

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมระบบไฟฉุกเฉินด้วยคอมพิวเตอร์  
EMERGENCY LIGHT AND CONTROL UNIT SYSTEM WITH PC



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 49921  
วันเดือนปี - 2 เม.ย. 2547

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมระบบไฟฉุกเฉินด้วยคอมพิวเตอร์

EMERGENCY LIGHT AND CONTROL UNIT SYSTEM WITH PC

ผู้จัดทำ

1. นาย สาโรจน์ รัตนสุภา รหัสประจำตัว 43015141
2. นาย เสกฐวุฒิ ขาวพรม รหัสประจำตัว 43015145
3. นาย จีรศักดิ์ ชวคำ รหัสประจำตัว 43015157
4. นาย สัตยญา สุภาพล รหัสประจำตัว 43015185



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.วิจิตร ถิ่นเรศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมระบบไฟฉุกเฉินด้วยคอมพิวเตอร์

นาย สาโรจน์      รัตนสุภา 43015141  
นาย เสฏฐวุฒิ      ขาวพรม 43015145  
นาย จิรศักดิ์      ชาวคำ 43015157  
นาย สัตยญา      สุภาผล 43015185  
ผศ.ดร.วิจิตร      กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา

### บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอเครื่องต้นแบบระบบไฟฉุกเฉินที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย ผ่านทางพอร์ตอนุกรม มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหัวใจสำคัญในการควบคุมการทำงานของระบบไฟฉุกเฉิน ทั้งส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่และการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ในส่วนของคอมพิวเตอร์ได้เขียนโปรแกรมสนับสนุนการทำงานต่าง ๆ ของระบบไฟฉุกเฉิน เช่น การตั้งค่าให้ระบบชาร์จแบตเตอรี่ รวมถึงการแสดงสถานะต่าง ๆ ของชุดไฟฉุกเฉินแต่ละตัวในระบบ ซึ่งจะทำให้เป็นการสะดวกอย่างยิ่งในการควบคุมระบบไฟฉุกเฉิน เพราะถ้าไฟฉุกเฉินชุดใดในระบบ เกิดการทำงานที่ผิดพลาดขึ้นไมโครคอนโทรลเลอร์ จะส่งสัญญาณให้คอมพิวเตอร์และแสดงผลทางหน้าจอให้ผู้ควบคุมระบบทราบ



## Emergency Light and Control Unit System with PC

Sarote	Rattanasupa
Satethawut	Khaophrom
Jeerasak	Soundkom
Sanya	Supaphol
Assist.Prof.Dr.Vijit	Kinnaret Advisor
2002	

### ABSTRACT

This project presents a prototype of emergency light and control unit system with PC connected as network via serial ports which has a micro-controller as a main part in controlling operation of emergency light both on battery charger circuit and PC connection. On PC-based part , a supporting program was created for all processes of the system : setting up for battery charger circuit , for instance , monitoring the system's status of each in-network which offer convenience on controlling emergency light system. The micro-controller can transfer some specific signals onto computer when faults occur with any network's emergency light units and then display results on monitor in order to be inspected by manual system controller.

### กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลาย ๆ ท่าน โดยเฉพาะ ท่าน ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา อีกทั้ง รุ่นพี่ปริญญาโททุกคนที่คอยให้คำแนะนำโดยเฉพาะอย่างยิ่งพี่ทัต พี่มิน ตลอดจนพี่ ๆ ที่บริษัทEET ที่ให้คำแนะนำในส่วนของ การส่งสัญญาณ และเพื่อนๆที่คอยถามไถ่ให้คำปรึกษา ให้เยี่ยมอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะกลุ่มUPS ที่ทำให้ห้องโปรเจกไม่เสียบเหงาเลยจริง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของปริญญานิพนธ์	1
บทที่ 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	3
2.1 หน่วยประมวลผลกลาง	4
2.2 หน่วยความจำ	4
2.3 รีจิสเตอร์	6
2.4 รีจิสเตอร์คันทรีโปรแกรมหรือโปรแกรมเคาน์เตอร์	6
2.5 สเต็ทในไมโครคอนโทรลเลอร์	7
2.6 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	8
2.7 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	9
2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F873	10
บทที่ 3 แบตเตอรี่และการอัดประจุแบตเตอรี่	14
3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่	14
3.2 พารามิเตอร์ในการอัดประจุ	15
3.3 หลักการประจุไฟฟ้าของเครื่องประจุแบตเตอรี่	15
3.4 วิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่	16
3.5 การอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดโดยทั่วไป	19
3.6 ลักษณะการประยุกต์ใช้งาน	20
บทที่ 4 ระบบเครือข่าย (Network)	21
4.1 โครงสร้างระบบควบคุม	21
4.2 ลักษณะของการสื่อสาร	23
4.3 ลักษณะของการสื่อสารตามมาตรฐาน	24
4.4 เหตุผลในการเลือกใช้มาตรฐาน RS-422	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วงจรที่ใช้งานและการออกแบบ	29
5.1 การเลือกขนาดแบตเตอรี่	29
5.2 วงจรควบคุมชุดไฟฉุกเฉิน	29
5.3 ระบบเครือข่าย	35
5.4 โปรแกรมควบคุมการทำงานชุดไฟฉุกเฉินด้วยคอมพิวเตอร์	37
บทที่ 6 ผลการทดลอง	39
6.1 ทดลองการทำงานของวงจรในการอัดประจุไฟเข้าแบตเตอรี่	39
6.2 ทดลองความเร็วในการทำงาน ขณะภาวะฉุกเฉิน	42
6.3 ทดลองสำรองไฟในภาวะฉุกเฉิน	43
บทที่ 7 บทวิจารณ์และสรุป	44
7.1 วิเคราะห์ผลของโครงการ	44
7.2 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไข	44
7.3 ข้อเสนอแนะ	45
ภาคผนวก	
ภาคผนวก(ก) รูปชิ้นงาน	
ภาคผนวก(ข) Data Sheet	
บรรณานุกรม	



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบหลักเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์	3
รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการทำงานของสแต็คอย่างง่าย	7
รูปที่ 2.3 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบพริ้นต์ดีนหรือฟอน นิวแมน	8
รูปที่ 2.4 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด	9
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการจัดขาของ PIC16F873	12
รูปที่ 3.1 ทิศทางการไหลของกระแสประจุแบตเตอรี่	16
รูปที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบกระแสคงที่	17
รูปที่ 3.3 ค่าแรงดันและกระแสของเครื่องอัดประจุแบบแรงดันคงที่	18
รูปที่ 3.4 กราฟผลการเสและแรงดันเมื่อทำการประจุแบบวิธีร่วม	19
รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุม	21
รูปที่ 4.2 แสดงการเชื่อมต่อเครือข่ายของระบบควบคุม	22
รูปที่ 4.3 แสดงการเชื่อมต่อ ตัวควบคุม ตัวถูกขับ และ อุปกรณ์ที่ต้องการควบคุม	22
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะการสื่อสารแบบอนุกรม	23
รูปที่ 4.5 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรม	23
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะการสื่อสารแบบขนาน	24
รูปที่ 4.7 แสดงวงจรขับและรับสัญญาณที่ใช้กับมาตรฐาน RS-232-C	25
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรขับและรับสัญญาณที่ใช้กับมาตรฐาน RS-423	26
รูปที่ 4.9 แสดงวงจรขับและรับสัญญาณที่ใช้มาตรฐาน RS-422	27
รูปที่ 5.1 แสดงวงจรของชุดไฟฟูกเงิน	30
รูปที่ 5.2 แสดงแรงดันก่อนเข้าวงจร Rectifier	31
รูปที่ 5.3 แสดงแรงดันขาออกวงจร Rectifier	31
รูปที่ 5.4 แรงดันขาเข้าของ SCR กับสัญญาณ Trig ของ SCR	32
รูปที่ 5.5 แสดงรูปคลื่นแรงดันขาเข้าและขาออกของ SCR	32
รูปที่ 5.6 แสดงแรงดันขาออกจาก SCR กับมุม Trig ของ SCR	33
รูปที่ 5.7 แสดงวงจรวงจรรับและส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์	35
รูปที่ 5.8 แสดงวงจรวงจรรับและส่งข้อมูลของชุดไฟฟูกเงิน	36
รูปที่ 5.9 แสดงรูปแบบตัวโปรแกรมควบคุมระบบไฟฟูกเงินที่เขียนขึ้น	37
รูปที่ 5.10 แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้โหลดข้อมูลให้กับชุดไฟฟูกเงิน	37
รูปที่ 5.11 แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้เรียกดูข้อมูลจากชุดไฟฟูกเงิน	38
รูปที่ 5.12 แสดงหน้าต่าง โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการคายประจุแบตเตอรี่	38
รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะโปรแกรม Charger	39
รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะกราฟมาตรฐาน ขณะอัดประจุแบตเตอรี่	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 6.3 แสดงความเร็วในการทำงานในภาวะฉุกเฉิน

หน้า

42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 6.1 แสดงค่าต่าง ๆ ที่ตั้งไว้ในโปรแกรมอัดประจุ	40
ตารางที่ 6.2 แสดงค่าแรงดัน , กระแสเทียบกับเวลา ขณะอัดประจุ	41
ตารางที่ 6.3 แสดงค่าต่าง ๆ ที่ตั้งไว้ในโปรแกรมก่อนทดลองสำรองไฟในภาวะฉุกเฉิน	43
ตารางที่ 6.4 แสดงแรงดันแบตเตอรี่,กระแสขณะคายประจุเทียบกับเวลา	43



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

ไฟฉุกเฉินที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะติดตั้งอยู่ตามจุดต่าง ๆ ที่สำคัญในอาคาร เพื่อใช้ส่องสว่างในช่วงเวลาที่ระบบไฟฟ้าเกิดขัดข้อง ซึ่งภายในอาคารแต่ละแห่งจะติดตั้งไฟฉุกเฉินเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการดูแลรักษาและซ่อมแซมเมื่อเกิดเหตุผิดปกติกับตัวเครื่อง เพราะไฟฉุกเฉินทั่ว ๆ ไป จะไม่สามารถรายงานสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ ทำให้ยากในการตรวจสอบและดูแลให้ไฟฉุกเฉินทำงานได้สมบูรณ์ทั้งระบบ ดังนั้นโครงการการควบคุมระบบไฟฉุกเฉินด้วยคอมพิวเตอร์จึงได้ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ไขปัญหานี้ เพราะจะติดตั้งไฟฉุกเฉินรวมกันเป็นระบบเครือข่าย (Network) โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางการควบคุม ซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถตรวจสอบรายละเอียดข้อมูลพื้นฐานที่มีอยู่ในชุดไฟฉุกเฉินแต่ละเครื่อง รวมถึงรายงานผลที่เกิดขึ้นกับชุดไฟฉุกเฉินตลอดระยะเวลาการทำงานเช่นจำนวนครั้งที่เกิดไฟดับ , จำนวนครั้งของการเกิดเหตุผิดปกติ (Fault) , จำนวนครั้งของการคายประจุด้วยตนเอง ( Self Discharge ) ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาและเกิดความสะดวกอย่างยิ่งในการซ่อมแซม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาระบบการทำงานของชุดไฟฉุกเฉิน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงาน และการรับและส่งข้อมูลผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.2.3 เพื่อนำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งานในการควบคุมชุดไฟฉุกเฉิน
- 1.2.4 เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบชุดไฟฉุกเฉิน ที่มีการทำงานเป็นระบบเครือข่ายที่สามารถควบคุมได้ด้วยคอมพิวเตอร์

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 สร้างชุดไฟฉุกเฉินที่สามารถควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.3.2 สามารถควบคุมชุดไฟฉุกเฉินหลาย ๆ เครื่องเป็นระบบเครือข่ายผ่านทางคอมพิวเตอร์
- 1.3.3 สามารถรายงานการทำงานหรือความผิดปกติของชุดไฟฉุกเฉินแต่ละตัวได้

### 1.4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของปริญญาานิพนธ์

เนื้อหาภายในปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ประกอบด้วย

- บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- บทที่ 3 จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของแบตเตอรี่และการอัดประจุแบตเตอรี่
- บทที่ 4 จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของระบบเครือข่าย มาตรฐานการส่งแบบต่าง ๆ และเหตุผล

ในการเลือกใช้มาตรฐาน RS422

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บทที่ 5 จะกล่าวถึงหลักการที่นำมาใช้ในการออกแบบรวมของโครงการควบคุมระบบไฟฉุกเฉินด้วยคอมพิวเตอร์
- บทที่ 6 จะกล่าวถึงการทดลองต่าง ๆ ที่ได้ทำการทดลองขึ้นและผลการทดลองที่บันทึกไว้โดยจะแสดงผลในรูปแบบของตารางและกราฟ เพื่อให้สามารถเข้าใจและวิเคราะห์ผลได้ง่ายขึ้น
- บทที่ 7 จะเป็นบทสรุปและวิจารณ์โครงการว่าเป็นอย่างไร ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข ตลอดจนข้อเสนอแนะ เพื่อใช้ปรับปรุงให้โครงการสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

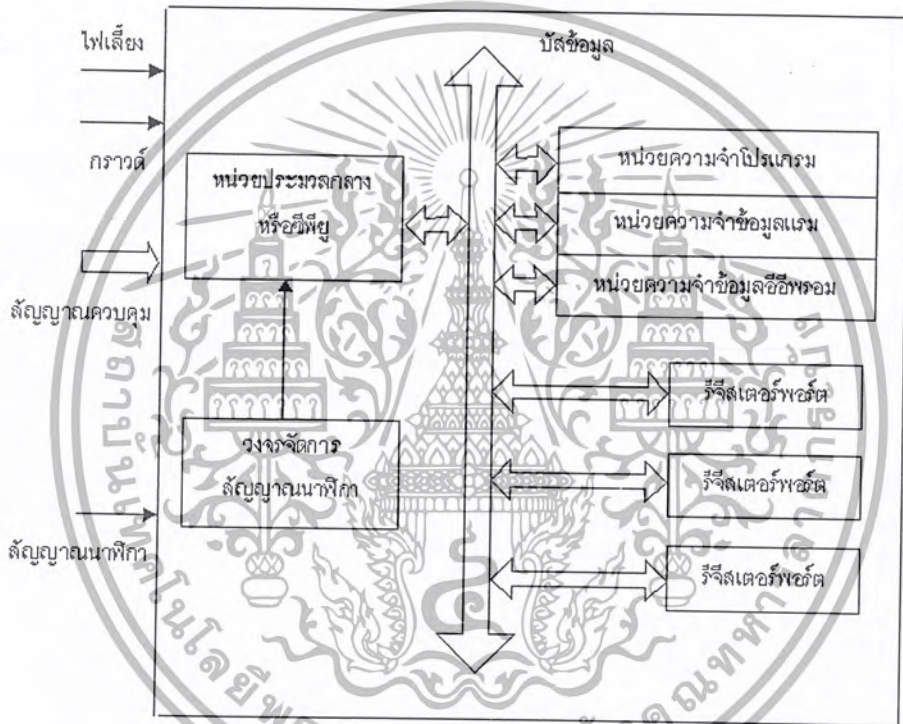


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) หมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ขนาดเล็กนี้ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ที่คนโดยส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยบรรจุรวมกันอยู่ภายใต้ตัวถังเดียวกัน ในรูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบหลักที่สำคัญและกลไกการทำงานเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบหลักเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์

ซีพียูจะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านคำสั่งที่ระบุไว้ โดยต้องทำการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำผ่านสายสัญญาณที่เรียกว่า บัสแอดเดรส (address bus) แล้วทำการอ่านข้อมูลคำสั่งออกมาจากหน่วยความจำโปรแกรมในแอดเดรสนั้น ๆ จากนั้นทำการประมวลผล โดยมีหน่วยความจำข้อมูลแรมเป็นที่พักของข้อมูลที่อยู่ระหว่างการประมวลผล หรืออาจมองว่าหน่วยความจำข้อมูลแรมเป็นเสมือนกระดาษทดในการคำนวณก็ได้ ข้อมูลในการประมวลผลจะส่งผ่านสายสัญญาณที่เรียกว่าบัสข้อมูล (data bus) แล้วส่งต่อไปยังอุปกรณ์ภายนอกผ่านทางขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1 หน่วยประมวลผลกลาง

เป็นเสมือนมันสมองของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยซีพียูนี้ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่เข้ามาในระบบ แล้วทำการส่งต่อไปยังส่วนต่าง ๆ เพื่อควบคุมการทำงานต่อไปหัวใจหลักของซีพียูคือหน่วยคำนวณคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU : Arithmetic and logic unit) ซึ่งได้รับการกำหนดจังหวะการทำงานจากส่วนควบคุมลำดับการทำงาน โดยจังหวะการทำงานนั้นจะสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เมื่อซีพียูทำการติดต่อหน่วยความจำ สิ่งที่ปรากฏขึ้นบนบัสข้อมูลภายในซีพียูคือ รหัสคำสั่ง (instruction code) ต้องผ่านการทำงานของส่วนถอดรหัสคำสั่ง (instruction decoder) เสียก่อน จะได้เป็นข้อมูลคำสั่งที่ซีพียูเข้าใจและสามารถดำเนินการต่อได้ หลังจากที่หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกประมวลผลแล้วก็จะส่งข้อมูลมายังส่วนเชื่อมต่อรีจิสเตอร์ภายในซีพียู เพื่อติดต่อกับส่วนอื่น ๆ ต่อไป

การทำงานของซีพียูมีด้วยกัน 2 จังหวะคือ เฟตช์ (fetch) และเอ็กซีคิวต์ (executed) โดยการทำงานจะเริ่มจากการเฟตช์ ซึ่งก็คือการเรียกหรือการเข้าถึงคำสั่ง แล้วทำการถอดรหัสเป็นภาษาเครื่องเพื่อเตรียมประมวลผล จากนั้นจะเป็นจังหวะของการเอ็กซีคิวต์ ซึ่งก็คือการกระทำตามคำสั่งที่กำหนดให้จนเสร็จสิ้น

การที่จะระบุว่าไมโครคอนโทรลเลอร์มีขีดความสามารถในการประมวลผลเป็นอย่างไรจะพิจารณาที่ความสามารถในการประมวลผลข้อมูลของซีพียู หากซีพียูสามารถประมวลผลข้อมูลได้สูงสุด 8 บิต นั่นคือไมโครคอนโทรลเลอร์นี้เป็นแบบ 8 บิต (8-bit core) แต่ซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่บางตัวมีขนาด 8 บิตแต่สามารถประมวลผลกับข้อมูล 16 บิตได้ ทำให้ในบางครั้งผู้ผลิตจึงระบุออกมาว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้ทำงานกับข้อมูล 16 บิต อาจกล่าวได้ว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตเทียม เพราะถ้าหากเป็นแบบ 16 บิตแท้ ซีพียูต้องรองรับข้อมูลได้เต็ม 16 บิตหรือถ้าอ่านในเอกสารข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนั้น ๆ จะต้องระบุว่าเป็น 16-bit core ดังนั้นจึงต้องพิจารณารายละเอียดตรงส่วนนี้ให้ดี

## 2.2 หน่วยความจำ

ในไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบด้วยหน่วยความจำ 3 แบบคือ หน่วยความจำโปรแกรม (program memory) , หน่วยความจำข้อมูลแรม (RAM data memory) และหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม (EEPROM data memory)

### 2.2.1 หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมเป็นที่สำหรับเก็บข้อมูลคำสั่งของโปรแกรมควบคุมที่ผู้พัฒนาเขียนขึ้นหรือเรียกว่า โปรแกรมมอนิเตอร์ (monitor program) ซีพียูจะเข้ามาติดต่อเพื่ออ่านข้อมูลรหัสคำสั่งจากหน่วยความจำในส่วนนี้แล้วนำไปประมวลผลเพื่อควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดต่อไป เรียกได้ว่ามีความสำคัญเท่า ๆ กับซีพียูเลยทีเดียว หน่วยความจำโปรแกรมนี้มักมีขนาดใหญ่ และถ้ายังมีขนาดมากเท่าใด ก็จะสามารถบรรจุโปรแกรมที่มีความซับซ้อนหรือสามารถเก็บตารางข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลได้มากตาม โดยทั่วไปมีความจุไม่น้อยกว่า 512 ไบต์ แต่จะให้ดีกว่านี้ควรมีความจุ 1 กิโลไบต์ขึ้นไป จึงจะช่วยให้การเขียนโปรแกรมควบคุมอิสระเพิ่มมากขึ้น ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมจะแปรตามความก้าวหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางเทคโนโลยี มีการพัฒนาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีความจุของหน่วยความจำโปรแกรมสูงขึ้นเรื่อย ๆ เป็น 4 , 8 16 , 32 และ 64 กิโลไบต์ และยังไม่สิ้นสุดเท่านี้ เชื่อแน่ว่าต้องมีการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ให้มีความจุของหน่วยความจำโปรแกรมสูงเป็นหลักร้อยกิโลไบต์หรือหลักเมกะไบต์ในที่สุด

ชนิดของหน่วยความจำโปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์(นับถึงปี 2002) มีอยู่ 3 แบบที่นิยมกันคือ แบบอีพรอม (EPROM : Erasable Programmable Read-Only Memory) , แบบอีอีพรอม (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) และแบบแฟลช (flash) ความแตกต่างอยู่ที่จำนวนครั้งในการลบและเขียนข้อมูลทับลงไปใหม่ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

**แบบอีพรอม** ยังแบ่งเป็น 2 แบบคือแบบโปรแกรมได้หลายครั้งและแบบโปรแกรมได้ครั้งเดียวถ้าหากเป็นแบบโปรแกรมได้หลายครั้งบนตัวถังของไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน้าตากระจกติดอยู่สามารถมองเห็นชิปภายในได้ เวลาลบต้องลบด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต จำนวนรอบในการโปรแกรมใหม่อยู่ระหว่าง 10-100 ครั้ง แต่ถ้าเป็นแบบโปรแกรมได้ครั้งเดียวหรือ OTP (One-Time Programmable) จะไม่สามารถลบได้ ตัวถังของมันจะปิดมิดชิดเหมือนกับไอซีธรรมดา

**แบบอีอีพรอม** หน่วยความจำแบบนี้จะลบและเขียนใหม่ได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า ในอดีตเป็นที่นิยมมากเนื่องจากสามารถลบและเขียนใหม่ได้เป็นหลักร้อยรอบขึ้นไป ในบางตระกูลถึง 1 ล้านครั้ง แต่ในปัจจุบันแบบนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วเนื่องจากต้นทุนสูง

**แบบแฟลช** หน่วยความจำโปรแกรมชนิดนี้สามารถลบและเขียนได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า แตกต่างกับแบบอีอีพรอมในเชิงการใช้งานตรงที่กระบวนการลบข้อมูลจะต้องลบทั้งหมด หน่วยความจำโปรแกรมแบบนี้ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากราคาไม่สูง และสามารถโปรแกรมได้เป็นร้อยครั้งขึ้นไป แต่โดยปกติมักเริ่มที่ 1,000 ครั้งในบางรุ่นสูงเป็นหมื่นครั้งและเป็นแสนครั้งก็มีขึ้นอยู่กับแรงดันที่ใช้ในการโปรแกรม

ขนาดข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมขึ้นอยู่กับผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ ยกตัวอย่างในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 , 68HC05 , 68HC08 , 68HC11 ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมเป็น 8 บิต ถ้าเป็นตระกูล PIC จะเป็น 12 และ 14 บิต ถ้าเป็นตระกูล AVR , 68HC12 จะเป็นขนาด 16 บิต แต่ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมไม่ได้เป็นตัวระบุความสามารถในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ ยกตัวอย่าง PIC กับ AVR ต่างมีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมสูงกว่า 8 บิต แต่ทั้งคู่ต่างเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ทั้งนี้เพราะชิปเป็นแบบ 8 บิต ขนาดของหน่วยความจำจะส่งผลกระทบต่อระบุมหาความจุของหน่วยความจำโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้น ๆ

### 2.2.2 หน่วยความจำข้อมูลแรม

เป็นหน่วยความจำที่ต้องมีในไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกตัว เพราะใช้เป็นพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูลทั้งในระหว่างและหลังจากการประมวลผล ยิ่งมีมากยิ่งช่วยให้การทำงานสะดวก เพราะหน่วยความจำแรมมีอัตราเร็วในการอ่านเขียนสูงมาก และไม่จำกัดจำนวนรอบในการอ่านเขียน ในพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลแรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของข้อมูลทั่วไปสำหรับเก็บค่าตัวแปร และส่วนของรีจิสเตอร์

โดยปกติแล้ว หน่วยความจำข้อมูลแรมจะมีความจุไม่มากเมื่อเทียบกับหน่วยความจำโปรแกรมในบางตัวอยู่ในหลักสิบบิต แต่ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสามารถสูงขึ้น ความจุของหน่วยความจำข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลรวมจะเพิ่มมากขึ้นตาม ทั้งนี้เพราะต้องเพิ่มในส่วนของรีจิสเตอร์ตามความสามารถที่สูงขึ้นของไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.2.3 หน่วยความจำข้อมูลอีพรอม

เป็นหน่วยความจำข้อมูลพิเศษที่ในไมโครคอนโทรลเลอร์บางเบอร์ บางรุ่น บางตระกูลไม่มี ใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่ต้องการรักษาไว้เมื่อไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ การติดต่อเพื่ออ่านเขียนจะมีลักษณะเป็นพิเศษขึ้นอยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ ขนาดของหน่วยความจำแบบนี้มักเท่ากับ 8 บิต ส่วนความจุก็จะแตกต่างกันไป มีตั้งแต่ไม่กี่สิบไบต์จนถึงเป็นกิโลไบต์

การอ่านเขียนหน่วยความจำแบบนี้จะใช้สัญญาณไฟฟ้าทั้งหมด และสามารถรักษาข้อมูลล่าสุดไว้แม้ว่าจะไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วก็ตาม สำหรับจำนวนรอบในการเขียนโดยปกติอยู่ในหลักล้านครั้งขึ้นไป

### 2.3 รีจิสเตอร์ (Register)

เป็นหน่วยความจำข้อมูลพิเศษที่มีบทบาทสูงมากในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถที่จะอ่านและเขียนข้อมูลได้ตลอดเวลา จนกว่าจะหยุดจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์หน้าที่หลักคือ ใช้เก็บข้อมูลในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยข้อมูลที่เก็บนี้มีทั้งข้อมูลแสดงสถานะการทำงาน ข้อมูลสำหรับควบคุมการทำงาน โมดูลย่อยต่าง ๆ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ข้อมูลที่รับเข้ามาจากพอร์ตอินพุต ข้อมูลที่ต้องการส่งออกไปยังอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตเอาต์พุต โดยข้อมูลแต่ละประเภทก็จะถูกจัดเก็บลงในรีจิสเตอร์ที่แตกต่างกันตามหน้าที่การทำงาน

หน่วยความจำที่นำมาใช้เป็นรีจิสเตอร์มีด้วยกัน 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ หากเป็นแบบพรินซ์ตัน (Princeton) รีจิสเตอร์จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน ส่วนแรกจะอยู่ร่วมกับซีพียูหรือเรียกว่า รีจิสเตอร์ซีพียู ส่วนที่สองจะอยู่แยกต่างหาก ซึ่งมักเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอินพุตเอาต์พุตและรีจิสเตอร์แสดงสถานะ แต่ในสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard) จะใช้บางส่วนในหน่วยความจำข้อมูลรวมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลในรีจิสเตอร์จะคงอยู่ตามเท่าที่ขังจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซีพียูสามารถอ่านเขียนรีจิสเตอร์ได้ตลอดเวลาเท่ากับอายุการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์อาจกล่าวได้ว่า รีจิสเตอร์คือหน่วยความจำข้อมูลที่มีการระบุชื่อชัดเจน มีแอดเดรสและฟังก์ชันการทำงานที่เฉพาะเจาะจงตามที่กำหนดโดยผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.4 รีจิสเตอร์ตัวนับโปรแกรมหรือโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)

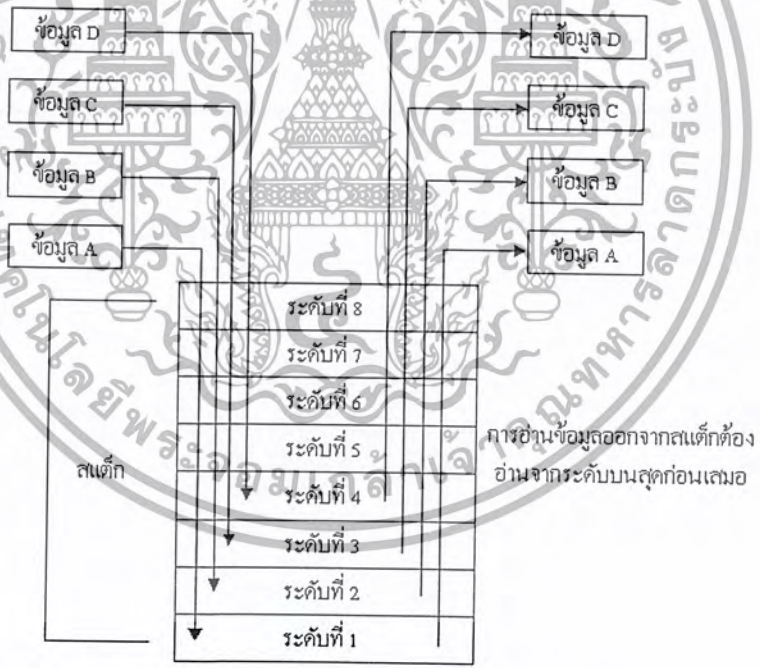
การที่ซีพียูสามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลคำสั่งได้อย่างถูกต้องเป็นผลมาจากรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษตัวหนึ่งคือ รีจิสเตอร์ตัวนับโปรแกรม หรือ PC (Program Counter) โดย PC จะเป็นตัวชี้ตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมที่ซีพียูจะต้องไปกระทำในลำดับถัดไป โดยปกติ

แล้วค่าของ PC จะเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติขึ้นอยู่กับผลการทำงานที่เกิดขึ้นในไมโครคอนโทรลเลอร์บางตระกูลสามารถเข้าถึงรีจิสเตอร์ PC เพื่อทำการอ่านเขียนได้ ในบางตระกูลก็ไม่สามารถทำได้

ขนาดของรีจิสเตอร์ PC ขึ้นอยู่กับความจุของหน่วยความจำโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ยกตัวอย่างใน MCS51 สามารถมีหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ หรือ 65,536 ตำแหน่ง ขนาดของรีจิสเตอร์ PC จึงมีได้เท่ากับ 16 บิต ส่วนในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC อนุกรม 14 บิต มีหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 8 กิโลเวิร์ด หรือ 8,192 ตำแหน่ง รีจิสเตอร์ PC จึงมีขนาด 13 บิต

### 2.5 สแต็กในไมโครคอนโทรลเลอร์

สแต็ก(stack) เป็นหน่วยความจำส่วนพิเศษที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกตัวต้องมี โดยหน้าที่ของมันคือ เก็บข้อมูลที่ยังต้องการอยู่ของรีจิสเตอร์ และเมื่อข้อมูลนั้นถูกนำมาเก็บไว้ในสแต็กแล้วก็สามารถที่จะเปลี่ยนข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวนั้น ๆ ได้ทันที หลังจากที่ทำงานเรียบร้อยแล้วจึงกลับมาอ่านข้อมูลเดิมกลับจากสแต็ก ดังมีกระบวนการทำงานแสดงในรูปที่ 2.2 การเก็บข้อมูลของสแต็กจะมีลักษณะเป็นระดับหรือเป็นชั้น ข้อมูลที่เก็บเข้ามาก่อนจะต้องอ่านออกทีหลังหรือเป็นแบบ FILO(First In Last Out) และจำนวนระดับหรือจำนวนชั้นของสแต็กก็มีจำกัด



รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการทำงานของสแต็กอย่างง่าย

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนใหญ่จะมีความจุของสแต็กไม่น้อยกว่า 8 ระดับ การที่ยังมีขนาดของสแต็กมากหรือมีจำนวนระดับมาก ก็จะยิ่งช่วยให้การทำงานสะดวกขึ้น เพราะในการประมวลผลมีโอกาสมากที่ต้องพักข้อมูลในรีจิสเตอร์หลักที่สำคัญเพื่อไปทำงานอื่นก่อน หลังจากนั้นจึงจะกลับมา

