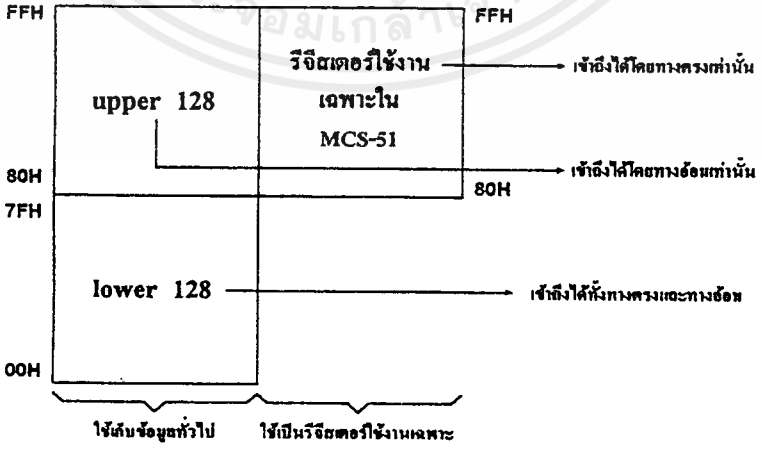
หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมใน MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป(Internal Program Memory) และหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิป (External Program Memory) ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปมีได้ตั้งแต่ 0, 4, 8, 16 กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป

3.4.3 หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของ MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปของ MCS-51 ยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อยดังนี้

- ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป (internal ram)
- ส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (special function register)

หน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่มีอยู่ภายใน MCS-51 หน่วยความจำส่วนนี้มีไว้สำหรับเก็บข้อมูลในขณะทำงาน ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายใน MCS-51 ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเพื่อควบคุมการทำงานและบอกสถานะของซีพียู แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปทั้งสองบริเวณมีดังในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปอย่างน้อย 128 ไบต์ ไปจนถึง 256 ไบต์ ทั้งนี้ขึ้นกับเบอร์ของชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิป บริเวณ 128 ไบต์แรกมีชื่อเรียกว่า lower 128 และในบริเวณ 128 ไบต์หลังที่มีเพิ่มในบางเบอร์มีชื่อเรียกว่า upper 128 ดังแสดงในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.4 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปทั้งสองส่วน

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์หลัง (ตำแหน่ง 80 H ขึ้นไป) จะมีตำแหน่งตรงกับความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (ตำแหน่ง 80H ขึ้นไปเช่นกัน) โดยมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำทั้งสองส่วนไม่เหมือนกัน ดังจะได้กล่าวต่อไปในเรื่องของการเข้าถึงข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

เนื่องจาก MCS-51 ถูกออกแบบไว้สำหรับใช้ควบคุมระบบโดยเฉพาะ จึงทำให้มีความสามารถเฉพาะตัวหลายอย่าง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวงจรภายในชิปที่มีเพิ่มขึ้นจากไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป การควบคุมการทำงานของวงจรภายในไมโครโทรลเลอร์จะกระทำผ่านรีจิสเตอร์ที่ถูกกำหนดหน้าไว้ที่แล้ว ดังนั้นหากต้องการใช้ MCS-51 ให้มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทราบหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะแต่ละตัวในละเอียด รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดจะอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปบริเวณที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะดังได้กล่าวมาแล้ว รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดใน MCS-51 มีดังแสดงในรูปที่ 3.5

8 ไบต์

F8								FF
F0	B							F7
E8								EF
E0	ACC							E7
D8								DF
D0	PSW							D7
C8	(T2CON)		(RCAP2L)	(RCAP2H)	(TL2)	(TH2)		CF
C0								C7
B8	IP							BF
B0	P3							B7
A8	IE							AF
A0	P2							A7
98	SCON	SBUF						9F
90	P1							97
88	TCON	TMOD	TLO	TL1	THO	TH1		8F
80	PO	SP	DPL	DPH			PCON	87

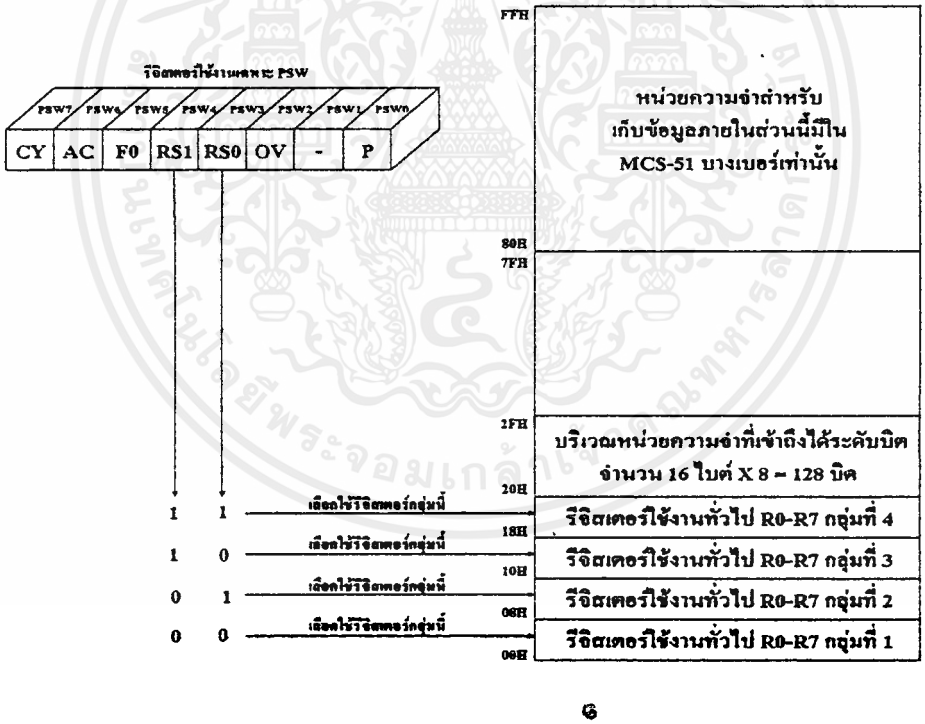
รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างและตำแหน่งของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะใน MCS-51

ในส่วนของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป จะเป็นหน่วยความจำที่อยู่ภายนอกชิป MCS - 51 ซึ่งผู้ใช้ต้องติดตั้งเพิ่มเอง การติดต่อระหว่าง MCS-51 กับหน่วยความจำทั้งสองส่วนจะใช้ขา 32 ถึง 39 (พอร์ต 0) เป็นตัวส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (AO -A7) และใช้รับส่งข้อมูลกับหน่วยความจำด้วย (ใช้เป็นดาต้าบัส) ส่วนค่าแอเดรสไบต์สูง (A8-A15) จะใช้ขา 21-28 (พอร์ต 2) ดังนั้นเมื่อพอร์ต 0 และ พอร์ต 2 ถูกใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก (ทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล) จะทำให้เหลือพอร์ตสำหรับใช้งานอื่น ๆ น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป

MCS -51 มีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปที่ผู้เขียนโปรแกรมสามารถนำมาใช้งานได้คือ รีจิสเตอร์ A , B (อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานโดยเฉพาะ แต่นับเป็นรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปเพราะไม่ถูกกำหนดหน้าที่ใช้งานโดยตรง) และรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ซึ่งอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบบริเวณ 128 ไบต์แรก ดังแสดงในรูปที่ 3.4 รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS-51 มีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วยรีจิสเตอร์จำนวน 8 ตัว (R0-R7) ซึ่งมีชื่อเรียกเหมือนกัน ดังนั้นจำนวนรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS-51 จึงมีทั้งหมด 32 ตัว ในการทำงานขณะใด ๆ รีจิสเตอร์ทั้ง 4 กลุ่ม (R0-R7) จะถูกเลือกใช้งานเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น การเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งใน 4 กลุ่มกระทำโดยการเซตหรือเคลียร์บิต RS0 , RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการเลือกรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 แต่ละกลุ่ม

รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปทั้ง R0-R7 จะมีอยู่ในกลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปทั้ง 4 กลุ่ม ซึ่งจะถูกเลือกใช้งานเพียงกลุ่มเดียวในขณะใดขณะหนึ่ง ค่าที่เปลี่ยนแปลงไปในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปที่ถูกเลือกใช้งานในขณะนั้นจะ ไม่มีผลต่อรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป ที่มีชื่อเดียวกันแต่อยู่คนละกลุ่มเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างเช่นนี้ทำให้มีความสะดวกในการเขียนโปรแกรมเป็นอันมาก โดยเฉพาะการเขียนโปรแกรมที่มีการเรียกใช้โปรแกรมย่อย (Subroutine)

3.4.6 โครงสร้างพอร์ต

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีพอร์ตขนาด 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต (P0 , P1 , P2 , P3) โดยสามารถกำหนดให้ทำงานแบบพอร์ตขนานขนาด 8 บิต 4 พอร์ต หรือจะใช้เป็นพอร์ตขนาด 1 บิตได้ถึง 32 พอร์ต ทั้งนี้ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดให้แต่ละพอร์ตใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตหรือเอาต์พุตอย่างใดอย่างหนึ่งได้อย่างอิสระ

ในกรณีที่ผู้ออกแบบต้องการใช้หน่วยความจำภายนอก ไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลหรือสำหรับโปรแกรม พอร์ต 0 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นดาต้าบัสและแอดเดรสบัสไบต์ต่ำ ส่วนพอร์ต 2 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นตัวส่งค่าแอดเดรสไบร์สูง และบางส่วนของพอร์ต 3 จะถูกส่งสัญญาณควบคุมหรือคอนโทรลบัส (สัญญาณที่ใช้ควบคุมการอ่านหรือการเขียนข้อมูล) แต่หากหน่วยความจำที่ใช้ภายนอกต้องการไม่ถึง 64 กิโลไบต์ พอร์ต 2 ที่ใช้เป็นแอดเดรสบัสไบต์สูงจะไม่ถูกนำมาใช้งานทั้งหมด แต่พอร์ต 0 จะถูกใช้งานทั้ง 8 เส้น เพราะต้องการให้เป็นดาต้าบัส ส่วนพอร์ต 3 จะนำมาใช้ติดต่อกับหน่วยความจำด้วยหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับหน่วยความที่ใช้ภายนอกว่ามีหน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลด้วยหรือไม่ (ต้องการสัญญาณควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูลหรือไม่นั่นเอง) ดังนั้นในการออกแบบระบบหากต้องการใช้หน่วยความจำภายนอกมากขึ้นเพียงใดก็ยิ่งทำให้เหลือจำนวนพอร์ตที่จะนำมาใช้งานลดน้อยลง ในการออกแบบจริงจึงต้องพยายามลดขนาดหน่วยความจำภายนอกให้เหลือน้อยที่สุด

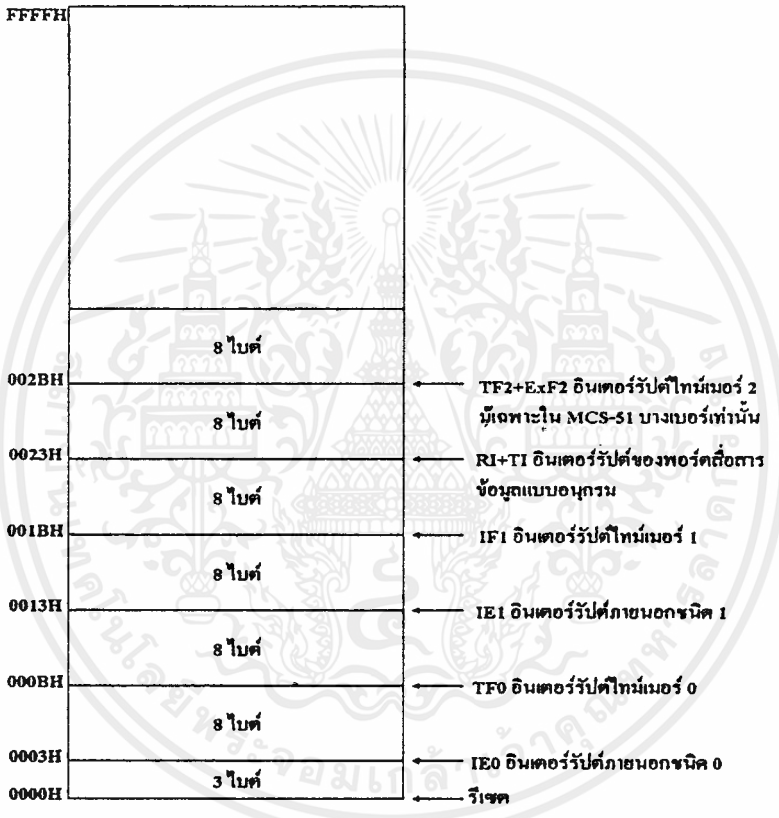
พอร์ต 3 ซึ่งมีขนาด 8 บิต นอกจากจะใช้ส่งสัญญาณสำหรับการอ่านหรือเขียนข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิปแล้ว มันยังถูกใช้เป็นตัวรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ (INT0, INT1) สัญญาณอินพุตที่ต้องการนับสำหรับเคาน์เตอร์ (T0, T1) รวมทั้งใช้ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอก (รับส่งข้อมูลผ่านขา RXD, TXD) อีกด้วย

ภายในแต่ละพอร์ตที่ใช้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุต ผู้ที่ใช้สามารถกำหนดให้ทำงานเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตพอร์ตได้อย่างอิสระ โดยอาศัยการควบคุมจากโปรแกรม ซึ่งสามารถควบคุมให้แต่ละพอร์ตถูกใช้เป็นอินพุตในช่วงเวลาหนึ่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 โครงสร้างการอินเตอร์รัปต์

MCS-51 สามารถรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ถึง 5 ชนิดโดยจะเป็นสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เกิดจากภายนอก 2 ชนิด และที่เกิดจากภายในชิปอีก 3 ชนิด เมื่อมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้น MCS -51 จะละการทำงานโปรแกรมที่กำลังทำอยู่และข้ามไปทำงานโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ (Interrupt Service Routine) ที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ดังแสดงในรูปที่ 3.7

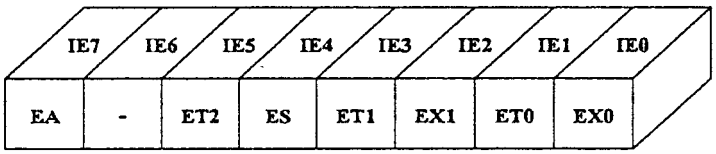


รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งหน่วยความจำของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิดใน MCS -51

เราสามารถเลือกให้ซีพียูใน MCS -51 ถูกอินเตอร์รัปต์โดยสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นได้โดยการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของ MCS -51 ได้ด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE (Interrupt Enable-Register)** เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต รายละเอียดมีดังแสดงในรูปที่ 3.8



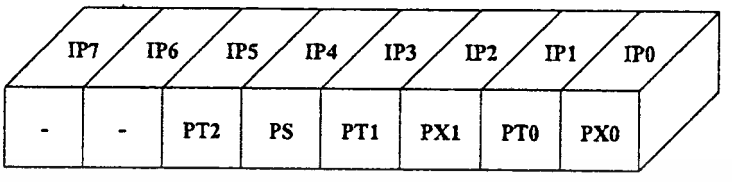
บิต	ชื่อบิต	
IE7	EA	ใช้ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ทั้งหมด 0 : MCS-51 จะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ใดๆทั้งสิ้น 1 : การตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิดจะถูกควบคุมโดยตรงจากบิตที่ทำหน้าที่ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์นี้เช่นกัน
IE6	-	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน (สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 เบอร์ใหม่ๆในอนาคต
IE5	ET2	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 2 เมื่อเกิด overflow (มีใช้เฉพาะ MCS-51 บางเบอร์ที่มีไทม์เมอร์ 2 เช่น 8052)
IE4	ES	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IE3	ET1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 1 เมื่อเกิด overflow
IE2	EX1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1
IE1	ET0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 0 เมื่อเกิด overflow
IE0	EX0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0

หมายเหตุ ถ้าบิตที่ควบคุมการตอบสนองสัญญาณต่ออินเตอร์รัปต์แต่ละบิต มีค่าเป็น 1 หมายถึง อนุญาตให้ MCS-51 ตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ หากมีค่าเป็น 0 หมายถึงไม่ให้ MCS-51 ตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เกิดขึ้น

รูปที่ 3.8 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (IE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP (Interrupt Priority Register)** เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต รายละเอียดมีดังแสดงในรูปที่ 3.9



บิต	ชื่อบิต	
IP7	-	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน (สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 เบอร์ใหม่ๆในอนาคต)
IP6	-	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน (สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 เบอร์ใหม่ๆในอนาคต)
IP5	PT2	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 2
IP4	PS	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IP3	PT1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 1
IP2	PX1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1
IP1	PT0	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 0
IP0	PX0	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0

หมายเหตุ ค่าในบิตที่กำหนดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิด หากเป็น 1 หมายถึง กำหนดให้มีลำดับความสำคัญสูง หากเป็น 0 หมายถึง กำหนดให้มีลำดับความสำคัญต่ำ

รูปที่ 3.9 รีจีสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 ไทม์เมอร์ / เคาเตอร์

MCS-51 มีรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่สามารถนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาหรือแมชชีนไซเกิลของวงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน (ทำงานเป็นไทม์เมอร์) หรือนับจำนวนครั้งของการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอก (นับจำนวนพัลส์ภายนอก) ที่ขา T0, T1 ของพอร์ต 3 (ทำงานเป็นเคาน์เตอร์) รีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว คือรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 และรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 ตามลำดับ (ในเบอร์ 8052 มีรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 2 เพิ่มให้อีก 1 ตัว) เมื่อต้องการใช้ไทม์เมอร์ 0 หรือไทม์เมอร์ 1 จะต้องโหลดค่าที่ต้องการนับไปไว้ที่รีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 หรือรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 และเมื่อนับได้ครบจำนวนที่ตั้งไว้จะมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์เพื่อบอกให้ซีพียูทราบ

การควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ สามารถควบคุมได้จากวงจรภายนอก (ควบคุมด้วยสัญญาณที่ขา INT0, INT1) หรือควบคุมจากคำสั่งในโปรแกรม ดังนั้นรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์ใน MCS-51 จะสามารถวัดช่วงห่างของเวลา วัดความกว้างของพัลส์หรือนับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายนอก ที่เปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแล้ว รวมทั้งใช้กำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่มีคาบเวลาแน่นอนได้

3.4.9 พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

MCS -51 สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกอื่น ๆ แต่อย่างใด ในด้านอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูลก็สามารถกำหนดค่าได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยสามารถเลือกอัตราเร็วในการการรับส่งข้อมูล (baud rate) มาตรฐานได้ตั้งแต่ 110, 1.2K, 2.4K, 4.8K, 9.6K, 357K ตามมาตรฐานของ UART นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการทำงานที่แตกต่างกันได้ถึง 4 รูปแบบ ตามความเหมาะสมในแต่ละงาน

3.5 กลุ่มคำสั่งใน MCS-51

คำสั่งที่ใช้ควบคุมการทำงานของ MCS-51 มีสองประเภทคือ คำสั่งที่ต้องการข้อมูลมาดำเนินการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ และคำสั่งที่ไม่ต้องการข้อมูลมาดำเนินการ คำสั่งแต่ละคำสั่งที่ต้องการข้อมูลหรือโอเปอร์แรนด์ (operand) อาจจะมีวิธีในการเข้าถึงข้อมูลในโอเปอร์แรนด์ได้วิธีเดียวหรือหลายวิธีขึ้นกับคำสั่งแต่ละคำสั่ง รายละเอียดของวิธีการเข้าถึงข้อมูลของโอปอร์แรนด์แต่ละวิธีมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรง (Direct Addressing)

