

# โซล่าอินทีเกรเตอร์ควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์



ชื่อ  
นาย ก. ข.  
๒๕๔๙

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **62278**  
วัน,เดือน,ปี - 8 ส.ค. 2549

b. 116.168.17  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2548

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Microprocessor Based Solar Integrator



Mr. Kittikon Sienarm  
Mr. Noppawoot Suraviras

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang


Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษเรื่อง** โซลาร์อินทีเกรเตอร์ควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

**นักศึกษา** นาย กิตติคุณ สীগม  
นาย นพวุฒิ สุรวีลาศ  
**ภาควิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
**สาขาวิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** รศ.วิจิต ศิริโชติ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง อนุมัติโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ.ชนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์	
กรรมการ อ.วิฑูรย์ ยินดีสุข	
กรรมการ อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์	
กรรมการที่ปรึกษา รศ.วิจิต ศิริโชติ	

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เดชิตธีระ)  
หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ว่าลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	โซล่าอินทีเกรเตอร์ควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์
นักศึกษา	นาย กิตติคุณ สິงาม นาย นพวุฒิ สุรวีลาศ
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์วิจิต ศิริโชติ

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับวัดปริมาณแสงแดดที่ได้รับแต่ละวัน แสงแดดจะวัดโดยโฟโตไดโอด กระแสที่วงจร  $I_c$  จะถูกแปลงด้วยวงจรแปลงกระแสเป็นความต่างศักย์ สัญญาณความต่างศักย์ จะป้อนเข้า ADC ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MEGA16 สัญญาณถูกวัดทุกๆ 1 นาที การอินทีเกรตกระทำได้ด้วยอัลกอริทึมการบวก ค่าของ ADC ที่อ่านได้จะเปรียบเทียบกับค่าของตัวไพราโนมิเตอร์ ผลของค่าที่วัดในทุกวันจะได้ค่าเป็น  $W \cdot h / m^2 / day$  จะเก็บบันทึกค่าใน EEPROM เราสามารถเรียกข้อมูลดูทางจอ LCD และปุ่มกดได้โดยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Title**                      Microprocessor Based Solar Integrator

**Name**    Mr. Kittikon                                      Sienarm

    Mr. Nopphawoot                                      Suraviras

**Department**                                      Applied Physics

**Program**    Applied Physics

**Academic Year**                                      2548

**Special Project Advisor**                      Assoc.Prof. Wichit Sirichote

### ABSTRACT

An instrument used for measuring daily insolation has been designed and built. Sunlight was measured by photodiode. The short circuit DC current  $I_{sc}$  was converted to voltage by current-to-voltage converter. The voltage signal was fed to the ADC input of the MEGA16, microcontroller. The signal was sampled every one minute. Integration was made using summation algorithm. The ADC reading has calibrated with pyranometer. The result of measurement every day,  $Wh/m^2/day$ , was saved in EEPROM. User can retrieve the reading using onboard LCD display and keypad easily.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทสำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความเมตตาจาก รศ.วิจิต สิริโชติ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ซึ่งคอยให้คำปรึกษาและวิธีการดำเนินการเป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ พี่ๆนิสิตปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำรวมทั้งความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา เพื่อนๆ รวมทั้งบุคคลที่มีความปรารถนาดี คอยให้กำลังใจและแนะแนวทางให้ข้าพเจ้าตลอดมา

นาย กิติคุณ            สীগาม  
นาย นพวุฒิ            สุรวีลาศ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญ ( ต่อ )	จ
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญรูป ( ต่อ )	ช
สารบัญตาราง	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 Photo Diode	5
2.2 โครงสร้างของ Photo Diode ชนิดต่างๆ	5
2.3 จุดเด่นของ Photo Diode ต่างๆ	6
2.4 หลักการทำงานของ Photo Diode	9
2.5 การต่อ Photo Diode กับ Op-Amp	11
2.6 การขยายสัญญาณ โดยใช้ Op-Amp	13
2.7 การใช้ Op-Amp ในวงจขยาย	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 วิธีการดำเนินงานและรวบรวมข้อมูลต่างๆ	17
3.1.1 ส่วนของการใช้งาน Detector	17
3.1.2 ส่วนของการต่อเข้ากับ Microprocessor	18
3.1.3 ส่วนของการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งาน	19
3.1.4 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ที่เสร็จสมบูรณ์	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ ( ต่อ )