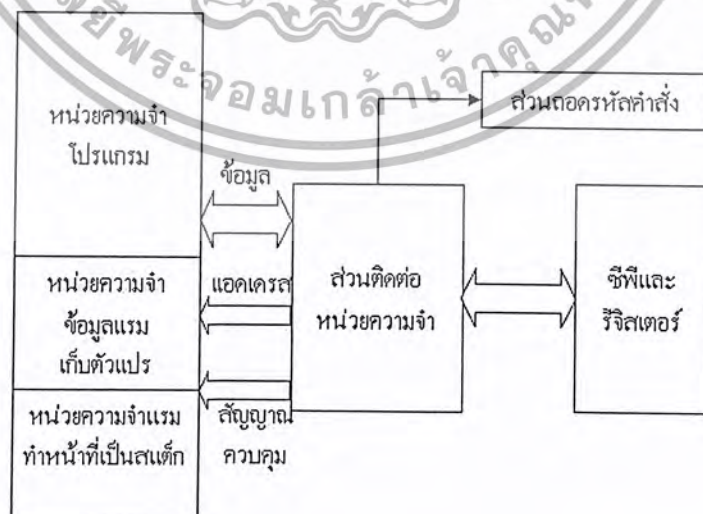
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานต่อโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานที่มีการอินเทอร์รัปต์หรือขัดจังหวะ ซึ่พียู บ่อยๆ รวมถึงงานที่มีการกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อยจำนวนมาก เพราะเมื่อต้องกระโดดออกจากโปรแกรมหลักไปทำงานที่โปรแกรมย่อย ก็ต้องเก็บข้อมูลของรีจิสเตอร์หลักที่ทำงานค้างอยู่ใน สแต็ค หลังจากนั้นกระโดดไปที่โปรแกรมย่อยที่มีความต้องการเขียนข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ตัวเดียวกันนี้ หลังจากทำงานแล้วจึงกลับมาที่โปรแกรมหลัก แล้วอ่านค่าเดิมก่อนหน้านี้กลับมาทำงานต่อ ทว่า ในงานบางลักษณะมีการกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อยซ้อนกัน 2-3 ชั้นทำให้ต้องมีการเก็บข้อมูลไว้ในสแต็คมากขึ้นหากความจุของสแต็คมีน้อยก็จะไม่สามารถรองรับการทำงานในลักษณะนี้ได้

ขนาดของสแต็คโดยปกติจะต้องเท่ากับขนาดของรีจิสเตอร์ตัวนับโปรแกรม หรือ PC เพราะมีโอกาสที่จะต้องเก็บค่าของ PC ไว้ในสแต็คด้วย

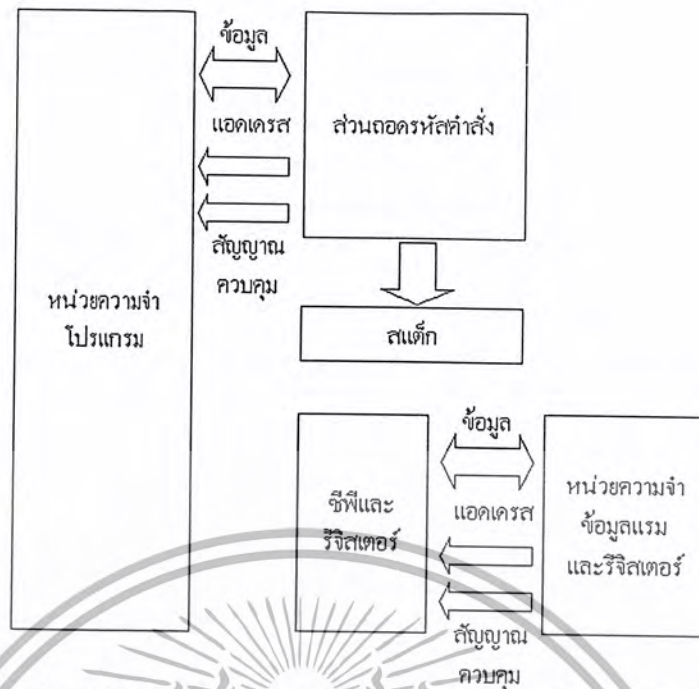
## 2.6 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นที่ยอมรับกันว่าสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์มีด้วยกัน 2 แบบ คือ ฟรินซ์ตัน หรือ ฟอนนิวแมน (Von Neumann) และฮาร์วาร์ด ดังในรูปที่ 2.3 และ 2.4 แสดงการจัดสรรหน่วยความจำและรีจิสเตอร์ในสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 2 แบบพิจารณาตั้งในรูปที่ 2.3 ก่อน เป็นการจัดสรรในสถาปัตยกรรมแบบฟรินซ์ตัน จะเห็นได้ว่ามีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน ส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมกับหน่วยความจำข้อมูลจะได้รับการจัดสรรให้อยู่รวมกัน ติดต่อกับ CPU ผ่านส่วนจัดการเชื่อมต่อหน่วยความจำ และภายใน CPU จะมีรีจิสเตอร์บรรจุอยู่ ข้อดีของสถาปัตยกรรมคือ ออกแบบง่าย เพราะหน่วยความจำทั้งหมดอยู่รวมกัน สามารถเข้าถึงได้ง่าย หน่วยความจำแรมหากมีขนาดใหญ่เพียงพอ ก็จะสามารถเก็บได้ทั้งโปรแกรมควบคุมการทำงานและข้อมูลของตัวแปรในการประมวลผล ข้อด้อยของสถาปัตยกรรมนี้คือ ความเร็วในการประมวลผลเนื่องจากหน่วยความจำอยู่รวมกันจึงต้องติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมสลับกับหน่วยความจำข้อมูล ส่งผล CPU ต้องใช้จำนวนไซเคิลในการทำงานมากแต่ข้อด้อยนี้สามารถชดเชยได้ หากไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานกับสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูงมากได้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฟรินซ์ตันหรือฟอน นิวแมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์ดแวร์

ในขณะที่สถาปัตยกรรมแบบฮาร์ดแวร์ ซึ่งแสดงดังในรูปที่ 2.4 จะแยกส่วนของหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ออกจากหน่วยความจำโปรแกรมทำให้ไซเกิลการทำงานลดลงเนื่องจากสามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลได้เร็วกว่า นั่นคือการทำงานได้เร็วกว่าแบบ พรินซ์ตัน นอกจากนี้สถาปัตยกรรมแบบนี้ในขณะที่ CPU กำลังเอ็กเซคิวต์คำสั่งในปัจจุบันอยู่สามารถที่จะเฟตซ์คำสั่งถัดไปได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความเร็วในการทำงานให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

## 2.7 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถทำงานได้เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงและต่อวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้แก่มัน จากนั้น CPU ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลคำสั่งที่บรรจุอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรม

นั่นหมายความว่าต้องมีการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมก่อน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์จะมีรูปแบบของข้อมูลคำสั่งที่แตกต่างกัน ซึ่งจะต้องอาศัยกระบวนการเขียนโปรแกรม ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมสามารถแบ่งได้ 2 ระดับ คือ ภาษาสูง (high language) และภาษาแอสเซมบลี (assembly language) โดยปกติไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี เนื่องจากสามารถทำงานได้รวดเร็วผ่านกระบวนการแปลงข้อมูลคำสั่งเป็นข้อมูลเลขฐานสิบหกเพื่อทำงานตามคำสั่งเพียง 1 ขั้นตอนคือ แปลงจากภาษาแอสเซมบลีเป็นข้อมูลเลขฐานสิบหกหรือที่เรียกว่า ออปโค้ด (Opcode) แต่ข้อเสียของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลีคือ ผู้เขียนต้องทำความเข้าใจในชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้นๆ และเมื่อเปลี่ยนเบอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็ต้องทำการเรียนรู้และทำความเข้าใจชุดคำสั่งใหม่ ซึ่งอาจทำให้เสียเวลามาก และการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนโปรแกรมด้วยภาษา แอสเซมบลี ผู้เขียนต้องมีทักษะในการเขียนโปรแกรมสูงพอสมควร และเข้าใจถึงสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอย่างดี

ในขณะที่การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาสูง อย่าง ภาษาซี ภาษาเบสิก ต้องผ่านกระบวนการที่เรียกว่า คอมไพล์ (compile) เพื่อแปลงภาษาระดับสูงเหล่านั้นเป็นภาษาเครื่องหรือออปโค้ดของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้นๆเสียก่อน และโปรแกรมที่ใช้ในการคอมไพล์นั้นเรียกว่า คอมไพเลอร์ (compiler) มักจะมีราคาแพง เมื่อใช้เครื่องมือทาง software ตัวนี้ ทำให้ผู้เขียนโปรแกรมอาจไม่จำเป็นต้องศึกษาสถาปัตยกรรมและชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้นอย่างลึกซึ้งเท่ากับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลี ทั้งนี้เพราะคอมไพเลอร์ จะทำหน้าที่ในส่วนนี้แทน ดังนั้นเมื่อผู้ใช้งานเปลี่ยนเบอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็เพียงแค่จัดหาโปรแกรมคอมไพเลอร์ที่เหมาะสมมาใช้งาน และศึกษาสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ใหม่อีกเพียงเล็กน้อยก็สามารถใช้งานได้ แต่ข้อเสียของการใช้คอมไพเลอร์คือ ราคาแพง

## 2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16873

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เป็นที่รู้จักกันดีในบรรดาผู้ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่มีผู้ใช้งานจำนวนมากประสบปัญหาด้านข้อจำกัดบางประการในไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นก่อน แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16873 ได้เพิ่มขีดความสามารถต่างๆ ให้ผู้ใช้ได้ใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

### 2.8.1 คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16873

- ซีพียู RISC สมรรถนะสูง
- ชุดคำสั่งเพียง 35 คำสั่ง
- ทุกคำสั่งใช้คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาเพียงหนึ่ง ไชเกิล ยกเว้นคำสั่งการกระโดดใช้สองไชเกิล
- ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา : ยาวสี่ซี 20 เมกะเฮิรตซ์ เวลาในแต่ละไชเกิลของคำสั่งสูงสุด 200 นาโนวินาที
- หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชขนาด 4 กิโลเวิร์ด
- หน่วยความจำแรม 192 ไบต์
- หน่วยความจำอีพีรอม 128 ไบต์
- สามารถตอบสนองอินเตอร์รัปต์ได้สูงถึง 14 เงื่อนไข
- สแต็กทางฮาร์ดแวร์ 8 ระดับ
- มีการอ้างแอดเดรสแบบโดยตรง , ทางอ้อมและแบบสัมพันธ์
- มีเพาเวอร์อัพไทเมอร์ (PWRT)
- มีเพาเวอร์อนรีเซต (OST)
- วอตซ์ด็อกไทเมอร์มีวงจรออสซิลเลเตอร์แบบ RC ภายใน
- สามารถป้องกันการอ่านข้อมูลโดยการกำหนดรหัสป้องกันได้
- เลือกวจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาได้ 4 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถโปรแกรมข้อมูลแบบอนุกรมโดยใช้แรงดันต่ำได้(LVP)
- สามารถโปรแกรมข้อมูลแบบอนุกรม 3 สาย โดยใช้แรงดันไฟสูง
- สามารถแก้ไขข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ขณะอยู่ในวงจรผ่านสายเพียง 2 เส้น
- ย่านแรงดันไฟเลี้ยง 2 – 5.5 โวลต์
- กระแสซิงค์และซอร์ส 25 มิลลิแอมป์
- กินกระแสเพียง 2 มิลลิแอมป์ ขณะใช้งานที่ไฟเลี้ยง +5 โวลต์ ความถี่สัญญาณนาฬิกา 4 เมกะเฮิร์ตซ์ และเพียง 1 ไมโครแอมป์ในขณะสแตนด์บาย

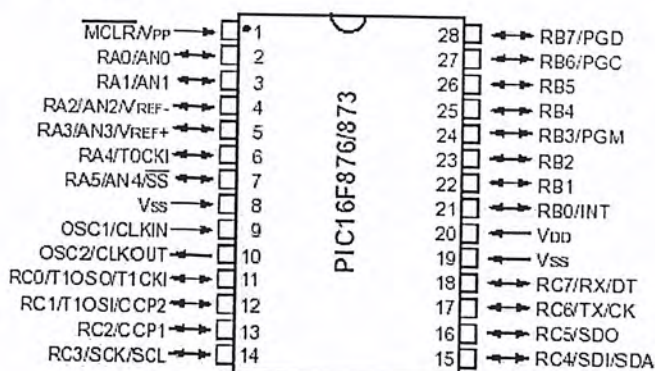
### 2.8.2 คุณสมบัติของเพอริเฟอรัล

- Timer 0 : ประกอบด้วย ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 8 บิต และปริสเกลเลอร์ขนาด 8 บิต
- Timer 1 : ประกอบด้วย ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ และปริสเกลเลอร์ขนาด 16 บิต
- Timer 2 : ประกอบด้วย ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 8 บิต และรีจิสเตอร์เก็บคาบเวลา , ปริสเกลเลอร์ และโพสต์
- ปริสเกลเลอร์ขนาด 8 บิต
- มีโมดูลแคปเจอร์ , วงจรเปรียบเทียบ และPWM 2 ชุด โดยมีรายละเอียดคือมีรีจิสเตอร์แคปเจอร์ขนาด 16 บิต ความละเอียด 12.5 นาโนวินาที , รีจิสเตอร์สำหรับเก็บค่าเปรียบเทียบขนาด 16 บิต ความละเอียด 200 นาโนวินาที และวงจร PWM มีความละเอียด 10 บิต
- วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต สูงถึง 8 ช่อง
- มีพอร์ตสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบอนุกรม 2 รูปแบบคือ SPI และ I2C
- มีวงจร USART พร้อมด้วยการตรวจจับแอดเดรสขนาด 9 บิต
- มีพอร์ตสเลฟแบบขนาน (parallel slave port) เพื่อใช้ในการติดต่อกับบัสของไมโครโปรเซสเซอร์หรืออาจใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้
- สามารถตรวจจับการสูญหายของไฟเลี้ยง (Brown-out circuitry) เพื่อการรีเซตแบบบราวน์เอาต์ (BOR)

### 2.8.3 การจัดขาของ PIC16F873

1. ขาพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต มี 22 ขา ใช้งานเป็นทั้งพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต , อินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) , ขาสำหรับโปรแกรมทั้งแบบ 2 และ 3 สาย ขาสำหรับสื่อสารข้อมูลอนุกรมและขารับสัญญาณอินเทอร์รัปต์
2. ขาค่อกับแหล่งจ่ายไฟ จำนวน 4 ขา คือ ขาค่อกับไฟเลี้ยง 3 ขา(เป็นกราวด์ 2 ขา) และขาค่อกับแรงดันที่ใช้ในการโปรแกรมอีก 1 ขา และที่ขานี้ยังใช้เป็นขารีเซตด้วย
3. ขาสำหรับป้อนสัญญาณนาฬิกา มีด้วยกัน 2 ขา คือ OSC1 และ OSC

## PDIP, SOIC



รูป 2.5 แสดงลักษณะการจัดขาของ PIC16F873

## 2.8.4 พอร์ตของ PIC16F873

## พอร์ต A

มีขนาด 6 บิต เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทางจึงสามารถใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตได้อย่างอิสระ และที่เป็นจุดเด่นของพอร์ต A คือทำหน้าที่เป็นขาอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ขนาด 10 บิตถึง 5 ช่อง โดยสามารถใช้เป็นขาอินพุตรับแรงดันอ้างอิง ขาอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลจะลดลงเหลือ 3 ช่อง

## พอร์ต B

มีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ต 2 ทิศทางสามารถใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตได้อย่างอิสระเช่นเดียวกับพอร์ต A ขา RB6 และ RB7 สามารถใช้ในการโปรแกรมข้อมูลลงในหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่ขา RB3 ใช้เป็นขาที่กำหนดให้ PIC16F873 เข้าสู่การโปรแกรมด้วยแรงดันต่ำ (low voltage programming)

## พอร์ต C

มีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ต 2 ทิศทางเช่นเดียวกัน สามารถกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตได้อย่างอิสระนอกจากนั้นยังสามารถใช้งานในฟังก์ชันพิเศษอื่นได้อีก

## 2.8.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมหรือ SPI

PIC16F873 สามารถกำหนดให้ทำงานในโหมดเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แบบอนุกรมหรือ Serial Peripheral Interfacing (SPI) เพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกในลักษณะอนุกรมแบบซิงโครนัส (synchronous) โดยมีขาใช้งาน 4 ขาคือ ขาข้อมูลออกแบบอนุกรม (Serial Data Out : SDO) , ขาข้อมูลเข้าแบบอนุกรม (Serial Data In : SDI) , ขาสัญญาณนาฬิกาอนุกรม (Serial Clock : SCK) และขาเลือกอุปกรณ์สเลฟ (Slave Select : SS) ในการใช้งานปกติจะใช้ 3 ขาคือ SDA , SDI และ SCK สำหรับขา SS จะใช้งานก็ต่อเมื่อ PIC16F873 ถูกกำหนดให้เป็นอุปกรณ์สเลฟหรืออุปกรณ์ตัวลูก

การทำงานในโหมดเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมมีด้วยกัน 2 ลักษณะคือเป็นอุปกรณ์ตัวแม่หรือมาสเตอร์(master)และอุปกรณ์ตัวลูกหรือสเลฟ(slave) อัตราของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการถ่ายเทข้อมูลของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทางอื่นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPI สามารถเลือกได้ตั้งแต่ ความถี่สัญญาณนาฬิกาหลักหาร 4 (Fosc/4) , หาร 16 ( Fosc/16 ) , หาร 64 (Fosc/64) และที่ค่าเอาต์พุตของไทมเมอร์ 2 หาร 2 (Timer2 output/2) มีอัตราสูงสุด 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ที่ความถี่สัญญาณนาฬิกาหลักสูงสุด 20 เมกะเฮิร์ตซ์

การเชื่อมมต่อในโหมด SPI นี้ต้องต่อขา SDO ของอุปกรณ์มาสเตอร์เข้ากับขา SDI ของอุปกรณ์สเลฟ ส่วนขา SDI ของมาสเตอร์จะต่อเข้ากับขา SDO ของสเลฟและขา SCK ของอุปกรณ์มาสเตอร์และสเลฟจะต่อถึงกันโดยตรงนอกจากนั้นยังสามารถใช้งานขา SDO และ SDI ในการสื่อสารข้อมูลแบบ 2 เส้นได้ด้วยกัน เมื่อมีการรับข้อมูลขา SDO จะถูกกำหนดให้เป็นขาอินพุต ทำให้การส่งข้อมูลออกจากขา SDO ได้รับการคิเสเบิลโดยอัตโนมัติ

## 2.8.6 USART ใน PIC16F873

USART ย่อมาจาก Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter หรือ วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (Serial Communication Interface : SCI) เป็นระบบการสื่อสารข้อมูลอนุกรมที่ได้รับการบรรจุอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F873 ด้วยโดยสามารถกำหนดให้ทำงานในลักษณะฟูลดูเพล็กซ์ (full duplex) กล่าวคือสามารถรับและส่งข้อมูลได้ในคราวเดียวกันอาทิ การติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 และในลักษณะนี้จะต้องผลัดกันรับและส่งข้อมูลอาทิ การติดต่อกับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกและวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลหรือการติดต่อกับหน่วยความจำอีพีรอมอนุกรม เป็นต้น

USART ใน PIC16F873 สามารถกำหนดให้ทำงานได้หลายโหมดดังนี้

- โหมดอะซิงโครนัส มีลักษณะการส่งผ่านข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์
- โหมดซิงโครนัส-มาสเตอร์มีลักษณะการส่งผ่านข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์
- โหมดซิงโครนัส-สเลฟมีลักษณะการส่งผ่านข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์

ด้วยความสามารถของ USART จึงสามารถสร้างระบบแบบมัลติโปรเซสเซอร์ได้ โดยมีการตรวจจับแอดเดรสแบบ 9 บิต (9-bit address detection) ภายใน USART ของ PIC16F873 มีวงจรกำเนิดอัตราบอด (baud rate generator) ขนาด 8 บิต สามารถควบคุมได้ด้วยกระบวนกรทางซอฟต์แวร์ และเลือกอัตราบอดได้ระหว่าง 19.53-5,000 กิโลบิตต่อวินาที ในโหมดซิงโครนัสโดยใช้คริสตอลความถี่ 20 เมกะเฮิร์ตซ์ในการกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ส่วนในโหมดอะซิงโครนัส USART ใช้รูปแบบการติดต่อสื่อสารตามมาตรฐาน NRZ(non-return-zero)ซึ่งมีรูปแบบคือ บิตเริ่มต้น 1 บิต สำหรับจำนวนของข้อมูล และบิตหยุด 1 บิต , 8 บิต ในการรับและส่งข้อมูล USART ใน PIC16F873 จะกระทำกับข้อมูลในบิต LSB ก่อน ซึ่งขาสำหรับใช้งานในการสื่อสารอนุกรมคือขา RC6/TX เป็นขาสำหรับส่งข้อมูลและขา RC7/RX สำหรับรับข้อมูล

## บทที่ 3

### แบตเตอรี่และการอัดประจุแบตเตอรี่

#### 3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบบตะกั่ว-กรด ซึ่งเราจะกล่าวถึงแบตเตอรี่ แบบตะกั่ว-กรด ชนิดต่าง ๆ อย่างกว้าง ๆ ได้ดังนี้

#### 3.1.1 แบตเตอรี่แบบตะกั่ว – กรดโดยที่ไม่ต้องเติมน้ำกลั่น(Non spill lead – acid Battery) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

##### ก. แบตเตอรี่แบบมาตรฐาน(Standard Battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้เมื่อ ไม่ได้ใช้งานจะมีการคายประจุด้วยตนเอง (Self - discharge) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมต้องมีการอัดประจุใหม่ ทุก ๆ 4-6 สัปดาห์ เพื่อชดเชยค่าการคายประจุด้วยตนเอง แบตเตอรี่นี้เหมาะสำหรับใช้งานในช่วงสั้น ๆ

##### ข. แบตเตอรี่ถาวร (Permanent Battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสได้หลายเดือนโดยไม่ต้องมีการดูแลรักษาและสามารถอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ทุก ๆ 10 เดือนและมีการคายประจุด้วยตนเองต่ำ เนื่องจากใช้ตะกั่วผสม (Lead Alloy) ชนิดพิเศษ เหมาะสำหรับใช้งานพิเศษที่ต้องการใช้งานสูงกว่า แบบมาตรฐาน (Standard Battery)

#### 3.1.2 แบตเตอรี่แบบตะกั่ว – กรดที่มีการปิดผนึก (Recombining seal lead – acid Battery)

ปกติแล้วเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุจนถึงระดับที่อัดประจุสูงกว่าปกติ (Over charge) กรดฟลูอิกที่เป็นอิเล็กโทรไลต์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนทำให้ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นเราต้องมีการเติมน้ำกลั่นมิตฉะนั้นแบตเตอรี่จะเสื่อมคุณภาพได้ การเติมน้ำกลั่นเป็นการจำกัดในการใช้งานแบตเตอรี่ ฉะนั้นเราจึงมีการพัฒนาแบตเตอรี่ใช้งานโดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

##### ก. แบตเตอรี่แบบไม่ต้องรวม (Non - Recombining) หรือรวมบางส่วน (Partially Recombinnig)

แบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่ต้องบำรุงรักษาใด ๆ และไม่ต้องอัดประจุให้ถึงระดับ Over charge เพื่อให้แบตเตอรี่เต็ม ในกรณีที่อุณหภูมิใช้งานสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมมาก ๆ แบตเตอรี่จะเกิดก๊าซทำให้ความดันสูงขึ้น ซึ่งแบตเตอรี่จะมีวาล์วคอยเปิดให้ก๊าซออกไปในทันที และวาล์วจะปิดโดยอัตโนมัติเมื่อความดันก๊าซต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงใช้แบตเตอรี่แบบนี้ได้กับทุกสภาวะแวดล้อมแบตเตอรี่แบบนี้จะปิดผนึกไว้ ซึ่งภายในแบตเตอรี่จะไม่เกิดก๊าซอีกทั้งมีความต้านทานภายในต่ำและจ่ายกระแสได้สูง ภายใต้การอัดประจุแบบรักษาระดับแรงดันคงที่ จะอัดประจุด้วยกระแสอัดประจุสูง ๆ ในตอนเริ่มต้น และในขั้นที่ 2 เมื่อแรงดันย้อนกลับของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้น และต้องควบคุมกระแสในการอัดประจุ เมื่อแบตเตอรี่เต็มจะต้องรักษา ระดับแรงดันแบตเตอรี่โดยลดกระแสให้เหลือน้อย เพื่อไม่ให้เกิด Over voltage และป้องกัน electrolyte

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

loss partially recombining แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดที่มีขนาดความจุเดียวกัน สามารถต่อกันแบบอนุกรม หรือแบบขนานใช้แรงดันต่ำ และกระแสสูง ๆ แบตเตอรี่นี้สามารถอัดประจุและจ่ายประจุได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งดีกว่าแบบนิกเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium)

#### ข. แบตเตอรี่ แบบรวมสมบูรณ์ (Fully Recombining)

โครงสร้างคล้าย ๆ กับแบบ Standard Cylindrical Ni-Cad เหมาะสำหรับใช้งาน Standby มีการรวมตัวของออกซิเจน ( $O_2$ ) ที่ดี ก๊าซเกิดขึ้น คือ  $H_2$  และ  $O_2$  จะรวมตัวกันเป็นน้ำ ทำให้ปริมาณของอิเล็กโทรไลต์ไม่ลดลง อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน และสภาวะแวดล้อม มีความต้านทานต่ำ อัตราการ discharge สูง ใช้ Alloy grid ชนิดพิเศษ การอัดประจุส่วนใหญ่เป็นแบบ constant voltage , constant current , pulse charging และอื่น ๆ

### 3.2 พารามิเตอร์ในการอัดประจุ

3.2.1 การชดเชยทางอุณหภูมิของการอัดประจุ โดยการอัดประจุจะปรับแต่งค่าแรงดันที่อัดประจุ ซึ่งต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิ โดยการตรวจจับอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม

3.2.2 เวลาที่อัดประจุเสร็จ เวลาที่แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุเต็มขึ้นอยู่กับสภาวะการคิซาร์จ และลักษณะการอัดประจุ รวมทั้งอุณหภูมิด้วย

3.2.3 อุณหภูมิในขณะการอัดประจุ ควรทำการอัดประจุที่อุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 40 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิในการอัดประจุจะมีประสิทธิภาพที่ดี ก็คือในช่วง 5 ถึง 30 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่กำหนด อาจทำให้การอัดประจุได้ไม่มากหรือร้อนเกินไป

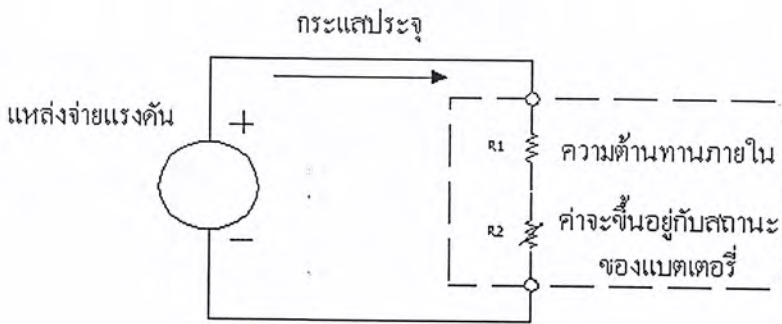
3.2.4 การชาร์จประจุเกิน การอัดประจุเพิ่มขึ้นอีกหลังจากแบตเตอรี่อัดประจุเต็มแล้วเรียกว่า โอเวอร์ชาร์จ (Overcharge) ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง

### 3.3 หลักการประจุไฟฟ้าของเครื่องประจุแบตเตอรี่

เครื่องประจุแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ซึ่งจะให้ระดับแรงดันสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการเก็บประจุ ในการประจุแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่องประจุต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยกระแสที่ทำการประจุจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จากรูปวงจรที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่แสดงให้เห็นว่าการประจุเราต้องพิจารณาถึงตัวต้านทาน 2 ตัวภายในแบตเตอรี่คือ  $R_1$  จะเป็นค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เอง จะมีอยู่ในแบตเตอรี่เสมอไม่ว่าแบตเตอรี่นั้นกำลังประจุหรือคายประจุอยู่โดยจะมีค่ามากขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ซึ่งจะมีค่ามากเมื่อเป็นแบตเตอรี่ชนิด Low Rated Charge - Discharge เมื่อเราใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ในอัตรากระแสที่สูงจะทำให้เกิดความสูญเสียมากเนื่องจาก  $Loss = I^2 \times R$  แต่ถ้าเป็นแบตเตอรี่ชนิด High Rate ค่าความต้านทานตัวนี้จะมีค่าน้อยมาก ทำให้สามารถใช้กระแสสูง ๆ ได้โดยกำลังสูญเสียไม่มาก ส่วน  $R_2$  นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับสถานะการหมกประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุหมดเต็มที่ ค่าความต้านทานตัวนี้จะมีค่าต่ำ ดังนั้นกระแสที่ใช้ในการประจุจึงมีค่าสูง อย่างไรก็ตามเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ใกล้หมดหรือประจุจนเต็มที่แล้วค่าความต้านทาน  $R_2$  นี้จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่าลดลง



รูปที่ 3.1 ทิศทางการไหลของกระแสประจุแบตเตอรี่

นอกจากนี้สิ่งทีควรทราบอย่างยิ่งในการประจุแบตเตอรี่มีดังต่อไปนี้

ระดับแรงดันที่ใช้ประจุ

Float Charge คือ การประจุแบตเตอรี่ด้วยระดับแรงดันแบบธรรมดาที่มีค่าไม่สูงอยู่ที่ค่าประมาณ 2.13 – 2.25 V/Cell ในภาวะปกติของการประจุจะใช้ระดับแรงดันนี้

Equalizing Charge ในบางครั้งแบตเตอรี่ที่ใช้อยู่ไม่ถูกใช้งานหรือใช้งานน้อยทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีเสื่อมลงจึงควรมีการกระตุ้นแบตเตอรี่บ้างประมาณ 72 ชม.ต่อปี โดยระดับแรงดันที่ใช้ประจุประมาณ 2.3 – 2.55 V/Cell

End of Cell Voltage

คือ จุดต่ำสุดของแรงดันในการพิจารณาว่าแบตเตอรี่คายประจุหมดแล้ว มีค่าไม่แน่นอนประมาณ 1.5 – 1.8 V/Cell ถ้าหากปล่อยให้แบตเตอรี่คายประจุจนต่ำกว่าค่า End of cell แล้วจะทำให้แบตเตอรี่คายประจุไม่สามารถอัดประจุด้วยวิธีธรรมดาได้ ต้องประจุแบบร่นแรงเป็นจังหวะแบบการปั๊มหัวใจเพื่อให้แบตเตอรี่ฟื้น

### 3.4 วิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่

แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดดังนี้

#### 3.4.1 การอัดประจุแบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging)

วิธีนี้มีข้อดีตรงที่ว่าไม่จำเป็นต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิเหมือนกับการชาร์จแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charging) แต่ก็มีข้อเสียคือต้องระวังเรื่องเวลาในการอัดประจุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการอัดประจุด้วยกระแสสูง ๆ ซึ่งแบตเตอรี่จะเต็มภายในระยะเวลาอันสั้น ๆ เท่านั้น การอัดประจุด้วยอัตราสูงมีผลทำให้แรงดันที่แบตเตอรี่สูงเกินไป น้ำจะเกิดแตกตัวและมีความร้อนเกิดขึ้น การอัดประจุแบบนี้อาจใช้ในการอัดประจุใหม่ให้กับแบตเตอรี่ที่เก็บไว้นานแล้ว ซึ่งสามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้ที่เดียวหลาย ๆ ลูก

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประจุแบบเคอรีแบบกระแสคงที่นับว่าเป็นการประจุที่มีประสิทธิภาพกว่าการประจุแบบแรงดันคงที่ แต่การประจุแบบกระแสคงที่นี้จะใช้เวลาการประจุนานกว่าแบบแรงดันคงที่ ทั้งนี้การประจุแบบกระแสคงที่นี้จะถูกจำกัดปริมาณการประจุกระแสจากเครื่องประจุข้างจรแบบเคอรีเป็นจำนวนแอมป์ต่อชั่วโมง ดังนั้นแบบเคอรีจะได้รับการประจุเป็นไปตามที่กำหนด เมื่อเป็นเช่นนี้อาจเป็นที่สงสัยว่าทำไมไม่ตั้งกระแสในการประจุสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการประจุน้อยลง แต่ผลที่ตามมา คือจะเกิดความเสียหายขึ้นกับแบบเคอรี ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบบเคอรีจะสูงขึ้นตามปริมาณของกระแสที่ทำการประจุและในที่สุดแผ่นเพลทของแบบเคอรีที่เป็นวัสดุแอคทีฟ(Active Material) ของเซลล์แบบเคอรีจะเกิดการคดงอ แฉก หรือเกิดการร้าวอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ ถ้าเซลล์แบบเคอรีเกิดความร้อนสูงกว่าปกติมาก ๆ หรือความร้อนในเซลล์สูงกว่ากำหนดจะทำให้เซลล์แบบเคอรีเกิดการระเบิดขึ้นได้