เป็นวิธีกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำโดยตรงในคำสั่ง บริเวณหน่วยความจำที่สามารถอ้างได้โดยวิธีนี้จะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปเฉพาะบริเวณ 128 ไบต์แรก และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปรวมทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

3.5.2 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม (indirect addressing)

เป็นวิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม โดยค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะอยู่ในรีจิสเตอร์เฉพาะบางตัว นั่นคือวิธีนี้จะใช้ค่าในรีจิสเตอร์เป็นตัวชี้ตำแหน่งหน่วยความจำ หน่วยความจำที่สามารถใช้วิธีการเข้าถึงแบบนี้ได้คือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปบริเวณ 128 ไบต์ล่างและ 128 ไบต์บน รวมทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป รีจิสเตอร์ที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำมีดังต่อไปนี้

- รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0, R1 ของแต่ละกลุ่ม
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SP (stack pointer)
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR (data pointer)

การใช้วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมนี้ รีจิสเตอร์ที่เก็บค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะต้องระบุเครื่องหมาย "@" ไว้ข้างหน้า ดังตัวอย่าง

```
MOV     A,@R0
MOVX    @DPTR,A
```

3.5.3 วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (Register Instruction)

ข้อมูลที่ต้องการจะอยู่ในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ของแต่ละกลุ่มรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานในขณะนั้น โดยในการทำงานจริงๆซีพียูจะตรวจสอบกลุ่มรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานจากบิต RS0, RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW เอง

3.5.4 วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของคำสั่ง (Register-Specific)

คำสั่งบางคำสั่งของ MCS-51 จะระบุไว้แล้วว่าต้องดำเนินการกับข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวใด เช่น ACCUMULATOR, DPTR, SP ดังนั้นในรหัสคำสั่ง (Opcode) ของคำสั่งประเภทนี้ MCS-51 จะรู้ได้เองว่าต้องประมวลผลกับรีจิสเตอร์ตัวใด ด้วยเหตุนี้คำสั่งในกลุ่มนี้จึงไม่ต้องบอกตำแหน่งของรีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะคำสั่งนี้แต่อย่างใดเลย เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV     A,#data
MOV     DPTR,#data
```

จากตัวอย่างนี้ เราไม่จำเป็นต้องระบุตำแหน่งของรีจิสเตอร์ A,DPTR ในรหัสคำสั่งของคำสั่งทั้งสองแต่อย่างใด เพราะ MCS-51 จะทราบเองว่าเป็นรีจิสเตอร์ทั้งสองจากรหัสของคำสั่ง

3.5.5 วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง (Immediate Constants)

เป็นการกำหนดค่าข้อมูลให้กับคำสั่งโดยตรง ข้อมูลที่นำมาประมวลผลในคำสั่งจะอยู่ตามหลังรหัสคำสั่ง ทั้งนี้จะต้องใช้เครื่องหมาย "#" ระบุหน้าข้อมูลที่ต้องการ เช่น

```
MOV     A,#100
```

3.5.6 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ตัวชี้อ้างอิง (Indexed Addressing)

ข้อมูลที่ใช้วิธีการอ้างแบบนี้จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในหรือภายนอกชิปเท่านั้น จุดประสงค์ของการอ้างข้อมูลแบบนี้ มีไว้เพื่อใช้ในการเปิดหาค่าข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมซึ่งข้อมูลไม่สูญหายแม้ไม่มีพลังงาน ในการทำงานของคำสั่งที่ใช้การอ้างวิธีนี้ จะใช้ค่าของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR หรือ PC มารวมกับค่าในรีจิสเตอร์ A เพื่อชี้ไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมซึ่งเก็บข้อมูลไว้ ดังนั้นค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR, PC จะต้องมีค่าเท่ากับตำแหน่งต้นของหน่วยความจำส่วนที่เก็บข้อมูลที่ต้องการ ส่วนค่าของรีจีสเตอร์ A จะเป็นตัวเลือกข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำ เช่น