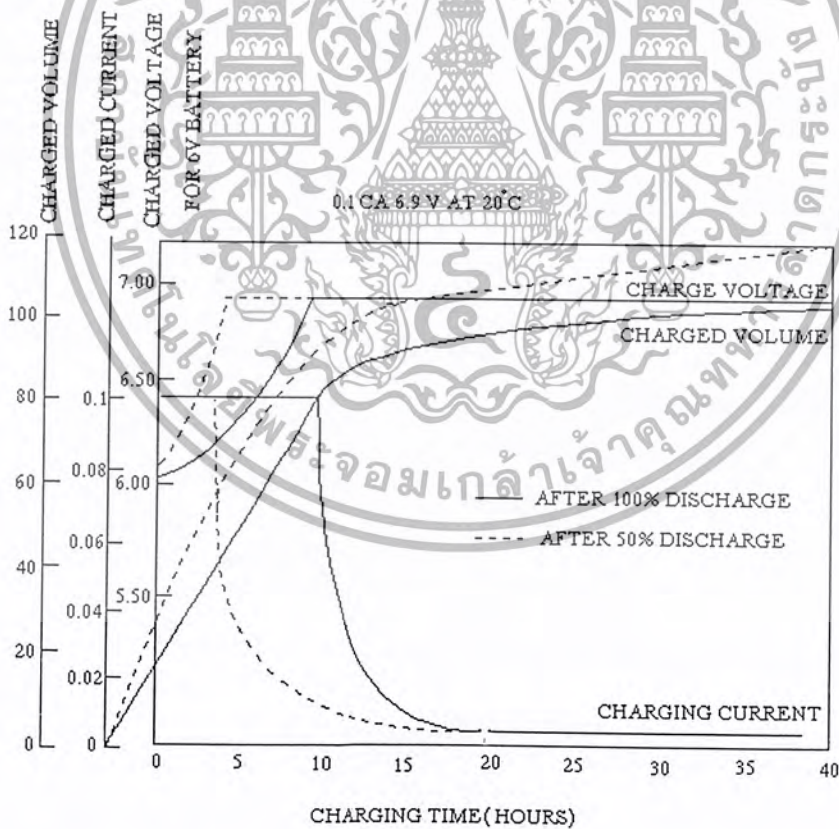


### 3.4.2 การอัดประจุแบบแรงดันคงที่(Constant Voltage Charging)

อาจจะใช้ในกรณีที่ต้องการให้แบบเคอรีอยู่ในสถานะประจุเต็ม (Fully charge) เสมอ โดยต้องระวังเรื่องอัตราการอัดประจุสูงเกินไป ซึ่งการอัดประจุแบบนี้ทำให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตมีเสถียรภาพพร้อมทั้งมีความจุกระแสสูง สำหรับในช่วงที่แรงดันแบบเคอรีมีค่าต่ำ ๆ ความต้านของแบบเคอรีมีค่าน้อยมาก ฉะนั้นกระแสที่อัดประจุจึงมีค่าสูงมาก เป็นผลทำให้เครื่องอัดประจุต้องมีขนาดใหญ่ และราคาแพง อีกทั้งยังทำให้เกิดความร้อนภายในแบบเคอรีซึ่งปกติเครื่องอัดประจุแบบแรงดันคงที่นี้ จะมีอุปกรณ์ช่วยในการจำกัดกระแสเริ่มต้นโดยใช้ Constant current regulation ซึ่งในช่วงสุดท้ายของการอัดประจุ กระแสจะถูกลดลงอย่างอัตโนมัติ ซึ่งไม่ทำให้เกิดการสลายตัว

จากที่เราได้ทราบมาแล้วว่าการประจุแบบกระแสคงที่ เราจะทำการประจุอย่างรวดเร็วไม่ได้ ต่อไปนี้เราจะได้ศึกษาถึงการประจุแบบแรงดันคงที่ในการประจุแบบนี้จะใช้เวลาในการประจุน้อยกว่าการประจุแบบกระแสคงที่ระยะเวลาในการประจุจะใช้น้อยเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของการประจุว่าจ่ายกระแสออกมายังวงจรแบบเคอรีมากน้อยเพียงไร โดยทั่วไปเครื่องประจุจะสามารถจ่ายกระแสออกมาได้ 50% ของค่าความจุแบบเคอรีที่นำมาทำการประจุเช่นแบบเคอรีขนาด 100 แอมแปร์ต่อชั่วโมง จะใช้เวลาในการประจุเท่ากับ 2 ชั่วโมง

การประจุแบตเตอรี่เกิดจากเมื่อแบตเตอรี่ถูกนำเอาพลังงานออกไปใช้งานจะต้องมีการประจุไฟให้กับแบตเตอรี่มีประจุเต็มดั้งเดิม การประจุโดยระบบแรงดันคงที่ทำได้โดยการใช้เครื่องประจุหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดโวลต์เตจขึ้นมา แล้วป้อนเข้าแบตเตอรี่ แต่การกำเนิดโวลต์เตจจากเครื่องประจุหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น อาจจะมีโวลต์เตจที่ไม่คงที่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องมีตัวควบคุมโวลต์เตจที่นำเข้ามาประจุแบตเตอรี่ให้คงที่อยู่ตลอดเวลาของการประจุซึ่งตัวนี้เราเรียกกันทั่วไปว่า วงจรเร็กกูเลเตอร์ (Voltage Regulator) ดังนั้นวงจรเร็กกูเลเตอร์นี้จะทำหน้าที่ให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุที่คงที่ และนับเป็นวงจรที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการประจุแบบแรงดันคงที่ และในทำนองเดียวกันถ้าหากแรงดันเร็กกูเลเตอร์นี้เสียจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับระดับโวลต์เตจที่ไม่ถูกต้องซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งระดับแรงดันทั้งสองที่กล่าวมานี้จะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้ การใช้วงจรเร็กกูเลเตอร์จะมีค่าแรงดันเท่าไรนั้นจะต้องดูที่คู่มือของแบตเตอรี่นั้น ๆ เป็นหลัก ในกรณีที่ไม่มีความรู้คู่มือใช้หลักการดังนี้ คือให้ใช้งานแรงดันในการประจุต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ทำการประจุ เช่น แบตเตอรี่ 24 เซลล์จะปรับระดับแรงดันของเครื่องประจุเท่ากับ 2.15 คูณ 24 เท่ากับ 51.3 โวลต์ ขณะที่ทำการประจุปกติ



รูปที่ 3.3 ค่าแรงดันและกระแสของเครื่องอัดประจุแบบแรงดันคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

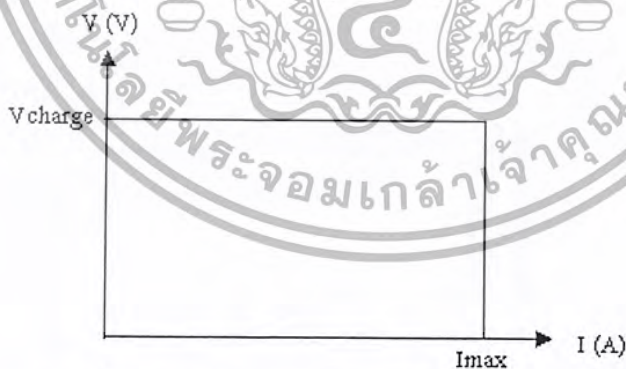
### 3.4.3 การอัดประจุแบบลดค่ากระแส (Tapered Current Charging)

เป็นวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ง่ายไม่ซับซ้อนและราคาถูก วงจรการอัดประจุประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง , วงจรเรกติฟายเออร์ และค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับการจำกัดกระแส แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดปิดผนึก เนื่องจากกระแสที่ใช้อัดประจุจะกระเพื่อมตามแรงดันไฟไลน์(แรงดันไฟของระบบ) ซึ่งทำให้แรงดันแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่ก็สามารถลดผลอันนี้ได้โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีแรงดันด้านทุติยภูมิสูงกว่าแรงดันแบตเตอรี่และเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการจำกัดกระแส โดยที่การอัดประจุแบบนี้สามารถใช้แทนการอัดประจุแบบกระแสคงที่ได้ ไม่เพียงเฉพาะการอัดประจุแบตเตอรี่หลาย ๆ ลูกในครั้งเดียวเท่านั้น ยังสามารถใช้ในระบบ Trickle charge ได้อีกด้วย

### 3.4.4 การอัดประจุแบบรวม(Combination Charging of Two - step)

วิธีนี้บางที่เราเรียกว่า “two-step” หรือ “two-rate” เกิดจากการรวม 2 วิธี คือ การประจุแบบกระแสคงที่กับการประจุแบบแรงดันคงที่เข้าด้วยกัน โดยขั้นแรกจะใช้วิธีการอัดประจุแบบกระแสคงที่ที่จะจำกัดกระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่ทนได้ไว้ และขั้นตอนที่สองเราจะอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ การสวิตช์จากขั้นแรกไปยังขั้นที่สองอาจทำได้หลายวิธีเช่น ตรวจสอบแรงดันที่แบตเตอรี่หรือควบคุมเวลาในการอัดประจุหรือตรวจสอบกระแสในการอัดประจุเป็นต้น โดยลักษณะการอัดประจุแสดงได้จากรูปที่ 8

จากกราฟในช่วงแรกจะควบคุมให้กระแสคงที่โดยไม่เกินค่ากระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่จะทนได้ เพราะค่าความต้านทานในแบตเตอรี่เมื่อคายประจุหมดจะมีค่ามากทำให้กระแสสูง ในช่วงนี้จะสังเกตเห็นว่าแรงดันจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามค่าความต้านทานของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งแรงดันเพิ่มถึงระดับที่กำหนดในการชาร์จก็จะทำการเปลี่ยนมารักษาให้แรงดันคงที่แทนในช่วงนี้กระแสจะค่อย ๆ ลดลงจนใกล้เป็นศูนย์แสดงว่าการประจุแบตเตอรี่ใกล้เต็มแล้ว



รูปที่ 3.4 กราฟผลกระแสและแรงดันเมื่อทำการประจุแบบวิธีร่วม

### 3.5 การอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยทั่วไป

ในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะมีการจำกัดกระแสที่ใช้อัดประจุและแรงดันต้องพยายามให้คงที่มากที่สุด ปริมาณกระแสที่ใช้อัดประจุโดยปกติจะจำกัดอยู่ที่ 0.1 C สำหรับ Lead-antimony Battery และ 0.3 C สำหรับ Lead-calcium Battery เมื่อ C คือความจุแบตเตอรี่ (หน่วย Ampere – hour (Ah)) ถ้าหากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัดประจุโดยใช้กระแสมากเกินไป จะทำให้อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่สูงและทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง และถ้าหากอัดประจุที่กระแสน้อยเกินไปจะทำให้มี Lead-sulfate เกาะหลงเหลืออยู่ในแผ่นเพลท (plate) ของแบตเตอรี่ ซึ่งจะทำการจ่าย Ampere-hour ไม่ได้เท่ากับพิกัดของแบตเตอรี่ และถ้าต้องการให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานยาวนาน แรงดันพีกทูพีก (peak to peak) ซึ่งเป็นแรงดันเอาท์พุทของอุปกรณ์อัดประจุแบตเตอรี่ ควรจะมีค่าไม่เกิน 0.5 % ของแรงดันดีซี พึงระลึกเสมอว่า การอัดประจุแบตเตอรี่ที่ค่าพิกัดของแบตเตอรี่ จะสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ยาวนานขึ้น

### 3.6 ลักษณะการประยูกต์ใช้งาน

ลักษณะในการประยูกต์ใช้งานการประจุแบตเตอรี่ของ Seal lead-acid Battery สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

#### 3.6.1 การใช้งานแบบเป็นวนรอบ (Cyclic Operation)

การทำงานเป็นรอบ ๆ ต้องการเวลาในการอัดประจุสั้น ๆ และต้องป้องกันการอัดประจุและดิสชาร์จเกิน (คายประจุเกิน) สิ่งที่สำคัญในการอัดประจุด้วยเทคนิคการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ คือ การรักษาแรงดันเอาท์พุท (Charging voltage) ให้คงที่เท่ากับที่ระดับแรงดันสุดท้ายของการอัดประจุแบตเตอรี่ (Final Terminal Voltage) ซึ่งเป็นแรงดันเมื่อแบตเตอรี่เต็มแล้ว และจะจำกัดกระแสให้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้สูงสุด ถ้าแบตเตอรี่ถูกอัดประจุในช่วงอุณหภูมิสถานะแวดล้อมกว้าง ๆ จะต้องมีการชดเชยอุณหภูมิด้วย มิฉะนั้นการอัดประจุอาจสูงไป หรือต่ำไปในที่ที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ

#### 3.6.2 การใช้งานแบบชั่วคราว (Standby / Backup Operation)

ใช้ในงานประเภทสำรองเอาไว้ใช้ยามที่ต้องการ ปกติจะเก็บในสถานะแบตเตอรี่เต็มตลอดเวลา และจะจ่ายพลังงานไปให้ภาระเมื่อระบบผิดปกติ ซึ่งการทำงานแบบนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ

##### ก. Trickle Charge

โดยปกติระบบของการไฟฟ้าฯ ทำการจ่ายพลังงานให้ภาระหรืออุปกรณ์ ในขณะที่แบตเตอรี่ไม่ได้ถูกต่ออยู่กับภาระ ถ้าหากเกิดความผิดปกติขึ้นที่ระบบนั้น วงจรแบตเตอรี่จะถูกเชื่อมเข้ากับภาระเพื่อจ่ายพลังงาน โดยจะต้องพิจารณาการชดเชยสำหรับ Self discharge โดยการอัดประจุแบตเตอรี่ที่กระแสคงที่ที่ค่าต่ำ ๆ เพื่อให้แบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็มตลอดเวลา ในกรณี Deep discharge จะต้องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นเวลานาน ดังนั้นวิธีอัดประจุแบบ two - rate และแบบแรงดันคงที่ จะเหมาะสมมากในการอัดประจุแบตเตอรี่ เนื่องจากมีโหมดการอัดประจุเริ่มต้นเร็ว แต่แบบ two - rate charger จะเหมาะสมกว่า เพราะไม่จำเป็นต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิ

##### ข. Float Charge

โดยในแบบนี้ ทั้งภาระ และแบตเตอรี่จะต่อกันแบบขนานกับวงจรเรกติไฟล์ ระบบนี้จะใช้ได้เฉพาะการอัดประจุแบบแรงดันคงที่เท่านั้น ซึ่งแรงดันที่อัดประจุต้องมีประสิทธิภาพ การกระเพื่อมอย่างมากของแรงดันที่อัดประจุ มีผลทำให้แบตเตอรี่ดิสชาร์จเพียงเล็กน้อย ซึ่งการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ จะต้องออกแบบให้จ่ายได้ที่ภาระมีค่าสูงสุด มิฉะนั้นจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง โดยปกติอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่มีการอัดประจุแบบ Float จะสั้นกว่าการอัดประจุแบบ Trickle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ระบบ Network

#### 4.1 โครงสร้างระบบควบคุม

การทำงานของระบบควบคุมทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ( Personal Computer : PC ) โดยจะเป็นการควบคุมแบบศูนย์รวม ( Centralize Control ) ซึ่งคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล จะทำหน้าที่เป็นตัวหลักในการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งาน ( User Interface ) และระบบควบคุมโดยการจ่ายงานให้กับตัวควบคุมที่เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุม

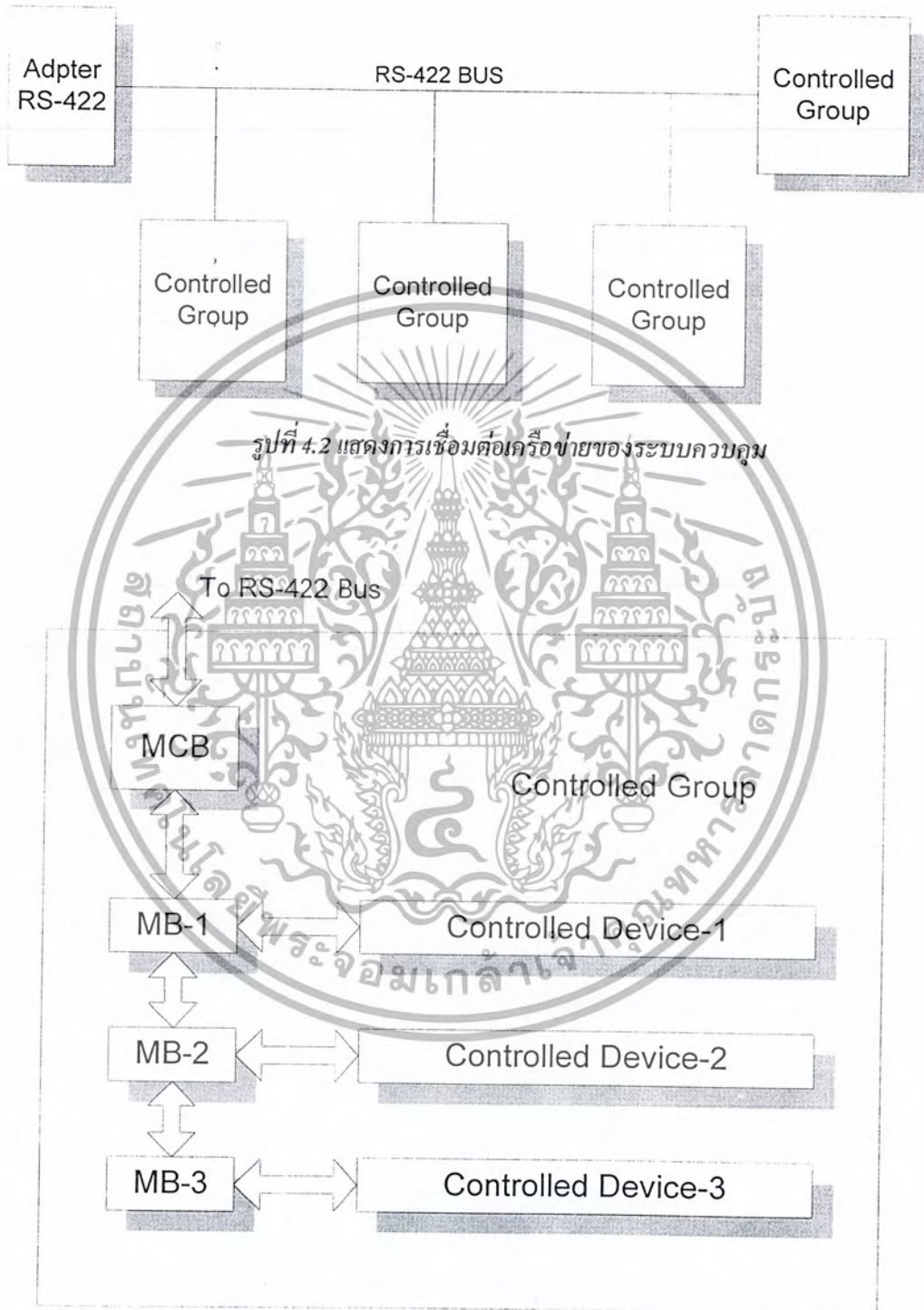
จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของการเชื่อมต่อระบบควบคุม โดยใช้การเชื่อมต่อ (Interface) กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลโดยผ่านทางพอร์ตสื่อสาร ( Communication Port : Com Port ) ของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยการสื่อสารของระบบควบคุมจะเป็นดังนี้คือ สัญญาณที่พอร์ตสื่อสารจะถูกแปลงจากสัญญาณตามมาตรฐาน RS-232c ให้เป็นสัญญาณตามมาตรฐาน RS-422 โดยอแดปเตอร์ (Adapter) จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งผ่านสายสัญญาณ ( RS-422 BUS ) ไปยังตัวควบคุม และตัวลูกข่ายตามลำดับ

ส่วนการเชื่อมต่อตัวควบคุมให้เป็นเครือข่าย ( Network ) นั้นจะเป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบบัส ( Bus-type Network ) โดยไม่ต้องมีการปิดปลายสายสัญญาณ ( Terminate ) เนื่องจากอัตราการส่งข้อมูลที่ให้มีค่าต่ำ สัญญาณรบกวนจึงไม่มีผลต่อการส่งสัญญาณในระดับต่ำซึ่งจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายในการสื่อสารได้

การเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายของระบบควบคุมจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.2 โดยจะจัดตัวควบคุมกับตัวลูกข่ายที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันเป็นกลุ่มเรียกว่ากลุ่มตัวควบคุม ( MCB Area ) และการเชื่อมต่อกลุ่มตัวควบคุมเข้าเป็นเครือข่ายจะใช้สายสัญญาณเพียงคู่เดียวในการเชื่อมต่อ

ในกลุ่มของตัวควบคุมนั้นจะประกอบไปด้วย ตัวควบคุม ตัวลูกข่าย และอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุม โดยตัวลูกข่ายแต่ละตัวจะเป็นอิสระต่อกันในการทำงาน กล่าวคือ สามารถสลับที่หรือต่อตัวลูกข่ายเพิ่มเข้ามาในกลุ่มของตัวควบคุมได้โดยไม่มีผลกระทบต่อระบบควบคุมแต่มีข้อจำกัดคือ ตัวลูกข่ายจะ

เชื่อมต่ออุปกรณ์ได้แบบหนึ่งต่อหนึ่ง เนื่องจากตัวลูกข่ายหนึ่งตัวสามารถควบคุมอุปกรณ์ได้เพียงหนึ่ง  
 อุปกรณ์เท่านั้น โดยจะแสดงการเชื่อมต่อกลุ่มตัวควบคุมดังรูป ที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการเชื่อมต่อ ตัวควบคุม ตัวลูกข่าย และ อุปกรณ์ที่ต้องการควบคุม

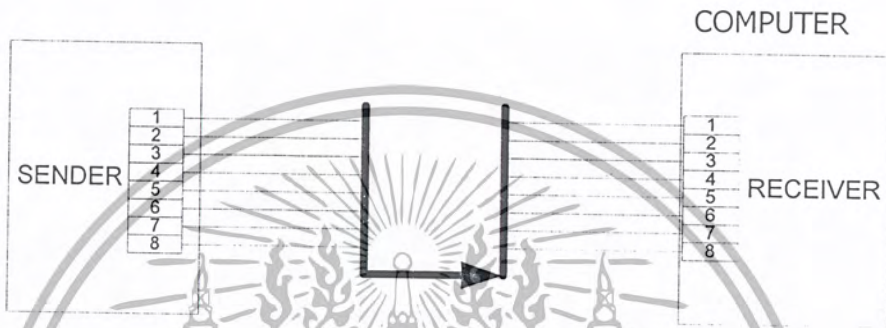
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ลักษณะของการสื่อสาร

ในการสื่อสารหรือการส่งข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลนั้น มีรูปแบบในการสื่อสารที่สำคัญอยู่ 2 รูปแบบคือ

4.2.1 การสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Communication)

เป็นการสื่อสารโดยการส่งข้อมูลที่ละบิต ( bit ) ผ่านทางสายสัญญาณเส้นเดียวจนครบทั้ง 8 บิต หรือ ไบท์ ( byte ) โดสยะจะส่งบิตต่ำ ( LSB ) ออกไปก่อน ซึ่งการสื่อสารและการส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะการสื่อสารแบบอนุกรม

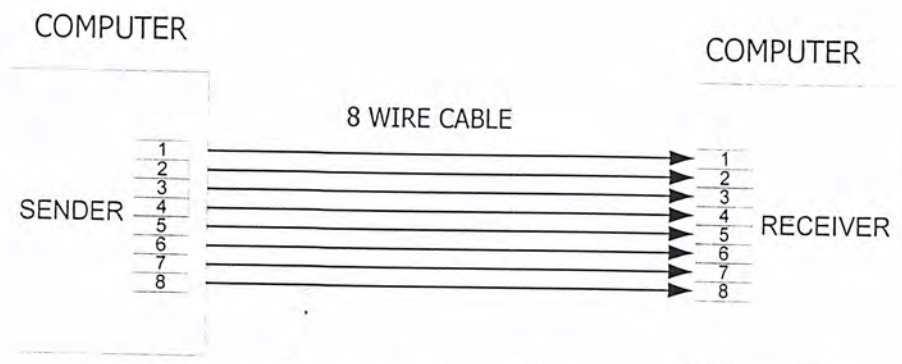


รูปที่ 4.5 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

4.2.2 การสื่อสารแบบขนาน (Parallel Communication)

เป็นการสื่อสารโดยการส่งข้อมูลไปทีละตัวพร้อมกันทั้ง 8 บิตผ่านสายสัญญาณทั้ง 8 เส้น ซึ่งการสื่อสารและการรับส่งข้อมูลแบบขนานจะแสดงให้เห็นได้ตามรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะการสื่อสารแบบขนาน

จะเห็นได้ว่าการสื่อสารแบบขนานมีข้อจำกัดคือทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ทีละหลายๆ และมีความรวดเร็วกว่าการส่งแบบอนุกรม แต่การสื่อสารแบบขนานก็มีข้อจำกัดคือไม่สามารถส่งข้อมูลในระยะทางไกลๆ ได้ และยังต้องใช้สายสัญญาณหลายเส้นในการส่งข้อมูล ทำให้สิ้นเปลืองกว่าการสื่อสารแบบอนุกรม รวมทั้งทำให้ไม่สะดวกในการใช้งาน

ตัวอย่างการสื่อสารแบบอนุกรม เช่น การสื่อสารด้วย Modem และ เมาส์

ตัวอย่างการสื่อสารแบบขนาน เช่น เครื่องพิมพ์ ( Printer ) และการสื่อสารทางพอร์ทขนาน ( ECP Printer Port ) เป็นต้น

#### 4.3 ลักษณะของการสื่อสารตามมาตรฐาน

ในการติดต่อสื่อสารและการรับส่งข้อมูลนั้นจำเป็นต้องมีมาตรฐานในการสื่อสารเพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยไม่มีปัญหาในการติดต่อสื่อสารเกิดขึ้น โดยส่วนมากมาตรฐานในการติดต่อสื่อสารจะกล่าวถึงคุณสมบัติสำคัญๆ ที่ต้องใช้ในการสื่อสาร เช่น ลักษณะทางกล ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้า ลักษณะการทำงานที่ใช้ในการเชื่อมต่อ

ในปัจจุบันสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารส่วนใหญ่ จะใช้สัญญาณดิจิทัล ( Digital Singal ) เป็นหลักและสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารส่วนมาก จะเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีระดับสัญญาณแบบ TTL ซึ่งถ้าทำการติดต่อสื่อสารในลักษณะของระดับสัญญาณแบบ TTL แล้วจะสามารถทำการติดต่อสื่อสารได้โดยตรง แต่ในหลายกรณีที่มีความจำเป็นที่จะต้องสื่อสารด้วยสัญญาณในระดับอื่นที่ไม่ใช่ระดับสัญญาณแบบ TTL หรือไม่ได้เป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในการสื่อสาร แต่ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ โดยอาศัยการแปลงสัญญาณที่ต้องการสื่อสารให้เป็นสัญญาณตามมาตรฐาน โดยที่แต่ละมาตรฐานจะมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันไป ในที่นี้จะกล่าวมาตรฐานสำคัญๆ ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารดังนี้

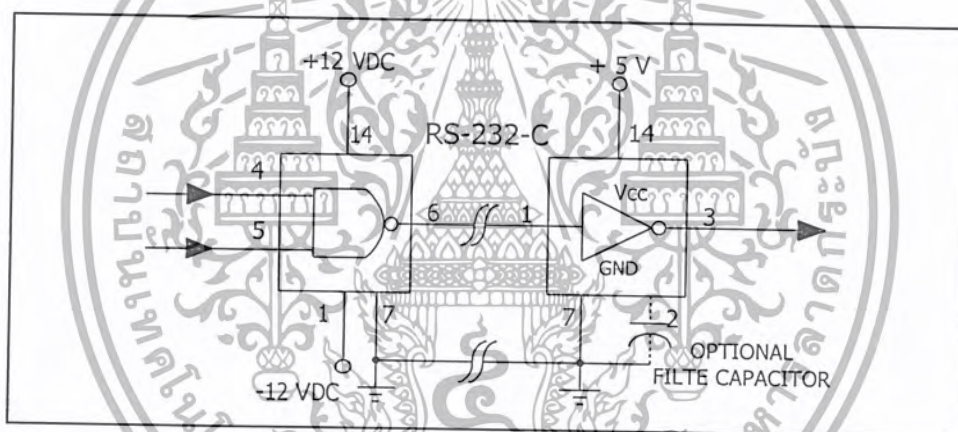
##### 4.3.1 ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-232-C

มาตรฐาน RS-232-C เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนามานานและถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลาย รวมทั้งยังใช้เป็นมาตรฐานในการเชื่อมต่อ DTE ( Data Terminal Equipment ) เข้ากับ DCE ( Data Communication Equipment ) เช่น การต่อคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเข้ากับโมเด็ม

ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-232-C นั้นจะใช้สายสัญญาณเพียงคู่เดียวในการส่งสัญญาณ โดยสามารถส่งสัญญาณไปได้ในทิศทางเดียว อัตราเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากับ 20 kbps ( กิโลบิตต่อวินาที ) และระยะทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลไม่ควรเกิน 50 ฟุต สำหรับการส่งข้อมูลจะใช้ระดับแรงดันแทนค่าทางตรรก ( Logic ) ของข้อมูลโดยระดับแรงดันมีค่าอยู่ระหว่าง -5 โวลท์ ถึง -15 โวลท์ จะแทนด้วยสถานะ “ 0 ” และระดับแรงดันที่มีค่าอยู่ระหว่าง + 5 โวลท์ ถึง + 15 โวลท์ จะแทนค่าสถานะ “ 1 ” ส่วนในระดับแรงดันที่มีค่าอยู่ระหว่าง - 5 โวลท์ ถึง + 5 โวลท์ นั้นจะใช้ในการแบ่งแยก ระดับสถานะของสัญญาณระหว่างสถานะ “0” และสถานะ “1”

ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-232-C ได้แก่ เทอร์มินัล ( Terminal ) พล็อตเตอร์ ( Plotter ) ลอจิกอนาไลเซอร์ ( Logic analyzer ) และเครื่องพิมพ์

ตัวอย่างของวงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-232-C จะแสดงให้เห็นตามรูปที่ 4.7 โดยจะมีการแปลงระดับสัญญาณแบบ TTL ไปเป็นระดับแรงดันสัญญาณตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน RS-232-C แล้วส่งไปตามสายสัญญาณและแปลงกลับจากระดับแรงดันสัญญาณในมาตรฐาน RS-232-C ไปเป็นระดับสัญญาณแบบ TTL



รูปที่ 4.7 แสดงวงจรขับและรับสัญญาณที่ใช้กับมาตรฐาน RS-232-C

#### 4.3.2 ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-423

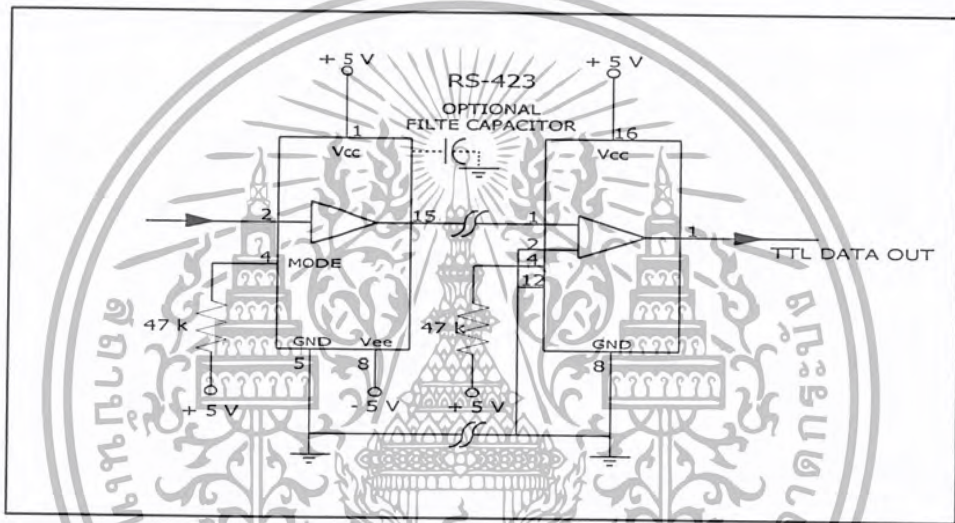
มาตรฐาน RS-423 เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนาจากมาตรฐาน RS-232-C ให้มีประสิทธิภาพในการสื่อสารเพิ่มมากขึ้น โดยมีการพัฒนาให้ตัวรับข้อมูลมีความสามารถในการรับข้อมูลสูงมากขึ้น และอัตราเร็วในการส่งข้อมูลได้ถูกพัฒนาให้มีอัตราเร็วสูงกว่าอัตราการส่งข้อมูลตามมาตรฐาน RS-232-C ซึ่งอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นมาใหม่ๆ มักจะใช้การเชื่อมต่อแบบนี้ โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่ต้องการให้อัตราเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าสูงขึ้นมากว่าเดิม

ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-423 นั้นจะใช้สายสัญญาณเพียงคู่เดียวในการส่งสัญญาณ โดยสามารถส่งสัญญาณไปได้ในทิศทางเดียว อัตราเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากับ 100 kbps ที่ระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางห่าง 40 ฟุต ตัวรับข้อมูลเป็นแบบ Blanced-1 ดังแสดงตามรูปที่ 4.8 ดังนั้นตัวรับข้อมูล ( Receiver ) จึงรับข้อมูลแบบขยายความแตกต่างของสัญญาณระหว่างสายกราวด์ กับตัวขับสัญญาณ ( Driver ) การทำเช่นนี้ช่วยแก้ปัญหาในกรณีที่เกิดความแตกต่างระหว่างแรงดันที่กราวด์ของตัวรับข้อมูลกับตัวขับสัญญาณ สำหรับการส่งข้อมูลจะใช้ระดับแรงดันสัญญาณแทนค่าทาง ตรรกของข้อมูลโดยระดับแรงดันที่มีค่าอยู่ระหว่าง  $-4$  ถึง  $-6$  โวลท์ จะแทนค่าสถานะ “ 0 ” และระดับแรงดันที่มีค่าอยู่ระหว่าง  $+4$  ถึง  $+6$  โวลท์ จะแทนด้วยค่าสถานะ “ 1 ” ส่วนในช่วงระดับแรงดันที่มีค่าอยู่ระหว่าง  $-4$  ถึง  $+4$  โวลท์ นั้นจะใช้การแบ่งแยกระดับสถานะของสัญญาณระหว่างสถานะ “ 0 ” และ สถานะ “ 1 ”

ตัวอย่างของวงจรที่ใช้การเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-423 จะแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 16 โดยจะมีการแปลงระดับสัญญาณแบบ TTL ไปเป็นระดับสัญญาณตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน RS-423 แล้วส่งไปตามสายสัญญาณและแปลงกลับจากระดับสัญญาณในมาตรฐาน RS-423 ไปเป็นระดับสัญญาณแบบ TTL



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรขับและรับสัญญาณที่ใช้กับมาตรฐาน RS-423

#### 4.3.3 ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-422

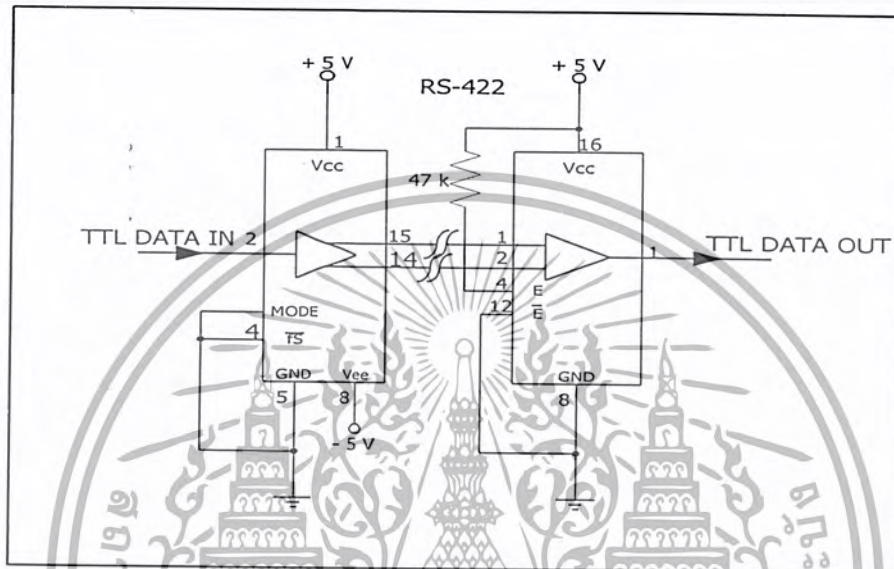
มาตรฐาน RS-422 เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนามาจากมาตรฐาน RS-423 ให้มีประสิทธิภาพในการสื่อสารเพิ่มมากขึ้น โดยมีการพัฒนาให้ได้อัตราเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าสูงกว่าในมาตรฐาน RS-423 และระยะทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างตัวส่งและตัวรับก็มากกว่าในมาตรฐาน RS-423 นอกจากนี้ยังมีความไวต่อสัญญาณมากกว่าในมาตรฐาน RS-423 อีกด้วย

ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-422 นั้นจะใช้สายสัญญาณเพียงคู่เดียวในการส่งสัญญาณ โดยสามารถส่งสัญญาณไปได้ทิศทางเดียวในลักษณะของ one-way balanced-line ดังแสดงตามรูป 4.9 อัตราเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากับ 10 Mbps โดยระยะห่างที่ใช้ในการส่งข้อมูลสามารถขยายได้ถึง 4000 ฟุต สำหรับการส่งข้อมูลจะใช้ระดับแรงดันแทนค่าทางตรรกของข้อมูลโดยระดับแรงดันที่มีค่าอยู่ระหว่าง  $-2$  โวลท์ ถึง  $-6$  โวลท์ จะแทนค่าสถานะ “0” และแรงดันที่มีค่าอยู่ระหว่าง  $+2$  โวลท์ ถึง  $+6$  โวลท์ จะแทนด้วยค่าสถานะ “ 1 ” ส่วนในช่วงระดับแรงดันที่มีค่าอยู่ระหว่าง  $-2$  โวลท์ ถึง  $+2$  โวลท์ นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะใช้การแบบแยกระดับของสถานะของสัญญาณระหว่างสถานะ “ 0 ” และสถานะ “ 1 ” นอกจากนี้ตัวรับสัญญาณยังสามารถจับสัญญาณในระดับแรงดันต่ำกว่า 200 mV ได้อีกด้วยทำให้ที่ความไวต่อสัญญาณเพิ่มมากขึ้น

ตัวอย่างของวงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับมาตรฐาน RS-422 จะแสดงให้เห็นตามรูป โดยจะมีการแปลงระดับสัญญาณแบบ TTL ไปเป็นระดับสัญญาณตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน RS-422 แล้วส่งไปตามสายสัญญาณและแปลงกลับจากระดับสัญญาณในมาตรฐาน RS-422 ไปเป็นระดับสัญญาณแบบ TTL



รูปที่ 4.9 แสดงวงจรขับและรับสัญญาณที่ใช้มาตรฐาน RS-422

#### 4.4 เหตุผลในการเลือกใช้มาตรฐาน RS-422

##### 4.4.1 คุณสมบัติในการสื่อสารแบบสองทิศทางในคนละเวลา ( Half-duplex )

สามารถสื่อสารแบบ quasi multi-drop โดยใช้สาย 4 wires เพื่อสื่อสารแบบ half-duplex เป็นการหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล (data collision)

##### 4.4.2 คุณสมบัติของสายสัญญาณที่ใช้

สายสัญญาณที่ใช้ตามมาตรฐาน RS-422 นั้นสามารถใช้สายเกลียวคู่ ( Twist Pair ) ซึ่งเป็นสายสัญญาณโทรศัพท์ที่ใช้งานโดยทั่วไปได้โดยไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการสื่อสารที่สูงขึ้นอาจใช้สายสัญญาณที่มีคุณภาพดีกว่าสายตีเกลียวคู่ เช่น สายโคแอกเซียล ( Coaxial ) เป็นสายสัญญาณในการสื่อสารแทน

##### 4.4.3 คุณสมบัติทางด้านอัตราเร็วและระยะทางในการส่งข้อมูล

ในการส่งข้อมูลตามมาตรฐาน RS-422 นั้นสามารถส่งได้สูงที่สุดถึง 10 Mbps และส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดถึง 4000 ฟุต ( 1,200 เมตร )

#### 4.4.4 คุณสมบัติทางการสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนจะมีผลต่อการสื่อสารตามมาตรฐาน RS-422 น้อยมากถ้าเลือกอัตราเร็วและระยะทางในการส่งข้อมูลให้เหมาะสมกัน เนื่องจากตามมาตรฐาน RS-422 นั้นจะเป็นแบบ Current Loop และใช้ความต่างศักย์ของคู่สายสัญญาณในการส่งข้อมูล ทำให้สามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดี โดยเฉพาะสัญญาณรบกวนในลักษณะของ Common-mode noise



## บทที่ 5

### วงจรที่ใช้งานและการออกแบบ

#### 5.1 การเลือกขนาดแบตเตอรี่

เลือกใช้แบบ Sealed Lead-Acid เนื่องจากมีขนาดเล็กกะทัดรัดและไม่ต้องการบำรุงรักษามากนักเช่น ไม่ต้องเติมน้ำกลั่นเป็นต้น ซึ่งสามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{กำลังของโหลดที่ใช้ทั้งหมด} & 35 \times 2 = 70 \text{ วัตต์} \\
 \text{ระยะเวลาที่ใช้สำรองไฟ} & 2 \text{ ชั่วโมง} \\
 \text{ใช้แบตเตอรี่ระบบแรงดัน} & 24 \text{ โวลต์} \\
 \text{กระแสที่ใช้จ่ายโหลด (I}_{\text{discharge}}) & = (\text{Watt} / \text{V}_{\text{batt}}) \\
 & = (70 / 24) \\
 & = 2.916 \text{ แอมแปร์}
 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นขนาดความจุของแบตเตอรี่ คือ } 2.916 \times 2 = 5.832 \text{ AH}$$

เนื่องจากความจุของแบตเตอรี่ไม่คงที่ตลอดอายุการใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคิดสำรองกำลังงานของแบตเตอรี่ไว้ 25 เปอร์เซ็นต์ [IEEE 1884-1994] เพื่อรักษาเสถียรภาพของค่าความจุของแบตเตอรี่ไว้ ในส่วนของการจ่ายกำลังงานให้กับวงจรควบคุมการสำรองกำลังงานจะถูกตั้งไว้ 30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการเพิ่มขึ้นในส่วนที่ไม่ได้ถูกคาดการณ์ไว้ในระบบการทำงานของวงจรเพื่อชดเชยในกรณีที่ตัวแปรที่มีอยู่ในการทำงานต่ำลงหรือเปลี่ยนแปลงไปจากส่วนที่ได้คาดการณ์ไว้และสำหรับการจ่ายกำลังงานซ้ำหลังจากระบบจ่ายกำลังงานถึงจุดแรงดันต่ำสุด (end voltage) และชดเชยอุณหภูมิในการใช้งานของแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนไปจากการคำนวณ (25 องศาเซลเซียส) ดังนั้นค่าที่เผื่อไว้สำหรับการสำรองกำลังของทั้งสองส่วนนี้จึงคิดที่ 55 เปอร์เซ็นต์

$$\text{ดังนั้น ค่าที่เผื่อไว้สำหรับการสูญเสีย (Factor lose)} = 10 \times 55\%$$

$$= 5.5 \text{ AH}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น ความจุของแบตเตอรี่ที่ใช้งาน } 5.832 \text{ AH} + 5.5 \text{ AH}$$

$$= 11.332 \text{ AH}$$

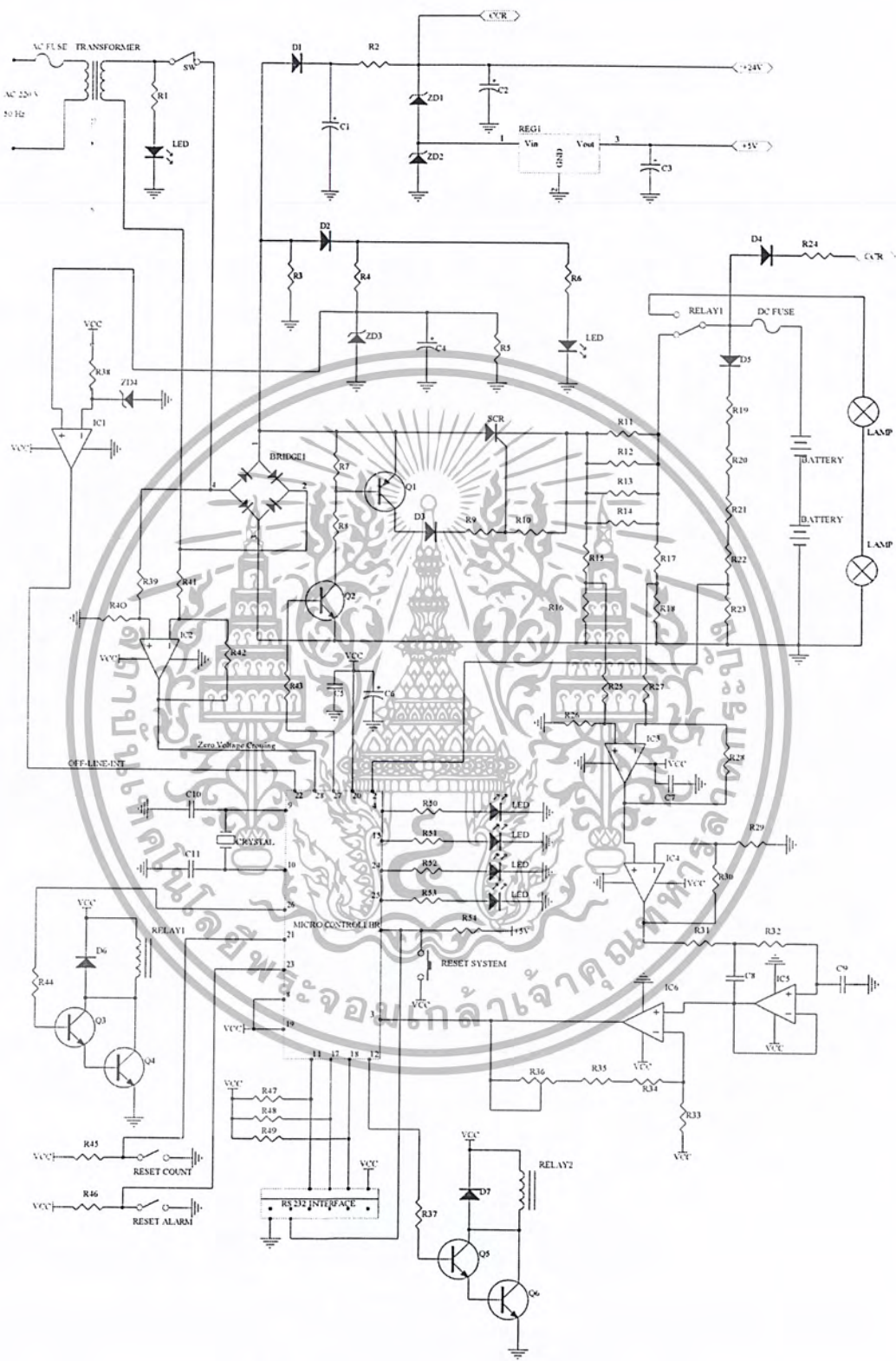
ดังนั้นเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 7 AH จำนวน 2 ลูกต่ออนุกรมกัน

#### 5.2 วงจรควบคุมชุดไฟฉุกเฉิน

หลักการการทำงานโดยทั่วไปของวงจรไฟฉุกเฉิน จะเป็นวงจรที่ประจุไฟให้กับแบตเตอรี่ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าปกติ และจ่ายไฟให้กับหลอดไฟภายในชุดไฟฉุกเฉินติด เพื่อให้ได้แสงสว่างในกรณีที่ระบบไฟฟ้าผิดปกติ(ไฟดับ) ซึ่งการตรวจสอบการทำงานของจุดนี้จะใช้ Transfer Switch โดยทั่วไปคือรีเลย์ (Relay)

จะเห็นว่าส่วนสำคัญของวงจรไฟฉุกเฉินคือ ส่วนของการอัดประจุในกรณีที่ไม่เกิดภาวะฉุกเฉิน เพราะว่าถ้าหากแบตเตอรี่ไม่ได้รับการประจุไฟที่ถูกต้องแล้ว จะทำให้การทำงานของชุดไฟฉุกเฉินใน

ภาวะฉุกเฉินนั้นทำได้ไม่นาน และอายุของแบตเตอรี่จะสั้นลงด้วย ซึ่งการประจุไฟให้เหมาะสมนั้นจะต้องมีวงจรในการควบคุมที่แม่นยำ ซึ่งโครงการนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมนั่นเอง



รูปที่ 5.1 แสดงวงจรของชุดไฟฉุกเฉิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

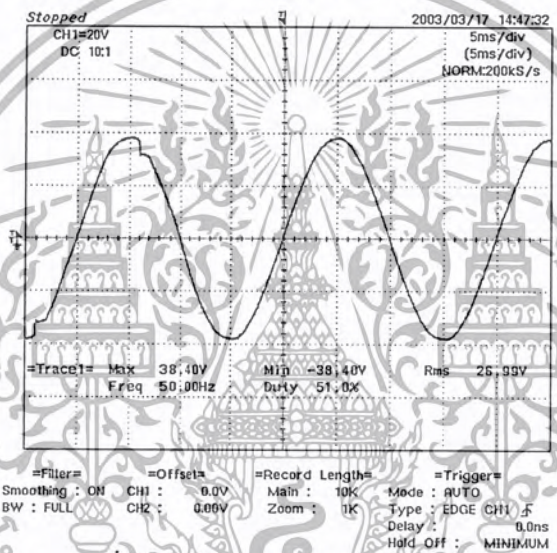
จากรูป 5.1 ซึ่งเป็นวงจรทั้งหมดของชุดไฟฟลูกเงิน จะประกอบด้วยวงจร 3 ส่วนคือ

### 5.2.1 วงจรไฟเลี้ยง

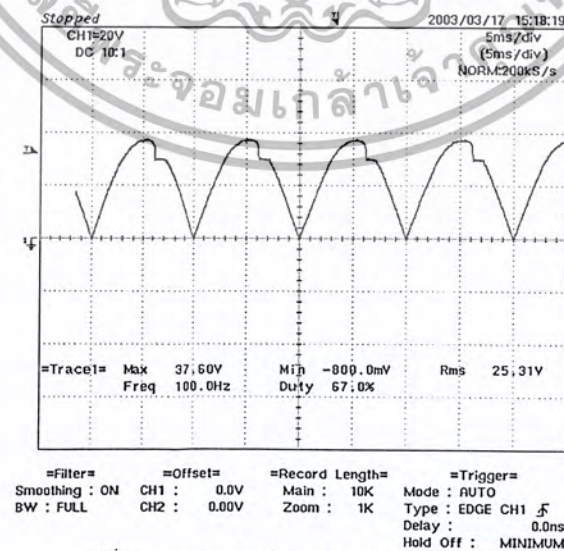
ส่วนของไฟเลี้ยงได้แก่ ไฟที่จ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ไอซีต่าง ๆ ในโปรแกรม รวมถึงจ่ายให้กับขดลวดของรีเลย์ด้วย ซึ่งส่วนของไฟเลี้ยงนี้จะประกอบไปด้วยระดับแรงดัน 2 ระดับคือ 5 โวลต์ และ 24 โวลต์ โดยส่วนของไฟเลี้ยงวงจรมันจะได้มาจาก 2 แหล่งจ่ายคือ จากวงจร Half wave rectifier และจากแบตเตอรี่ในกรณีที่เกิดภาวะฉุกเฉิน

### 5.2.2 วงจรประจุไฟ

ในส่วนของวงจรประจุไฟ จะใช้วงจร Rectifier Full wave แบบ Bridge diode ในการแปลงไฟกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง และใช้ SCR ในการควบคุมกระแสตัดประจุ โดยมมที่ใช้ นำกระแสจะได้มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมการทำงานให้เป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำ ส่วนของวงจร Rectifier มีแรงดัน Input และ Output แสดงตามรูปที่ 5.2 และ รูปที่ 5.3 ตามลำดับ



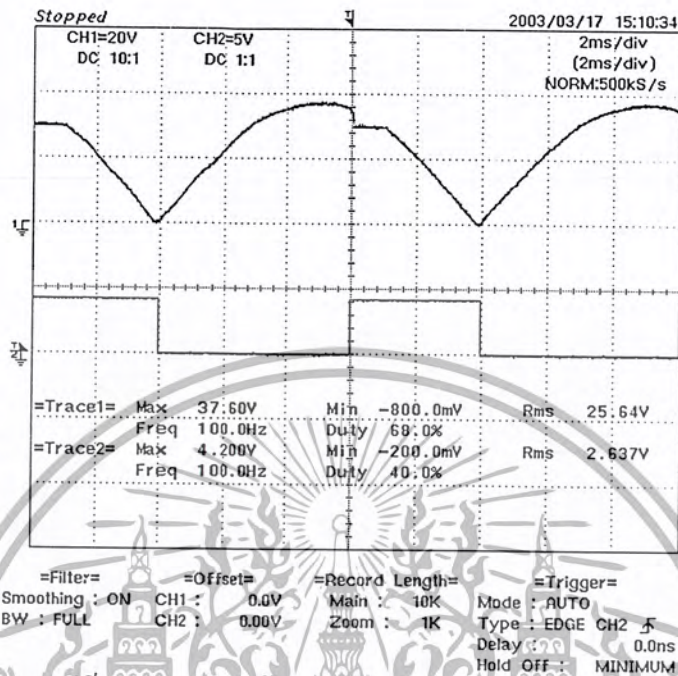
รูปที่ 5.2 แสดงแรงดันก่อนเข้าวงจร Rectifier



รูปที่ 5.3 แสดงแรงดันขาออกวงจร Rectifier

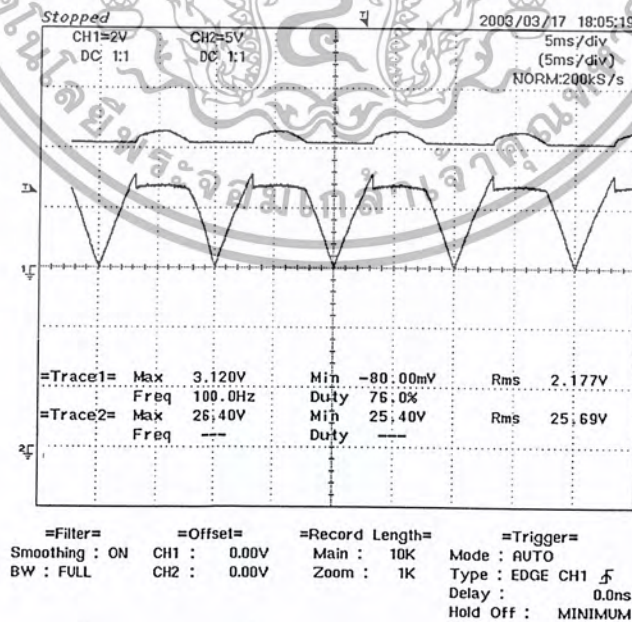
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อได้ Output ของวงจร Rectifier แล้วก็จะมาผ่าน SCR เพื่อควบคุมการนำกระแสโดยปรับเปลี่ยนมุมนำกระแสจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งรูปคลื่นที่ได้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแรงดันขาเข้าของ SCR กับสัญญาณ Trig ของ SCR แสดงตามรูป 5.4



รูปที่ 5.4 แรงดันขาเข้าของ SCR กับสัญญาณ Trig ของ SCR

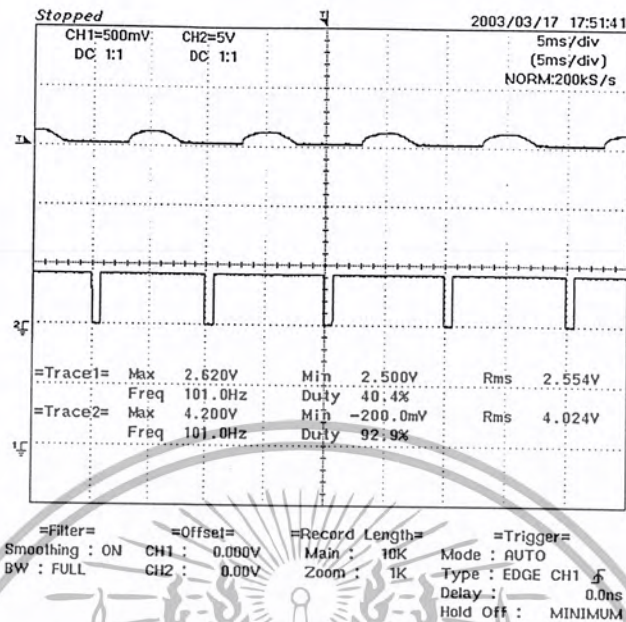
โดยเมื่อ SCR ทำงานตามสัญญาณ Trig แล้วจะทำให้รูปคลื่นแรงดันขาเข้าเปลี่ยนไปตามรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แสดงรูปคลื่นแรงดันขาเข้าและขาออกของ SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และรูปคลื่นที่เปรียบเทียบระหว่างแรงดันขาออกของSCRเปรียบเทียบกับมุมทริกของ SCR แสดงตามรูป5.6



รูปที่ 5.6 แสดงแรงดันขาออกจาก SCR กับมุม Trig ของ SCR

5.2.3 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ แบ่งหน้าที่การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ 3 ส่วนย่อย ๆ คือ

#### 5.2.3.1 สร้างสัญญาณ Trig ให้ SCR

ส่วนนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานร่วมกับวงจรอัดประจุ คือคอยปรับมุมทริกของ SCR โดยสัญญาณทริกนี้จะเป็นแรงดัน TTL ระดับ 5 โวลต์ ซึ่งสัญญาณทริกนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะคำนวณมาจากค่าที่ตั้งให้ตอนโหลดข้อมูลเข้าจากคอมพิวเตอร์ เช่นระยะเวลา Boost Time , Safety Time และทำงานร่วมกับวงจร Zero Voltage Crossing

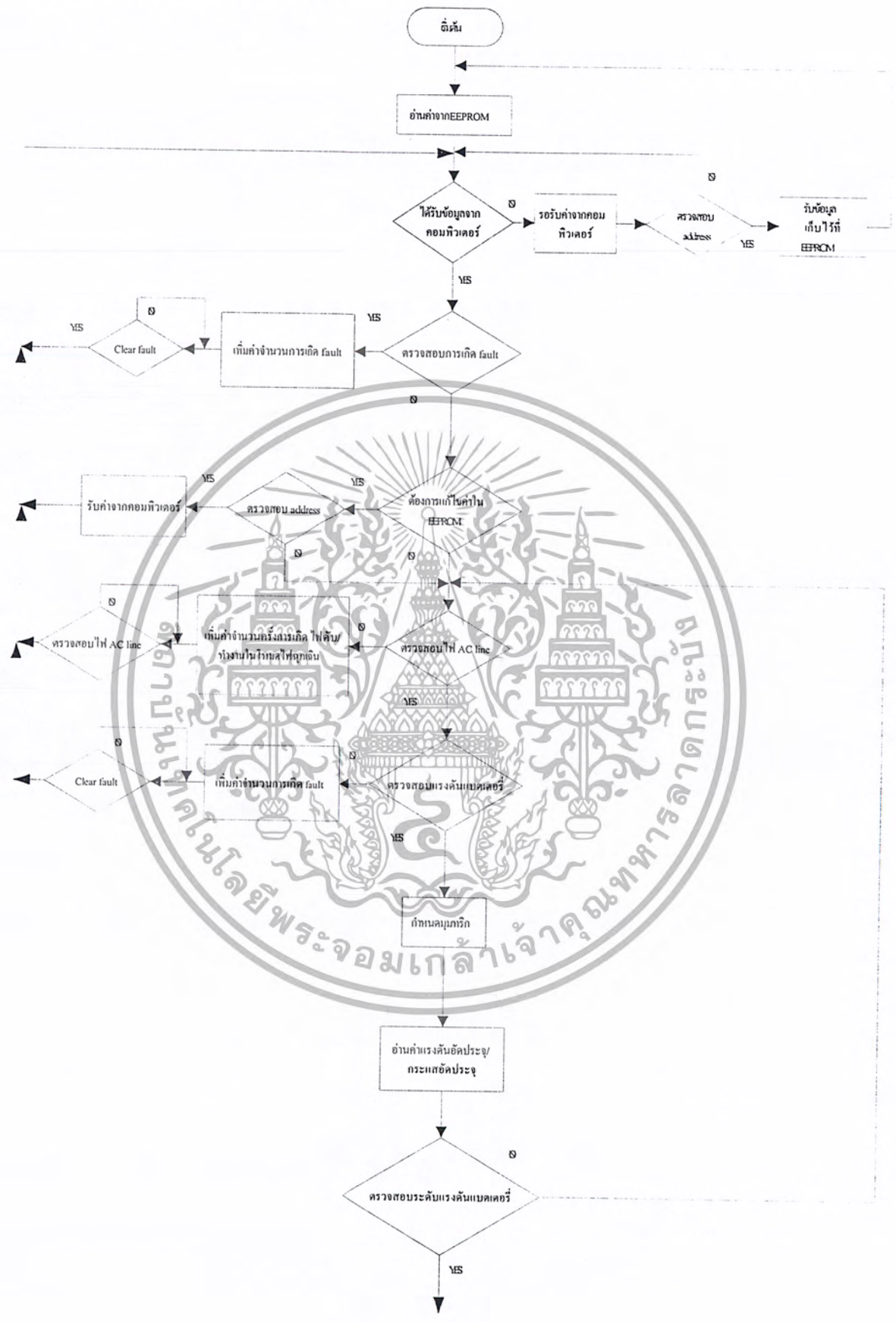
#### 5.2.3.2 ตรวจสอบไฟฟ้าภายนอก

เป็นการตรวจสอบไฟฟ้าภายนอก เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานสั่งให้ Relay ต้องวงจรให้หลอดไฟติด และไมโครคอนโทรลเลอร์จะเข้าสู่โหมด Off-line

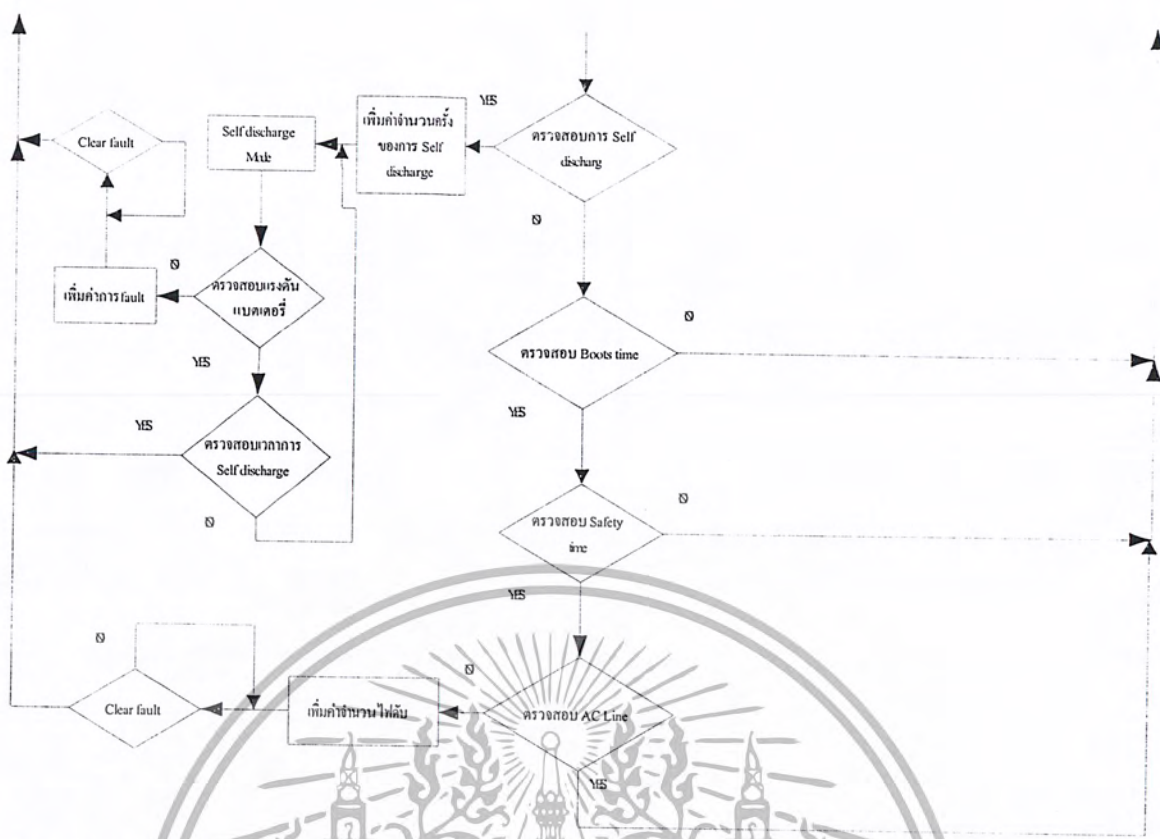
#### 5.2.3.3 ติดต่อกับคอมพิวเตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวจดจำ Address ของตัวเองซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเชื่อมต่อกันเป็นระบบเครือข่าย และคอยรับข้อมูลหรือส่งข้อมูลถ้ามีการร้องขอจากคอมพิวเตอร์