```
MOVC    A,@A+DPTR
MOVC    A,@A+PC
```

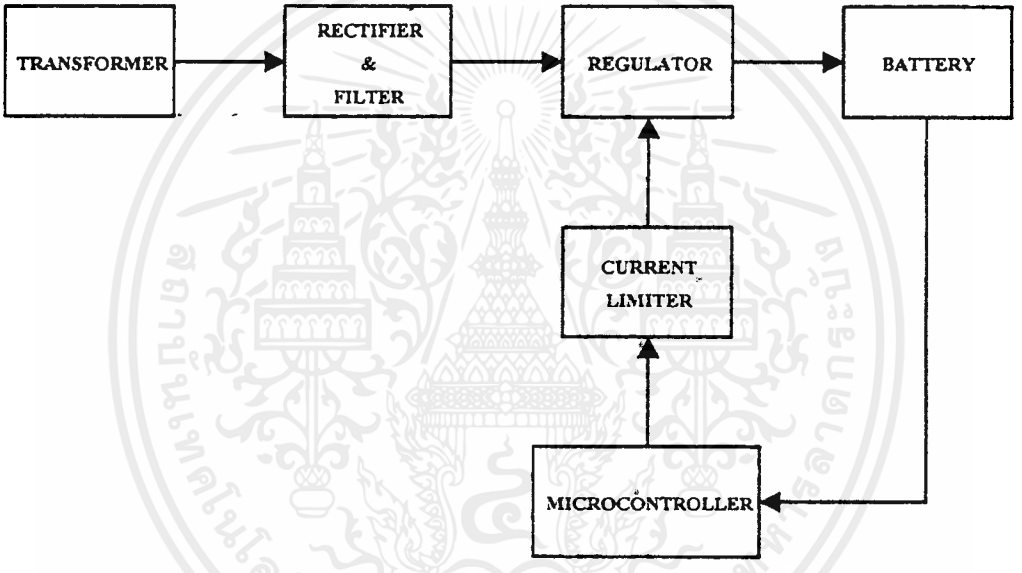
ความจริงการอ้างข้อมูลวิธีนี้ยังมีที่ใช้ในกลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม โดยการบังคับให้โปรแกรมกระโดดข้ามไปทำงานที่ตำแหน่งใด ๆ ในหน่วยความจำซึ่งมีค่าตำแหน่งเท่ากับผลรวมของค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR กับรีจิสเตอร์ A ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
JMP     @A+DPTR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วงจรประจุแบตเตอรี่

เครื่องประจุแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงชนิดหนึ่ง ซึ่งจะให้ระดับแรงดันที่สูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่และจ่ายกระแสค่าที่เหมาะสมให้กับแบตเตอรี่ได้ โดยจะต้องมีการควบคุมการทำงานที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่แต่ละชนิด การทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่สามารถเขียนเป็น Black Diagram ได้ดังรูปที่ 4.1



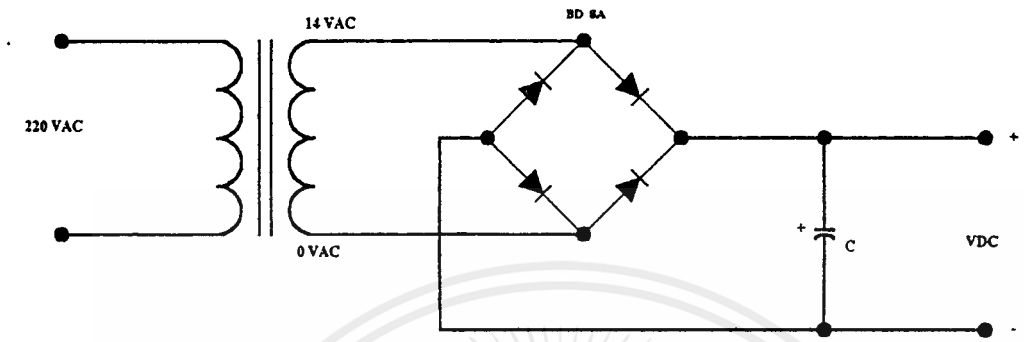
รูปที่ 4.1 Block Diagram ของเครื่องประจุแบตเตอรี่

จาก Block Diagram การทำงานจะเริ่มจากหม้อแปลง (Transformer) ทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 VAC มาเป็น 14 VAC แล้วนำมา Rectifier & Filter เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 20 VDC

จากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงดังกล่าวจะถูกรักษาระดับแรงดันให้คงที่ (Regulator) โดยค่าแรงดันดังกล่าวจะมีค่าสูงกว่าแรงดันดังกล่าวจะมีค่าสูงกว่าแรงดันของแบตเตอรี่เล็กน้อยเพื่อนำไปประจุให้กับแบตเตอรี่ที่เอาท์พุท จากนั่นที่เอาท์พุทจะมีการป้อนกลับ (Feedback) มายังไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อตรวจสอบค่ากระแสและแรงดันที่ประจุแบตเตอรี่ แล้วนำค่าดังกล่าวมาประมวลเพื่อไปควบคุมการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่อีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ภาค Rectifier and Filter



รูปที่ 4.2 วงจรภาค Rectifier and Filter

หลักการออกแบบภาคนี้ จะกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบว่า $I_o = 2$ A และ $V_{r(P-P)} \leq 2V$ จะได้

$$V_P = \sqrt{2}V_{AC(RMS)} = 14\sqrt{2} = 19.8V \tag{4.1}$$

แรงดันเอาท์พุท

$$V_{DC} = V_P - 2V_f - 0.5V_{r(P-P)} \tag{4.2}$$
$$= 19.8 - 1.2 - 1 = 17.6V$$

ค่าความจุของตัวเก็บประจุ (Capacitance)

$$C \geq \frac{I_O}{V_{r(P-P)}F_r} = \frac{2}{2 \times 100} = 10{,}000\mu F \tag{4.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพิกัดแรงดันของตัวเก็บประจุ

$$V_C \geq 1.5V_{DC} = 1.5 \times 17.6 = 26.4V \quad (4.4)$$

ค่าพิกัดแรงดันของไดโอด

$$V_D \geq V_P = 17.6V \quad (4.5)$$

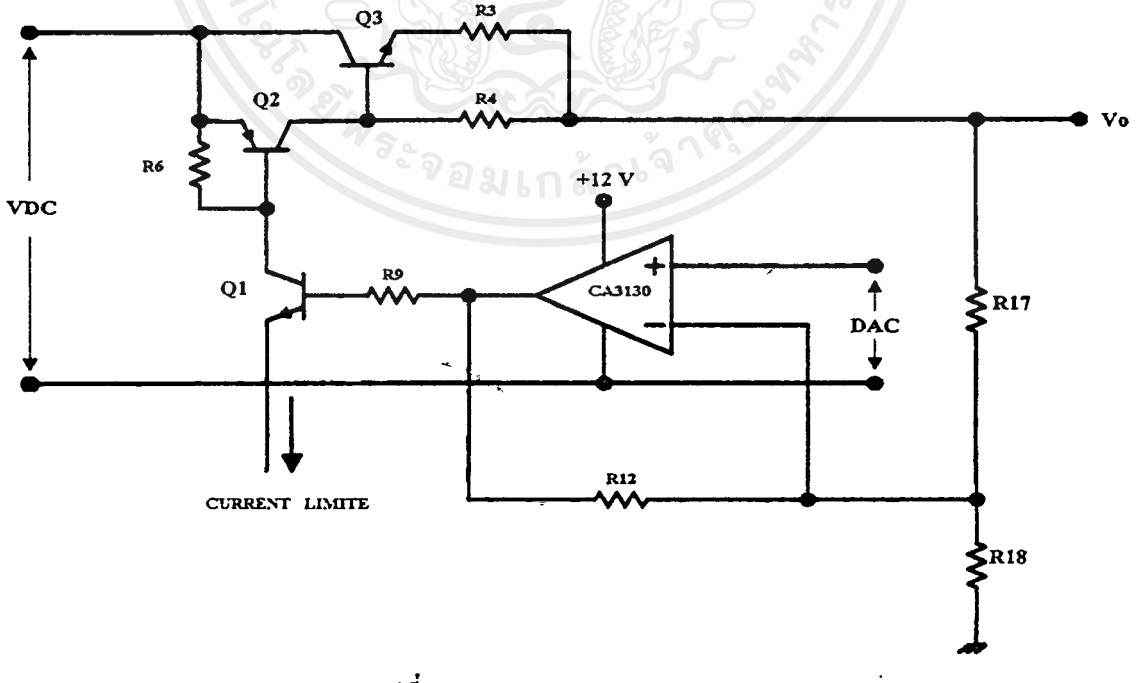
ค่าพิกัดกระแสของไดโอด

$$I_D \geq 0.5 I_O = 1\ A \quad (4.6)$$

ค่าพิกัดกระแสของหม้อแปลงทางด้านทุติยภูมิ

$$I_S \geq 1.65 I_O = 1.65 \times 2 = 3.3\ A \quad (4.7)$$

4.2 วงจรภาค Regulator



รูปที่ 4.3 วงจรภาค Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

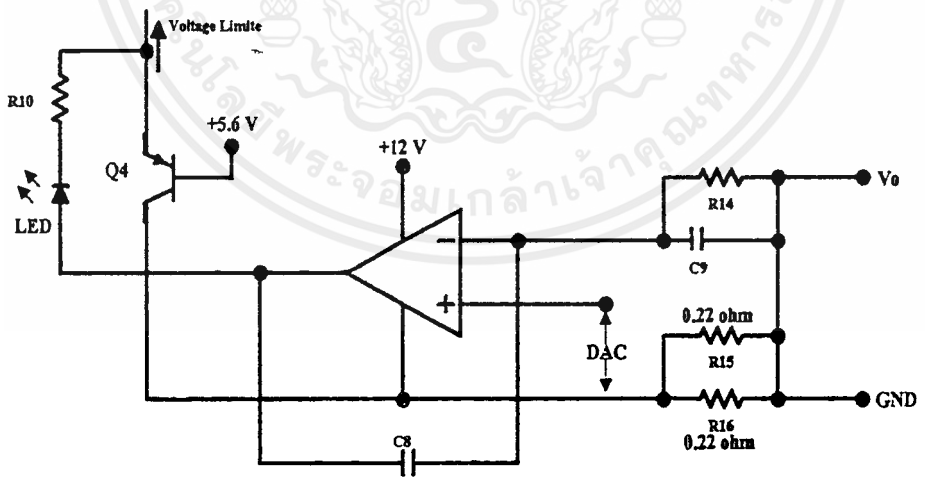
จากรูปที่ 4.2 เป็น Series Regulator ซึ่งโดยทั่วไปถ้านำไปใช้รักษาแรงดันเอาท์พุทที่ต่ำกว่าไปเลี้ยงของออปแอมป์ (Op - Amp) แล้วจะต่อให้เอาท์พุทของออปแอมป์ไว้กับขาเบสของ Power Transistor (Q_3) แต่เนื่องจากโครงงานนี้เป็นการรักษาระดับแรงดันสูงกว่าไฟเลี้ยงของออปแอมป์ จึงต้องเพิ่มทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 เพื่อช่วยขับให้ Q_3 ทำงาน โดยอาศัยการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างแรงดันของวงจร Digital to Analog Converter (DAC) และ แรงดันเอาท์พุทที่ถูกแบ่งแรงดันโดย R_{17} และ R_{18}

การคำนวณค่า R_{17} และ R_{18} จะอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า เมื่อแรงดันเอาท์พุทสูงสุดต้องตกคร่อม $R_{18} = V_Z = 5.6$ V และบังคับให้กระแสผ่าน 1 mA จะได้

$$R_{18} = \frac{V_Z}{I} = \frac{5.6}{10^{-3}} = 5.6\ K\ \Omega \qquad (4.8)$$

$$R_{17} = \frac{V_O - V_Z}{I} = \frac{17.6 - 5.6}{10^{-3}} = 12\ K\Omega \qquad (4.9)$$

4.3 วงจร Current Limiter



รูปที่ 4.4 วงจรภาค Current Limiter

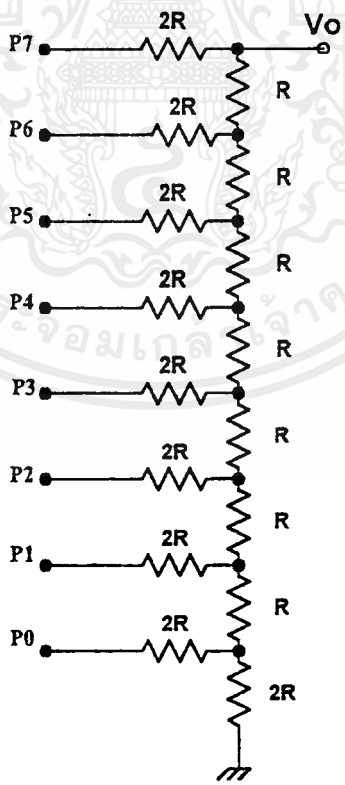
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำกัดกระแสนั้นจะต้องควบคุมวงจร Digital to Analog Converter (DAC) ที่ป้อนให้ขา 3 ของออปแอมป์ เช่นถ้าต้องการจำกัดกระแสไว้ที่ 2 A จะต้องควบคุมวงจร DAC ให้มีแรงดันเท่ากับ 0.22 V เป็นต้น จากนั้นแรงดันออปแอมป์จะทำการเปรียบเทียบแรงดันที่ขา 2 และ 3

ถ้าแรงดันที่ขา 2 น้อยกว่าขา 3 ออปแอมป์จะสามารถขับกระแสทางเอาท์พุทเพิ่มได้อีก ถ้าสมมุติว่ากระแสที่เอาท์พุทไหลผ่าน R = 0.11 Ω มีแรงดันตกคร่อมที่ขา 2 จนสูงกว่าแรงดัน DAC ที่ขา 3 จะทำให้เอาท์พุทออปแอมป์จะมีแรงดันสูงประมาณ 12 V ทำให้ LED ถูกไบอัสตรงติดสว่าง ซึ่งแสดงถึงว่าเอาท์พุทของวงจรจะถูกจำกัดกระแสไว้ และแรงดันเอาท์พุทจะมีค่าตามกฎของโอห์ม โดยในขณะนี้วงจรจะทำตัวเสมือนเป็น Constant Current Source นั่นเอง

4.4 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก (Digital to Analog Converter : DAC)

วิธีนี้ใช้หลักการไบนารี่เวต โดยใช้ความต้านทานเพียง 2 ค่า แสดงในรูปที่ 4.5 วิธีนี้เรียกว่า R/2R Ladder D/A Converter



รูปที่ 4.5 แสดงวงจร R/2R Ladder D/A Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการความต้านทาน 2 ค่า สมมุติว่าสวิตช์ D_7 ซึ่งเป็นสวิตช์ในบิทที่มีนัยสำคัญสูงสุดต่อกับแรงดันอ้างอิง 5 โวลท์เท่านั้น ในขณะที่สวิตช์ตัวอื่นต่อลงกราวด์ทั้งหมด ดังนั้น 2R สองตัวจึงต่อขนานกัน และต่ออนุกรมกับ R ไปเรื่อยๆ จนเหลือเพียง 2R สองตัวต่ออนุกรมกันเท่านั้น เป็นต้น

$$\Delta V = \frac{V_{REF}}{2^8 - 1} \tag{4.10}$$

$$V_o = \frac{V_{REF}}{2^8}\left(128S_7 + 64S_6 + 32S_5 + 16S_4 + 8S_3 + 4S_2 + 2S_1 + S_0\right) \tag{4.11}$$

4.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter : ADC)

A/D Converter ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณอินพุทที่เป็นอนาลอกให้เป็นจำนวนจำกัดของดิจิตอลบิท ผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของ "WORD" ทางดิจิตอลซึ่งจะกลายเป็นรหัสเลขฐานสองที่แทนระดับแต่ละระดับของสัญญาณอนาลอก ในขณะที่กำลังทำการแปลงสัญญาณอยู่

ความละเอียดของ A/D Converter จะคล้ายกับความละเอียดของ D/A Converter อย่างมาก กล่าวคือ จำนวนบิททางเอาท์พุทมีหลาย ๆ บิท ความละเอียดของ A/D Converter ตัวนั้นก็จะมีมากขึ้น

ค่าเวลาการแปลงผัน (Conversion Time) เป็นเกณฑ์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งของ A/D Converter ซึ่งการแปลงสัญญาณจากอนาลอกให้กลายเป็นดิจิตอลนั้นไม่ได้เกิดขึ้นทันทีแต่ต้องผ่านกระบวนการต่างๆ ด้วยเหตุที่ผลลัพธ์ต้องการเวลาค่าขณะหนึ่งที่จะทำการสุ่ม(Sample) สัญญาณอินพุทและให้สัญญาณดิจิตอลที่เป็นรหัสไบนารี่ออกมาที่เอาท์พุทดังนั้นค่าเวลาการแปลงผันคือ ช่วงเวลาที่ต้องการกระทำกระบวนการให้เสร็จสิ้นซึ่งมีค่าประมาณเป็นไมโครวินาที(ความเร็วสูง) หรือมิลลิวินาที (ความเร็วธรรมดา) เนื่องจากกระบวนการแปลงสัญญาณต้องการต้องการความแม่นยำสูง แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจึงจำเป็นต้องมีในวงจร

4.5.1 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Theory)

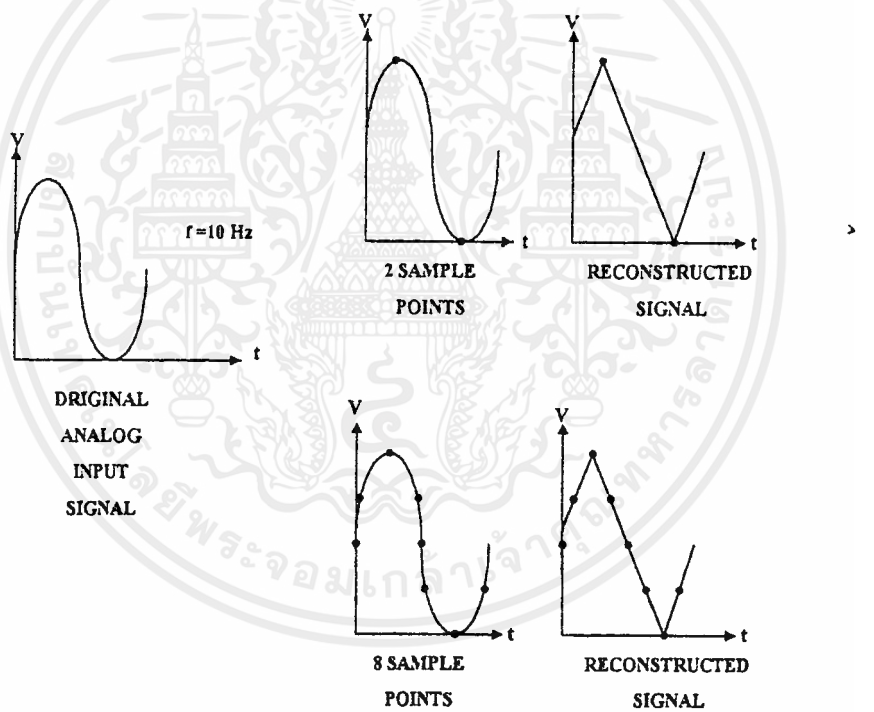
เนื่องจาก A/D Converter ต้องการค่าเวลาขณะหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิตอล ช่วงเวลาช่วงหนึ่งจะใช้สำหรับการสุ่มตัวอย่าง(Sampling) ของสัญญาณ ตัวอย่างเช่น A/D Converter สามารถเปลี่ยนสัญญาณเสร็จสมบูรณ์ได้ภายใน 1 ms ดังนั้นมันจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเปลี่ยนสัญญาณได้ 1,000 ครั้งใน 1 วินาที (ทางทฤษฎี) อัตราการเปลี่ยนสัญญาณสูงสุดมีค่าเท่ากับส่วนกลับของค่าเวลาการเปลี่ยน

$$Conversion_rate = \frac{1}{Conversion_time} \tag{4.12}$$

A/D Converter จะทำการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณด้วยอัตราต่ำสุดเป็น 2 เท่าของความถี่สูงสุด ของสัญญาณอินพุทที่เข้ามา อัตราการสุ่มนี้เรียกว่า " Nyquist Rate " พิจารณาสัญญาณอนาลอกที่เป็นคลื่นรูปซายน์ 10 H_z จ่ายให้กับตัว ADC ตามรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การสุ่มหลาย ๆ ช่วง จากสัญญาณอินพุทอนาลอกจะมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณดั้งเดิม เมื่อมีการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จาก D/A Converter

อัตราต่ำสุดของการสุ่มตัวอย่างเป็น 20H_z ซึ่งจะให้ข้อมูลดิจิตอลขนาด 2 บิทออกมาในแต่ละไซเคิล ถ้าความถี่ 10 H_z เป็นความถี่สูงสุดที่เข้ามายังตัว A/D Converter ค่าเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณสูงสุดเป็น 1/20 H_z หรือ 500 ms เป็นต้น

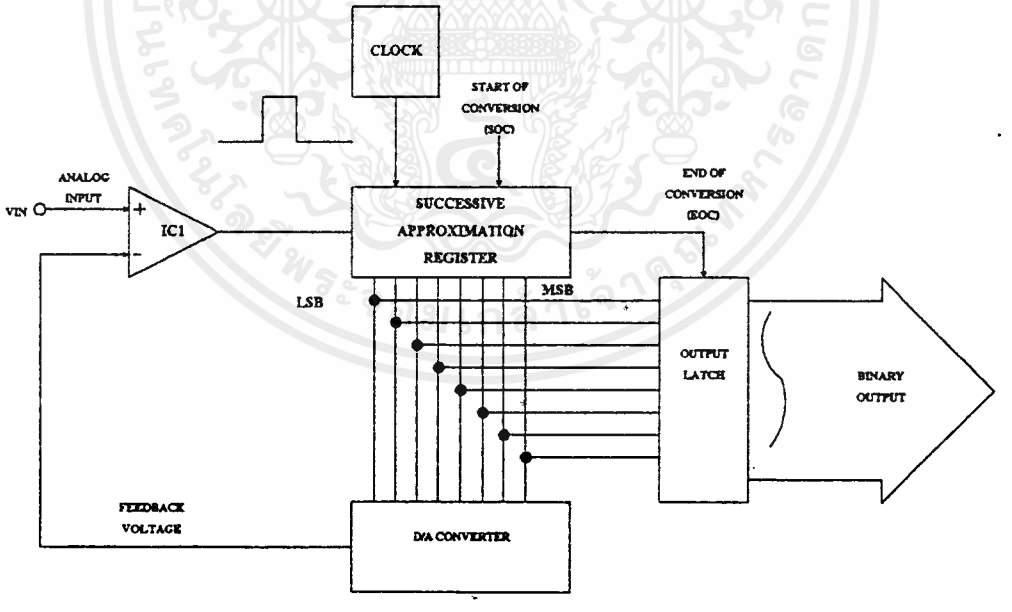
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของ A/D Converter ก็คือต้องเพิ่มอัตราการสุ่มขึ้นในขณะที่คาบเวลาเท่าเดิม อัตราการสุ่ม 8 จุดต่อไซเคิล ต้องการอัตราการสุ่มของส่วนประกอบความถี่สูงสุดอินพุท 8 ครั้ง เช่น ความถี่อินพุท 10 H_z จะต้องสุ่มตัวอย่างที่ 80 H_z ดังนั้นควรจะมีค่าเวลาการเปลี่ยนเป็น 1/80 H_z หรือ 12.5 ms ถ้าหากไม่สามารถสุ่มตัวอย่างได้เร็วพอต่อสัญญาณอินพุทที่เปลี่ยนแปลงไป ข่าวสารข้อมูลที่บรรจุในสัญญาณอนาลอกทางอินพุทจะสูญหายไป

4.5.2 Successive-approximation ADC

เทคนิคแบบการประมาณค่าหลาย ๆ ครั้งมีชื่อย่อว่า SA ซึ่งย่อมาจากคำว่า " Successive Approximation " เป็นเทคนิคที่น่าเลือกใช้เพราะมีราคาถูก มีความละเอียดพอสมควรและเป็น A/D Converter ที่มีความเร็วสูง เทคนิคการประมาณค่าหลาย ๆ ครั้งเป็นเทคนิคที่มีความสามารถสูงและใช้งานได้ดี ไม่มีการออสซิลเลต แต่กระบวนการจะเข้าใจได้ยากกว่าเทคนิคแบบอื่นๆ

หลักสำคัญอยู่ที่ Successive Approximation Register (SAR) เป็นอุปกรณ์ที่มีจุดประสงค์แตกต่างจากวงจรนับทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 Successive Approximation Register (SAR) เป็นตัวเร่งความเร็ว
ของกระบวนการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสัญญาณอนาลอกถูกป้อนเข้ามา และพัลส์การแปลงเริ่มต้น (Start Conversion pulse : SOC) ถูกป้อนให้กับตัว SAR พัลส์สัญญาณนาฬิกาลูกแรกที่ป้อนให้กับตัว SAR จะ "ON" เอาท์พุทของบิทนัยสูงสุด ดังนั้นจึงเป็นการปรับให้เอาท์พุทของ D/A Converter เป็น 50% ของแรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ ตัว SAR จะมองไปยังเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบว่าเอาท์พุทของ D/A Converter มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าสัญญาณอนาลอกทางอินพุทถ้าแรงดันของ D/A Converter มีค่ามากกว่าวงจรเปรียบเทียบจะยังคงอยู่ในสภาวะ "OFF" ดังนั้นตัว SAR จะ "OFF" บิทนัยสูงสุดลง และให้ชื่อว่าสภาวะ "0" ถ้าแรงดันของ D/A Converter มีค่าน้อยกว่าสัญญาณอนาลอกทางอินพุท วงจรเปรียบเทียบจะยังคงทำงานอยู่ ดังนั้นตัว SAR จะยังคงปล่อยให้บิทนัยสำคัญสูงสุด "ON'' อยู่และเรียกว่าสภาวะ "1" ซึ่งสภาวะ "1" หรือ "0" นี้จะกระทำภายในพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาเพียงพัลส์เดียวบนสัญญาณนาฬิกาถัดไปตัว SAR จะ "ON" บิทนัยสูงสุดอันดับ 2 และทำการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้อีกครั้งหนึ่งจากวงจรเปรียบเทียบถ้าสัญญาณจาก D/A Converter ครั้งใหม่นี้มีค่ามากกว่าแรงดันอินพุท เอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบยังจะไม่มี ดังนั้นตัว SAR จะ "OFF" บิทนัยสูงสุดอันดับ 2 ทิ้ง และเรียกว่า "0" แต่สัญญาณจาก D/A Converter มีค่าน้อยกว่า วงจรเปรียบเทียบจะยังคงทำงานและตัว SAR จะปล่อยให้บิทนัยสูงสุดอันดับ 2 นี้ "ON"

ตัว SAR จะพิจารณาแต่ละบิทด้วยวิธีเดียวกัน (บิทนัยสูงสุดถึงบิทนัยต่ำสุด) จนกระทั่งทุกๆ บิทถูกพิจารณาหมด เนื่องจาก 1 บิท ถูกหาค่าภายใน 1 พัลส์ A/D Converter ขนาด 8 บิทจึงใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 8 พัลส์ สามารถทำการแปลงได้จนจบกระบวนการ เมื่อบิทนัยต่ำสุดถูกพิจราณาเสร็จสิ้นแล้ว ตัว SAR จะส่งสัญญาณสิ้นสุดการแปลงผัน (End of Conversion : EOC) ไปทำการค้างผลลัพธ์ที่ได้ซึ่งเป็นเลขฐานสองทางเอาท์พุทไว้

4.5.3 Quantizing Error

ลักษณะเฉพาะตัวของ A/D Converter อีกตัวหนึ่งคือ Quantizing error ซึ่งมีเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณอนาลอกทางอินพุท ในระหว่างที่ทำการแปลงสัญญาณอยู่

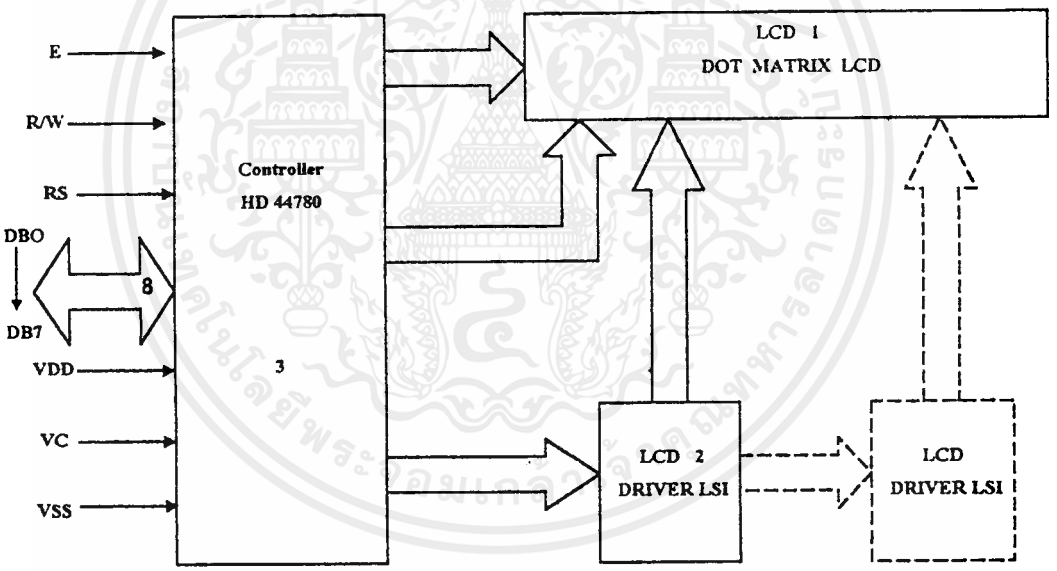
สัญญาณอนาลอกจะถูกป้อนให้กับวงจรเปรียบเทียบและ A/D Converter ต้องการเวลาเพื่อที่จะสร้างสัญญาณดิจิตอลออกมาทางเอาท์พุท ถ้าแรงดันอินพุทเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในระหว่างการแปลงสัญญาณ ไบนารี่เอาท์พุทสุดท้ายจะแทนระดับแรงดันที่สุดท้ายของวัฏจักรแทนที่จะเป็นช่วงเริ่มต้น เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุทขึ้น เช่นในกรณีของแรงดันไฟตรง ในกรณีนี้จะไม่เกิด Quantizing Error ขึ้น วิธีหนึ่งที่สามารถกำจัด Quantizing Error ได้คือใช้วงจร S/H (Sampling and Hold Circuit) ก่อนวงจรเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตช์อิเลคทรอนิกส์จะปิดวงจรเพื่อทำการสุ่มสัญญาณอนาลอกทางอินพุท ตัวเก็บประจุ C_1 มีหน้าที่เก็บประจุค่าของสัญญาณอินพุทที่เข้ามา ต่อมาสวิตช์จะเปิดออก ดังนั้นจึงเป็นการกำจัดผลกระทบที่เกิดจาก Quantizing Error ทิ้งไป เพราะตัวเก็บประจุยังคงเก็บค่าของสัญญาณอนาลอกที่สุ่มไว้ โดยไม่คำนึงถึงสัญญาณอินพุทจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เมื่อต้องการแปลงสัญญาณในช่วงเวลาถัดไปวงจรก็จะทำการสุ่มสัญญาณขึ้นใหม่อีกครั้ง

4.6 ส่วนแสดงผลชนิด LCD module

ปัจจุบัน LCD ที่มีขายในท้องตลาดส่วนใหญ่จะประกอบเป็นมอดูลเพื่อให้สะดวกในการใช้งาน โดยจะมีส่วนประกอบทั่วไปดังในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างทั่วไปของ LCD module

LCD module ที่จะกล่าวต่อไปนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะ character LCD module ซึ่งจะเรียกย่อ ๆ ว่า LCM โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Dot Matrix LCD : เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แสดงผล ซึ่งใช้หลักการหักเหของแสงผ่านผลึกโดยจะประกอบไปด้วยจุด (Pixel) จำนวนมากที่สามารถบังคับให้ติดหรือดับได้ทุกจุด

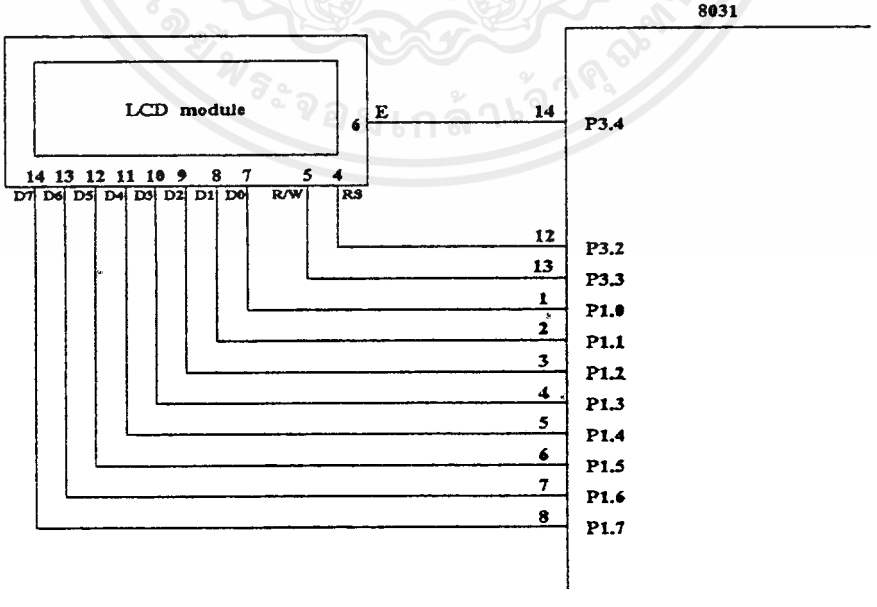
2. Driver : เป็นวงจรที่ใช้ขับ LCD ส่วนใหญ่จะใช้ชิปเบอร์ HD44110H

3. Controller : เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการทำงานทั้งหมดของ LCD Module โดยจะรับข้อมูลจากภายนอกมาจัดการให้ LCD แสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะใช้ชิปเบอร์ HD44780 ซึ่งมีใช้งานในแบบ character LCD Module

การใช้ LCD Module ผู้ใช้เพียงแต่ศึกษาและทำความเข้าใจในส่วนคอนโทรลเลอร์ของ LCM เท่านั้น เพราะส่วนนี้เป็นส่วนที่รับข้อมูลที่ต้องการแสดงผลจากวงจรภายนอกและควบคุมการทำงานทั้งหมดของ LCM โดยจะกล่าวถึงเฉพาะชิปที่เป็นคอนโทรลเลอร์เบอร์ HD44780 เท่านั้น ส่วนชิปคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่นส่วนใหญ่จะมีการใช้งานที่คล้ายกับเบอร์นี้มาก

ชิปคอนโทรลเลอร์เบอร์ HD44780 เป็นชิปของบริษัท HITACHI สามารถต่อใช้งานเพื่อควบคุม LCM กับคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ได้ทั้งแบบ 4 bit 2 Operation หรือแบบ 8 bit 1 Operation ดังนั้นชิปเบอร์นี้สามารถอินเตอร์เฟสกับไมโครโปรเซสเซอร์ได้ทั้งแบบ 4 บิต และ 8 บิต

เนื่องจากไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดาต้าบัสขนาด 8 บิต ดังนั้นเราจะกล่าวถึงเฉพาะการติดต่อในแบบ 8 bit 1 Operation เท่านั้น ตัวอย่างวงจรการอินเตอร์เฟส MCS-51 กับ LCM มีดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการอินเตอร์เฟส MCS-51 กับ LCM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากในรูปจะเห็นว่า LCM ติดต่อกับ MCS-51 โดย

- ใช้ขา P1.0-P1.7 เป็นดาต้าบัส (DB0-DB7) ในการติดต่อ
- ใช้ขา P3.2 เป็นสัญญาณ RS
- ใช้ขา P3.3 เป็นสัญญาณ R/W
- ใช้ขา P3.4 เป็นสัญญาณ EN (E)

การทำความเข้าใจการใช้งาน LCM จำเป็นต้องทราบรายละเอียดดังต่อไปนี้เสียก่อน

1. LCM มีหลายขนาด แต่ทุกขนาด (ที่เป็นเฉพาะ character LCD module) จะมีคำสั่งในการควบคุมเหมือนกัน ต่างกันเพียงขนาดของหน่วยความจำในการแสดงผล หรือ DDRAM (Data display RAM) เท่านั้น
2. แผนผังเวลา (timing diagram) ในการติดต่อกับ LCM
3. คำสั่งในการควบคุม LCM

- RS : เนื่องจากในชิปคอนโทรลเลอร์มีรีจิสเตอร์อยู่ 2 ประเภท คือ Command register หรือ Instruction register และ data register โดยรีจิสเตอร์ทั้งสองจะถูกเลือกโดยสัญญาณ RS ดังนี้

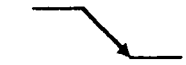
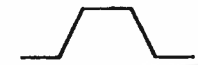
  สัญญาณ RS = 0 หมายถึงเลือกใช้ Data Register

  สัญญาณ RS =1 หมายถึงเลือกใช้ Instruction register
- R/W (Read/Write) เป็นสัญญาณที่ใช้เลือกว่าจะทำการเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก LCM โดย

  สัญญาณ R/W = 0 หมายถึงต้องการอ่านข้อมูลจาก LCM

  สัญญาณ R/W = 1 หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยัง LCM
- E (Enable) มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RS	R/W	E	OPERATION
0	0		Write Instruction Code
0	1		Read Busy Flag And Address Counter
1	0		Write Data
1	1		Read Data

ตารางที่ 4.1 แสดงการทำงานของสัญญาณ E

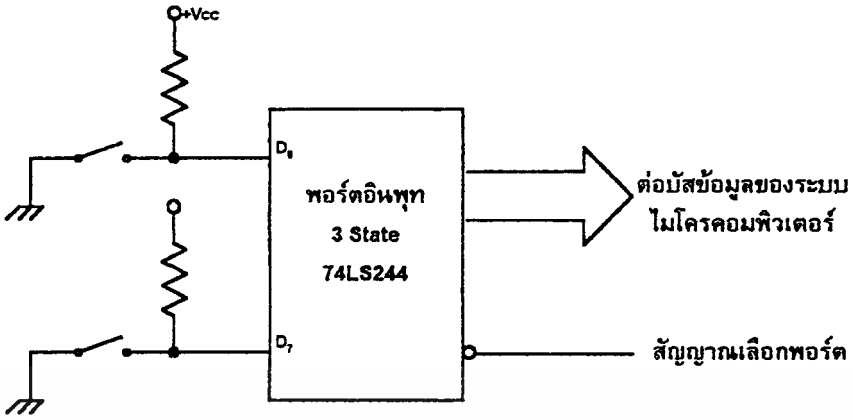
จากแผนผังเวลาในการตรวจสอบ busy flag และจากตารางจะเห็นว่าในการเขียนรหัสคำสั่ง (instruction code) ทุกครั้ง

- RS และ RW ต้องมีค่าเป็น 0 และส่งข้อมูลไปในขณะที่สัญญาณ E เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ในการเขียนข้อมูลทุกครั้ง
- RS = 1 และ RW = 0 และส่งข้อมูลไปขณะที่สัญญาณ E เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ในการอ่าน Busy Flag และ Address Counter ทุกครั้ง
- RS = 0 , RW = 1 และรับข้อมูลเข้ามาในขณะที่สัญญาณ E เป็น 1 ในการอ่านข้อมูลทุกครั้ง
- RS = 1 , RW = 1 และรับข้อมูลเข้ามาในขณะที่สัญญาณ E เป็น 1

4.7 ส่วนรับข้อมูล Keyboard

สวิตช์เป็นอุปกรณ์พื้นฐานอย่างหนึ่งสำหรับระบบไมโครคอมพิวเตอร์ เราใช้สวิตช์เพื่อเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบางอย่างที่ต้องการ เช่นการเข้ารหัส ลิมิตสวิตช์ หรืออื่น ๆ โดยจะทำการต่อสวิตช์ที่บิตใด ๆ ของพอร์ตที่ใช้เป็นอินพุต ลักษณะของการต่อสวิตช์เพื่อเป็นอินพุตจะสามารถต่อได้ดังรูปที่ 4.10

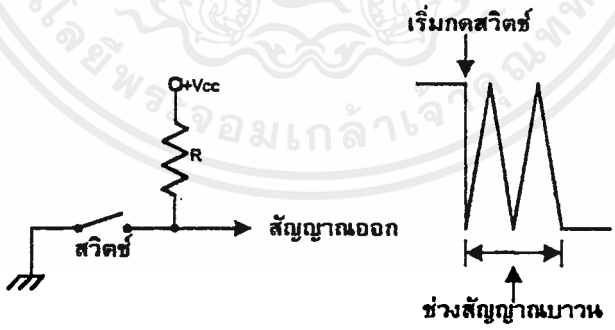
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 การต่อสวิตซ์เพื่อเป็นอุปกรณ์อินพุต

จากรูปที่ 4.10 D_7 - D_0 ของพอร์ตอินพุตต่อกับสวิตซ์และมีรีซิสเตอร์เพื่อยกระดับ (Resistor pull up) ดังนั้นในสภาวะปกติคือ เมื่อสวิตซ์ต่าง ๆ ไม่ถูกกดที่บิตต่าง ๆ จะมีระดับลอจิก 1 การตรวจจับการกดสวิตซ์ จะทำโดยการตรวจสอบว่าที่บิตใดมีระดับลอจิกเป็น 0

ในการกดสวิตซ์โดยทั่ว ๆ ไปจะปรากฏพัลส์ที่ไม่ต้องการขึ้นมา ซึ่งเกิดผลเนื่องจากการกระเด้งของหน้าสัมผัสปรากฏการณ์นี้เรียกว่า บาวนซ์ (Bounce) ดังรูปที่ 4.11 วิธีการแก้บาวนซ์ (Debounce) สามารถทำได้ด้วยวิธีการทางฮาร์ดแวร์ หรือ ซอฟต์แวร์ก็ได้ วิธีการทางฮาร์ดแวร์โดยทั่วๆ ไปจะใช้เรียกวงจรแนนด์แลทซ์ หรือวงจรโมโนสเตเบิลเพื่อแก้สัญญาณบาวนซ์นี้



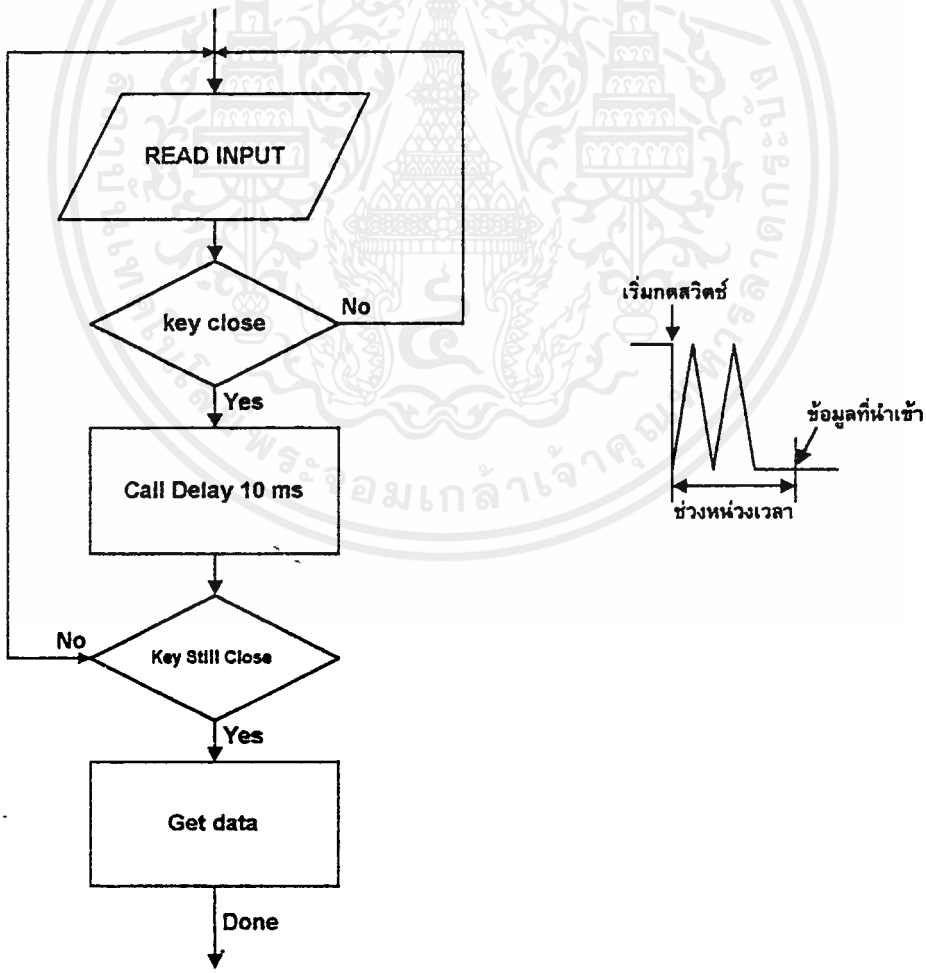
รูปที่ 4.11 ลักษณะของสัญญาณบาวนซ์

สัญญาณในลักษณะบาวนซ์นี้จะมีผลต่อวงจรลอจิกอย่างมาก เช่น ถ้าเอาสัญญาณที่จุดนี้ไปเป็นอินพุตของวงจรนับ จะทำให้การนับผิดพลาด คือเมื่อกดสวิตซ์ 1 ครั้งควรได้ 1 พัลส์ แต่ถ้ามีบาวนซ์เกิดขึ้นจะทำให้ได้พัลส์มากกว่า 1 พัลส์ ค่าที่ได้จึงมากกว่าความต้องการ การที่ได้ใช้ซีพียู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่านข้อมูลจากสวิตซ์ในลักษณะเช่นนี้ ข้อมูลที่ได้อาจจะไม่แน่นอน คืออาจจะได้เป็น 1 หรือ 0 ก็ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดสัญญาณส่วนที่ไม่ต้องการนี้ออกไป ซึ่งอาจทำได้โดยวิธีการทางด้านฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ แต่วิธีที่นิยมใช้ในระบบคอมพิวเตอร์คือใช้ซอฟต์แวร์ เพราะไม่ต้องทำการเพิ่มเติมอุปกรณ์อื่น ๆ อีกเลย

การแก้สัญญาณบาวนซ์โดยใช้ซอฟต์แวร์ โปรแกรมจะทำงานโดยการตรวจสอบการกดสวิตซ์ครั้งแรก แล้วรอสักระยะเวลาอีกช่วงหนึ่งเพื่อให้ผ่านช่วงของสัญญาณบาวนซ์ จากนั้นจึงอ่านสถานะของสวิตซ์อีกครั้งหนึ่ง แล้วทดสอบว่าสวิตซ์ยังถูกกดอยู่หรือไม่ ถ้าสวิตซ์ยังคงถูกกดอยู่ จึงนำข้อมูลที่ได้เข้าไป วิธีการนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้โดยทั่ว ๆ ไป และจะใช้เวลาที่หน่วงประมาณ 10 mS พิจารณาผังงานเพื่อทำการดีบาวนซ์สวิตซ์ดังรูปที่ 4.12 โดยกำหนดให้สวิตซ์ต่ออยู่ที่บิต D_7 ของพอร์ตอินพุต



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างผังงานการแก้บาวนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

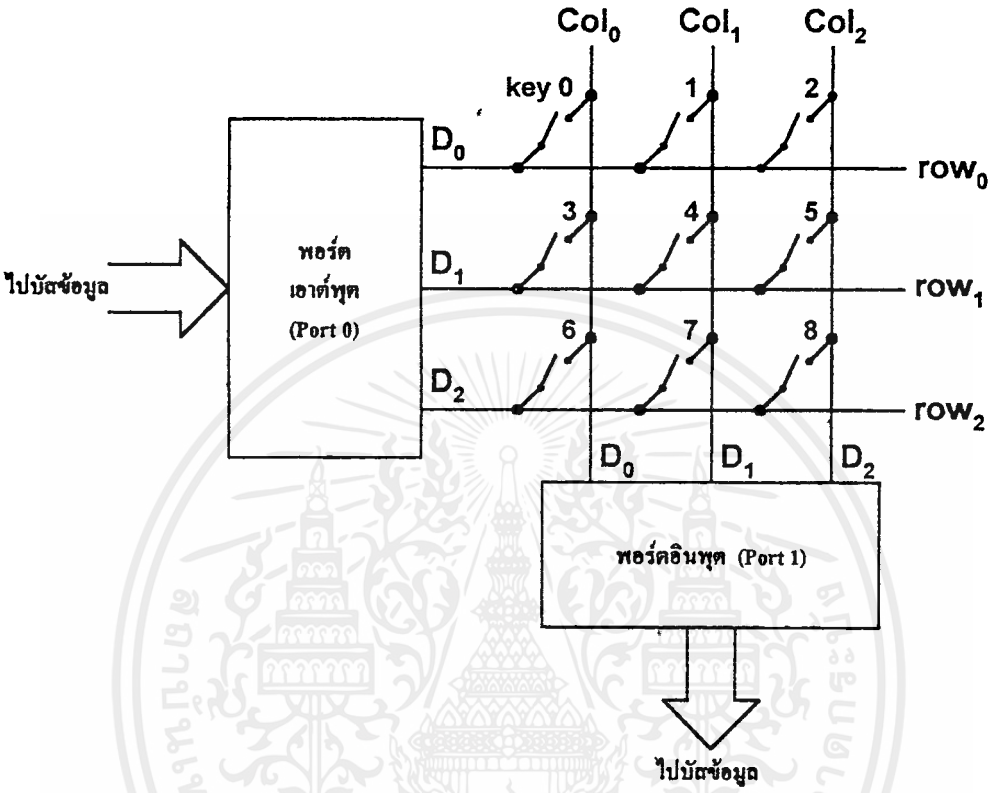
การต่อสวิตซ์แบบปกติจะใช้ 1 บิตต่อสวิตซ์ 1 ตัว แต่ในการใช้งานจริงของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ต้องการใช้สวิตซ์หรือคีย์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นถ้าใช้ 1 สวิตซ์ต่อ 1 บิต จะทำให้สิ้นเปลืองพอร์ต สวิตซ์แบบที่ประหยัดพอร์ตและเป็นที่นิยมใช้แบบหนึ่ง คือ การต่อแบบเมตริกซ์ ซึ่งจะทำให้ลดจำนวนพอร์ตลง ซึ่งตัวอย่างของวิธีการต่อแบบนี้แสดงดังรูปที่ 4.13 จากรูปเห็นได้ว่าการต่อวงจรสวิตซ์แบบนี้ ทำให้ลดสายข้อมูลลงไปมาก เช่น ถ้าพิจารณาจากจำนวนของสวิตซ์และจำนวนของสายเมื่อต่อแบบธรรมดาและจำนวนของสายเมื่อต่อแบบเมตริกซ์ จะเป็นดังตารางที่ 4.2

จำนวนสวิตซ์	จำนวนสาย	
	ต่อแบบธรรมดา	ต่อแบบเมตริกซ์
1X1	1	1
2X2	4	4
3X3	9	6
4X4	16	8
5X5	25	10
8X8	64	16

ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนสายกับจำนวนสวิตซ์ในการต่อแบบเมตริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