### Flow Chart การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

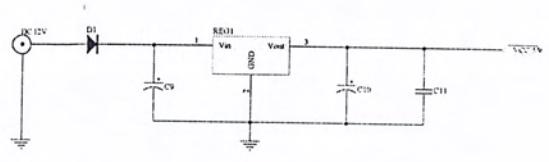
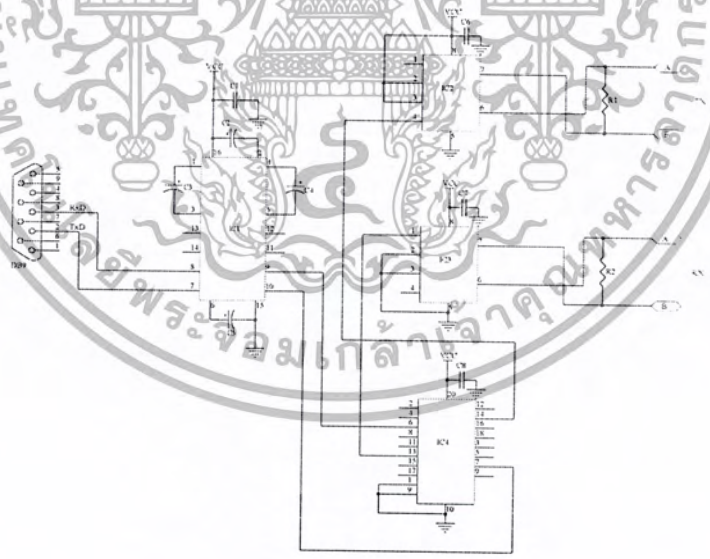


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 5.3 ระบบเครือข่าย

#### 5.3.1 วงจรรับและส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์



รูปที่ 5.7 แสดงวงจรรับและส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์คือ วงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณจากระดับสัญญาณมาตรฐาน RS232 ไปเป็นระดับสัญญาณมาตรฐาน TTL และมีการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากระดับมาตรฐานของ TTL ไปเป็นระดับสัญญาณมาตรฐานของ RS422 เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลโดยหน้าที่ของอุปกรณ์แต่ละตัวคือ

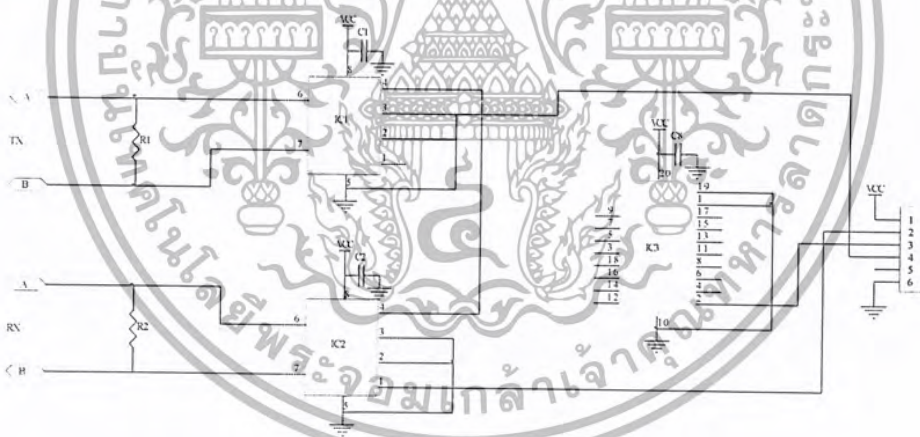
MAX232 เป็นไอซี ที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณมาตรฐาน RS232 ไปเป็นระดับสัญญาณมาตรฐาน TTL และเปลี่ยนกลับจากระดับสัญญาณ TTL ไปเป็นระดับมาตรฐาน RS232

75176 เป็น ไอซี ที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณมาตรฐาน TTL ไปเป็นระดับสัญญาณมาตรฐาน RS422 และเปลี่ยนกลับจากระดับสัญญาณมาตรฐาน RS422 ไปเป็นระดับสัญญาณ TTL เพื่อใช้ในการรับและส่งข้อมูลให้กับชุดไฟฟลูกเงินแต่ละตัว

74HC244 เป็น IC ในระดับสัญญาณ TTL ทำหน้าที่เป็น BUFFER ของวงจร

การทำงานของวงจรก็คือ ระดับสัญญาณมาตรฐาน RS232 ที่ได้มาจากคอมพิวเตอร์จะถูกนำมาแปลงเป็นระดับสัญญาณ TTL ก่อนโดยใช้ IC MAX232 เมื่อได้ระดับสัญญาณ TTL ออกมาแล้วจะนำมาแปลงจากระดับสัญญาณมาตรฐาน RS422 ก่อนโดยใช้ไอซี 75176 เพื่อใช้ในการรับและส่งข้อมูลกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับตัวชุดไฟฟลูกเงิน

### 5.3.2 วงจรรับและส่งข้อมูลของชุดไฟฟลูกเงิน



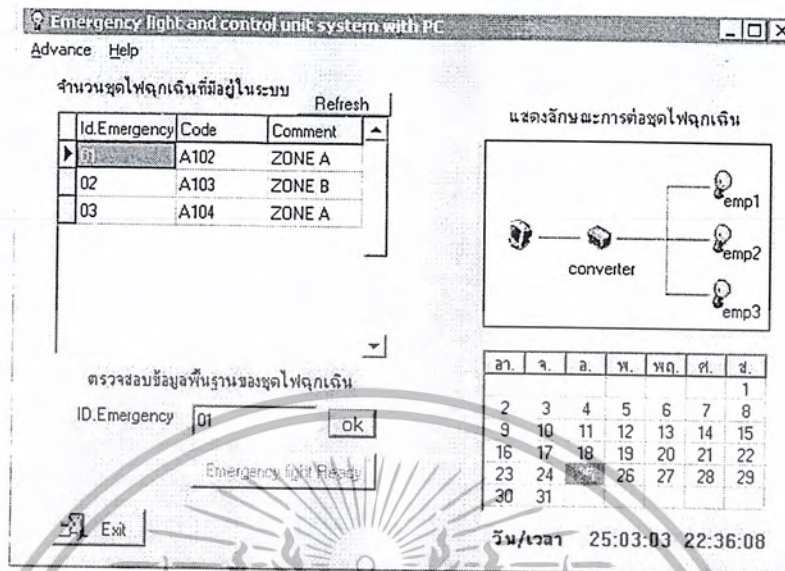
รูปที่ 5.8 แสดงวงจรรับและส่งข้อมูลของชุดไฟฟลูกเงิน

วงจรที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลของชุดไฟฟลูกเงินคือ วงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณจากระดับสัญญาณมาตรฐาน RS422 ไปเป็นระดับสัญญาณมาตรฐาน TTL และมีการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากระดับมาตรฐานของ TTL ไปเป็นระดับสัญญาณมาตรฐานของ RS422 เพื่อใช้ในการรับและส่งข้อมูลโดยหน้าที่ของอุปกรณ์แต่ละตัวคือ การทำงานของวงจรก็คือ ระดับสัญญาณมาตรฐาน RS422 ที่ได้มาจากชุดรับและส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จะถูกนำมาแปลงเป็นระดับสัญญาณ TTL ก่อนโดยใช้ IC 75176 ซึ่งเมื่อได้ระดับสัญญาณ TTL แล้วก็สามารถใช้ในการรับและส่งข้อมูลกันระหว่างตัวชุดไฟฟลูกเงินกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 โปรแกรมควบคุมการทำงานชุดไฟฉุกเฉินด้วยคอมพิวเตอร์

ในโครงการนี้ได้ใช้โปรแกรม Borland Delphi 5 ในการเขียนโปรแกรมควบคุมชุดไฟฉุกเฉิน ซึ่งลักษณะโปรแกรมที่เขียนขึ้น แสดงดังรูป 5.9

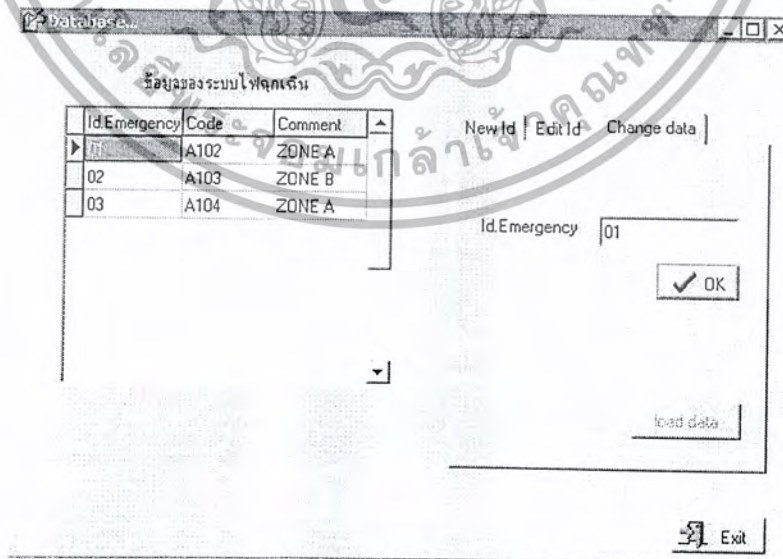


รูปที่ 5.9 แสดงรูปแบบตัวโปรแกรมควบคุมระบบไฟฉุกเฉินที่เขียนขึ้น

ซึ่งจะแบ่งการทำงานทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

### 5.4.1 การส่งข้อมูลให้กับชุดไฟฉุกเฉิน

ชุดไฟฉุกเฉินนั้นก่อนเริ่มต้นทำงานจะต้องได้รับข้อมูลที่จำเป็นเสียก่อน เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้เป็นเงื่อนไขในการคำนวณตัดสินใจสั่งทำงาน ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ นั้นจะต้องได้รับการไหลจากคอมพิวเตอร์ โดยผ่านโปรแกรมที่เขียนขึ้นมารองรับ ดังแสดงในรูปที่ 5.10

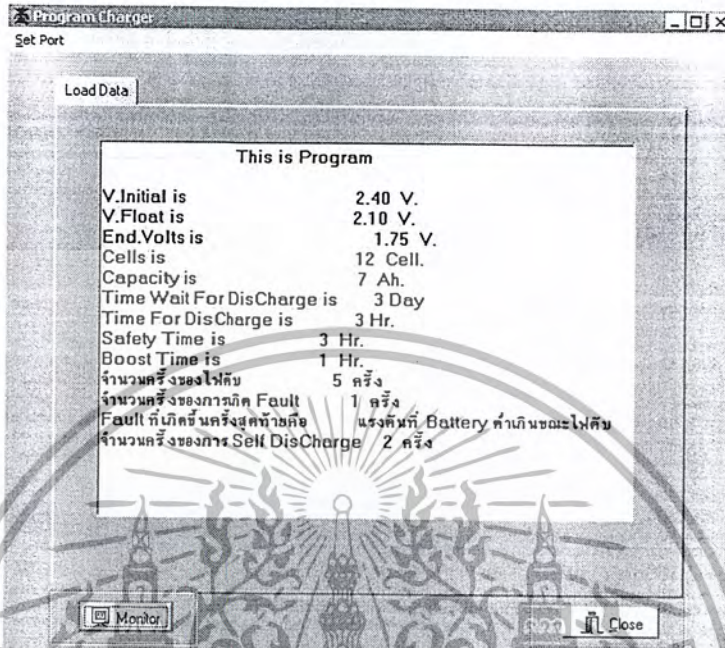


รูปที่ 5.10 แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ไหลข้อมูลให้กับชุดไฟฉุกเฉิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4.2 การรับข้อมูลจากชุดไฟฟูกเงิน

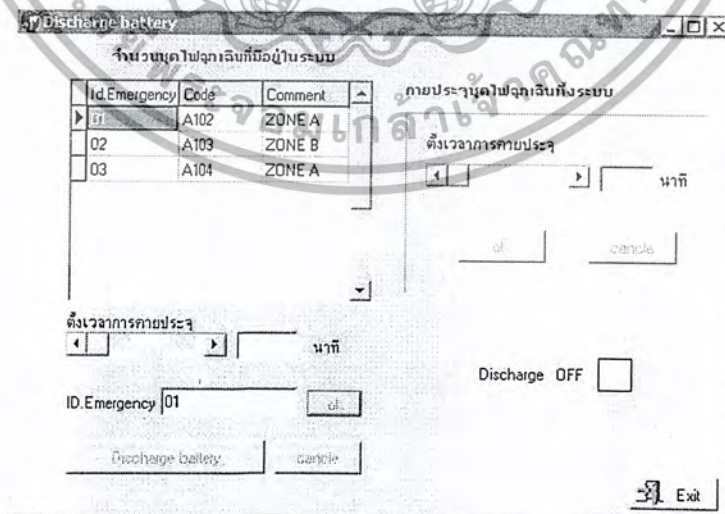
ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเก็บค่าต่าง ๆ ที่ได้รับการโหลดจากคอมพิวเตอร์ไว้ในรีจิสเตอร์ และยังสามารถเก็บค่าจำนวนFault ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ด้วย ซึ่งจะต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการเรียกดูค่าต่าง ๆ เหล่า นั้น ดังแสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้เรียกดูข้อมูลจากชุดไฟฟูกเงิน

#### 5.4.3 การสั่งให้ชุดไฟฟูกเงินทำงานบางกรณี

นอกจากส่งข้อมูลและรับข้อมูลของชุดไฟฟูกเงินแล้วนั้น โปรแกรมควบคุมระบบไฟฟูกเงินยังสามารถสั่งให้ชุดไฟฟูกเงินแต่ละตัวในเครือข่าย คายประจุแบตเตอรี่เองได้ด้วย เพราะการคายประจุแบตเตอรี่ ภายในเวลาที่เหมาะสมจะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่



รูปที่ 5.12 แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการคายประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

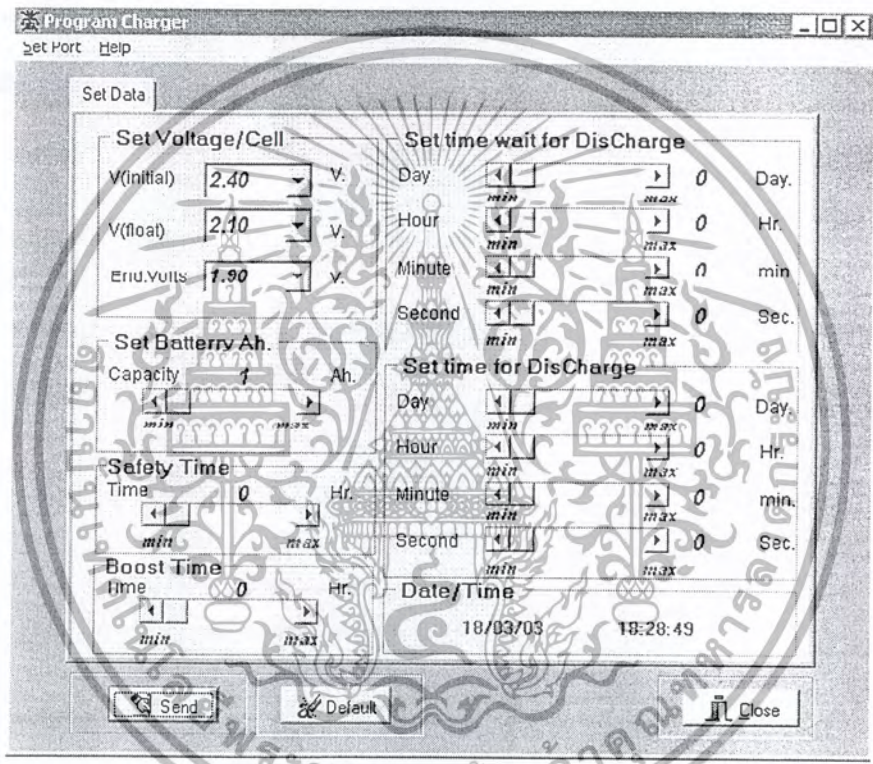
# บทที่ 6

## การทดลองและผลการทดลอง

เพื่อให้สามารถวิเคราะห์หองค์ประกอบแต่ละส่วนของโครงการได้ดียิ่งขึ้น จึงได้มีการทำการทดลองทั้งหมด 3 การทดลองคือ

### 6.1 ทดลองการทำงานของวงจรในการอัดประจุไฟเข้าแบตเตอรี่

ก่อนการใช้งานไฟฟูกเงินจะต้องมีการกำหนดค่าบางอย่างให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทราบเสียก่อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยได้เขียนโปรแกรมและโหลดข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ (Port RS 232 ) ลักษณะโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะโปรแกรม Charger

รายละเอียดต่าง ๆ

#### Set Voltage/Cell

- V (initial) คือ ค่าแรงดันของแบตเตอรี่สูงสุดขณะทำงานปกติมีหน่วยเป็น โวลต์ สามารถตั้งค่าได้ในย่าน 2.40-2.50 โวลต์
- V (float) คือ ค่าแรงดันของแบตเตอรี่ที่ทำให้ชุดควบคุมการอัดประจุทำงานมีหน่วยเป็น โวลต์ สามารถตั้งค่าได้ในย่าน 2.20-2.23 โวลต์
- End cell คือ ระดับแรงดันที่ต่ำสุดจ่ายได้ก่อนหมดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Set battery Ah.

ถ้ากระแสที่ระบุไว้ที่แบตเตอรี่มีหน่วยเป็น แอมป์-ชั่วโมง(A-H)

Safety Time

ช่วงเวลาที่วงจรอัดประจุจะรักษาระดับแรงดันของแบตเตอรี่ให้มีค่าเท่ากับ V (float)

Boots Time

ช่วงเวลาที่วงจรอัดประจุจะรักษาระดับแรงดันของแบตเตอรี่ให้มีค่าเท่ากับ V(initial)

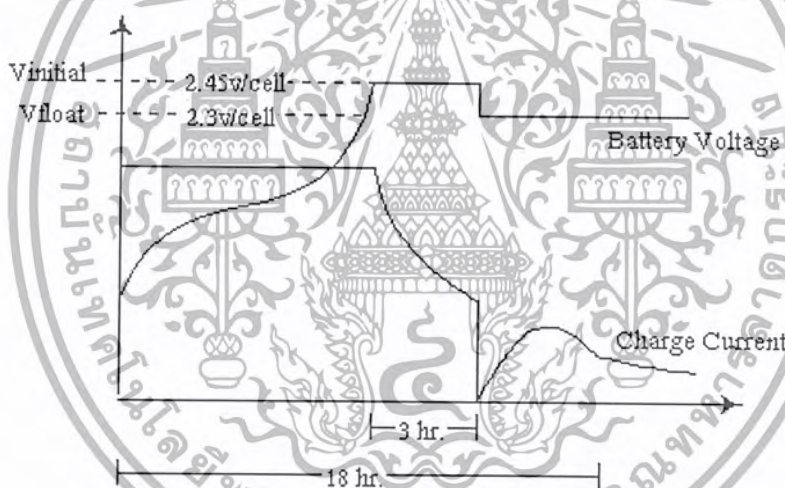
Set time wait for discharge

ตั้งเวลาให้เครื่องคายประจุแบตเตอรี่ด้วยตัวเอง เมื่อไม่เกิดเหตุฉุกเฉินใด ๆ

Set time for discharge

ตั้งระยะเวลาการคายประจุแบตเตอรี่ด้วยตัวเอง เมื่อ ไม่เกิดเหตุฉุกเฉินใด ๆ

เมื่อตั้งค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ก็ทำการโหลดข้อมูลเข้าวงจร โดยกดปุ่ม Send ซึ่งถ้าหากว่าไม่เกิดการผิดพลาด โปรแกรมจะแสดงข้อความว่า "Data load complete" จากนั้นจึงทดสอบ วัดแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่กับกระแสอัดประจุเทียบกับเวลา



รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะกราฟมาตรฐาน ขณะอัดประจุแบตเตอรี่

จากรูปที่ 6.2 แสดงกราฟของแรงดันแบตเตอรี่และกระแสอัดประจุ เมื่อตั้งค่า Vinitial ไว้ที่ค่า 2.45V/Cell และ Vfloat เท่ากับ 2.3 V/Cell ค่า Boost Time เท่ากับ 3 ชั่วโมง ค่า Safety Time เท่ากับ 18 ชั่วโมง

6.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

วัดแรงดันที่แบตเตอรี่ , กระแสอัดประจุเทียบกับเวลา โดยจดค่าทุก ๆ 10 นาทีโดยตั้งค่าต่าง ๆ ก่อนทดลองดังตารางที่ 6.1

Vinitial (V/Cell)	Vfloat (V/Cell)	Safety Time (Hr.)	Boost Time (Hr.)
2.4	2.3	5	1

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าต่าง ๆ ที่ตั้งไว้ในโปรแกรมอัดประจุ

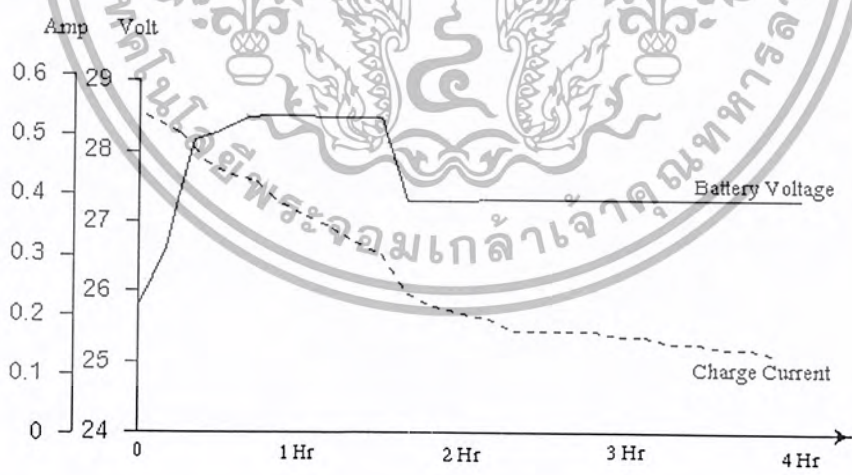
6.1.2 ผลการทดลอง

เวลา(นาที)	แรงดัน(V)	กระแส(A)
0	25.80	0.55
10	26.64	0.50
20	28.16	0.45
30	28.30	0.43
40	28.49	0.42
50	28.50	0.38
60(1 ชั่วโมง)	28.50	0.36
70	28.48	0.34
80	28.48	0.32
90	28.48	0.30
100	27.29	0.23
110	27.29	0.21
120(2 ชั่วโมง)	27.29	0.20

เวลา(นาที)	แรงดัน(V)	กระแส(A)
130	27.31	0.19
140	27.31	0.17
150	27.31	0.17
160	27.31	0.17
170	27.31	0.17
180(3 ชั่วโมง)	27.31	0.16
190	27.31	0.16
200	27.31	0.15
210	27.30	0.15
220	27.30	0.14
230	27.30	0.14
240(4 ชั่วโมง)	27.30	0.13

ตารางที่ 6.2 แสดงค่าแรงดัน, กระแสเทียบกับเวลาขณะอัดประจุ

เมื่อนำมาแสดงในกราฟสามารถเขียนได้เป็น



จากกราฟแรงดันจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันของแบตเตอรี่สูงสุด คือที่ระดับแรงดัน 28.5 โวลท์ ซึ่งถ้าเรากำหนดจริง ๆ แล้วระดับแรงดันสูงสุดควรจะได้  $2.4 \times 12 = 28.8 \text{ V}$  ซึ่งระดับแรงดัน 28.5 โวลท์ เกิดขึ้นหลังจากการอัดประจุไปแล้ว 40 นาที และคงระดับแรงดันนี้ได้ประมาณ 50 นาที ซึ่งคลาดเคลื่อนจากที่ตั้งค่าไว้ประมาณ 10 นาที (Boost Time ตั้งไว้ 60 นาที) และระดับแรงดันจะตกลงมาอยู่ที่ประมาณ 27.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลท์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่ต้องคงที่ไว้หลังจาก Boost Time ซึ่งคลาดเคลื่อนไปเล็กน้อยคือ แรงดันช่วงนี้ ควรจะอยู่ที่ประมาณ  $2.3 \times 12 = 27.60$  โวลท์

จากกราฟกระแสจะเห็นเมื่อเริ่มอัดประจุกระแสจะสูงที่สุดแล้วค่อยลดลงมาเรื่อย ๆ ช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือช่วงเวลาที่ผ่าน Boost Time คือกระแสจะตกลง และจะค่อย ๆ ลดลงช้า ๆ เมื่อเวลาผ่านไป

### 6.1.3 สรุปผลการทดลอง

วงจรอัดประจุแบตเตอรี่และวงจรควบคุมสามารถทำงานได้จริงในระดับหนึ่ง จากการทดลองพบว่า ปัญหาส่วนหนึ่งมาจากการตั้งค่าที่ผิดพลาดให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งตั้งค่าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ควรจะมีการศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายในตัวแบตเตอรี่ เพื่อให้เกิดการดำเนินงานที่สัมพันธ์กันระหว่าง Hardware กับ Software

## 6.2 ทดลองความเร็วในการทำงานขณะภาวะถูกเงิน

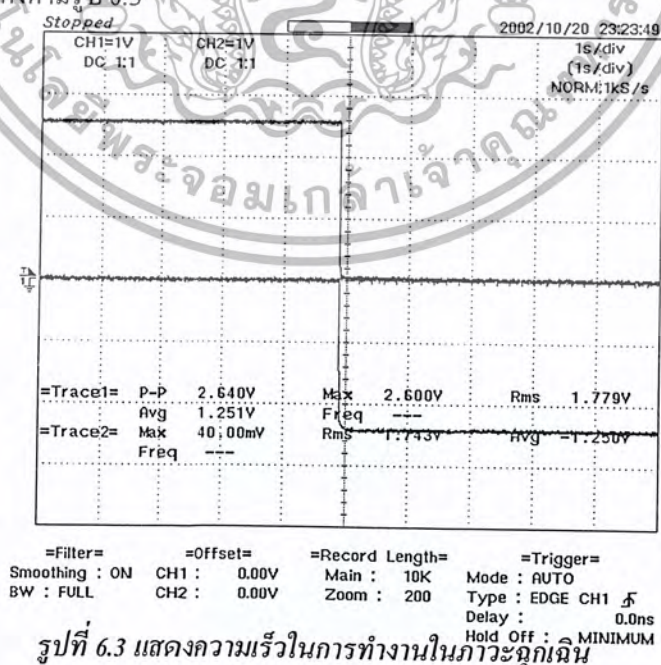
เมื่อเกิดภาวะถูกเงินชุดไฟถูกเงินควรจะมีความเร็วในการทำงานของรีเลย์เพื่อเปลี่ยนมาจ่ายไฟให้หลอดไฟติดทันที

### 6.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

เตรียมชุดไฟถูกเงิน และใช้ Digital Oscilloscope จับรูปคลื่นสัญญาณแรงดันอัดประจุในกรณีระบบไฟฟ้าภายนอกปกติ เทียบกับรูปคลื่นสัญญาณแรงดันที่จ่ายออกมาจากแบตเตอรี่ในภาวะถูกเงิน

### 6.2.2 ผลการทดลอง

จากรูปคลื่นแรงดันในสภาวะปกติ(แรงดันที่ใช้อัดประจุแบตเตอรี่) กับรูปคลื่นแรงดันในสภาวะผิดปกติ(แรงดันที่จ่ายออกมาจากแบตเตอรี่) ซึ่งความเร็วที่ได้นี้จะเกิดจากความเร็วในการเปิดปิดหน้าสัมผัสของรีเลย์ ดังแสดงตามรูป 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงความเร็วในการทำงานในภาวะถูกเงิน

### 6.2.3 สรุปผลการทดลอง

จากรูปจะเห็นว่าความเร็วในการทำงานของวงจรสูงมาก ซึ่งการทำงานในทันทีที่หันไคล์ลักษณะนี้จะส่งผลให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ใช้

## 6.3 ทดลองการสำรองไฟในภาวะฉุกเฉิน

### 6.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

วัดแรงดันที่แบตเตอรี่ , กระแสขณะคายประจุเทียบกับเวลา โดยจดค่าทุก ๆ 10 นาที โดยตั้งค่าต่าง ๆ ก่อนทดลองดังตารางที่ 6.2

Vinitial (V/Cell)	Vfloat (V/Cell)	Safety Time (Hr.)	Boost Time (Hr.)	End cell(V)
2.4	2.1	3	1	1.75

ตารางที่ 6.3 แสดงค่าต่าง ๆ ที่ตั้งไว้ในโปรแกรมก่อนทดลองสำรองไฟในภาวะฉุกเฉิน

### 6.3.2 ผลการทดลอง

เวลา (นาที)	แรงดัน(V)	กระแส (A)
0	24.98	2.98
10	24.49	2.90
20	24.25	2.88
30	24.03	2.86
40	23.78	2.85
50	23.50	2.83
60(1ชั่วโมง)	23.20	2.81
70	22.85	2.78
80	21.32	2.75
90	20.58	2.63

ตารางที่ 6.4 แสดงแรงดันแบตเตอรี่, กระแสขณะคายประจุเทียบกับเวลา

จากตารางที่ 6.4 จะเห็นว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงช้า ๆ เมื่อเริ่มคายประจุแต่เมื่อเวลาผ่านไประดับแรงดันจะลดลงในอัตราที่เพิ่มขึ้นมากกว่าตอนเริ่มคายประจุ และชุดไฟฉุกเฉินจะหยุดจ่ายไฟเมื่อระดับแรงดันลดลงถึงระดับที่ตั้งไว้ (End cell)

### 6.3.3 สรุปผลการทดลอง

ชุดไฟฉุกเฉินสามารถทำงานได้จริง โดยสามารถสำรองไฟได้ประมาณ 1 ชั่วโมงครึ่ง ซึ่งต่ำกว่าค่าที่คำนวณไว้ (2 ชั่วโมง) น่าจะเกิดจากแรงดันแบตเตอรี่ตอนทดสอบนั้นไม่ได้อัดประจุไว้เต็มที่ และวงจรควบคุมนั้นใช้พลังงานมากกว่าค่าที่ประมาณไว้ตอนคำนวณ

## บทที่ 7

### บทวิจารณ์และสรุป

#### 7.1 วิเคราะห์ผลของโครงการ

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าชุดไฟสำรองสามารถสำรองไฟได้ประมาณ 1 ชั่วโมงครึ่ง (ตั้ง Vfloat 2.4 V , Vinitial 2.1 V , End Volt 1.75) ซึ่งเวลาในการสำรองไฟจะเปลี่ยนได้ เมื่อเราเปลี่ยนแปลงตั้งค่าต่าง ๆ ก่อนโหลดข้อมูลเข้าสู่ชุดไฟฉุกเฉิน (โดยเฉพาะค่า End Volt ถ้าเราตั้งให้น้อยกว่านี้จะสำรองไฟได้นานขึ้น) เหตุที่สำรองไฟได้น้อยกว่าที่คำนวณไว้ตอนแรกก็คือ

- วงจรควบคุมชุดไฟฉุกเฉินใช้ไฟเลี้ยงมากกว่าเปอร์เซ็นต์ที่เผื่อไว้ตอนคำนวณ
- คุณสมบัติของแบตเตอรี่เอง เพราะผ่านการทดลองมาบ่อยครั้งทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้ เช่น การเกิดลัดวงจรของขั้วแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นผลทำให้ความสามารถในการเก็บประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ลดลง

#### 7.2 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไข

จากข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่กล่าวมา พอจะสรุปเป็นปัญหาที่พบและแนวทางในการแก้ไขปัญหาได้ดังนี้