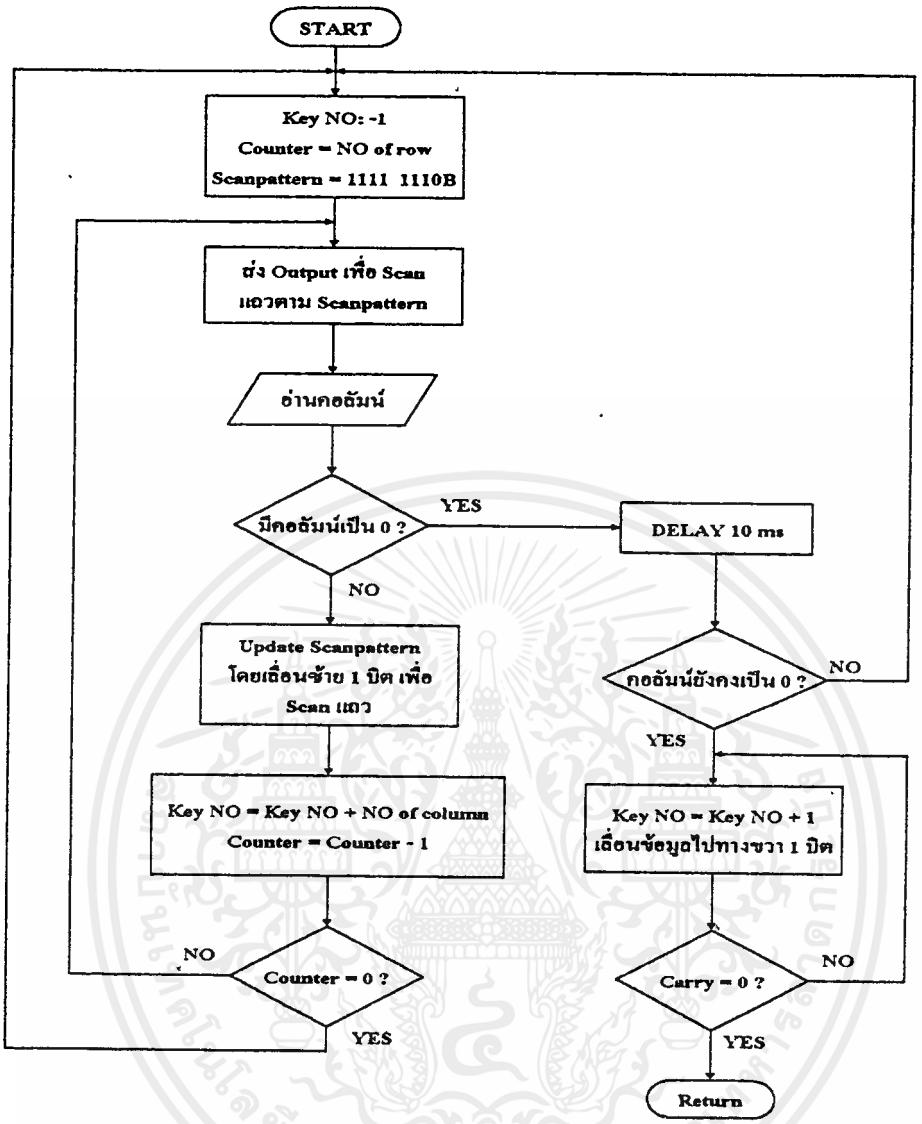
จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ชัดว่า เมื่อจำนวนของสวิตช์มากขึ้นก็จะทำให้ประหยัดสายข้อมูลมากขึ้นไปด้วย ข้อยุ่งยากทางด้านฮาร์ดแวร์จะลดลง และการตรวจสอบสวิตช์ที่กดจะใช้วิธีการทางซอฟต์แวร์ช่วยจัดการ



รูปที่ 4.13 การต่อสวิตช์แบบเมตริกซ์แบบ 3X3

หลักการทำงานของโปรแกรมจะใช้วิธีการกวาด (Scanning) เพื่อหาว่าสวิตช์ใดที่ถูกกด โดยอาจเริ่มต้นที่แถวที่ 0 โดยกำหนดให้แถวที่ 0 มีระดับเป็น 0 ส่วนแถวอื่น ๆ มีระดับเป็น 1 แล้วทำการตรวจสอบทีละคอลัมน์ โดยเริ่มจากคอลัมน์ที่ 0 ตรวจสอบว่ามีระดับเป็น 0 หรือไม่ ถ้ามีระดับเป็น 0 แสดงว่าสวิตช์ที่ตำแหน่งนี้ถูกกด ถ้าไม่มีก็เลื่อนไปคอลัมน์ถัดไป และจะทำการเลื่อนและตรวจสอบทั้งทางด้านคอลัมน์และแถวต่อๆ ไปจนกว่าจะหมดหรือกระทั่งพบสวิตช์ที่ถูกกด และเมื่อพบว่าสวิตช์ใดถูกกดแล้วต้องทราบว่าสวิตช์นั้นคือสวิตช์ตำแหน่งใดเพื่อที่จะได้ตีความหมายหรือสร้างรหัสขึ้นมาตามสวิตช์ตำแหน่งนั้น ๆ ตัวอย่างการตรวจสอบเพื่อหาตำแหน่งของสวิตช์ที่ถูกกดสามารถทำได้ดังผังงานดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผังงานของการอ่านคีย์ที่ต่อแบบเมตริกซ์

จากผังงานแสดงการอ่านสวิตช์ที่ต่อแบบเมตริกซ์ดังรูปที่ 4.14 โดยจะตรวจสอบว่าเมื่อมีการกดสวิตช์ สวิตช์นั้นคือสวิตช์อะไรที่จะได้สร้างรหัสของสวิตช์ที่กดนั้น การตรวจสอบสามารถอธิบายเป็นลำดับได้ดังนี้

1. ตั้งหมายเลขสวิตช์ไว้ที่ -1 ตัวนับ = จำนวนของแถว ตั้งแพทเทอร์นของการกวาดโดยให้ทุกบิตเป็น 1 ยกเว้นบิตของแถว 0 ให้เป็นระดับลอจิก 0
2. ส่งแพทเทอร์นที่ตั้งไว้ไปยังพอร์ตเอาต์พุตของคีย์บอร์ด
3. อ่านข้อมูลจากพอร์ตอินพุต ตรวจสอบว่ามีคอลัมน์ใดเป็น 0 หรือไม่ ถ้ามีให้ไปลำดับ7
4. เปลี่ยนค่าของแพทเทอร์นที่ใช้ในการกวาดโดยการเลื่อนไปทางซ้าย 1 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

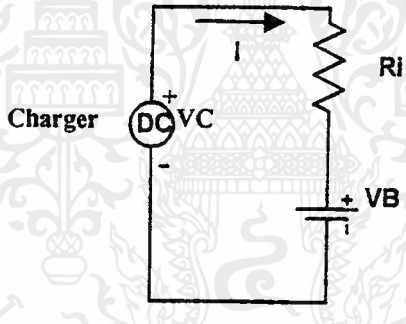
4. เปลี่ยนค่าของแพทเทอร์นที่ใช้ในการกวาดโดยการเลื่อนไปทางซ้าย 1 บิต
5. เพิ่มค่าหมายเลขสวิตซ์โดยการบวกด้วยจำนวนของคอลัมน์
6. ลดค่าของตัวนับแถวลงไป 1 ถ้าตัวนับไม่เท่ากับ 0 ให้กลับไปลำดับที่ 2 และถ้าเท่ากับ 0 แล้ว แสดงว่าไม่มีการกดสวิตซ์ ให้กลับไปเริ่มต้นใหม่
7. เมื่อพบการกดสวิตซ์ ให้หน่วงเวลาประมาณ 10 mS เพื่อการดีบาวนซ์ หลังจากนั้นอ่านข้อมูลที่พอร์ตอินพุตใหม่ เพื่อตรวจสอบว่าสวิตซ์ยังคงถูกกดอยู่หรือไม่ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงให้กลับไปลำดับที่ 1 ใหม่
8. เพิ่มค่าหมายเลขสวิตซ์ขึ้นอีก 1 เลื่อนข้อมูลที่อ่านได้ทางคอลัมน์ไปทางขวา 1 บิต
9. ทำการทดสอบแฟลกตัวทด ถ้าเท่ากับ 1 กลับไปลำดับที่ 8
10. เก็บค่าหมายเลขสวิตซ์ที่ได้ แล้วกลับสู่โปรแกรมหลัก เพื่อนำค่าหมายเลขสวิตซ์ที่ได้ไปดีความเพื่อทำงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองประจุแบตเตอรี่จะใช้วิธีการอัดประจุแบบรวม (Combination Charging) หรือวิธี 2 Step คือ ในตอนเริ่มต้นจะอัดประจุแบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging) ก่อน แล้วจากนั้นจะเปลี่ยนมาใช้วิธีประจุแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charging) หลักการที่ใช้ในการเปลี่ยนวิธีการประจุกระแส เราจะใช้วิธีการตรวจสอบจากค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ (R_i) โดยที่คุณสมบัติของแบตเตอรี่จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานภายใน (R_i) ตามปริมาณประจุภายในแบตเตอรี่ เราจึงสามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายใน (R_i) ได้จากปริมาณกระแส (I) ที่ไหลในวงจร



รูปที่ 5.1 วงจรสมมูลของการประจุแบตเตอรี่

การทดลองประจุแบตเตอรี่นี้ เราจะแบ่งการทดลองออกตามชนิดของแบตเตอรี่ โดยแบ่งเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid) ชนิดนิเกิล-เมตัลไฮไดร์ (Nickel-Metal Hydry) และชนิดนิเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium)

การประจุให้กับแบตเตอรี่จะเกิดปัญหาในเรื่องความจำของแบตเตอรี่ (Memory Effect) ขึ้นกับแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมี่ยม (Nickel-Cadmium) ส่วนแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ จะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องนี้ ดังนั้นทุกครั้งที่ทำการประจุแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมี่ยม (Nickel-Cadmium) จะต้องทำการคายประจุให้หมดเสียก่อนจึงจะนำมาประจุกระแสได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 การทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid)

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองประจุกระแส Lead-Acid Battery 6 V 10 Ah Standard charging

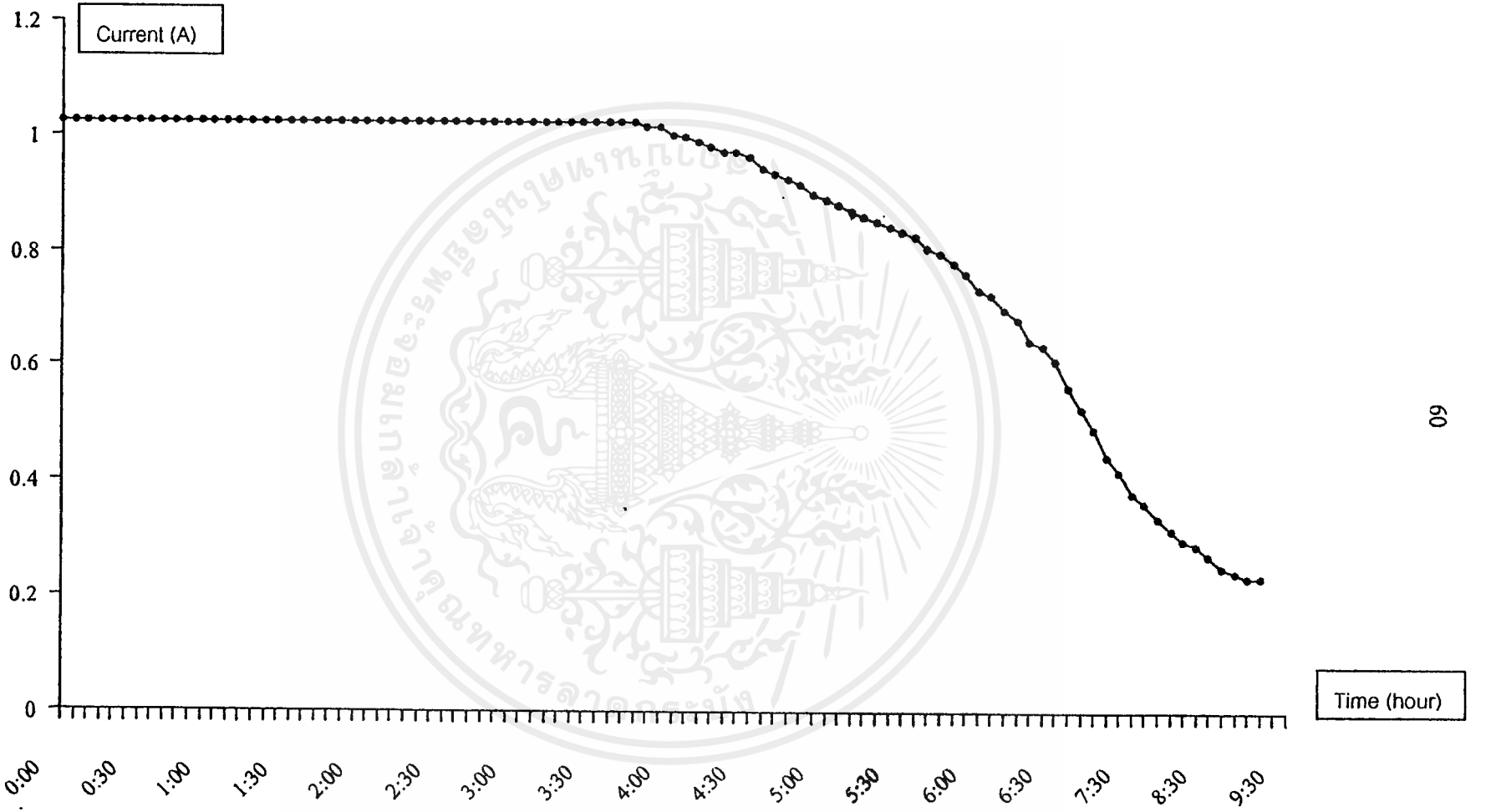
เวลา (ชม.)	กระแส (A)
0:00	1.027
3:45	1.027
3:50	1.018
4:00	1.001
4:05	1.000
4:10	0.991
4:15	0.982
4:20	0.973
4:30	0.964
4:35	0.945
4:40	0.936
4:45	0.927
4:50	0.918
4:55	0.900
5:00	0.891
5:05	0.882
5:10	0.873
5:15	0.864
5:20	0.855
5:25	0.845
5:30	0.836
5:35	0.827
5:40	0.809
5:45	0.800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) ผลการทดลองประจุกระแส Lead-Acid Battery 6 V 10 Ah Standard charging

เวลา (ชม.)	กระแส (A)
5:50	0.782
5:55	0.764
6:00	0.736
6:05	0.727
6:10	0.700
6:15	0.682
6:20	0.645
6:25	0.636
6:30	0.609
6:40	0.564
6:50	0.527
7:00	0.491
7:10	0.445
7:20	0.418
7:30	0.381
7:40	0.363
7:50	0.336
8:00	0.318
8:10	0.300
8:20	0.290
8:30	0.272
8:40	0.254
8:50	0.245
9:00	0.236

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



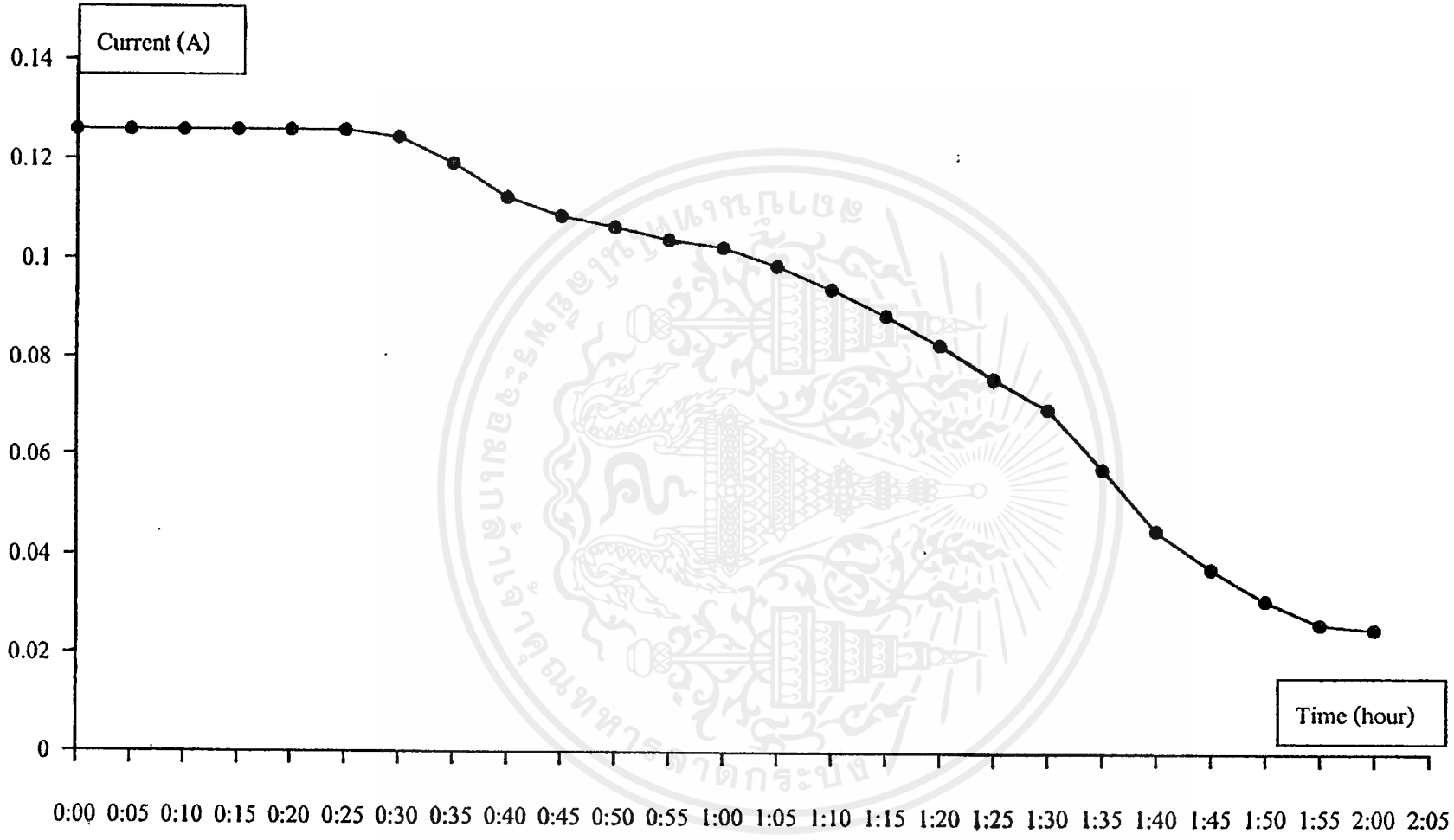
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid)

5.2 การทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เมตัลไฮไดร์ (Nickel-Metal Hydry)

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองประจุกระแส Ni-MH Battery 2.4 V 1.2 Ah Standard charging

เวลา (ชม.)	กระแส (A)
0:00	0.126
0:25	0.126
0:30	0.1246
0:35	0.1192
0:40	0.1124
0:45	0.1087
0:50	0.1065
0:55	0.104
1:00	0.1024
1:05	0.0988
1:10	0.0942
1:15	0.0888
1:20	0.0829
1:25	0.076
1:30	0.0698
1:35	0.0575
1:40	0.0453
1:45	0.0376
1:50	0.0313
1:55	0.0265
2:00	0.0254

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



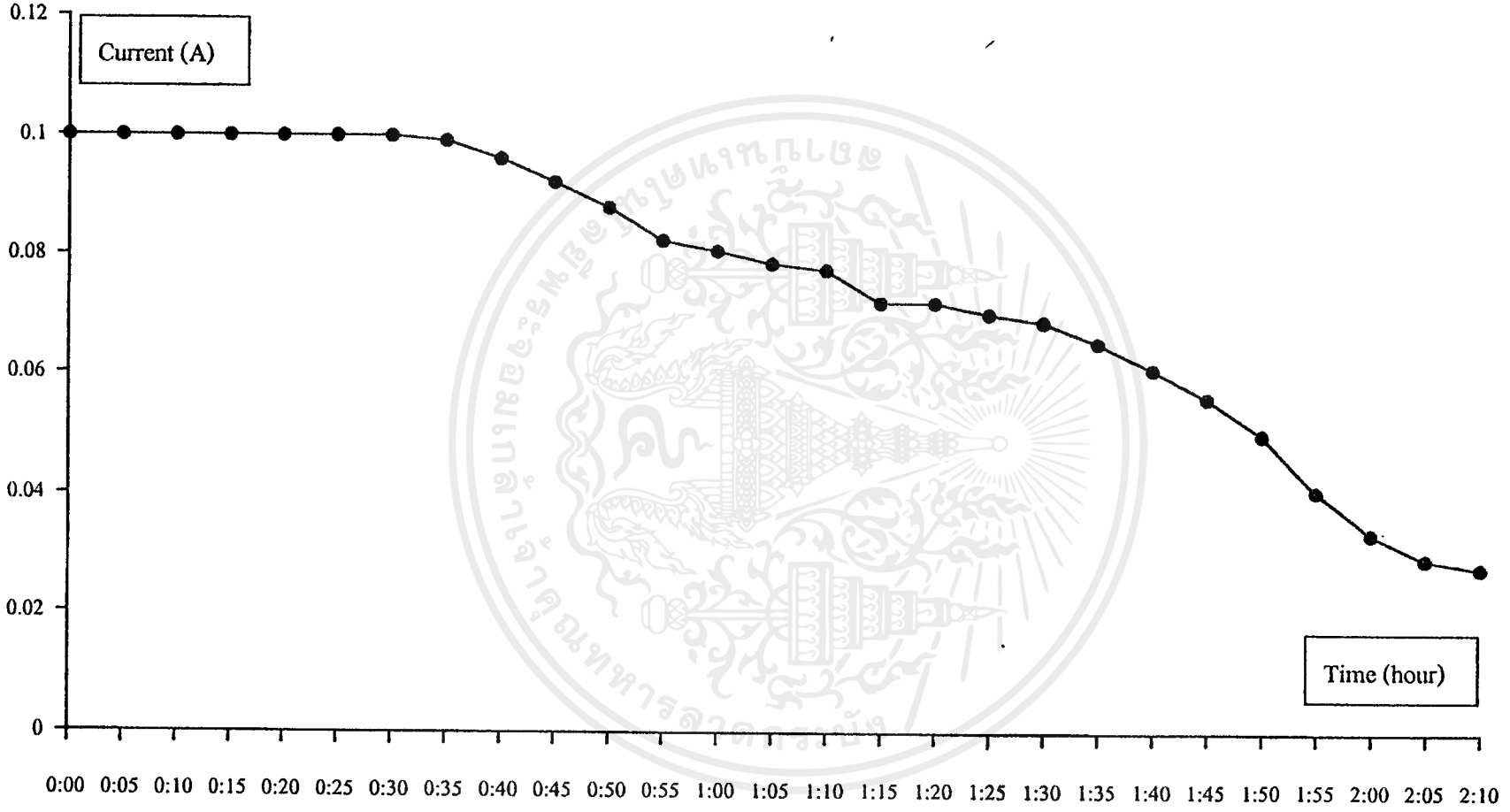
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เมตัลไฮไดร์ (Nickel-Metal Hydry)

5.3 การทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมี่ยม (Nickel-Cadmium)

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองประจุกระแส Ni-Cd Battery 2.4 V 0.5 Ah Standard charging

เวลา (ชม.)	กระแส (A)
0:00	0.1
0:30	0.1
0:35	0.0992
0:40	0.0962
0:45	0.0923
0:50	0.088
0:55	0.0825
1:00	0.0807
1:05	0.0786
1:10	0.0776
1:15	0.072
1:20	0.072
1:25	0.0701
1:30	0.0688
1:35	0.0652
1:40	0.0608
1:45	0.056
1:50	0.0499
1:55	0.0406
2:00	0.0334
2:05	0.0292
2:10	0.0277

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมี่ยม (Nickel-Cadmium)

บทที่ 6
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในบทที่ผ่านมา การประจุแบตเตอรี่แต่ละชนิดนั้น เราจะใช้วิธีการประจุแบบรวม (Combination Charging) หรือ 2 Step ซึ่งจะเป็นวิธีการประจุที่รวมเอาวิธีการประจุแบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging) และวิธีการประจุแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charging) เข้าด้วยกัน โดยที่การประจุแบบนี้จะใช้เวลาในการประจุนาน แต่มีข้อดีที่สามารถป้องกันมิให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายขึ้นได้

จากผลการทดลองจะเห็นว่า การประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead-Acid) นิเกิล-เมตัลไฮไดร์ (Nickel-Metal Hydry) และนิเกล-แคดเมี่ยม (Nickel-Cadmiun) จะมีลักษณะคล้ายๆ กันคือ

ในขณะเริ่มต้นประจุแบตเตอรี่จะมีประจุภายในน้อย ทำให้ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ (Ri) มีค่าน้อยมากตามไปด้วย เมื่อเราต่อแบตเตอรี่เข้ากับเครื่องประจุ (Charger) จะทำให้แบตเตอรี่ดึงกระแสจากเครื่องประจุ (Charger) สูงมาก แต่เนื่องจากเราใช้วิธีการประจุแบบรวม (Combination Charging) ทำให้เมื่อแบตเตอรี่ดึงกระแสจากเครื่องประจุ (Charger) สูงๆเครื่องประจุ (Charger) จะประจุแบบกระแสคงที่(Constant Current Charging) จึงทำให้กระแสที่ไหลในช่วงนี้มีค่าคงที่

เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่มาได้สักระยะหนึ่งค่ากระแสประจุจะเริ่มลดลง ซึ่งช่วงนี้เองเครื่องประจุ (Charger) จะเปลี่ยนการทำงานมาประจุแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charging) โดยหลักการทำงานของเครื่องประจุ (Charger)นี้ เราจะใช้วิธีการตรวจสอบค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่(Ri) ซึ่งค่าความต้านทานนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามปริมาณประจุในแบตเตอรี่ คือเมื่อแบตเตอรี่มีประจุเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นด้วย เป็นผลให้มีกระแสไหลเข้าประจุแบตเตอรี่ต่ำลงเรื่อยๆ

เครื่องประจุแบตเตอรี่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Programmable Battery Charger) ก็ตรวจสอบปริมาณกระแสที่ไหลเข้าประจุแบตเตอรี่นี้ตลอดเวลา จนถึงค่าๆหนึ่งเครื่องประจุก็จะแสดงผลว่าแบตเตอรี่เต็ม และต่อจากนั้นแบตเตอรี่ก็ยังคงได้รับประจุอยู่ตลอดเวลา แต่จะเป็นการประจุแบบอ่อน(Trickle) ซึ่งถ้าเราไม่ได้ปลดแบตเตอรี่ออกก็จะไม่เป็นอันตรายแก่แบตเตอรี่ เพราะกระแสที่ประจุจะมีค่าต่ำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

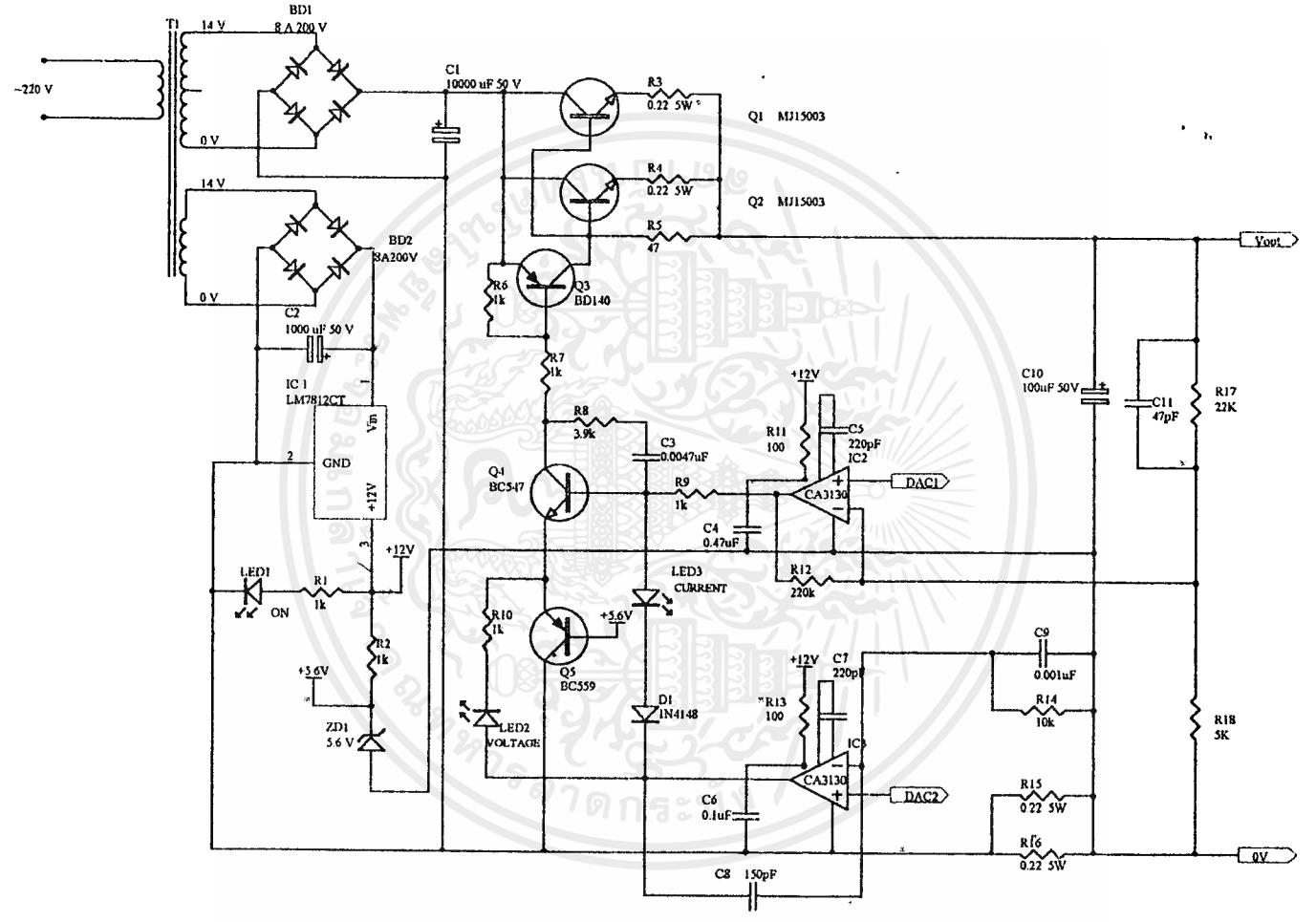
จากผลการทดลองจะเห็นว่า การประจุแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีลักษณะที่คล้ายๆกัน จะต่างกันก็เพียงปริมาณกระแสที่ใช้ในการประจุ และหยุดประจุเท่านั้นเองซึ่งค่าของกระแสเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของแบตเตอรี่ และชนิดของแบตเตอรี่ ดังนั้นการตรวจสอบแบตเตอรี่เต็มจึงต้องตรวจสอบด้วยการประมาณเท่านั้น

วิธีที่เราใช้ตรวจสอบของโครงงานนี้ ใช้วิธีตรวจสอบปริมาณกระแสที่ไหลเข้าประจุแบตเตอรี่ ซึ่งจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆระหว่างที่ทำการประจุกระแส เราจะทำการตรวจสอบปริมาณกระแสนี้ตลอดการประจุ เมื่อกระแสลดลงถึงค่าๆ หนึ่งจึงจะแสดงผลว่าเต็ม โดยที่ค่ากระแสหยุดประจุนี้คำนวณได้จากค่าความจุของแบตเตอรี่ ซึ่งมีหน่วยเป็นแอมป์แปร์-ชั่วโมง (Ah) หารด้วย 20 หรือ C/20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

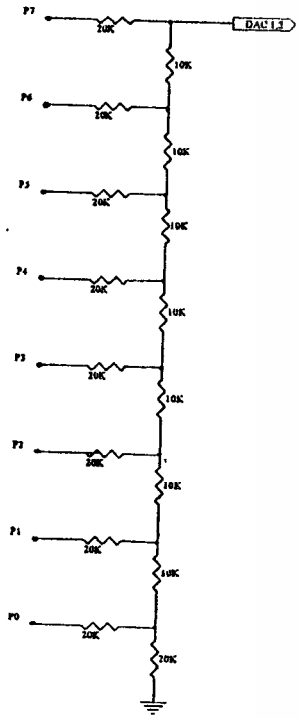
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

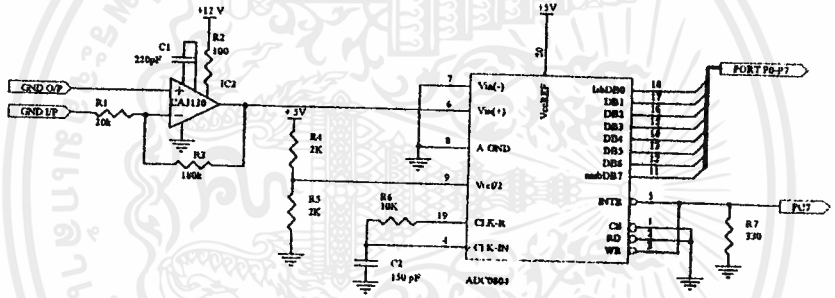


BATTERY CHARGER CIRCUIT

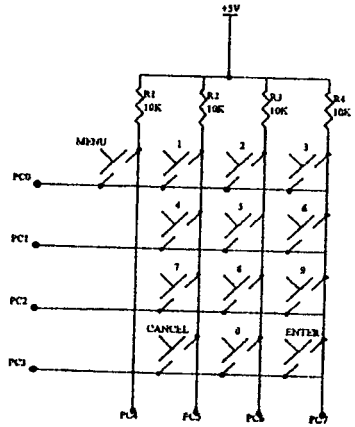
DIGITAL TO ANALOG CONVERTER x 2



ANALOG TO DIGITAL CONVERTER



KEY BOARD CIRCUIT



```
;*************************************************************
; DESCRIPTION  PROGRAMMABEL BATTERY CHARGER
; FILENAME    MOO.ASM
; HARDWARE    ANT-3172
; ASSEMBLER   SXA51
;         Mr.DAMRONGKIAT  SOMYIM
;         KMITL
;*************************************************************

START    EQU   00000H
CONTROL1  EQU   0F803H
CONTROL2  EQU   0FC03H

      ORG   START
INITIAL:  ACALL  DELAY
      ACALL  DELAY
      ACALL  CLRLCD          ;CLEAR ALL DISPLAY
      MOV   A,#38H          ;FUNCTION SET
      ACALL  LCDWI
      ACALL  CUROFF          ;DISPLAY CURSOR OFF
      MOV   A,#06H          ;ENTRY MODE SET
      ACALL  LCDWI
      ACALL  DELAY
      ACALL  DELAY
      MOV   DPTR,#TABREADY
      ACALL  WRLCD

      MOV   DPTR,#CONTROL1    ;SET CONTROL PORT1
      MOV   A,#8AH
      MOVX   @DPTR,A
      MOV   DPTR,#CONTROL2    ;SET CONTROL PORT2
      MOV   A,#80H
      MOVX   @DPTR,A
      ACALL  LEDINIT
      ACALL  DELAY
      ACALL  DELAY

      MOV   DPTR,#MEMOBUF     ;START MEMOBUF=1
      MOV   A,#1
      MOVX   @DPTR,A
      ACALL  CLROP           ;CLEAR OUTPUT CHARGER
      MOV   DPTR,#BUFFER      ;CLEAR ALL BUFFER
      MOV   R7,#0A0H
      CLR   A
      MOVX   @DPTR,A
      INC   DPTR
      DJNZ   R7,$-2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*************************************
; MAIN PROGRAM
;*************************************

MAIN:   MOV  DPTR,#TABTITLE   ;DISPLAY TITLE
        ACALL  WRLCD
        ACALL  SCANKEY
        CJNE  A,#MENU,$-2

; START OPERATING
MAIN1:  MOV  DPTR,#TABSET     ;MENU SET BATTERY
        ACALL  WRLCD
MAIN2:  ACALL  SCANKEY
        CJNE  A,#MENU,$+5
        AJMP  MAIN3
        CJNE  A,#ENTER,MAIN2
        AJMP  MAIN5           ;SET BATTERY

MAIN3:  MOV  DPTR,#TABMEMO    ;MENU MEMORY BATTERY
        ACALL  WRLCD
MAIN4:  ACALL  SCANKEY
        CJNE  A,#MENU,$+5
        AJMP  MAIN1
        CJNE  A,#ENTER,MAIN4  ;MEMORY BATTERY
        AJMP  MAIN6

; SET BATTERY
MAIN5:  ACALL  GETBATT
        CJNE  A,#CANCEL,$+5
        AJMP  MAIN1
        ACALL  GETVOLT
        CJNE  A,#CANCEL,$+5
        AJMP  MAIN1
        ACALL  GETCAPA
        CJNE  A,#CANCEL,$+5
        AJMP  MAIN1
        ACALL  GETCHAR
        CJNE  A,#CANCEL,$+5
        AJMP  MAIN1
        ACALL  CALCULATE
        ACALL  TRANSFER
        CJNE  A,#CANCEL,$+5
        AJMP  MAIN1
        ACALL  CHARGE
        CJNE  A,#FULL,$+5
        AJMP  MAIN
        CJNE  A,#CANCEL,$+3
        AJMP  MAIN1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;MEMORY BATTERY
MAIN6:   MOV   DPTR,#TABMEMOX
         ACALL  WRLCD
         MOV   A,#8DH
         ACALL  LCDWI
         ACALL  GETBUFF
         CJNE   A,#CANCEL,$+5
         AJMP   MAIN3
         MOVX   A,@DPTR
         CJNE   A,#0,MAIN7
         PUSH   DPL
         PUSH   DPH
         MOV    DPTR,#TABDATA
         ACALL  WRLCD
         ACALL  LEDON
         ACALL  SCANKEY
         ACALL  LEDOFF
         POP    DPH
         POP    DPL
         AJMP   MAIN6
MAIN7:   ACALL  CHARGE
         CJNE   A,#FULL,$+5
         AJMP   MAIN
         CJNE   A,#CANCEL,$+3
         AJMP   MAIN3

;*************************************
;GET BATTERY SUBROUTINE
;*************************************

LeAc     EQU    0A1H
NiMH     EQU    0A2H
NiCd     EQU    0A3H
GETBATT: MOV    DPTR,#BUFFER
         MOVX   A,@DPTR
         CJNE   A,#NiMH,$+5
         AJMP   GETBATT2
         CJNE   A,#NiCd,$+5
         AJMP   GETBATT3
         CJNE   A,#LeAc,$+3

GETBATT1: MOV   DPTR,#TABLeAc    ;MENU Lead-Acid BATTERY
         ACALL  WRLCD
         ACALL  SCANKEY
         CJNE   A,#MENU,$+5      ;MENU Ni-MH BATTERY
         AJMP   GETBATT2
         CJNE   A,#CANCEL,$+4
RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CJNE   A,#ENTER,GETBATT1  ;SET Lead-Acid BATTERY
        MOV    DPTR,#BUFFER
        MOV    A,#LeAc
        MOVX   @DPTR,A
    RET
    GETBATT2: MOV   DPTR,#TABNiMH     ;MENU Ni-MH BATTERY
        ACALL  WRLCD
        ACALL  SCANKEY
        CJNE   A,#MENU,$+5       ;MENU Ni-Cd BATTERY
        AJMP   GETBATT3
        CJNE   A,#CANCEL,$+4
    RET
        CJNE   A,#ENTER,GETBATT2  ;SET Ni-MH BATTERY
        MOV    DPTR,#BUFFER
        MOV    A,#NiMH
        MOVX   @DPTR,A
    RET
    GETBATT3: MOV   DPTR,#TABNiCd     ;MENU Ni-Cd BATTERY
        ACALL  WRLCD
        ACALL  SCANKEY
        CJNE   A,#MENU,$+5       ;MENU Lead-Acid BATTERY
        AJMP   GETBATT1
        CJNE   A,#CANCEL,$+4
    RET
        CJNE   A,#ENTER,GETBATT3  ;SET Ni-Cd BATTERY
        MOV    DPTR,#BUFFER
        MOV    A,#NiCd
        MOVX   @DPTR,A
    RET

    ;*************************************
    ; GET VOLTAGE BATTERY SUBROUTINE
    ;*************************************

    GETVOLT:  MOV   DPTR,#BUFFER
        MOVX   A,@DPTR
        CJNE   A,#NiMH,$+8
        MOV    DPTR,#TABNiMHV
        AJMP   GETVOLT1
        CJNE   A,#NiCd,$+8
        MOV    DPTR,#TABNiCdV
        AJMP   GETVOLT1
        CJNE   A,#LeAc,$+3
        MOV    DPTR,#TABLeAcV

    GETVOLT1: ACALL  WRLCD
        MOV    A,#0CCH
        ACALL  LCDWI
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   DPTR,#BUFFER+1
        MOVX  A,@DPTR
        ACALL WRNUM
        INC   DPTR
        MOVX  A,@DPTR
        ACALL WRNUM
        ACALL CURRIGHT
        INC   DPTR
        MOVX  A,@DPTR
        ACALL WRNUM
        MOV   A,#0CCH
        ACALL LCDWI

        MOV   DPTR,#BUFFER+1
        ACALL GETNUM          ;GET VOLTAGE BATTERY
        CJNE  A,#ENTER,$+5
        AJMP  GETVOLT2
        CJNE  A,#CANCEL,$+4
RET
GETVOLT2: MOV   DPTR,#BUFFER+1
        MOVX  A,@DPTR
        MOV   B,#100
        MUL   AB
        MOV   R0,A
        MOV   R1,B
        INC   DPTR
        MOVX  A,@DPTR
        MOV   B,#10
        MUL   AB
        ADD   A,R0
        MOV   R0,A
        MOV   A,B
        ADDC  A,R1
        MOV   R1,A
        INC   DPTR
        MOVX  A,@DPTR
        ADD   A,R0
        MOV   R0,A
        MOV   A,#0
        ADDC  A,R1
        MOV   R1,A

        CJNE  R1,#0,GETVOLT     ;CHECK VOLTAGE = 0V ?
        CJNE  R0,#0,$+5
        AJMP  GETVOLT
        CJNE  R0,#121,$+3       ;CHECK VOLTAGE > 12V ?
        JC    GETVOLT3
        PUSH  DPL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        PUSH  DPH
        MOV   DPTR,#TABOVER
        ACALL WRLCD
        ACALL LEDON
        ACALL SCANKEY
        ACALL LEDOFF
        POP   DPH
        POP   DPL
        AJMP  GETVOLT
GETVOLT3: MOV   DPTR,#BUFFER+4
        MOV   A,R0
        MOVX  @DPTR,A
RET

;*************************************
; GET CAPACITY BATTERY SUBROUTINE
;*************************************

GETCAPA:  MOV   DPTR,#BUFFER
        MOVX  A,@DPTR
        CJNE  A,#NiMH,$+8
        MOV   DPTR,#TABNiMHC
        AJMP  GETCAPA1
        CJNE  A,#NiCd,$-8
        MOV   DPTR,#TABNiCdC
        AJMP  GETCAPA1
        CJNE  A,#LeAc,$+3
        MOV   DPTR,#TABLeAcC

GETCAPA1: ACALL WRLCD
        MOV   A,#0CCH
        ACALL LCDWI
        MOV   DPTR,#BUFFER+5
        MOVX  A,@DPTR
        ACALL WRNUM
        INC   DPTR
        MOVX  A,@DPTR
        ACALL WRNUM
        ACALL CURRIGHT
        INC   DPTR
        MOVX  A,@DPTR
        ACALL WRNUM
        MOV   A,#0CCH
        ACALL LCDWI