##### 7.2.1 ปัญหาที่พบ

- ต้องทำความเข้าใจในเรื่องใหม่ ๆ ทั้งในส่วนของ Hard ware และ Soft ware เพราะในส่วนของ Hard ware มีการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC และ Soft ware ที่ใช้เขียน โปรแกรม คือ Borland Delphi 5 ซึ่งเป็นเรื่องใหม่ของเราในกลุ่ม
- เนื่องจากชุดไฟฉุกเฉินที่ถือเป็นเครือข่ายจึงจำเป็นต้องส่งข้อมูลในระยะทางไกล ๆ ทำให้สัญญาณ ห้ามคิดเห็น ซึ่งกว่าจะได้วงจรที่เสถียรก็ต้องเปลี่ยนวงจรและอุปกรณ์ไปหลายครั้งพอสมควร
- หลอดไฟที่ใช้ไม่เหมาะสม ซึ่งตอนแรกใช้ 55 W 2 หลอด ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก จึงเปลี่ยนมาใช้ 35 W 2 หลอดแทน ( หลอด 35 W หายาก )
- ขาดอุปกรณ์เครื่องมือวัดมีไม่เพียงพอกับความต้องการของนักศึกษา

##### 7.2.2 แนวทางในการแก้ปัญหา

- ศึกษาเนื้อหาทางด้านวิชาการให้ละเอียด และครอบคลุมหลาย ๆ เรื่อง เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบ และวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นได้
- ศึกษาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลภายนอก เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของ โครงการกับของที่มีใช้กันอยู่จริง
- วางแผนการทำงานทุกอย่างให้ดี เพื่อที่จะได้รู้ขั้นตอนในการทำงานทั้งหมด ซึ่งมีส่วนสำคัญในการทำโครงเพราะจะได้แบ่งงานกันได้อย่างถูกต้อง มีผลทำให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีภายในเวลาอันสั้นและเกิดข้อผิดพลาดน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

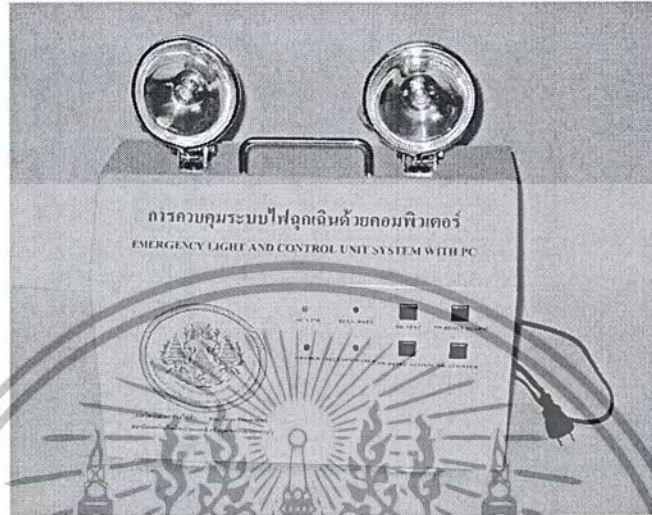
### 7.3 ข้อเสนอแนะ

- วงจร RS422/RS232 Converter ต้องปรับปรุงให้เสถียรมากกว่านี้ และสายที่ใช้ส่งสัญญาณควรจะมีการป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอกด้วยจะดียิ่งขึ้น
- ระบบการส่งสัญญาณ ควรใช้เป็น RS485 เพราะจะประหยัดสายได้มากขึ้น เพราะ RS485 ใช้สายเพียง 2 เส้นในการรับและส่งข้อมูล
- ต้องเพิ่มเติมไอซี Timer ให้กับวงจรชุดไฟฉุกเฉินเพราะตอนไมโครเก็บค่า Fault จะได้เก็บค่าวันเวลาที่เกิด Fault ด้วย
- ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมควรปรับปรุงให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น

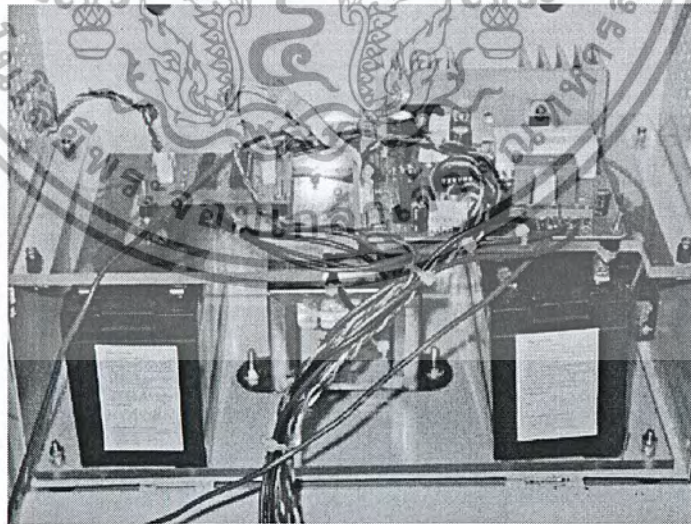


ภาคผนวก (ก)

รูปถ่ายชิ้นงาน

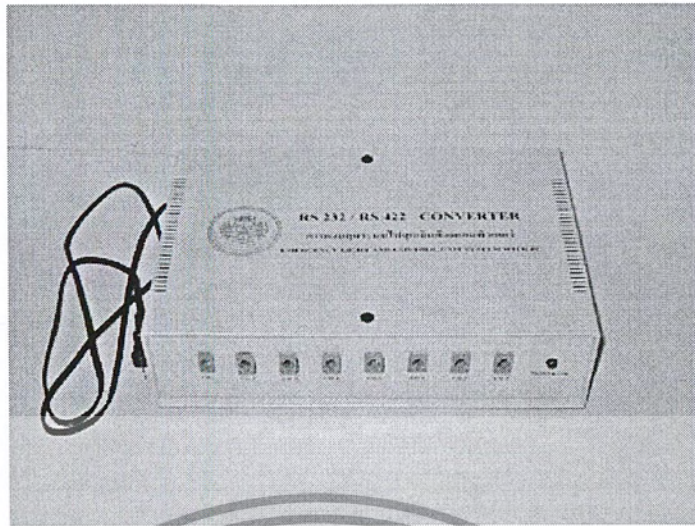


รูปภาพที่ 1 แสดงลักษณะภายนอกชุดไฟฉุกเฉิน



รูปภาพที่ 2 แสดงลักษณะภายในของชุดไฟฉุกเฉิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 3 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ RS232/RS422 CONVERTER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก (ข)

Data Sheet



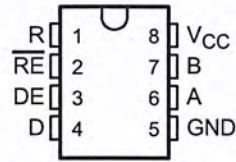
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SN65176B, SN75176B DIFFERENTIAL BUS TRANSCEIVERS

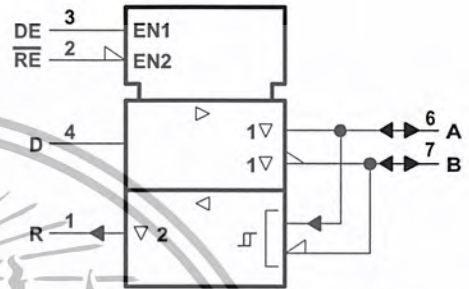
SLLS101A - JULY 1985 - REVISED MAY 1995

- Bidirectional Transceivers
- Meet or Exceed the Requirements of ANSI Standards EIA/TIA-422-B and RS-485 and ITU Recommendations V.11 and X.27
- Designed for Multipoint Transmission on Long Bus Lines in Noisy Environments
- 3-State Driver and Receiver Outputs
- Individual Driver and Receiver Enables
- Wide Positive and Negative Input/Output Bus Voltage Ranges
- Driver Output Capability . . .  $\pm 60$  mA Max
- Thermal Shutdown Protection
- Driver Positive and Negative Current Limiting
- Receiver Input Impedance . . . 12 k $\Omega$  Min
- Receiver Input Sensitivity . . .  $\pm 200$  mV
- Receiver Input Hysteresis . . . 50 mV Typ
- Operate From Single 5-V Supply

D OR P PACKAGE  
(TOP VIEW)



logic symbol†



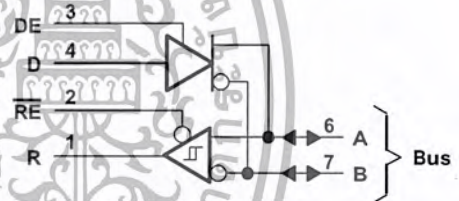
† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.

## description

The SN65176B and SN75176B differential bus transceivers are monolithic integrated circuits designed for bidirectional data communication on multipoint bus transmission lines. They are designed for balanced transmission lines and meet ANSI Standards EIA/TIA-422-B and RS-485 and ITU Recommendations V.11 and X.27.

The SN65176B and SN75176B combine a 3-state differential line driver and a differential input line receiver, both of which operate from a single 5-V power supply. The driver and receiver have active-high and active-low enables, respectively, that can be externally connected together to function as a direction control. The driver differential outputs and the receiver differential inputs are connected internally to form differential input/output (I/O) bus ports that are designed to offer minimum loading to the bus whenever the driver is disabled or  $V_{CC} = 0$ . These ports feature wide positive and negative common-mode voltage ranges making the device suitable for party-line applications.

logic diagram (positive logic)



## Function Tables

DRIVER

INPUT D	ENABLE DE	OUTPUTS	
		A	B
H	H	H	L
L	H	L	H
X	L	Z	Z

RECEIVER

DIFFERENTIAL INPUTS A - B	ENABLE $\overline{RE}$	OUTPUT R
$V_{ID} \geq 0.2$ V	L	H
$-0.2$ V $< V_{ID} < 0.2$ V	L	?
$V_{ID} \leq -0.2$ V	L	L
X	H	Z
Open	L	H

H = high level, L = low level, ? = indeterminate, X = irrelevant, Z = high impedance (off)

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TEXAS  
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1995, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SN65176B, SN75176B DIFFERENTIAL BUS TRANSCEIVERS

SLLS101A – JULY 1985 – REVISED MAY 1995

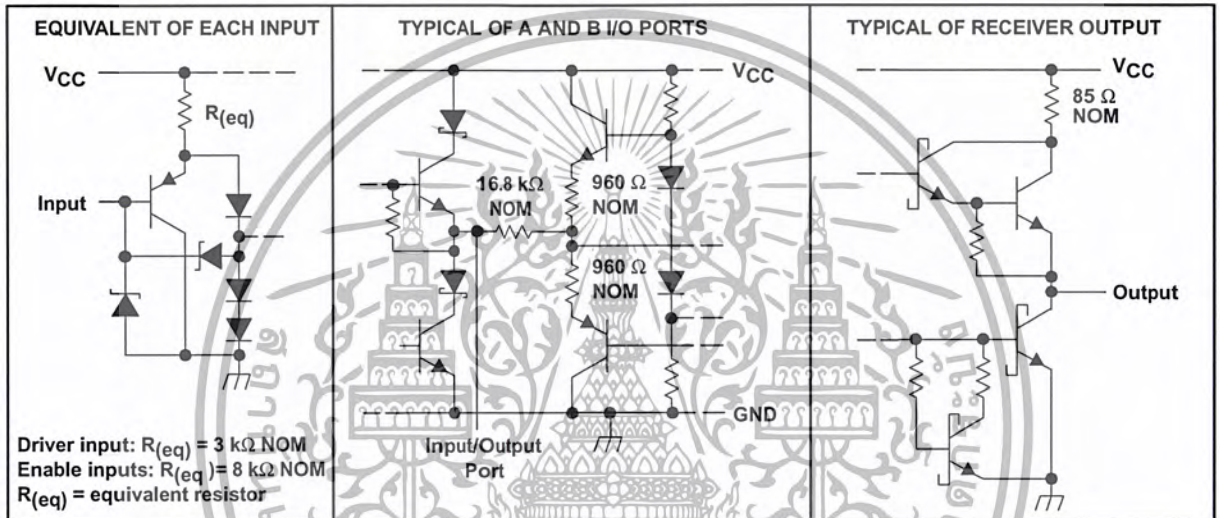
## description (continued)

The driver is designed for up to 60 mA of sink or source current. The driver features positive- and negative-current limiting and thermal shutdown for protection from line-fault conditions. Thermal shutdown is designed to occur at a junction temperature of approximately 150°C. The receiver features a minimum input impedance of 12 kΩ, an input sensitivity of ±200 mV, and a typical input hysteresis of 50 mV.

The SN65176B and SN75176B can be used in transmission line applications employing the SN75172 and SN75174 quadruple differential line drivers and SN75173 and SN75175 quadruple differential line receivers.

The SN65176B is characterized for operation from -40°C to 105°C and the SN75176B is characterized for operation from 0°C to 70°C.

## schematics of inputs and outputs



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SN65176B, SN75176B DIFFERENTIAL BUS TRANSCEIVERS

SLLS101A – JULY 1985 – REVISED MAY 1995

## absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, $V_{CC}$ (see Note 1)	7 V
Voltage range at any bus terminal	-10 V to 15 V
Enable input voltage, $V_I$	5.5 V
Continuous total power dissipation	See Dissipation Rating Table
Operating free-air temperature range, $T_A$ : SN65176B	-40°C to 105°C
SN75176B	0°C to 70°C
Storage temperature range, $T_{stg}$	-65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values, except differential input/output bus voltage, are with respect to network ground terminal.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR ABOVE $T_A = 25^\circ\text{C}$	$T_A = 70^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 105^\circ\text{C}$ POWER RATING
D	725 mW	5.8 mW/°C	464 mW	261 mW
P	1100 mW	8.8 mW/°C	704 mW	396 mW

## recommended operating conditions

		MIN	TYP	MAX	UNIT
Supply voltage, $V_{CC}$		4.75	5	5.25	V
Voltage at any bus terminal (separately or common mode), $V_I$ or $V_{IO}$				12	V
				-7	V
High-level input voltage, $V_{IH}$	D, DE, and $\overline{RE}$	2			V
Low-level input voltage, $V_{IL}$	D, DE, and $\overline{RE}$			0.8	V
Differential input voltage, $V_{ID}$ (see Note 2)				±12	V
High-level output current, $I_{OH}$	Driver			-60	mA
	Receiver			-400	µA
Low-level output current, $I_{OL}$	Driver			60	mA
	Receiver			8	mA
Operating free-air temperature, $T_A$	SN65176B	-40		105	°C
	SN75176B	0		70	°C

NOTE 2: Differential-input/output bus voltage is measured at the noninverting terminal A with respect to the inverting terminal B.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในองค์กรสงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 2-3  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SN65176B, SN75176B DIFFERENTIAL BUS TRANSCEIVERS

SLLS101A – JULY 1985 – REVISED MAY 1995

## DRIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS†		MIN	TYP‡	MAX	UNIT	
V <sub>IK</sub>	Input clamp voltage	I <sub>I</sub> = -18 mA				-1.5	V	
V <sub>O</sub>	Output voltage	I <sub>O</sub> = 0		0		6	V	
V <sub>OD1</sub>	Differential output voltage	I <sub>O</sub> = 0		1.5	3.6	6	V	
V <sub>OD2</sub>	Differential output voltage	R <sub>L</sub> = 100 Ω,	See Figure 1	1/2 V <sub>OD1</sub> or 2V <sup>¶</sup>			V	
		R <sub>L</sub> = 54 Ω,	See Figure 1	1.5	2.5	5	V	
V <sub>OD3</sub>	Differential output voltage	See Note 4		1.5		5	V	
Δ V <sub>OD</sub>	Change in magnitude of differential output voltage§					±0.2	V	
V <sub>OC</sub>	Common-mode output voltage	R <sub>L</sub> = 54 Ω or 100 Ω, See Figure 1				+3 -1	V	
Δ V <sub>OC</sub>	Change in magnitude of common-mode output voltage§					±0.2	V	
I <sub>O</sub>	Output current	Output disabled, See Note 3		V <sub>O</sub> = 12 V		1	mA	
				V <sub>O</sub> = -7 V		-0.8		
I <sub>IH</sub>	High-level input current	V <sub>I</sub> = 2.4 V				20	μA	
I <sub>IL</sub>	Low-level input current	V <sub>I</sub> = 0.4 V				-400	μA	
I <sub>OS</sub>	Short-circuit output current			V <sub>O</sub> = -7 V		-250	mA	
				V <sub>O</sub> = 0		150		
				V <sub>O</sub> = V <sub>CC</sub>		250		
				V <sub>O</sub> = 12 V		250		
I <sub>CC</sub>	Supply current (total package)	No load		Outputs enabled		42	70	mA
				Outputs disabled		26	35	

† The power-off measurement in ANSI Standard EIA/TIA-422-B applies to disabled outputs only and is not applied to combined inputs and outputs.

‡ All typical values are at V<sub>CC</sub> = 5 V and T<sub>A</sub> = 25°C.

§ Δ|V<sub>OD</sub>| and Δ|V<sub>OC</sub>| are the changes in magnitude of V<sub>OD</sub> and V<sub>OC</sub>, respectively, that occur when the input is changed from a high level to a low level.

¶ The minimum V<sub>OD2</sub> with a 100-Ω load is either 1/2 V<sub>OD1</sub> or 2 V, whichever is greater.

NOTES: 3. See ANSI Standard RS-485 Figure 3.5, Test Termination Measurement 2.

4. This applies for both power on and off; refer to ANSI Standard RS-485 for exact conditions. The EIA/TIA-422-B limit does not apply for a combined driver and receiver terminal.

switching characteristics, V<sub>CC</sub> = 5 V, R<sub>L</sub> = 110 kΩ, T<sub>A</sub> = 25°C (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
t <sub>d(OD)</sub>	Differential-output delay time	R <sub>L</sub> = 54 Ω,	See Figure 3		15	22	ns
t <sub>t(OD)</sub>	Differential-output transition time				20	30	ns
t <sub>PZH</sub>	Output enable time to high level	See Figure 4			85	120	ns
t <sub>PZL</sub>	Output enable time to low level	See Figure 5			40	60	ns
t <sub>PHZ</sub>	Output disable time from high level	See Figure 4			150	250	ns
t <sub>PLZ</sub>	Output disable time from low level	See Figure 5			20	30	ns



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SN65176B, SN75176B DIFFERENTIAL BUS TRANSCEIVERS

SLLS101A – JULY 1985 – REVISED MAY 1995

## SYMBOL EQUIVALENTS

DATA SHEET PARAMETER	EIA/TIA-422-B	RS-485
$V_O$	$V_{Oa}, V_{Ob}$	$V_{Oa}, V_{Ob}$
$ V_{OD1} $	$V_o$	$V_o$
$ V_{OD2} $	$V_t (R_L = 100 \Omega)$	$V_t (R_L = 54 \Omega)$
$ V_{OD3} $		$V_t$ (Test Termination Measurement 2)
$\Delta V_{OD} $	$   V_t  -  \bar{V}_t   $	$   V_t  -  \bar{V}_t   $
$V_{OC}$	$ V_{os} $	$ V_{os} $
$\Delta V_{OC} $	$ V_{os} - \bar{V}_{os} $	$ V_{os} - \bar{V}_{os} $
$I_{OS}$	$I_{sa}, I_{sb}$	
$I_O$	$I_{xa}, I_{xb}$	$I_{ia}, I_{ib}$

## RECEIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of common-mode input voltage, supply voltage, and operating free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
$V_{IT+}$ Positive-going input threshold voltage	$V_O = 2.7 V, I_O = -0.4 mA$			0.2	V
$V_{IT-}$ Negative-going input threshold voltage	$V_O = 0.5 V, I_O = 8 mA$	-0.2‡			V
$V_{hys}$ Input hysteresis voltage ( $V_{IT+} - V_{IT-}$ )			50		mV
$V_{IK}$ Enable Input clamp voltage	$I_I = -18 mA$			-1.5	V
$V_{OH}$ High-level output voltage	$V_{ID} = 200 mV, I_{OH} = -400 \mu A, \text{ See Figure 2}$		2.7		V
$V_{OL}$ Low-level output voltage	$V_{ID} = -200 mV, I_{OL} = 8 mA, \text{ See Figure 2}$			0.45	V
$I_{OZ}$ High-impedance-state output current	$V_O = 0.4 V \text{ to } 2.4 V$			$\pm 20$	$\mu A$
$I_I$ Line input current	Other input = 0 V, See Note 5 $V_I = 12 V$ $V_I = -7 V$			1 -0.8	mA
$I_{IH}$ High-level enable input current	$V_{IH} = 2.7 V$			20	$\mu A$
$I_{IL}$ Low-level enable input current	$V_{IL} = 0.4 V$			-100	$\mu A$
$r_I$ Input resistance	$V_I = 12 V$		12		k $\Omega$
$I_{OS}$ Short-circuit output current		-15		-85	mA
$I_{CC}$ Supply current (total package)	No load		Outputs enabled 26	55 35	mA

† All typical values are at  $V_{CC} = 5 V, T_A = 25^\circ C$ .

‡ The algebraic convention, in which the less-positive (more-negative) limit is designated minimum, is used in this data sheet for common-mode input voltage and threshold voltage levels only.

NOTE 5: This applies for both power on and power off. Refer to EIA Standard RS-485 for exact conditions.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 2-5 รค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SN65176B, SN75176B DIFFERENTIAL BUS TRANSCEIVERS

SLLS101A – JULY 1985 – REVISED MAY 1995

switching characteristics,  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $C_L = 15\text{ pF}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$t_{PLH}$ Propagation delay time, low- to high-level output	$V_{ID} = 0\text{ to }3\text{ V}$ , See Figure 6		21	35	ns
$t_{PHL}$ Propagation delay time, high- to low-level output			23	35	ns
$t_{PZH}$ Output enable time to high level	See Figure 7		10	20	ns
$t_{PZL}$ Output enable time to low level			12	20	ns
$t_{PHZ}$ Output disable time from high level	See Figure 7		20	35	ns
$t_{PLZ}$ Output disable time from low level			17	25	ns



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในบริษัทเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 2-6 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

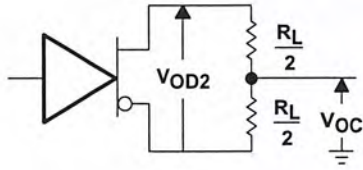


Figure 1. Driver  $V_{OD}$  and  $V_{OC}$

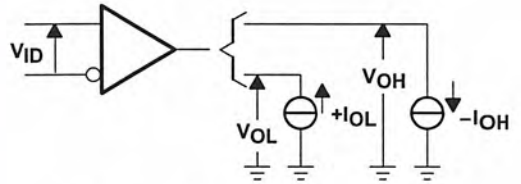


Figure 2. Receiver  $V_{OH}$  and  $V_{OL}$

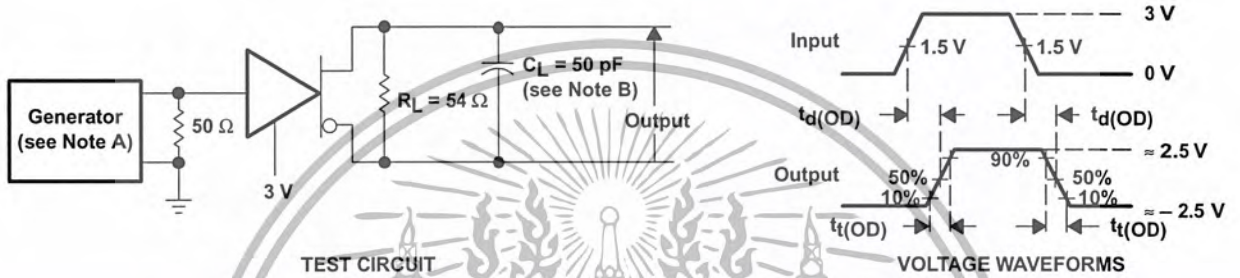


Figure 3. Driver Test Circuit and Voltage Waveforms

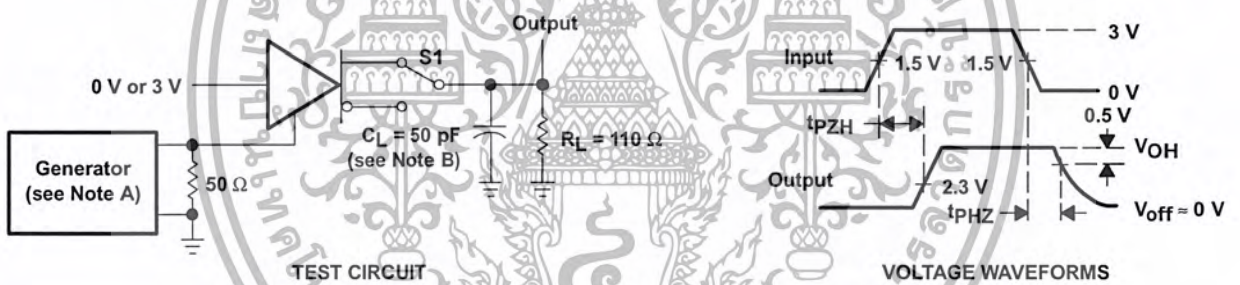


Figure 4. Driver Test Circuit and Voltage Waveforms

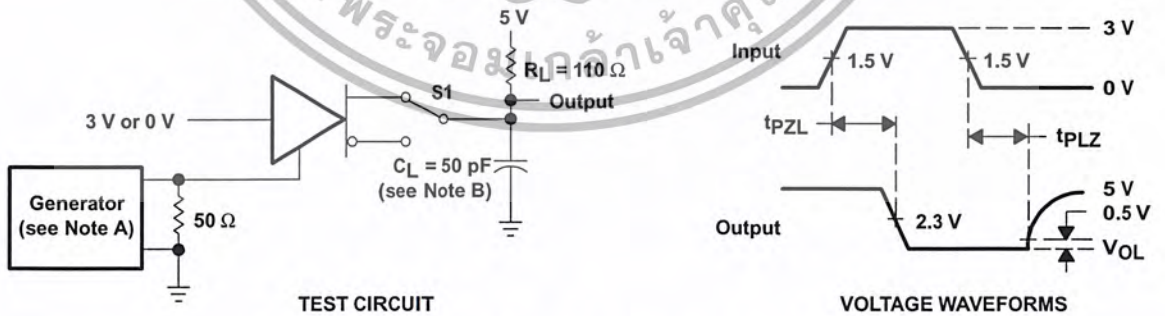


Figure 5. Driver Test Circuit and Voltage Waveforms

- NOTES: A. The input pulse is supplied by a generator having the following characteristics: PRR  $\leq$  1 MHz, 50% duty cycle,  $t_r \leq$  6 ns,  $t_f \leq$  6 ns,  $Z_0 = 50 \Omega$ .  
B.  $C_L$  includes probe and jig capacitance.

# SN65176B, SN75176B DIFFERENTIAL BUS TRANSCEIVERS

SLLS101A - JULY 1985 - REVISED MAY 1995

## PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

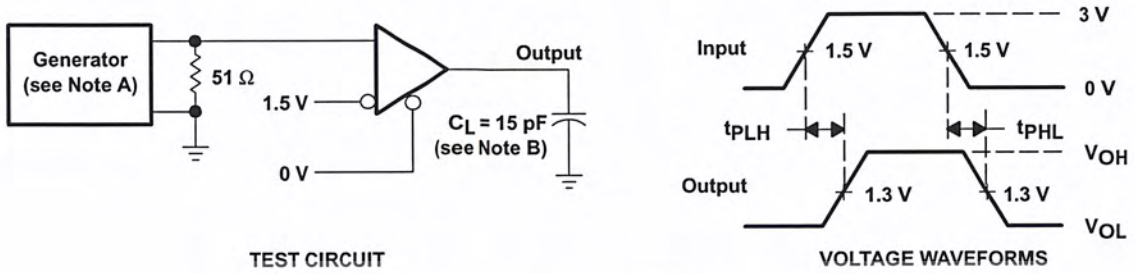


Figure 6. Receiver Test Circuit and Voltage Waveforms

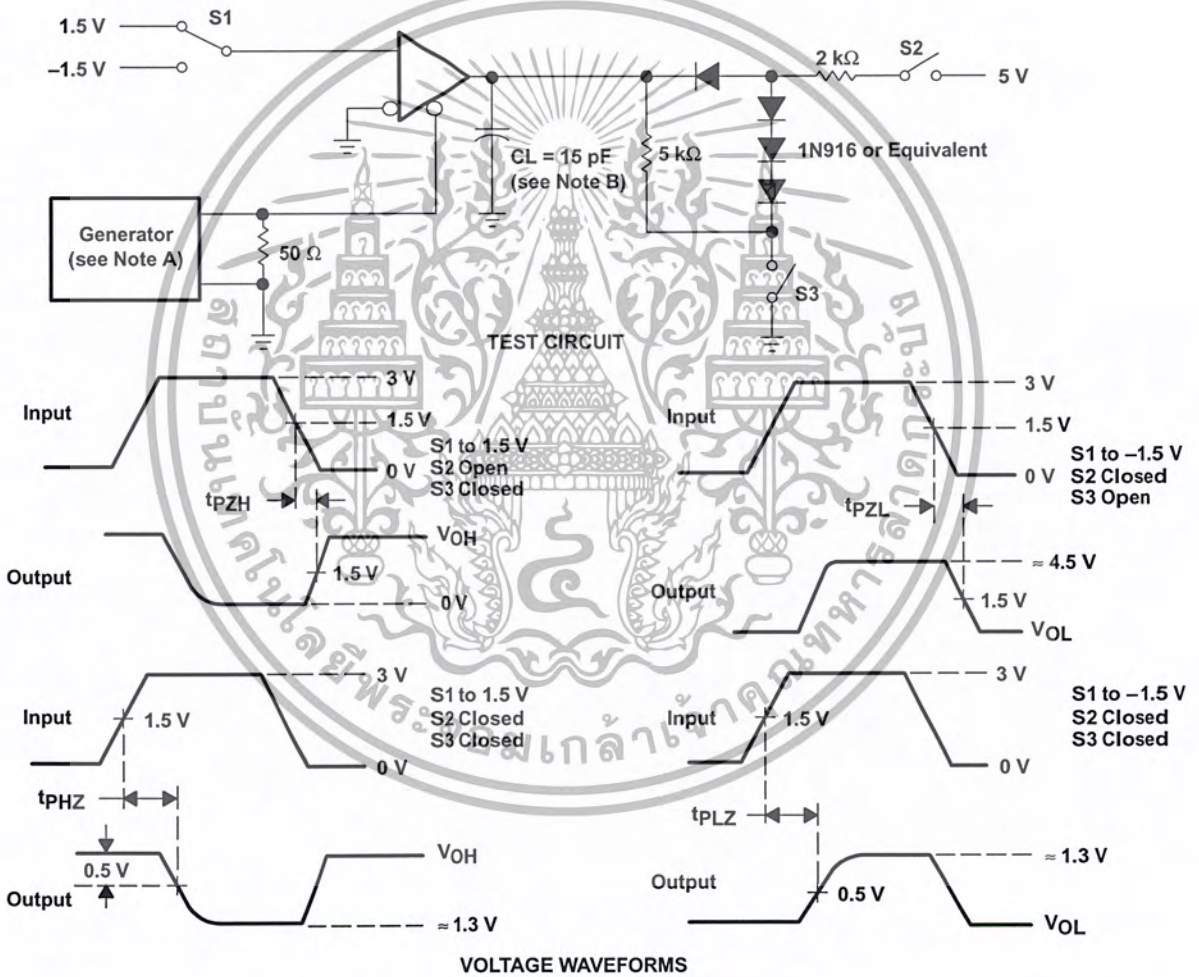


Figure 7. Receiver Test Circuit and Voltage Waveforms

- NOTES: A. The input pulse is supplied by a generator having the following characteristics: PRR  $\leq$  1 MHz, 50% duty cycle,  $t_r \leq$  6 ns,  $t_f \leq$  6 ns,  $Z_0 = 50 \Omega$ .  
 B.  $C_L$  includes probe and jig capacitance.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