        MOV   DPTR,#BUFFER+5
        ACALL GETNUM        ;GET CAPACITY BATTERY
        CJNE  A,#ENTER,$+5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        AJMP   GETCAPA2
        CJNE   A,#CANCEL,$+4
    RET
    GETCAPA2:  MOV    DPTR,#BUFFER+5
        MOVX   A,@DPTR
        MOV    B,#10
        MUL    AB
        MOV    R0,A
        INC    DPTR
        MOVX   A,@DPTR
        ADD    A,R0
        CJNE   A,#20,$+3
        JNC    GETCAPA3
        MOV    B,#10
        MUL    AB
        MOV    R0,A
        INC    DPTR
        MOVX   A,@DPTR
        ADD    A,R0
        AJMP   $+4
    GETCAPA3:  MOV    A,#200
        MOV    DPTR,#BUFFER+8
        MOVX   @DPTR,A
    RET

    ;*************************************
    ; GET NUMBER OF BATTERY SUBROUTINE
    ; IN DPTR = POINTER OF BUFFER
    ;*************************************

    GETNUM:   ACALL  CURON
        ACALL  GETNUMS
        CJNE   A,#ENTER,$+4
    RET
    CJNE   A,#CANCEL,$+4
    RET
        ACALL  WRNUM
        INC    DPTR
        ACALL  GETNUMS
        CJNE   A,#ENTER,$+4
    RET
    CJNE   A,#CANCEL,$+4
    RET
        ACALL  WRNUM
        ACALL  CURRIGHT
        INC    DPTR
        ACALL  GETNUMS
        CJNE   A,#ENTER,$+4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 RET
 CJNE  A,#CANCEL,$+4
 RET
      ACALL  WRNUM
      ACALL  CUROFF
 GETNUM1:  ACALL  SCANKEY
      CJNE  A,#ENTER,$+4
 RET
 CJNE  A,#CANCEL,GETNUM1
 RET

 GETNUMS:  ACALL  SCANKEY
      CJNE  A,#ENTER,$+4     ;PRESS 'ENTER'
 RET
 CJNE  A,#CANCEL,$+4     ;PRESS 'CANCEL'
 RET
      CJNE  A,#ZERO,$+7      ;PRESS '0'
      MOV  A,#0
      MOVX  @DPTR,A
 RET
      CJNE  A,#ONE,$+7       ;PRESS '1'
      MOV  A,#1
      MOVX  @DPTR,A
 RET
      CJNE  A,#TWO,$+7       ;PRESS '2'
      MOV  A,#2
      MOVX  @DPTR,A
 RET
      CJNE  A,#THREE,$+7     ;PRESS '3'
      MOV  A,#3
      MOVX  @DPTR,A
 RET
      CJNE  A,#FOUR,$+7      ;PRESS '4'
      MOV  A,#4
      MOVX  @DPTR,A
 RET
      CJNE  A,#FIVE,$+7      ;PRESS '5'
      MOV  A,#5
      MOVX  @DPTR,A
 RET
      CJNE  A,#SIX,$+7       ;PRESS '6'
      MOV  A,#6
      MOVX  @DPTR,A
 RET
      CJNE  A,#SEVEN,$+7     ;PRESS '7'
      MOV  A,#7
      MOVX  @DPTR,A
 RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CJNE   A,#EIGHT,$+7     ;PRESS '8'
        MOV    A,#8
        MOVX   @DPTR,A
RET
        CJNE   A,#NINE,GETNUMS   ;PRESS '9'
        MOV    A,#9
        MOVX   @DPTR,A
RET

;*************************************
; GET CHARGE BATTERY SUBROUTINE
;*************************************

QUICK    EQU   0BAH
STANDARD EQU   0BBH
TRICKLE  EQU   0BCH

GETCHAR: MOV   DPTR,#BUFFER+9
        MOVX   A,@DPTR
        CJNE   A,#QUICK,$+5
        AJMP   GETCHAR2
        CJNE   A,#STANDARD,$+3

GETCHAR1: MOV  DPTR,#TABSTAN    ;MENU STANDARD CHARGING
        ACALL  WRLCD
        ACALL  SCANKEY
        CJNE   A,#MENU,$+5      ;MENU QUICK CHARGING
        AJMP   GETCHAR2
        CJNE   A,#CANCEL,$+4
RET
        CJNE   A,#ENTER,GETCHAR1  ;STANDARD CHARGING
        MOV    DPTR,#BUFFER+9
        MOV    A,#STANDARD
        MOVX   @DPTR,A
RET
GETCHAR2: MOV  DPTR,#TABQUICK   ;MENU QUICK CHARGING
        ACALL  WRLCD
        ACALL  SCANKEY
        CJNE   A,#MENU,$+5      ;MENU TRICKLE CHARGING
        AJMP   GETCHAR1
        CJNE   A,#CANCEL,$+4
RET
        CJNE   A,#ENTER,GETCHAR2  ;QUICK CHARGING
        MOV    DPTR,#BUFFER+9
        MOV    A,#QUICK
        MOVX   @DPTR,A
RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*****************************************
; CALCULATE CV AND CC CODE SUBROUTINE
;*****************************************

CALCULATE: MOV   DPTR,#BUFFER
      MOVX  A,@DPTR
      CJNE  A,#NiMH,$+5
      AJMP  Ni_MH
      CJNE  A,#NiCd,$+5
      AJMP  Ni_Cd
      CJNE  A,#LeAc,$+3
      AJMP  Le_Ac

Ni_MH:   MOV   DPTR,#BUFFER+9
      MOVX  A,@DPTR
      CJNE  A,#QUICK,Ni_MH1
      MOV   R0,#3
      ACALL CALCV
      MOV   DPTR,#BUFFER+10
      MOVX  @DPTR,A

      MOV   DPTR,#BUFFER+8
      MOVX  A,@DPTR
      MOV   B,#10
      MUL   AB
      MOV   DPTR,#TABCC
      MOVC  A,@A+DPTR
      MOV   DPTR,#BUFFER+11
      MOVX  @DPTR,A

      MOV   R0,#20
      ACALL CALCC
      MOV   DPTR,#TABADC
      MOVC  A,@A+DPTR
      MOV   DPTR,#BUFFER+12
      MOVX  @DPTR,A
RET
Ni_MH1:  CJNE  A,#STANDARD,$+3
      MOV   R0,#5
      ACALL CALCV
      MOV   DPTR,#BUFFER+10
      MOVX  @DPTR,A

      MOV   R0,#2
      ACALL CALCC
      MOV   DPTR,#TABCC
      MOVC  A,@A+DPTR
      MOV   DPTR,#BUFFER+11
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOVX  @DPTR,A

        MOV   R0,#20
        ACALL CALCC
        MOV   DPTR,#TABADC
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   DPTR,#BUFFER+12
        MOVX  @DPTR,A
RET
Ni_Cd:  MOV   DPTR,#BUFFER+9
        MOVX  A,@DPTR
        CJNE  A,#QUICK_Ni_Cd1
        MOV   R0,#3
        ACALL CALCV
        MOV   DPTR,#BUFFER+10
        MOVX  @DPTR,A

        MOV   DPTR,#BUFFER+8
        MOVX  A,@DPTR
        MOV   B,#10
        MUL   AB
        MOV   DPTR,#TABCC
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   DPTR,#BUFFER+11
        MOVX  @DPTR,A

        MOV   R0,#20
        ACALL CALCC
        MOV   DPTR,#TABADC
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   DPTR,#BUFFER+12
        MOVX  @DPTR,A
RET
Ni_Cd1: CJNE  A,#STANDARD_S+3
        MOV   R0,#5
        ACALL CALCV
        MOV   DPTR,#BUFFER+10
        MOVX  @DPTR,A

        MOV   R0,#2
        ACALL CALCC
        MOV   DPTR,#TABCC
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   DPTR,#BUFFER+11
        MOVX  @DPTR,A

        MOV   R0,#20
        ACALL CALCC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   DPTR,#TABADC
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   DPTR,#BUFFER+12
        MOVX  @DPTR,A
    RET

    Le_Ac:  MOV   DPTR,#BUFFER+9
        MOVX  A,@DPTR
        CJNE  A,#QUICK,Le_Ac1
        MOV   R0,#3
        ACALL CALCV
        MOV   DPTR,#BUFFER+10
        MOVX  @DPTR,A

        MOV   DPTR,#BUFFER-8
        MOVX  A,@DPTR
        MOV   B,#10
        MUL   AB
        MOV   DPTR,#TABCC
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   DPTR,#BUFFER+11
        MOVX  @DPTR,A

        MOV   R0,#20
        ACALL CALCC
        MOV   DPTR,#TABADC
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   DPTR,#BUFFER+12
        MOVX  @DPTR,A
    RET
    Le_Ac1:  CJNE  A,#STANDARD,$+3
        MOV   R0,#5
        ACALL CALCV
        MOV   DPTR,#BUFFER+10
        MOVX  @DPTR,A

        MOV   R0,#2
        ACALL CALCC
        MOV   DPTR,#TABCC
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   DPTR,#BUFFER+11
        MOVX  @DPTR,A

        MOV   R0,#20
        ACALL CALCC
        MOV   DPTR,#TABADC
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   DPTR,#BUFFER+12
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOVX  @DPTR,A
    RET
    CALCV:   MOV   DPTR,#BUFFER+4   ;CV CODE
        MOVX  A,@DPTR
        MOV   B,R0
        MOV   R0,A
        DIV   AB
        MOV   R7,B
        CJNE  R7,#0,$+5
        AJMP  $+3
        INC   A
        ADD   A,R0
        MOV   DPTR,#TABCV
        MOVC  A,@A+DPTR
    RET
    CALCC:   MOV   DPTR,#BUFFER+8   ;CC CODE
        MOVX  A,@DPTR
        MOV   B,R0
        DIV   AB
        MOV   R7,B
        MOV   B,#10
        MUL   AB
        CJNE  A,#200,$+3
        JNC   CALCC1
        MOV   R6,A
        MOV   A,R7
        MOV   B,#10
        MUL   AB
        MOV   B,R0
        DIV   AB
        ADD   A,R6
        CJNE  A,#200,$+3      ;CC > 2A ?
        JC    $+4
    CALCC1:  MOV   A,#200
    RET

    ;*****************************************
    ; TRANSFER DATA OF BATTERY SUBROUTINE
    ; OUT  DPTR = RECEIVE POINTER
    ;*****************************************

    BUFFER    EQU   8100H
    BUFFER1   EQU   8110H
    BUFFER2   EQU   8120H
    BUFFER3   EQU   8130H
    BUFFER4   EQU   8140H
    BUFFER5   EQU   8150H
    BUFFER6   EQU   8160H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
BUFFER7   EQU   8170H
BUFFER8   EQU   8180H
BUFFER9   EQU   8190H

TRANSFER:  MOV   DPTR,#TABSAVE
      ACALL  WRLCD
      MOV    A,#8FH
      ACALL  LCDWI
      ACALL  GETBUFF
      CJNE   A,#CANCEL,$+4
RET
      PUSH   DPL
      PUSH   DPH
      MOV    R0,DPL
      MOV    R1,DPH
      MOV    R7,#16
      MOV    DPTR,#BUFFER
TRANSFER1: MOVX  A,@DPTR
      INC    DPTR
      MOV    R2,DPL
      MOV    R3,DPH
      MOV    DPL,R0
      MOV    DPH,R1
      MOVX   @DPTR,A
      INC    DPTR
      MOV    R0,DPL
      MOV    R1,DPH
      MOV    DPL,R2
      MOV    DPH,R3
      DJNZ   R7,TRANSFER1
      POP    DPH
      POP    DPL
RET

;*************************************
; GET BUFFER OF BATTERY 1-9 SUBROUTINE
; OUT  DPTR = RECEIVE POINTER
;*************************************

MEMOBUF   EQU   8200H

GETBUFF:  MOV   DPTR,#MEMOBUF
     MOVX  A,@DPTR
     ACALL  WRNUM
     ACALL  CURLEFT
     ACALL  CURON

     ACALL  SCANKEY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CJNE  A,#CANCEL,$+4
    RET
        CJNE  A,#ENTER,$+11
        ACALL CUROFF
        MOV   DPTR,#MEMOBUF
        MOVX  A,@DPTR
        AJMP  GETBUFF3
        CJNE  A,#ONE,$+7
        MOV   R3,#1
        AJMP  GETBUFF1
        CJNE  A,#TWO,$+7
        MOV   R3,#2
        AJMP  GETBUFF1
        CJNE  A,#THREE,$+7
        MOV   R3,#3
        AJMP  GETBUFF1
        CJNE  A,#FOUR,$+7
        MOV   R3,#4
        AJMP  GETBUFF1
        CJNE  A,#FIVE,$+7
        MOV   R3,#5
        AJMP  GETBUFF1
        CJNE  A,#SIX,$-7
        MOV   R3,#6
        AJMP  GETBUFF1
        CJNE  A,#SEVEN,$+7
        MOV   R3,#7
        AJMP  GETBUFF1
        CJNE  A,#EIGHT,$+7
        MOV   R3,#8
        AJMP  GETBUFF1
        CJNE  A,#NINE,GETBUFF
        MOV   R3,#9

GETBUFF1: MOV   A,R3
      ACALL  WRNUM
      ACALL  CUROFF
      ACALL  SCANKEY
      CJNE   A,#CANCEL,$+4
RET
      CJNE   A,#ENTER,GETBUFF1
GETBUFF2: MOV   DPTR,#MEMOBUF
      MOV    A,R3
      MOVX   @DPTR,A
GETBUFF3: CJNE  A,#2,$+7       ;BUFFER2
      MOV    DPTR,#BUFFER2
RET
      CJNE   A,#3,$+7        ;BUFFER3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   DPTR,#BUFFER3
    RET
        CJNE  A,#4,$+7        ;BUFFER4
        MOV   DPTR,#BUFFER4
    RET
        CJNE  A,#5,$+7        ;BUFFER5
        MOV   DPTR,#BUFFER5
    RET
        CJNE  A,#6,$+7        ;BUFFER6
        MOV   DPTR,#BUFFER6
    RET
        CJNE  A,#7,$+7        ;BUFFER7
        MOV   DPTR,#BUFFER7
    RET
        CJNE  A,#8,$+7        ;BUFFER8
        MOV   DPTR,#BUFFER8
    RET
        CJNE  A,#9,$+7        ;BUFFER9
        MOV   DPTR,#BUFFER9
    RET
        CJNE  A,#1,$+3        ;BUFFER1
        MOV   DPTR,#BUFFER1
    RET

;*************************************
:CHARGE BATTERY SUBROUTINE
;*************************************

FULL    EQU   0AAH
CVPORT  EQU   0FC00H
CCPORT  EQU   0FC01H

CHARGE:  PUSH  DPL
         PUSH  DPH
         MOV   DPTR,#TABSTART   ;START CHARGE BATTRY
         ACALL WRLCD
         ACALL SCANKEY
         POP   DPH
         POP   DPL

CHARGE1: MOV   A,#10
         MOVC  A,@A+DPTR
         MOV   R0,A
         MOV   A,#11
         MOVC  A,@A+DPTR
         MOV   R1,A
         MOV   A,#12
         MOVC  A,@A+DPTR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   B,A

        PUSH  DPL
        PUSH  DPH
        MOV   DPTR,#CVPORT     ;CONTROL VOLTAGE
        MOV   A,R0
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   DPTR,#CCPORT     ;CONTROL CURRENT
        MOV   A,R1
        MOVX  @DPTR,A
CHARGE2: ACALL  DELAY
        ACALL  READADC         ;READ CURENT OUTPUT
        CJNE   A,#2.5+3
        JC     CHARGE6
        MOV    DPTR,#TABCHAR   ;CONNECT BATTERY
        ACALL  WRLCD
        ACALL  LEDCHARGE
CHARGE3: ACALL  DELAY
        ACALL  READADC
        CJNE   A,#2.5+3
        JC     CHARGE6
        CJNE   A,B.5+3
        JNC    CHARGE4
        MOV    R0,A
        MOV    A,B
        MOV    B,R0
CHARGE4: CLR   C
        SUBB   A,B
        CJNE   A,#2.5+3
        JNC    CHARGE3

        MOV    DPTR,=TABFULL   ;FULL CHARGE BATTERY
        ACALL  WRLCD
        ACALL  LEDFULL
CHARGE5: ACALL  DELAY
        ACALL  READADC
        CJNE   A,#2.5+3
        JNC    CHARGE5

CHARGE6: MOV   DPTR,#TABUNCON  ;UNCONNECT BATTERY
        ACALL  WRLCD
        ACALL  LEDOFF
;       ACALL  CLROP
        ACALL  SCANKEY
        CJNE   A,#ENTER.5+9
        POP    DPH
        POP    DPL
        AJMP   CHARGE1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CJNE   A,#CANCEL,$-11
        ACALL  CLROP
        MOV    A,#CANCEL
        POP    DPH
        POP    DPL
    RET

    ;*************************************
    ; READ ANALOG TO DIGITAL SUBROUTINE
    ;*************************************

    CONPORT   EQU   0F800H
    ADCPORT   EQU   0F801H

    READADC:  PUSH   DPL
          PUSH   DPH
          MOV    DPTR,#CONPORT
          MOV    A,#80H
          MOVX   @DPTR,A
          ACALL  ONEmsec
          MOV    A,#0
          MOVX   @DPTR,A
          ACALL  ONEmsec
          MOV    DPTR,#ADCPORT
          MOVX   A,@DPTR
          POP    DPH
          POP    DPL
    RET

    ;*************************************
    ; CLEAR CV AND CC PORT SUBROUTINE
    ;*************************************

    CLROP:    PUSH   DPL
          PUSH   DPH
          MOV    DPTR,#CVPORT
          MOV    A,#0
          MOVX   @DPTR,A
          MOV    DPTR,#CCPORT
          MOVX   @DPTR,A
          POP    DPH
          POP    DPL
    RET

    ;*************************************
    ; SCAN KEYBOARD SUBROUTINE
    ; OUT A = NUMBER OF KEY PRESS
    ;*************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
NOROW    EQU   4
NOCOL    EQU   4
MENU     EQU   00H
ONE      EQU   01H
TWO      EQU   02H
THREE    EQU   03H
UP       EQU   04H
FOUR     EQU   05H
FIVE     EQU   06H
SIX      EQU   07H
DOWN     EQU   08H
SEVEN    EQU   09H
EIGHT    EQU   0AH
NINE     EQU   0BH
DOT      EQU   0CH
CANCEL   EQU   0DH
ZERO     EQU   0EH
ENTER    EQU   0FH
KEYPORT  EQU   0F802H

SCANKEY:  PUSH  DPL
          PUSH  DPH
          MOV   DPTR,#KEYPORT
SCANKEY1: MOV   R0,#0FFH      ;NUMBER OF KEY = -1
          MOV   R1,#11111110B ;ROW 0 = 0
          MOV   R2,#NOROW

SCANKEY2: MOV   A,R1
          MOVX  @DPTR,A
          MOVX  A,@DPTR
          ANL   A,#0F0H
          CJNE  A,#0F0H,SCANKEY3  ;IF PRESS KEY -> DEBOUNCE
          MOV   A,#NOCOL
          ADD   A,R0
          MOV   R0,A
          MOV   A,R1
          RL    A
          MOV   R1,A
          DJNZ  R2,SCANKEY2
          AJMP  SCANKEY1

SCANKEY3: MOV   R6,#15        ;15 msec DELAY
          ACALL ONEmsec
          DJNZ  R6,$-2
          MOVX  A,@DPTR
          ANL   A,#0F0H
          CJNE  A,#0F0H,SCANKEY4  ;IF PRESS -> KEY ?
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        AJMP   SCANKEY1