TYPICAL CHARACTERISTICS

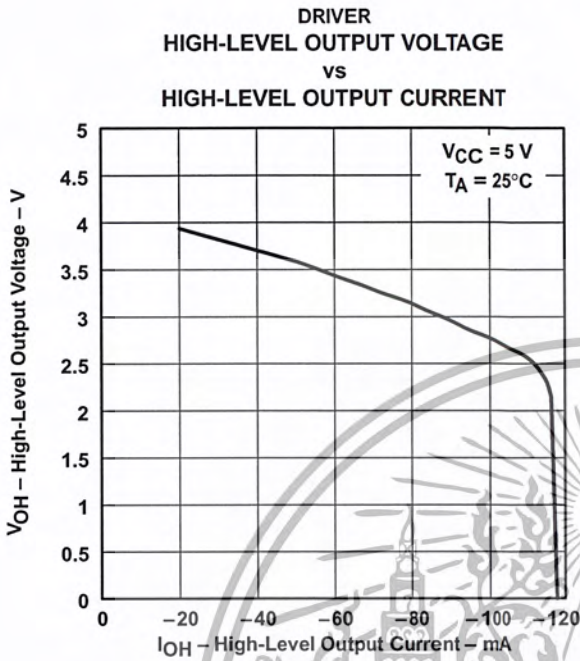


Figure 8

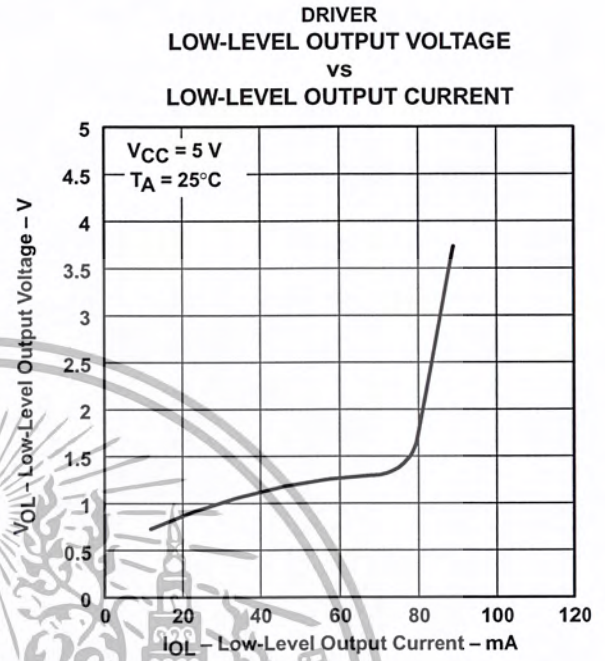


Figure 9

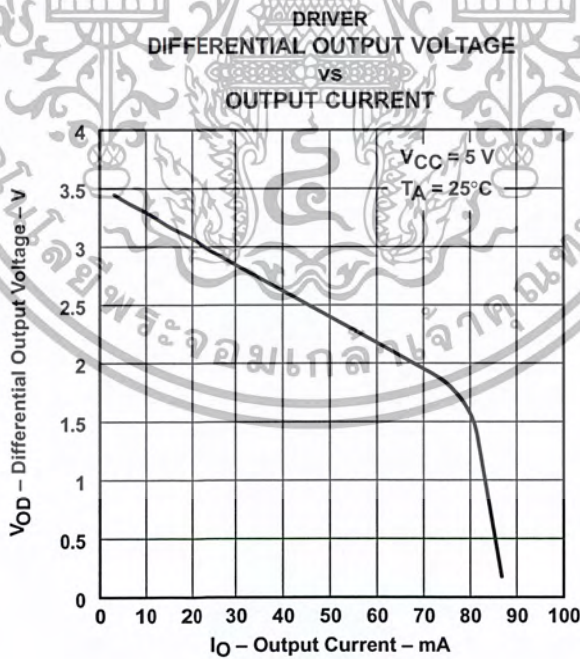
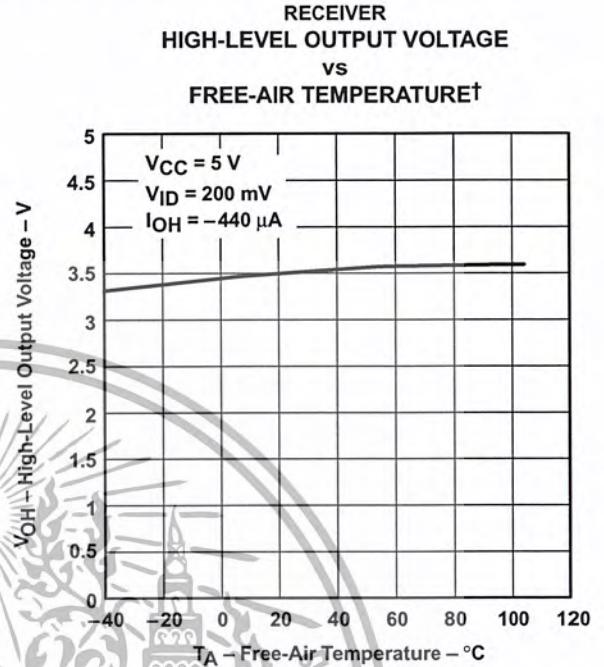
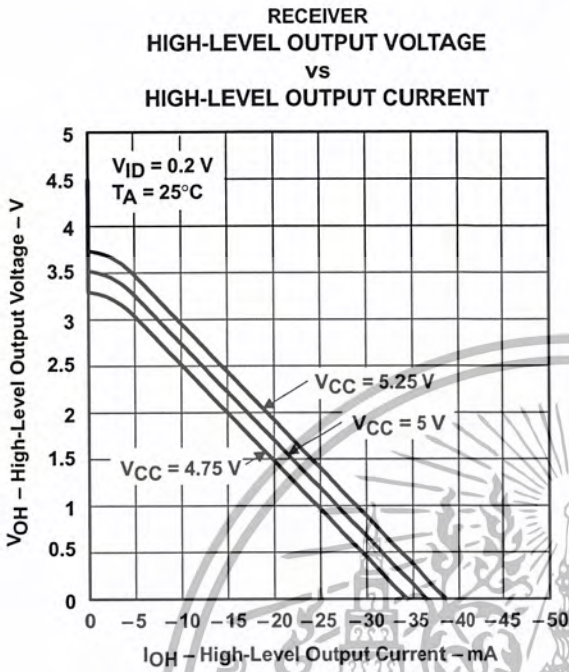


Figure 10

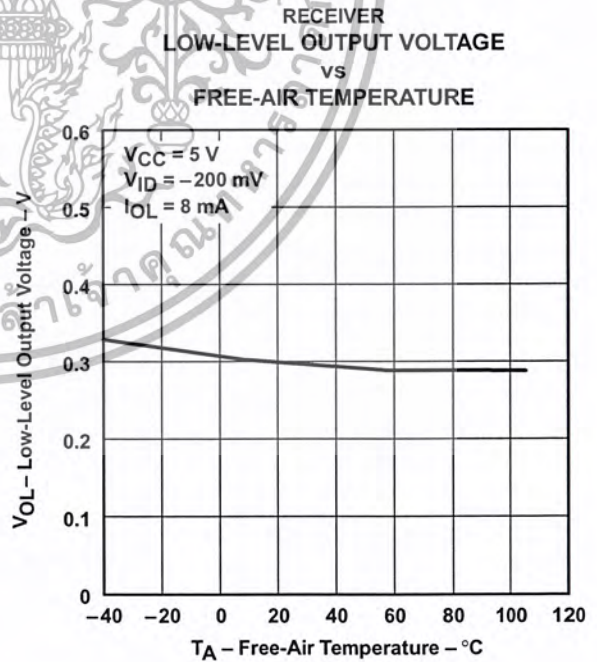
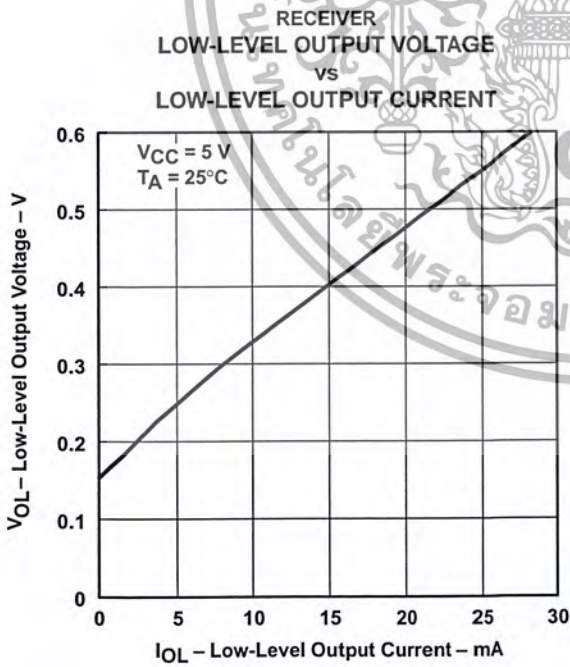
# SN65176B, SN75176B DIFFERENTIAL BUS TRANSCEIVERS

SLLS101A – JULY 1985 – REVISED MAY 1995

## TYPICAL CHARACTERISTICS



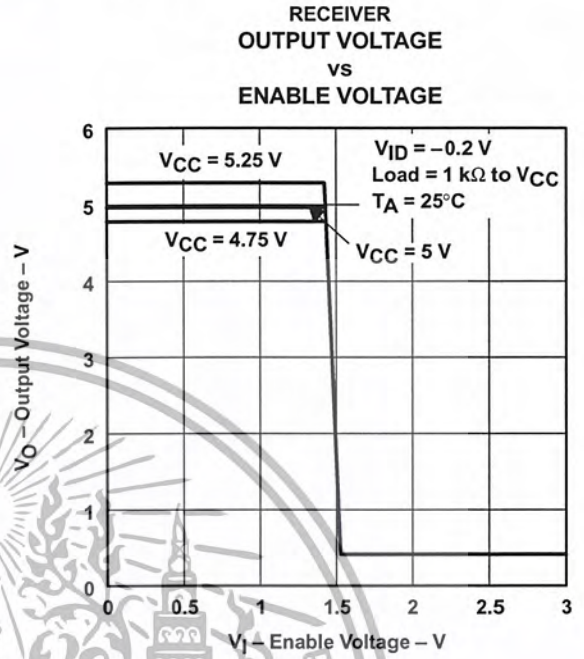
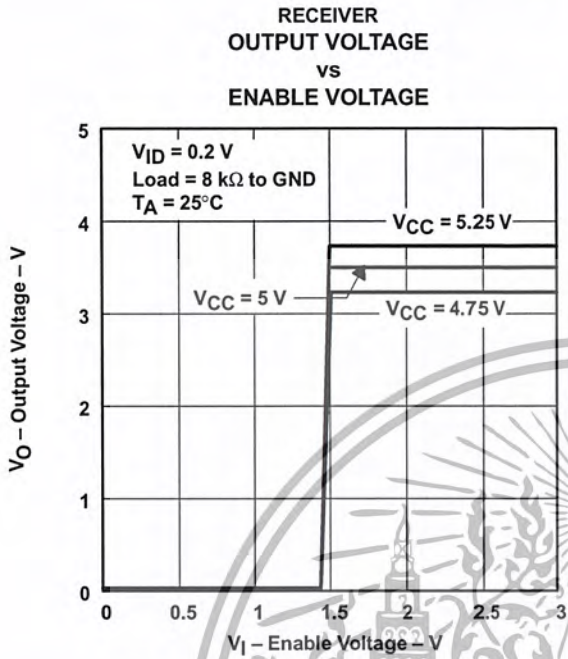
† Only the 0°C to 70°C portion of the curve applies to the SN75176B.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะองค์กรของคุณเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS



APPLICATION INFORMATION

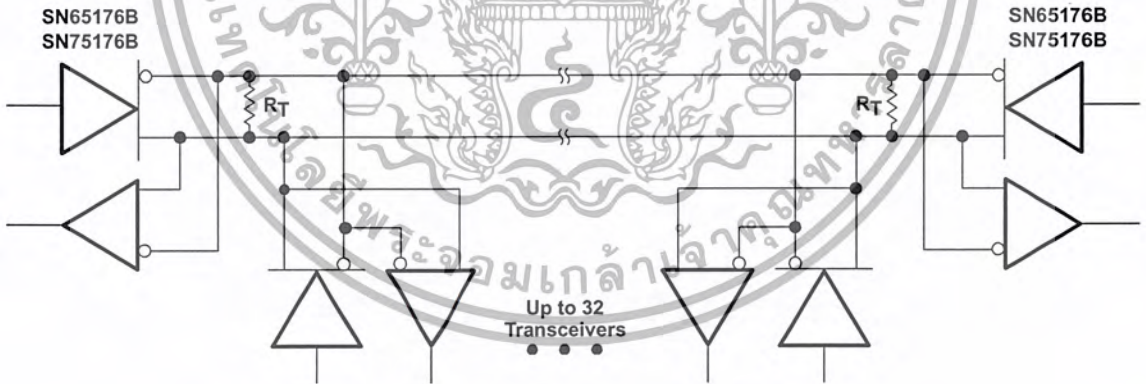


Figure 17. Typical Application Circuit

NOTE: The line should be terminated at both ends in its characteristic impedance ( $R_T = Z_0$ ). Stub lengths off the main line should be kept as short as possible.

# LM124, LM124A, LM224, LM224A LM324, LM324A, LM2902 QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS066H – SEPTEMBER 1975 – REVISED OCTOBER 2002

- **Wide Range of Supply Voltages:**  
Single Supply . . . 3 V to 30 V  
(LM2902, 3 V to 26 V) or Dual Supplies
- **Low Supply-Current Drain Independent of Supply Voltage . . . 0.8 mA Typ**
- **Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground, Allowing Direct Sensing Near Ground**
- **Low Input Bias and Offset Parameters:**
  - Input Offset Voltage . . . 3 mV Typ  
A Versions . . . 2 mV Typ
  - Input Offset Current . . . 2 nA Typ
  - Input Bias Current . . . 20 nA Typ  
A Versions . . . 15 nA Typ
- **Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage . . . 32 V (26 V for LM2902)**
- **Open-Loop Differential Voltage Amplification . . . 100 V/mV Typ**
- **Internal Frequency Compensation**

## description/ordering information

These devices consist of four independent high-gain frequency-compensated operational amplifiers that are designed specifically to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split supplies also is possible when the difference between the two supplies is 3 V to 30 V (for the LM2902, 3 V to 26 V) and  $V_{CC}$  is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. The low supply-current drain is independent of the magnitude of the supply voltage.

Applications include transducer amplifiers, dc amplification blocks, and all the conventional operational-amplifier circuits that now can be more easily implemented in single-supply-voltage systems. For example, the LM124 can be operated directly from the standard 5-V supply that is used in digital systems and easily provides the required interface electronics without requiring additional  $\pm 15$ -V supplies.

LM124 . . . D, J, OR W PACKAGE

LM124A . . . J PACKAGE

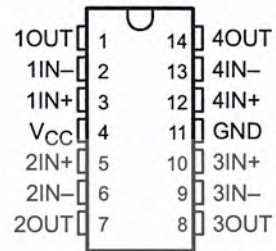
LM224, LM224A . . . D OR N PACKAGE

LM324 . . . D, N, NS, OR PW PACKAGE

LM324A . . . D, DB, N, NS, OR PW PACKAGE

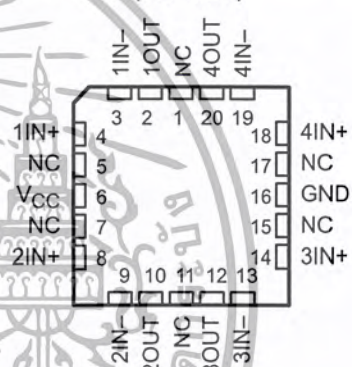
LM2902 . . . D, N, NS, OR PW PACKAGE

(TOP VIEW)



LM124, LM124A . . . FK PACKAGE

(TOP VIEW)



NC – No internal connection

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS  
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated  
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในองค์กรตามเงื่อนไข ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM124, LM124A, LM224, LM224A  
LM324, LM324A, LM2902  
QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS**

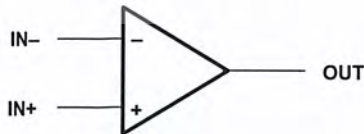
SLOS066H – SEPTEMBER 1975 – REVISED OCTOBER 2002

**ORDERING INFORMATION**

$T_A$	$V_{IOmax}$ AT 25°C	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	7 mV	PDIP (N)	Tube	LM324N	LM324N
		SOIC (D)	Tube	LM324D	LM324
			Tape and reel	LM324DR	
		SOP (NS)	Tape and reel	LM324NSR	LM324
	TSSOP (PW)	Tape and reel	LM324PWR	L324	
	3 mV	PDIP (N)	Tube	LM324AN	LM324AN
		SOIC (D)	Tube	LM324AD	LM324A
			Tape and reel	LM324ADR	
		SOP (NS)	Tape and reel	LM324ANSR	LM324A
		SSOP (DB)	Tape and reel	LM324ADBR	LM324A
TSSOP (PW)	Tape and reel	LM324APWR	L324A		
-25°C to 85°C	5 mV	PDIP (N)	Tube	LM224N	LM224N
		SOIC (D)	Tube	LM224D	LM224
	Tape and reel		LM224DR		
	3 mV	PDIP (N)	Tube	LM224AN	LM224AN
		SOIC (D)	Tube	LM224AD	LM224A
			Tape and reel	LM224ADR	
-40°C to 125°C	7 mV	PDIP (N)	Tube	LM2902N	LM2902N
		SOIC (D)	Tube	LM2902D	LM2902
			Tape and reel	LM2902DR	
		SOP (NS)	Tape and reel	LM2902NSR	LM2902
TSSOP (PW)	Tape and reel	LM2902PWR	L2902		
-55°C to 125°C	5 mV	CDIP (J)	Tube	LM124J	LM124J
		CFP (W)	Tube	LM124JB	LM124JB
			Tube	LM124W	LM124W
		LCCC (FK)	Tube	LM124FKB	LM124FKB
	SOIC (D)		Tube	LM124D	LM124
		Tape and reel	LM124DR		
	2 mV	CDIP (J)	Tube	LM124AJ	LM124AJ
			Tube	LM124AJB	LM124AJB
LCCC (FK)		Tube	LM124AFKB	LM124AFKB	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).

symbol (each amplifier)

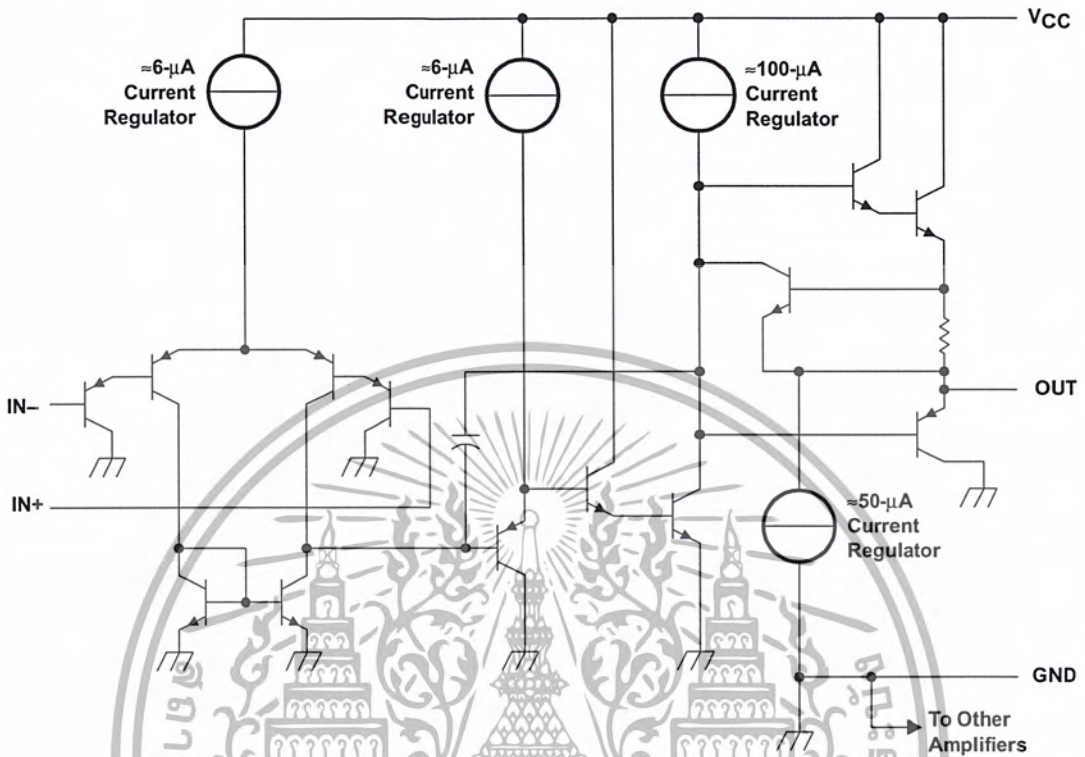


POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณียกเว้นเพื่อการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM124, LM124A, LM224, LM224A  
 LM324, LM324A, LM2902  
 QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS  
 SLOS066H – SEPTEMBER 1975 – REVISED OCTOBER 2002

schematic (each amplifier)



COMPONENT COUNT (total device)	
Epi-FET	1
Transistors	95
Diodes	4
Resistors	11
Capacitors	4



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM124, LM124A, LM224, LM224A  
LM324, LM324A, LM2902  
QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS066H – SEPTEMBER 1975 – REVISED OCTOBER 2002

**absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†**

	LM124, LM124A LM224, LM224A LM324, LM324A	LM2902	UNIT
Supply voltage, $V_{CC}$ (see Note 1)	32	26	V
Differential input voltage, $V_{ID}$ (see Note 2)	$\pm 32$	$\pm 26$	V
Input voltage, $V_I$ (either input)	-0.3 to 32	-0.3 to 26	V
Duration of output short circuit (one amplifier) to ground at (or below) $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_{CC} \leq 15\text{ V}$ (see Note 3)	Unlimited	Unlimited	
Operating virtual junction temperature, $T_J$	150	150	$^\circ\text{C}$
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Notes 4 and 5)	D package	86	$^\circ\text{C/W}$
	DB package	96	
	N package	80	
	NS package	76	
	PW package	113	
Package thermal impedance, $\theta_{JC}$ (see Notes 6 and 7)	FK package	5.61	$^\circ\text{C/W}$
	J package	15.05	
	W package	14.65	
Case temperature for 60 seconds	FK package	260	$^\circ\text{C}$
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	J or W package	300	$^\circ\text{C}$
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	N package	260	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range, $T_{stg}$	-65 to 150	-65 to 150	$^\circ\text{C}$

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
- All voltage values (except differential voltages and  $V_{CC}$  specified for the measurement of  $I_{OS}$ ) are with respect to the network GND.
  - Differential voltages are at  $IN+$  with respect to  $IN-$ .
  - Short circuits from outputs to  $V_{CC}$  can cause excessive heating and eventual destruction.
  - Maximum power dissipation is a function of  $T_{J(max)}$ ,  $\theta_{JA}$ , and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is  $P_D = (T_{J(max)} - T_A)/\theta_{JA}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of  $150^\circ\text{C}$  can affect reliability.
  - The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
  - Maximum power dissipation is a function of  $T_{J(max)}$ ,  $\theta_{JC}$ , and  $T_C$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is  $P_D = (T_{J(max)} - T_C)/\theta_{JC}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of  $150^\circ\text{C}$  can affect reliability.
  - The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ไม่ใช่ทางการค้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics at specified free-air temperature,  $V_{CC} = 5\text{ V}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITION†	$T_A$ ‡	LM124, LM224			LM324			LM2902			UNIT	
			MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX		
$V_{IO}$	Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX,}$ $V_{IC} = V_{ICRmin}, V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	3	5		3	7		3	7	mV	
			Full range			7		9		10			
$I_{IO}$	Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	2	30		2	50		2	50	nA	
			Full range		100		150		300				
$I_{IB}$	Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	-20	-150		-20	-250		-20	-250	nA	
			Full range		-300		-500		-500				
$V_{ICR}$	Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$	25°C	0 to $V_{CC}-1.5$		0 to $V_{CC}-1.5$		0 to $V_{CC}-1.5$		0 to $V_{CC}-1.5$		V	
			Full range	0 to $V_{CC}-2$		0 to $V_{CC}-2$		0 to $V_{CC}-2$					
$V_{OH}$	High-level output voltage	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	25°C	$V_{CC}-1.5$		$V_{CC}-1.5$		$V_{CC}-1.5$		$V_{CC}-1.5$		V	
			25°C							$V_{CC}-1.5$			
			Full range	26		26		22					
			Full range	27	28	27	28	23	24				
$V_{OL}$	Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	Full range	5	20	5	20	5	20	5	20	mV	
			25°C	50	100	25	100		100				
$A_{VD}$	Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V, } V_O = 1\text{ V to } 11\text{ V,}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C	25		15		15				V/mV	
			Full range	25		15		15					
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICRmin}$	25°C	70	80	65	80	50	80		dB		
kSVR	Supply-voltage rejection ratio ( $\Delta V_{CC}/\Delta V_{IO}$ )		25°C	65	100	65	100	50	100		dB		
$V_{O1}/V_{O2}$	Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to } 20\text{ kHz}$	25°C		120		120		120		dB		
$I_O$	Output current	$V_{CC} = 15\text{ V, } V_O = 0$	25°C	-20	-30	-60	-20	-30	-60	-20	-30	-60	mA
			Full range	-10		-10		-10		-10			
			25°C	10	20	10	20	10	20				
			Full range	5		5		5					
$I_{OS}$	Short-circuit output current	$V_{CC}$ at 5 V, GND at -5 V	25°C	±40	±60	±40	±60	±40	±60		mA		
			Full range	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2				
$I_{CC}$	Supply current (four amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V,}$ No load	Full range	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2		mA		
			Full range	1.4	3	1.4	3	1.4	3				
$I_{CC}$	Supply current (four amplifiers)	$V_{CC} = \text{MAX,}$ $V_O = 0.5 V_{CC},$ No load	Full range	1.4	3	1.4	3	1.4	3		mA		
			Full range	1.4	3	1.4	3	1.4	3				

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified. MAX  $V_{CC}$  for testing purposes is 26 V for LM2902, 30 V for the others.

‡ Full range is -55°C to 125°C for LM124, -25°C to 85°C for LM224, 0°C to 70°C for LM324, and -40°C to 125°C for LM2902.

§ All typical values are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

LM124, LM124A, LM224, LM224A

LM324, LM324A, LM2902

QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SIL50066H - SEPTEMBER 1975 - REVISED OCTOBER 2002

electrical characteristics at specified free-air temperature,  $V_{CC} = 5\text{ V}$  (unless otherwise noted) (continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	$T_A$ ‡	LM124A			LM224A			LM324A			UNIT		
			MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX			
$V_{IO}$ Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to }30\text{ V}$ , $V_{IC} = V_{ICRmin}$ , $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C			2			2	3		2	3	mV	
		Full range			4			4				5		
$I_{IO}$ Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C			10			2	15		2	30	nA	
		Full range			30			30				75		
$I_{IB}$ Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C			-50			-15	-80		-15	-100	nA	
		Full range			-100			-100				-200		
$V_{ICR}$ Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C			0 to $V_{CC}-1.5$			0 to $V_{CC}-1.5$			0 to $V_{CC}-1.5$		V	
		Full range			0 to $V_{CC}-2$			0 to $V_{CC}-2$			0 to $V_{CC}-2$			
$V_{OH}$ High-level output voltage	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	25°C			$V_{CC}-1.5$			$V_{CC}-1.5$			$V_{CC}-1.5$		V	
	$V_{CC} = 30\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$	Full range			26			26			26			
	$V_{CC} = 30\text{ V}$ , $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	Full range			27			27	28		27	28		
$V_{OL}$ Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	Full range			20			5	20		5	20	mV	
$A_{VD}$ Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$ , $V_O = 1\text{ V to }11\text{ V}$ , $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	Full range			25			25			15		V/mV	
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICRmin}$	25°C			70			70	80		65	80	dB	
$k_{SVR}$ Supply-voltage rejection ratio ( $\Delta V_{CC}/\Delta V_{IO}$ )		25°C			65			65	100		65	100	dB	
$V_{O1}/V_{O2}$ Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$	25°C			120			120			120		dB	
$I_O$ Output current	$V_{CC} = 15\text{ V}$ , $V_{ID} = 1\text{ V}$ , $V_O = 0$	25°C			-20			-20	-30	-60	-20	-30	-60	mA
		Full range			-10			-10			-10			
	$V_{CC} = 15\text{ V}$ , $V_{ID} = -1\text{ V}$ , $V_O = 15\text{ V}$	25°C			10			10	20		10	20		
		Full range			5			5			5			
$I_O$ Output current	$V_{ID} = -1\text{ V}$ , $V_O = 200\text{ mV}$	25°C			12			12	30		12	30	$\mu\text{A}$	
		Full range			12			12	30		12	30		
$I_{OS}$ Short-circuit output current	$V_{CC}$ at 5 V, $V_O = 0$ , GND at -5 V	25°C			$\pm 40$			$\pm 40$	$\pm 60$		$\pm 40$	$\pm 60$	mA	
$I_{CC}$ Supply current (four amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V}$ , No load, $V_{CC} = 30\text{ V}$ , No load, $V_O = 15\text{ V}$	Full range			0.7	1.2			0.7	1.2	0.7	1.2	mA	
		Full range			1.4	3			1.4	3	1.4	3		

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified.

‡ Full range is -55°C to 125°C for LM124A, -25°C to 85°C for LM224A, and 0°C to 70°C for LM324A.

§ All typical values are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

**LM124, LM124A, LM224, LM224A**  
**LM324, LM324A, LM2902**  
**QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS**  
SLOS066H – SEPTEMBER 1975 – REVISED OCTOBER 2002

operating conditions,  $V_{CC} = \pm 15\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER		TEST CONDITIONS	TYP	UNIT
SR	Slew rate at unity gain	$R_L = 1\text{ M}\Omega$ , $C_L = 30\text{ pF}$ , $V_I = \pm 10\text{ V}$ (see Figure 1)	0.5	$\text{V}/\mu\text{s}$
$B_1$	Unity-gain bandwidth	$R_L = 1\text{ M}\Omega$ , $C_L = 20\text{ pF}$ (see Figure 1)	1.2	MHz
$V_n$	Equivalent input noise voltage	$R_S = 100\ \Omega$ , $V_I = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ kHz}$ (see Figure 2)	35	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

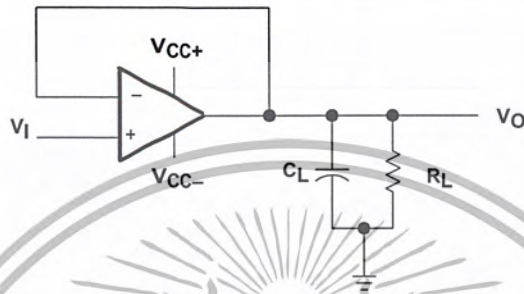


Figure 1. Unity-Gain Amplifier

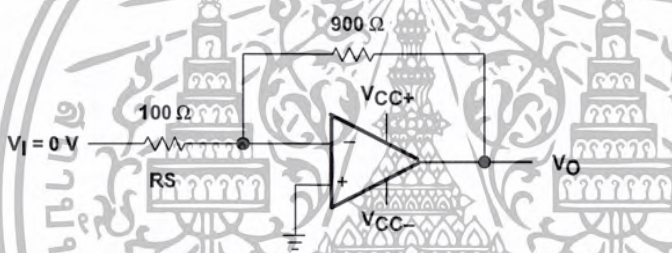


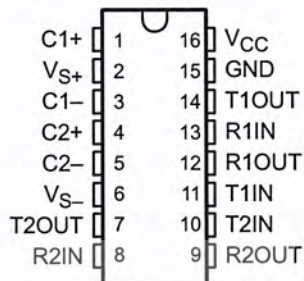
Figure 2. Noise-Test Circuit

# MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

- Meet or Exceed TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operate With Single 5-V Power Supply
- Operate Up to 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- $\pm 30$ -V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- Designed to be Interchangeable With Maxim MAX232
- ESD Protection Exceeds JESD 22 – 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Applications
  - TIA/EIA-232-F
  - Battery-Powered Systems
  - Terminals
  - Modems
  - Computers

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE  
MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE  
(TOP VIEW)



## description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply EIA-232 voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts EIA-232 inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V and a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept  $\pm 30$ -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into EIA-232 levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

## ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	PDIP (N)	Tube	MAX232N	MAX232N
	SOIC (D)	Tube	MAX232D	MAX232
		Tape and reel	MAX232DR	
	SOIC (DW)	Tube	MAX232DW	MAX232
		Tape and reel	MAX232DWR	
SOP (NS)	Tape and reel	MAX232NSR	MAX232	
-40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube	MAX232IN	MAX232IN
	SOIC (D)	Tube	MAX232ID	MAX232I
		Tape and reel	MAX232IDR	
	SOIC (DW)	Tube	MAX232IDW	MAX232I
		Tape and reel	MAX232IDWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

LinASIC is a trademark of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

**TEXAS  
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในองค์กรสงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MAX232, MAX2321 DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

## Function Tables

### EACH DRIVER

INPUT TIN	OUTPUT TOUT
L	H
H	L

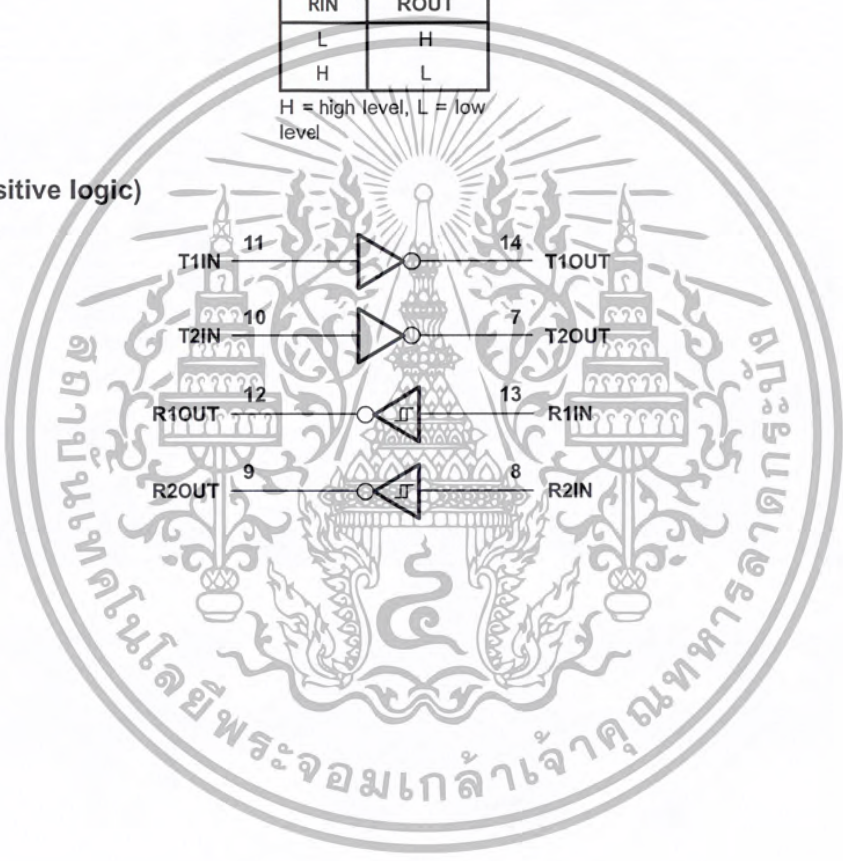
H = high level, L = low level

### EACH RECEIVER

INPUT RIN	OUTPUT ROUT
L	H
H	L

H = high level, L = low level

## logic diagram (positive logic)



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

## absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Input supply voltage range, $V_{CC}$ (see Note 1)	.....	-0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, $V_{S+}$	.....	$V_{CC} - 0.3$ V to 15 V
Negative output supply voltage range, $V_{S-}$	.....	-0.3 V to -15 V
Input voltage range, $V_I$ : Driver	.....	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Receiver	.....	$\pm 30$ V
Output voltage range, $V_O$ : T1OUT, T2OUT	.....	$V_{S-} - 0.3$ V to $V_{S+} + 0.3$ V
R1OUT, R2OUT	.....	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT	.....	Unlimited
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Note 2): D package	.....	73°C/W
DW package	.....	57°C/W
N package	.....	67°C/W
NS package	.....	64°C/W
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	.....	260°C
Storage temperature range, $T_{stg}$	.....	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

## recommended operating conditions

		MIN	NOM	MAX	UNIT
$V_{CC}$	Supply voltage	4.5	5	5.5	V
$V_{IH}$	High-level input voltage (T1IN, T2IN)	2			V
$V_{IL}$	Low-level input voltage (T1IN, T2IN)			0.8	V
R1IN, R2IN	Receiver input voltage			$\pm 30$	V
$T_A$	Operating free-air temperature	MAX232	0	70	°C
		MAX232I	-40	85	

## electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see Note 3 and Figure 4)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
$I_{CC}$	Supply current $V_{CC} = 5.5$ V, All outputs open, $T_A = 25^\circ\text{C}$		8	10	mA

‡ All typical values are at  $V_{CC} = 5$  V and  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

NOTE 3: Test conditions are C1-C4 = 1  $\mu\text{F}$  at  $V_{CC} = 5 \text{ V} \pm 0.5 \text{ V}$ .



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในองค์กรสงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MAX232, MAX232I

## DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

### DRIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
$V_{OH}$	High-level output voltage	T1OUT, T2OUT $R_L = 3\text{ k}\Omega$ to GND	5	7		V
$V_{OL}$	Low-level output voltage‡	T1OUT, T2OUT $R_L = 3\text{ k}\Omega$ to GND		-7	-5	V
$r_o$	Output resistance	T1OUT, T2OUT $V_{S+} = V_{S-} = 0, V_O = \pm 2\text{ V}$	300			$\Omega$
$I_{OS}§$	Short-circuit output current	T1OUT, T2OUT $V_{CC} = 5.5\text{ V}, V_O = 0$		$\pm 10$		mA
$I_{IS}$	Short-circuit input current	T1IN, T2IN $V_I = 0$			200	$\mu\text{A}$

† All typical values are at  $V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$ .

‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

§ Not more than one output should be shorted at a time.

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 =  $1\text{ }\mu\text{F}$  at  $V_{CC} = 5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$ .

switching characteristics,  $V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$  (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SR	Driver slew rate	$R_L = 3\text{ k}\Omega$ to $7\text{ k}\Omega$ , See Figure 2			30	V/ $\mu\text{s}$
SR(t)	Driver transition region slew rate	See Figure 3		3		V/ $\mu\text{s}$
	Data rate	One TOUT switching		120		kbit/s

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 =  $1\text{ }\mu\text{F}$  at  $V_{CC} = 5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$ .

### RECEIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
$V_{OH}$	High-level output voltage	R1OUT, R2OUT $I_{OH} = -1\text{ mA}$	3.5			V
$V_{OL}$	Low-level output voltage‡	R1OUT, R2OUT $I_{OL} = 3.2\text{ mA}$			0.4	V
$V_{IT+}$	Receiver positive-going input threshold voltage	R1IN, R2IN $V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$		1.7	2.4	V
$V_{IT-}$	Receiver negative-going input threshold voltage	R1IN, R2IN $V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	0.8	1.2		V
$V_{hys}$	Input hysteresis voltage	R1IN, R2IN $V_{CC} = 5\text{ V}$	0.2	0.5	1	V
$r_i$	Receiver input resistance	R1IN, R2IN $V_{CC} = 5, T_A = 25^\circ\text{C}$	3	5	7	$\text{k}\Omega$

† All typical values are at  $V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$ .

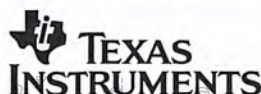
‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 =  $1\text{ }\mu\text{F}$  at  $V_{CC} = 5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$ .

switching characteristics,  $V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$  (see Note 3 and Figure 1)

PARAMETER		TYP	UNIT
$t_{PLH(R)}$	Receiver propagation delay time, low- to high-level output	500	ns
$t_{PHL(R)}$	Receiver propagation delay time, high- to low-level output	500	ns

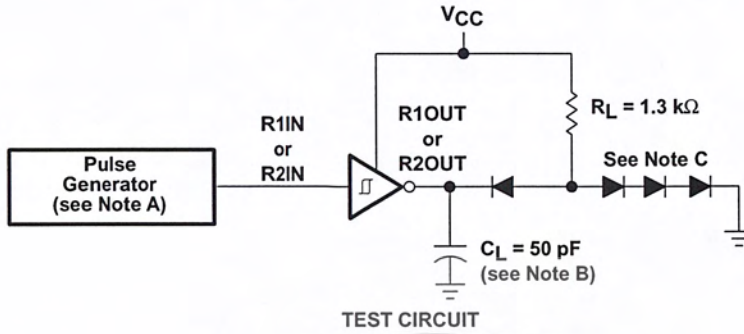
NOTE 3: Test conditions are C1–C4 =  $1\text{ }\mu\text{F}$  at  $V_{CC} = 5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$ .



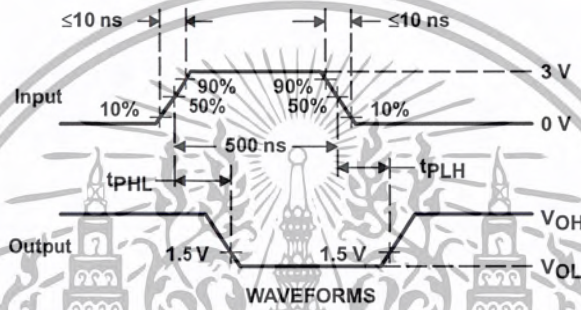
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอกสารใช้ภายในองค์กรของคุณเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT



WAVEFORMS

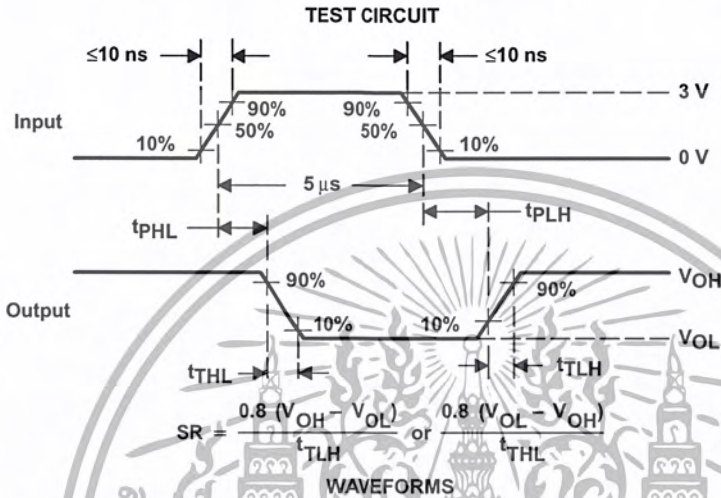
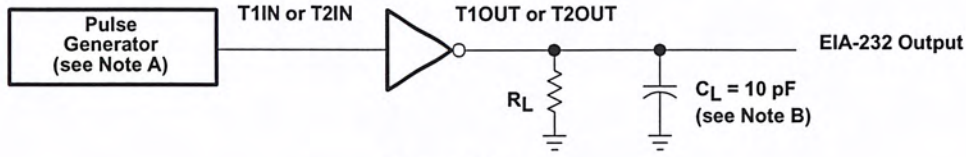
- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics:  $Z_O = 50 \Omega$ , duty cycle  $\leq 50\%$ .  
 B.  $C_L$  includes probe and jig capacitance.  
 C. All diodes are 1N3064 or equivalent!

Figure 1. Receiver Test Circuit and Waveforms for  $t_{PHL}$  and  $t_{PLH}$  Measurements

# MAX232, MAX2321 DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

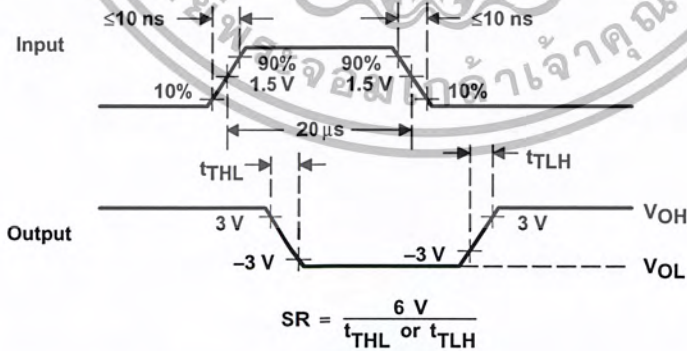
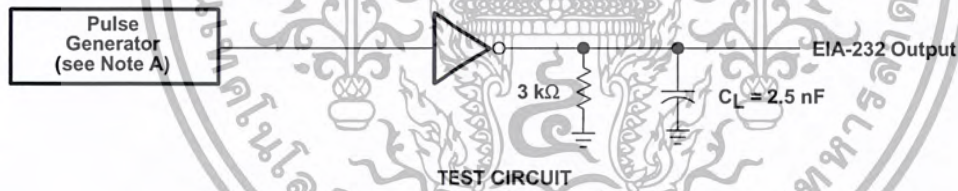
SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

## PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics:  $Z_O = 50 \Omega$ , duty cycle  $\leq 50\%$ .  
B.  $C_L$  includes probe and jig capacitance.

Figure 2. Driver Test Circuit and Waveforms for  $t_{PHL}$  and  $t_{PLH}$  Measurements (5- $\mu$ s Input)



- NOTE A: The pulse generator has the following characteristics:  $Z_O = 50 \Omega$ , duty cycle  $\leq 50\%$ .

Figure 3. Test Circuit and Waveforms for  $t_{THL}$  and  $t_{TLH}$  Measurements (20- $\mu$ s Input)



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

MAX232, MAX2321  
DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 - FEBRUARY 1989 - REVISED OCTOBER 2002

APPLICATION INFORMATION

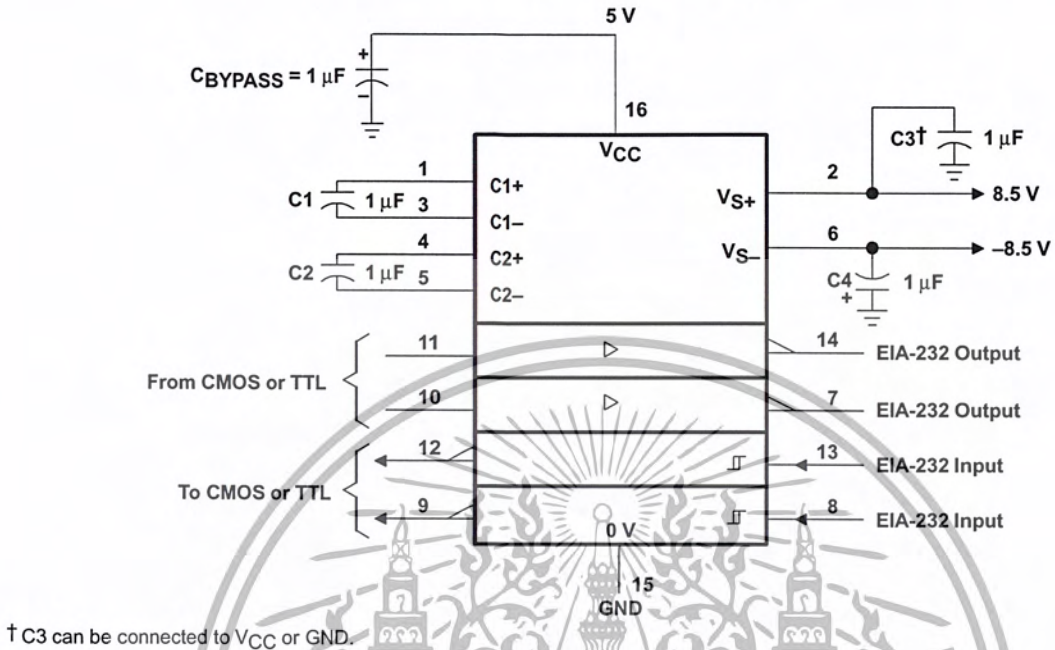


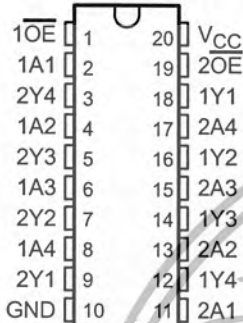
Figure 4. Typical Operating Circuit

# SN54HC244, SN74HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

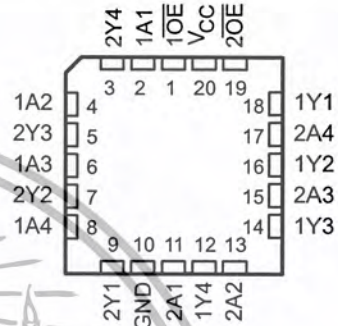
SCLS130C – DECEMBER 1982 – REVISED DECEMBER 2002

- Wide Operating Voltage Range of 2 V to 6 V
- High-Current Outputs Drive Up To 15 LSTTL Loads
- 3-State Outputs Drive Bus Lines or Buffer Memory Address Registers
- Low Power Consumption, 80- $\mu$ A Max  $I_{CC}$
- Typical  $t_{pd} = 11$  ns
- $\pm 6$ -mA Output Drive at 5 V
- Low Input Current of 1  $\mu$ A Max

SN54HC244 . . . J OR W PACKAGE  
SN74HC244 . . . DB, DW, N, NS, OR PW PACKAGE  
(TOP VIEW)



SN54HC244 . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



## description/ordering information

These octal buffers and line drivers are designed specifically to improve both the performance and density of 3-state memory address drivers, clock drivers, and bus-oriented receivers and transmitters. The 'HC244 devices are organized as two 4-bit buffers/drivers with separate output-enable (OE) inputs. When OE is low, the device passes noninverted data from the A inputs to the Y outputs. When OE is high, the outputs are in the high-impedance state.

## ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING	
-40°C to 85°C	PDIP – N	Tube	SN74HC244N	SN74HC244N	
	SOIC – DW	Tube	SN74HC244DW	HC244	
		Tape and reel	SN74HC244DWR		
	-55°C to 125°C	SOP – NS	Tape and reel	SN74HC244NSR	HC244
		SSOP – DB	Tape and reel	SN74HC244DBR	HC244
		TSSOP – PW	Tube	SN74HC244PW	HC244
Tape and reel			SN74HC244PWR		
-55°C to 125°C	CDIP – J	Tube	SNJ54HC244J	SNJ54HC244J	
	CFP – W	Tube	SNJ54HC244W	SNJ54HC244W	
	LCCC – FK	Tube	SNJ54HC244FK	SNJ54HC244FK	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS  
INSTRUMENTS**  
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated  
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ภายใน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

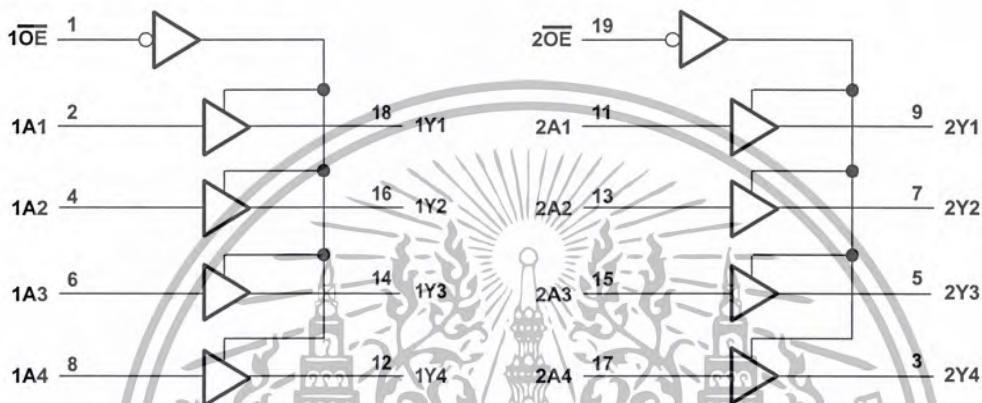
# SN54HC244, SN74HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

SCLS130C – DECEMBER 1982 – REVISED DECEMBER 2002

FUNCTION TABLE  
(each buffer/driver)

INPUTS		OUTPUT
$\overline{OE}$	A	Y
L	H	H
L	L	L
H	X	Z

## logic diagram (positive logic)



## absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage range, $V_{CC}$ .....	-0.5 V to 7 V
Input clamp current, $I_{IK}$ ( $V_I < 0$ or $V_I > V_{CC}$ ) (see Note 1) .....	$\pm 20$ mA
Output clamp current, $I_{OK}$ ( $V_O < 0$ or $V_O > V_{CC}$ ) (see Note 1) .....	$\pm 20$ mA
Continuous output current, $I_O$ ( $V_O = 0$ to $V_{CC}$ ) .....	$\pm 35$ mA
Continuous current through $V_{CC}$ or GND .....	$\pm 70$ mA
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Note 2): DB package .....	70°C/W
DW package .....	58°C/W
N package .....	69°C/W
NS package .....	60°C/W
PW package .....	83°C/W
Storage temperature range, $T_{stg}$ .....	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. The input and output voltage ratings may be exceeded if the input and output current ratings are observed.  
2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SN54HC244, SN74HC244**  
**OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS**  
**WITH 3-STATE OUTPUTS**

SCLS130C – DECEMBER 1982 – REVISED DECEMBER 2002

**recommended operating conditions (see Note 3)**

		SN54HC244			SN74HC244			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V <sub>CC</sub>	Supply voltage	2	5	6	2	5	6	V
V <sub>IH</sub>	High-level input voltage	V <sub>CC</sub> = 2 V		1.5	1.5		V	
		V <sub>CC</sub> = 4.5 V		3.15	3.15			
		V <sub>CC</sub> = 6 V		4.2	4.2			
V <sub>IL</sub>	Low-level input voltage	V <sub>CC</sub> = 2 V			0.5		V	
		V <sub>CC</sub> = 4.5 V			1.35			
		V <sub>CC</sub> = 6 V			1.8			
V <sub>I</sub>	Input voltage	0		V <sub>CC</sub>	0		V <sub>CC</sub>	V
V <sub>O</sub>	Output voltage	0		V <sub>CC</sub>	0		V <sub>CC</sub>	V
Δt/Δv	Input transition rise/fall time	V <sub>CC</sub> = 2 V			1000		ns	
		V <sub>CC</sub> = 4.5 V			500			
		V <sub>CC</sub> = 6 V			400			
T <sub>A</sub>	Operating free-air temperature		-55	125		-40	85	°C

NOTE 3: All unused inputs of the device must be held at V<sub>CC</sub> or GND to ensure proper device operation. Refer to the TI application report, *Implications of Slow or Floating CMOS Inputs*, literature number SCBA004.

**electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	V <sub>CC</sub>	T <sub>A</sub> = 25°C			SN54HC244		SN74HC244		UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
V <sub>OH</sub>	V <sub>I</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	2 V	1.9	1.998		1.9		1.9	V	
		4.5 V	4.4	4.499		4.4		4.4		
		6 V	5.9	5.999		5.9		5.9		
		4.5 V	3.98	4.3		3.7		3.84		
		6 V	5.48	5.8		5.2		5.34		
V <sub>OL</sub>	V <sub>I</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	2 V		0.002	0.1		0.1	0.1	V	
		4.5 V		0.001	0.1		0.1	0.1		
		6 V		0.001	0.1		0.1	0.1		
		4.5 V		0.17	0.26		0.4	0.33		
		6 V		0.15	0.26		0.4	0.33		
I <sub>I</sub>	V <sub>I</sub> = V <sub>CC</sub> or 0	6 V		±0.1	±100		±1000	±1000	nA	
I <sub>OZ</sub>	V <sub>O</sub> = V <sub>CC</sub> or 0, V <sub>I</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	6 V		±0.01	±0.5		±10	±5	μA	
I <sub>CC</sub>	V <sub>I</sub> = V <sub>CC</sub> or 0, I <sub>O</sub> = 0	6 V			8		160	80	μA	
C <sub>i</sub>		2 V to 6 V		3	10		10	10	pF	



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่ระบุไว้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SN54HC244, SN74HC244**  
**OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS**  
**WITH 3-STATE OUTPUTS**

SCLS130C – DECEMBER 1982 – REVISED DECEMBER 2002

switching characteristics over recommended operating free-air temperature range,  $C_L = 50 \text{ pF}$  (unless otherwise noted) (see Figure 1)

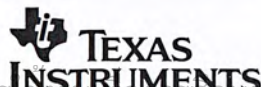
PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	$V_{CC}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$			SN54HC244		SN74HC244		UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
$t_{pd}$	A	Y	2 V		40	115		170		145	ns
			4.5 V		13	23		34		29	
			6 V		11	20		29		25	
$t_{en}$	$\overline{OE}$	Y	2 V		75	150		225		190	ns
			4.5 V		15	30		45		38	
			6 V		13	26		38		32	
$t_{dis}$	$\overline{OE}$	Y	2 V		75	150		225		190	ns
			4.5 V		15	30		45		38	
			6 V		13	26		38		32	
$t_t$		Y	2 V		28	60		90		75	ns
			4.5 V		8	12		18		15	
			6 V		6	10		15		13	

switching characteristics over recommended operating free-air temperature range,  $C_L = 150 \text{ pF}$  (unless otherwise noted) (see Figure 1)

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	$V_{CC}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$			SN54HC244		SN74HC244		UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
$t_{pd}$	A	Y	2 V		56	165		245		210	ns
			4.5 V		18	33		49		42	
			6 V		15	28		42		35	
$t_{en}$	$\overline{OE}$	Y	2 V		100	200		300		250	ns
			4.5 V		20	40		60		50	
			6 V		17	34		51		43	
$t_t$		Y	2 V		45	210		315		265	ns
			4.5 V		17	42		63		53	
			6 V		13	36		53		45	

operating characteristics,  $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TYP	UNIT
$C_{pd}$ Power dissipation capacitance per buffer/driver	No load	35	pF



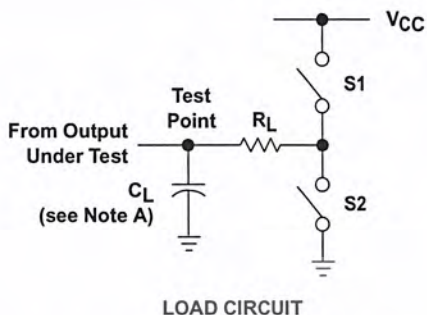
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

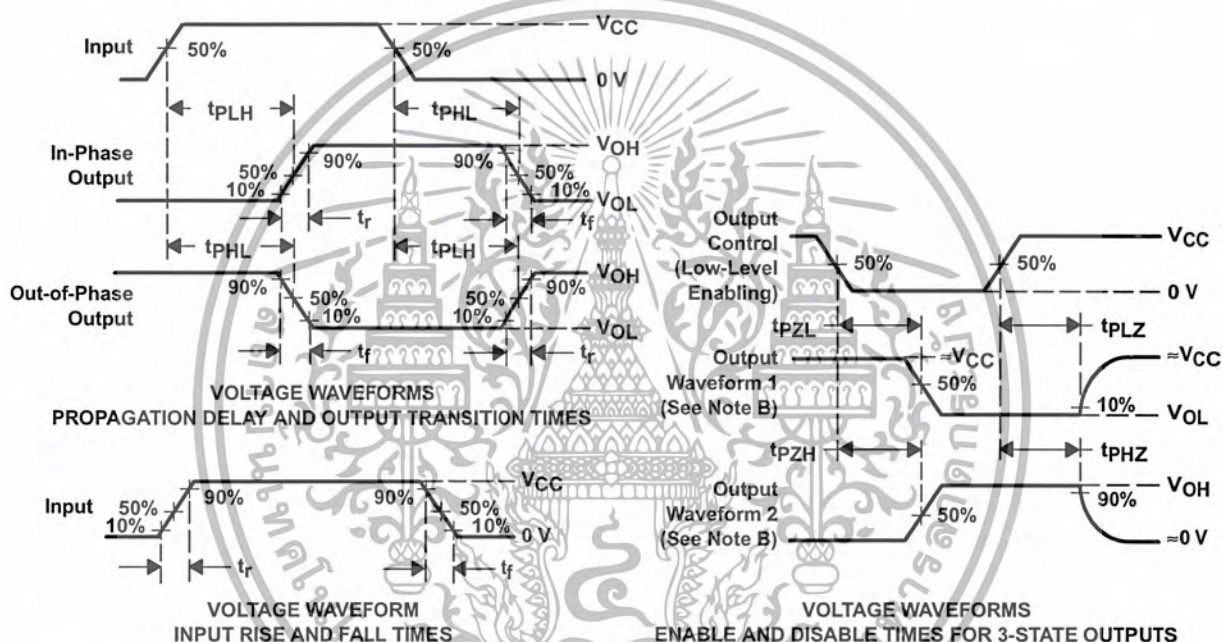
# SN54HC244, SN74HC244 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

SCLS130C – DECEMBER 1982 – REVISED DECEMBER 2002

## PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



PARAMETER	$R_L$	$C_L$	S1	S2
$t_{en}$	1 k $\Omega$	50 pF or 150 pF	Open	Closed
			Closed	Open
$t_{dis}$	1 k $\Omega$	50 pF	Open	Closed
			Closed	Open
$t_{pd}$ or $t_t$	—	50 pF or 150 pF	Open	Open



- NOTES: A.  $C_L$  includes probe and test-fixture capacitance.  
 B. Waveform 1 is for an output with internal conditions such that the output is low except when disabled by the output control. Waveform 2 is for an output with internal conditions such that the output is high except when disabled by the output control.  
 C. Phase relationships between waveforms were chosen arbitrarily. All input pulses are supplied by generators having the following characteristics: PRR  $\leq$  1 MHz,  $Z_O = 50 \Omega$ ,  $t_r = 6$  ns,  $t_f = 6$  ns.  
 D. The outputs are measured one at a time with one input transition per measurement.  
 E.  $t_{PLZ}$  and  $t_{PHZ}$  are the same as  $t_{dis}$ .  
 F.  $t_{PZL}$  and  $t_{PZH}$  are the same as  $t_{en}$ .  
 G.  $t_{PLH}$  and  $t_{PHL}$  are the same as  $t_{pd}$ .

Figure 1. Load Circuit and Voltage Waveforms

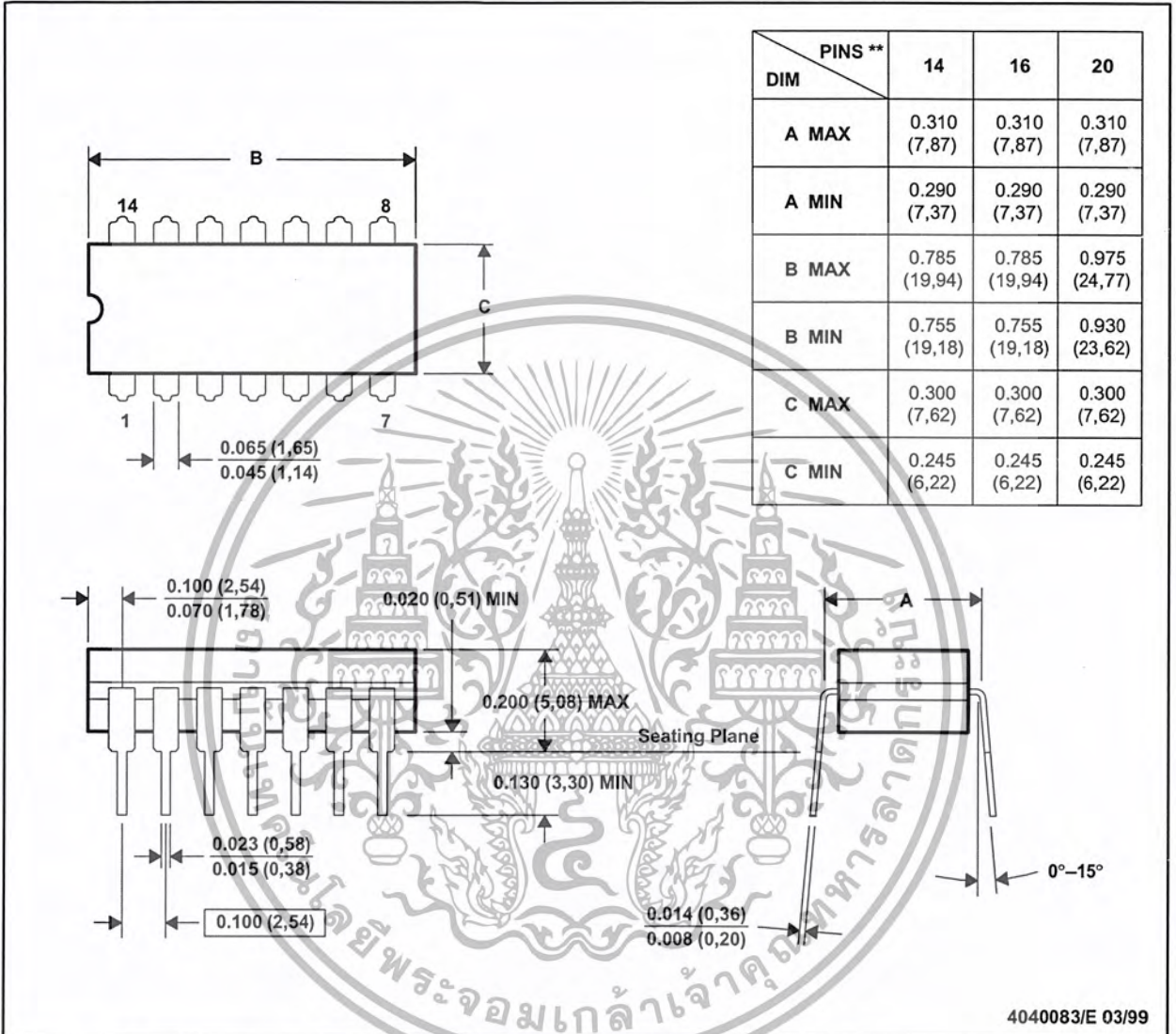
# MECHANICAL DATA

MCER002C – JANUARY 1995 – REVISED JUNE 1999

J (R-GDIP-T\*\*)

CERAMIC DUAL-IN-LINE

14 LEADS SHOWN



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. This package is hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
  - D. Index point is provided on cap for terminal identification.
  - E. Falls within MIL STD 1835 GDIP1-T14, GDIP1-T16, and GDIP1-T20

## บรรณานุกรม

- [1] ฉัญฐพล วงศ์สุนทรชัย , ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล  
“เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628”
- [2] ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , กฤษดา ใจเย็น “ PIC16F87X ไมโครคอนโทรลเลอร์สมรรถนะสูง ”  
เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 196 พฤษภาคม 2542
- [3] อรรถพล บุญยะโกศา , วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล , ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล  
“เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อกอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่าน พอร์ตอนุกรม”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้