SCANKEY4: INC   R0
        RR     A
        JB     ACC.3,SCANKEY4
        MOV    A,R0          ; A = NUMBER OF KEY
        ACALL  DELAY
        POP    DPH
        POP    DPL
RET
ONEmsec:  MOV   R7,#230       ;12
        NOP                   ;12
        NOP                   ;12
        DJNZ   R7,$-2         ;24
        RET                   ;24

;*************************************
; WRITE DATA 2 LINE ON LCD SUBROUTINE
; IN DPTR = POINTER OF MASSAGE
;*************************************

LINE1   EQU   80H
LINE2   EQU   0C0H

WRLCD:   MOV   A,#LINE1
        CALL   WRLCDS
        MOV    A,#LINE2
        CALL   WRLCDS
RET
WRLCDS:  CALL  LCDWI
        MOV    R7,#20
WRLCDS1: CLR   A
        MOVC   A,@A+DPTR
        CALL   LCDWD
        INC    DPTR
        DJNZ   R7,WRLCDS1
RET

;*************************************
; WRITE NUMBER OF LCD SUBROUTINE
; IN A = NUMBER OF WRITE LCD
;*************************************

TABNUM:  DB    "0123456789ABCDEF"

WRNUM:   PUSH  DPH
        PUSH   DPL
        MOV    DPTR,#TABNUM
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOVC  A,@A+DPTR
        ACALL LCDWD
        POP   DPL
        POP   DPH
    RET
    WRNUMS:  MOV   R7,A
        ANL   A,#0F0H
        SWAP  A
        ACALL WRNUM
        MOV   A,R7
        ANL   A,#0FH
        ACALL WRNUM
    RET
    WRNUM2S: MOV   A,DPH
        ACALL WRNUMS
        MOV   A,DPL
        ACALL WRNUMS
    RET

    ;*************************************
    ; WRITE INSTRUCTION LCD SUBROUTINE
    ; IN A = INSTRUCTION OF LCD
    ;*************************************

    LCDWRC   EQU  0FA00H
    LCDRDC   EQU  0FA01H

    LCDWI:   PUSH  DPH
        PUSH  DPL
        MOV   DPTR,#LCDWRC
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   DPTR,#LCDRDC
        MOVX  A,@DPTR
        JB    ACC.7,$-1
        POP   DPL
        POP   DPH
    RET

    ;*************************************
    ; WRITE DATA LCD SUBROUTINE
    ; IN A = DATA WRITE LCD
    ;*************************************

    LCDWRD   EQU  0FA02H
    LCDRDD   EQU  0FA03H

    LCDWD:   PUSH  DPH
        PUSH  DPL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   DPTR,#LCDWRD
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   DPTR,#LCDRDC
        MOVX  A,@DPTR
        JB    ACC.7,$-1
        POP   DPL
        POP   DPH
RET

;*************************************
; DISPLAY LED SUBROUTINE
;*************************************

LEDPORT   EQU   0FC02H

LEDON:    PUSH  DPL
        PUSH  DPH
        MOV   DPTR,#LEDPORT
        MOV   A,#00000000B
        MOVX  @DPTR,A
        POP   DPH
        POP   DPL
RET
LEDOFF:   PUSH  DPL
        PUSH  DPH
        MOV   DPTR,#LEDPORT
        MOV   A,#11111111B
        MOVX  @DPTR,A
        POP   DPH
        POP   DPL
RET
LEDFULL:  PUSH  DPL
        PUSH  DPH
        MOV   DPTR,#LEDPORT
        MOV   A,#01111111B
        MOVX  @DPTR,A
        POP   DPH
        POP   DPL
RET
LEDCHARGE: PUSH  DPL
        PUSH  DPH
        MOV   DPTR,#LEDPORT
        MOV   A,#10111111B
        MOVX  @DPTR,A
        POP   DPH
        POP   DPL
RET
LEDINIT:  ACALL  LEDOFF
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   R5,#3
LEDINIT1: ACALL  DELAY
        ACALL  DELAY
        ACALL  LEDON
        ACALL  DELAY
        ACALL  DELAY
        ACALL  LEDOFF
        DJNZ   R5,LEDINIT1
RET

;*****************************************
; DISPLAY LCD SUBROUTINE
;*****************************************

CUROFF:   MOV   A,#00001100B     ;CURSOR OFF
        ACALL  LCDWI
RET
CURON:    MOV   A,#00001111B     ;CURSOR ON
        ACALL  LCDWI
RET
CURRIGHT: MOV   A,#00010100B     ;CURSOR SHIFT RIGHT
        ACALL  LCDWI
RET
CURLEFT:  MOV   A,#00010000B     ;CURSOR SHIFT LEFT
        ACALL  LCDWI
RET
CLRLCD:   MOV   A,#00000001B     ;CLEAR ALL DISPLAY
        ACALL  LCDWI
RET

;*****************************************
; DELAY TIME SUBROUTINE
;*****************************************

DELAY:    MOV   R6,#0AAH       ;12
DELAY1:   MOV   R7,#0FAH       ;12
DELAY2:   NOP                  ;12
        NOP                    ;12
        NOP                    ;12
        DJNZ   R7,DELAY2       ;24
        DJNZ   R6,DELAY1       ;24
        RET                    ;24

;*****************************************
; HALT SUBROUTINE
;*****************************************

TABHALT:  DB   "    HALT    "
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DB   "          "

HALT:   MOV  DPTR,#TABHALT
        ACALL WRLCD
        JMP  $

;*************************************
; TABLE OF PROGRAM
;*************************************

TABTITLE: DB  " PROGRAMMABLE "
        DB   " BATTERY CHARGER "
TABREADY: DB  " READY...      "
        DB   " PLEASE WAIT... "

TABSET:  DB   " SET BATTERY "
        DB   "  MENU  ENTER "
TABMEMO: DB   " MEMORY BATTERY "
        DB   "  MENU  ENTER "

TABLeAc: DB   " LEAD-ACID BATTERY "
        DB   "  MENU  ENTER "
TABNiMH: DB   "  Ni-MH BATTERY "
        DB   "  MENU  ENTER "
TABNiCd: DB   "  Ni-Cd BATTERY "
        DB   "  MENU  ENTER "

TABLeAcV: DB  " LEAD-ACID BATTERY "
        DB   " VOLTAGE =  . V "
TABNiMHV: DB  "  Ni-MH BATTERY "
        DB   " VOLTAGE =  . V "
TABNiCdV: DB  "  Ni-Cd BATTERY "
        DB   " VOLTAGE =  . V "

TABLeAcC: DB  " LEAD-ACID BATTERY "
        DB   " CAPACITY =  . Ah "
TABNiMHC: DB  "  Ni-MH BATTERY "
        DB   " CAPACITY =  . Ah "
TABNiCdC: DB  "  Ni-Cd BATTERY "
        DB   " CAPACITY =  . Ah "

TABSTAN: DB   " STANDARD CHARGING "
        DB   "  MENU  ENTER "
TABQUICK: DB  "  QUICK CHARGING "
        DB   "  MENU  ENTER "

TABSAVE: DB   "  SAVE MEMORY   "
        DB   " 1-9 CANCEL  ENTER "
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TABMEMOX: DB   "    MEMORY     "
     DB    " 1-9 CANCEL ENTER "

TABSTART: DB   "  START CHARGING  "
     DB    "  PRESS ANY KEY...  "
TABCHAR:  DB   "****** CHARGING ******"
     DB    "UNCONNECT TO CANCEL "
TABFULL:  DB   "******** FULL ********"
     DB    "UNCONNECT TO CANCEL "

TABOVER:  DB   "  OVER VOLTAGE!  "
     DB    " VOLTAGE UNDER 12 V "
TABDATA:  DB   " DATA NOT FOUND.! "
     DB    "  PRESS ANY KEY...  "
TABUNCON: DB   " UNCONNECT BATTERY "
     DB    "  CANCEL  ENTER  "

TABCV:   DB   00H, 06H, 0AH, 0BH, 0DH      ; 0.0 - 0.4
     DB    0EH, 0FH, 11H, 12H, 14H      ; 0.5 - 0.9
     DB    15H, 16H, 17H, 19H, 1AH      ; 1.0 - 1.4
     DB    1CH, 1DH, 1EH, 1FH, 20H      ; 1.5 - 1.9
     DB    21H, 22H, 24H, 25H, 26H      ; 2.0 - 2.4
     DB    27H, 29H, 2AH, 2CH, 2DH      ; 2.5 - 2.9
     DB    2EH, 2FH, 31H, 32H, 34H      ; 3.0 - 3.4
     DB    35H, 36H, 37H, 38H, 39H      ; 3.5 - 3.9
     DB    3AH, 3CH, 3DH, 3EH, 3FH      ; 4.0 - 4.4
     DB    41H, 42H, 44H, 45H, 46H      ; 4.5 - 4.9
     DB    48H, 49H, 4AH, 4BH, 4DH      ; 5.0 - 5.4
     DB    4EH, 4FH, 51H, 52H, 53H      ; 5.5 - 5.9
     DB    55H, 56H, 57H, 58H, 59H      ; 6.0 - 6.4
     DB    5AH, 5CH, 5DH, 5EH, 5FH      ; 6.5 - 6.9
     DB    61H, 62H, 64H, 65H, 66H      ; 7.0 - 7.4
     DB    67H, 68H, 69H, 6AH, 6BH      ; 7.5 - 7.9
     DB    6DH, 6EH, 70H, 71H, 72H      ; 8.0 - 8.4
     DB    74H, 75H, 76H, 77H, 78H      ; 8.5 - 8.9
     DB    79H, 7AH, 7CH, 7DH, 7EH      ; 9.0 - 9.4
     DB    81H, 82H, 84H, 85H, 86H      ; 9.5 - 9.9
     DB    88H, 89H, 8AH, 8BH, 8DH      ; 10.0 - 10.4
     DB    8EH, 8FH, 91H, 92H, 93H      ; 10.5 - 10.9
     DB    95H, 96H, 97H, 98H, 99H      ; 11.0 - 11.4
     DB    9AH, 9CH, 9DH, 9EH, 9FH      ; 11.5 - 11.9
     DB    0A1H, 0A2H, 0A4H, 0A5H, 0A6H   ; 12.0 - 12.4
     DB    0A7H, 0A8H, 0A9H, 0AAH, 0ABH   ; 12.5 - 12.9
     DB    0ADH, 0AEH, 0AFH, 0B1H, 0B2H   ; 13.0 - 13.4
     DB    0B4H, 0B5H, 0B6H, 0B7H, 0B8H   ; 13.5 - 13.9
     DB    0B9H, 0BAH, 0BCH, 0BDH, 0BEH   ; 14.0 - 14.4
     DB    0BFH, 0C1H, 0C2H, 0C3H, 0C5H   ; 14.5 - 14.9
     DB    0C6H, 0C7H, 0C8H, 0C9H, 0CAH   ; 15.0 - 15.4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DB    0CCH, 0CDH, 0CEH, 0CFH, 0D1H   ; 15.5 - 15.9
        DB    0D2H, 0D3H, 0D5H, 0D6H, 0D7H   ; 16.0 - 16.4
        DB    0D8H, 0D9H, 0DAH, 0DBH, 0DDH   ; 16.5 - 16.9
        DB    0DEH, 0DFH, 0E0H, 0E1H, 0E2H   ; 17.0 - 17.4
        DB    0E3H, 0E5H, 0E6H, 0E7H, 0E8H   ; 17.5 - 17.9
        DB    0E9H, 0EAH, 0ECH, 0EDH, 0EEH   ; 18.0 - 18.4
        DB    0EFH, 0F0H, 0F1H, 0F2H, 0F3H   ; 18.5 - 18.9
        DB    0F5H                           ; 19.0

TABCC:  DB    00H, 02H, 03H, 04H, 05H        ; 0.01 - 0.04
        DB    06H, 08H, 0AH, 0BH, 0CH        ; 0.05 - 0.09
        DB    0EH, 0FH, 10H, 12H, 13H        ; 0.10 - 0.14
        DB    14H, 15H, 17H, 18H, 19H        ; 0.15 - 0.19
        DB    1AH, 1BH, 1CH, 1DH, 1EH        ; 0.20 - 0.24
        DB    20H, 22H, 23H, 24H, 25H        ; 0.25 - 0.29
        DB    26H, 27H, 29H, 2BH, 2CH        ; 0.30 - 0.34
        DB    2DH, 2EH, 2FH, 30H, 31H        ; 0.35 - 0.39
        DB    33H, 34H, 36H, 37H, 38H        ; 0.40 - 0.44
        DB    39H, 3AH, 3CH, 3DH, 3EH        ; 0.45 - 0.49
        DB    40H, 41H, 42H, 44H, 45H        ; 0.50 - 0.54
        DB    46H, 47H, 48H, 49H, 4BH        ; 0.55 - 0.59
        DB    4CH, 4DH, 4EH, 50H, 52H        ; 0.60 - 0.64
        DB    53H, 54H, 55H, 56H, 57H        ; 0.65 - 0.69
        DB    58H, 5AH, 5CH, 5DH, 5EH        ; 0.70 - 0.74
        DB    5FH, 60H, 61H, 62H, 64H        ; 0.75 - 0.79
        DB    65H, 66H, 67H, 68H, 6AH        ; 0.80 - 0.84
        DB    6BH, 6CH, 6DH, 6EH, 6FH        ; 0.85 - 0.89
        DB    71H, 72H, 73H, 74H, 76H        ; 0.90 - 0.94
        DB    77H, 78H, 7AH, 7BH, 7CH        ; 0.95 - 0.99
        DB    7EH, 80H, 82H, 84H, 85H        ; 1.00 - 1.04
        DB    86H, 87H, 89H, 8AH, 8BH        ; 1.05 - 1.09
        DB    8CH, 8DH, 8EH, 8FH, 90H        ; 1.10 - 1.14
        DB    92H, 93H, 94H, 96H, 97H        ; 1.15 - 1.19
        DB    98H, 99H, 9AH, 9CH, 9EH        ; 1.20 - 1.24
        DB    09FH, 0A0H, 0A1H, 0A2H, 0A4H   ; 1.25 - 1.29
        DB    0A5H, 0A6H, 0A7H, 0A8H, 0AAH   ; 1.30 - 1.34
        DB    0ABH, 0ACH, 0AEH, 0AFH, 0B0H   ; 1.35 - 1.39
        DB    0B1H, 0B2H, 0B3H, 0B5H, 0B6H   ; 1.40 - 1.34
        DB    0B7H, 0B8H, 0B9H, 0BAH, 0BBH   ; 1.45 - 1.39
        DB    0BDH, 0BEH, 0BFH, 0C1H, 0C2H   ; 1.50 - 1.54
        DB    0C4H, 0C5H, 0C6H, 0C7H, 0C9H   ; 1.55 - 1.59
        DB    0CAH, 0CCH, 0CDH, 0CEH, 0CFH   ; 1.60 - 1.64
        DB    0D0H, 0D2H, 0D3H, 0D4H, 0D6H   ; 1.65 - 1.69
        DB    0D7H, 0D8H, 0D9H, 0DAH, 0DBH   ; 1.70 - 1.74
        DB    0DCH, 0DEH, 0DFH, 0E0H, 0E2H   ; 1.75 - 1.79
        DB    0E3H, 0E4H, 0E6H, 0E7H, 0E8H   ; 1.80 - 1.84
        DB    0E9H, 0EAH, 0EBH, 0ECH, 0EDH   ; 1.85 - 1.89
        DB    0EEH, 0F0H, 0F1H, 0F2H, 0F3H   ; 1.90 - 1.94
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DB    0F4H, 0F5H, 0F6H, 0F7H, 0F9H   ; 1.95 - 1.99
        DB    0FAH                  ; 2.00

TABADC: DB    00H, 02H, 03H, 03H, 03H       ; 0.01 - 0.04
        DB    04H, 04H, 05H, 05H, 06H       ; 0.05 - 0.09
        DB    07H, 07H, 08H, 09H, 09H       ; 0.10 - 0.14
        DB    0AH, 0BH, 0CH, 0CH, 0DH       ; 0.15 - 0.19
        DB    0DH, 0DH, 0FH, 0FH, 10H       ; 0.20 - 0.24
        DB    11H, 11H, 12H, 12H, 13H       ; 0.25 - 0.29
        DB    13H, 14H, 14H, 14H, 15H       ; 0.30 - 0.34
        DB    16H, 17H, 17H, 18H, 19H       ; 0.35 - 0.39
        DB    19H, 19H, 1BH, 1CH, 1CH       ; 0.40 - 0.44
        DB    1EH, 1EH, 1FH, 1FH, 1FH       ; 0.45 - 0.49
        DB    20H, 21H, 21H, 23H, 23H       ; 0.50 - 0.54
        DB    24H, 24H, 25H, 25H, 27H       ; 0.55 - 0.59
        DB    27H, 27H, 27H, 28H, 29H       ; 0.60 - 0.64
        DB    2AH, 2AH, 2BH, 2BH, 2BH       ; 0.65 - 0.69
        DB    2BH, 2DH, 2EH, 2FH, 30H       ; 0.70 - 0.74
        DB    31H, 31H, 32H, 33H, 33H       ; 0.75 - 0.79
        DB    34H, 34H, 35H, 36H, 36H       ; 0.80 - 0.84
        DB    37H, 37H, 38H, 38H, 39H       ; 0.85 - 0.89
        DB    39H, 39H, 3AH, 3CH, 3CH       ; 0.90 - 0.94
        DB    3DH, 3EH, 3FH, 3FH, 3FH       ; 0.95 - 0.99
        DB    41H, 41H, 42H, 42H, 43H       ; 1.00 - 1.04
        DB    43H, 44H, 44H, 45H, 46H       ; 1.05 - 1.09
        DB    47H, 48H, 49H, 49H, 49H       ; 1.10 - 1.14
        DB    49H, 4BH, 4BH, 4BH, 4CH       ; 1.15 - 1.19
        DB    4DH, 4FH, 4FH, 50H, 51H       ; 1.20 - 1.24
        DB    52H, 52H, 53H, 53H, 54H       ; 1.25 - 1.29
        DB    54H, 55H, 55H, 56H, 56H       ; 1.30 - 1.34
        DB    57H, 58H, 59H, 59H, 5AH       ; 1.35 - 1.39
        DB    5AH, 5BH, 5CH, 5DH, 5DH       ; 1.40 - 1.34
        DB    5DH, 5EH, 5EH, 60H, 61H       ; 1.45 - 1.39
        DB    61H, 62H, 62H, 63H, 63H       ; 1.50 - 1.54
        DB    64H, 64H, 65H, 65H, 67H       ; 1.55 - 1.59
        DB    67H, 68H, 68H, 6AH, 6AH       ; 1.60 - 1.64
        DB    6BH, 6BH, 6CH, 6DH, 6EH       ; 1.65 - 1.69
        DB    6FH, 6FH, 70H, 70H, 71H       ; 1.70 - 1.74
        DB    72H, 72H, 73H, 73H, 73H       ; 1.75 - 1.79
        DB    74H, 75H, 75H, 77H, 77H       ; 1.80 - 1.84
        DB    78H, 79H, 79H, 7AH, 7AH       ; 1.85 - 1.89
        DB    7BH, 7CH, 7DH, 7DH, 7EH       ; 1.90 - 1.94
        DB    7EH, 7FH, 7FH, 80H, 82H       ; 1.95 - 1.99
        DB    81H                   ; 2.00

        END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. "แหล่งจ่ายไฟสำหรับนักอิเล็กทรอนิกส์ ชุดโครงงานเครื่องจ่ายไฟ" ,ซีเอ็ดยูเคชั่น., 2538
2. "แหล่งจ่ายไฟสำหรับนักอิเล็กทรอนิกส์ ชุดแบตเตอรี่และเครื่องชาร์จ" ซีเอ็ดยูเคชั่น., 2538
3. พงศ์สิษฐ์ ศรีศร , อธิวัฒน์ เหลืองสกุลพานิช และ ฮามดี หะยีแซะสาและ "เครื่องประจุแบตเตอรี่" ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538
4. กนกอร นครเอี่ยม และ กรรณิกา ดียากุล "แหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์" ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้