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย</b>	<b>23</b>
4.1 ส่วนของ detector ( ประกอบด้วย Photo Diode และ Thermistor )	23
4.2 ส่วนของภาคขยายสัญญาณ ( Op – Amp )	28
4.3 ส่วน ของ Microprocessor ( MEGA 16 )	30
4.4 การปรับเทียบค่า Photo diode กับ Pyranometer	31
4.5 ผลการทดลอง	32
4.6 Flow Chart แสดงวิธีการใช้งานของเครื่อง	34
<b>บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ</b>	<b>35</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ	36
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>37</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>38</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

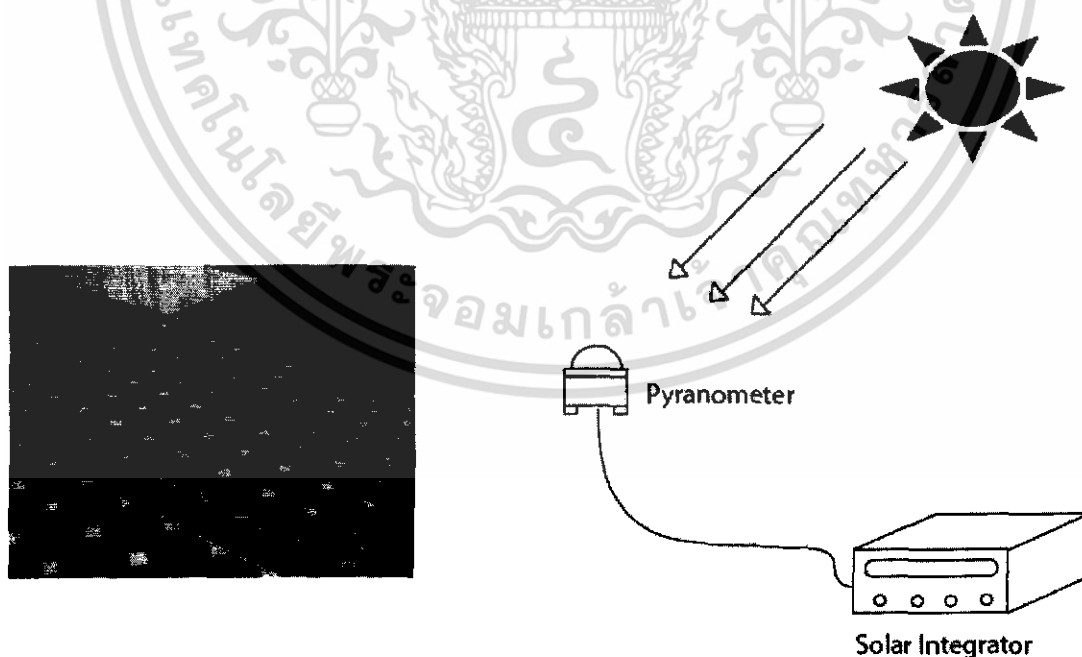
## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีความจำเป็นในการดำรงชีวิตของบุคคลเป็นส่วนใหญ่ และมีแนวโน้มว่าจะมีความต้องการมากขึ้นทำให้ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอต่อความต้องการ จึงต้องหาพลังงานทดแทนหนึ่งในนั้นคือพลังงานแสงอาทิตย์ เพราะเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม Solar Cell จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจเพราะสะดวกในการติดตั้งในพื้นที่จำกัดและให้พลังงานที่คุ้มค่า ในบางพื้นที่ไฟฟ้าไม่สามารถเข้าไปถึง ทำให้มีการนำ Solar Cell ไปเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความสะดวก และรองรับความต้องการของประชาชน

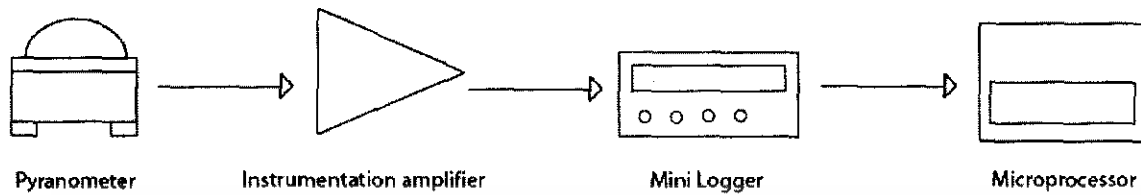
ในการติดตั้งแผง Solar Cell จะต้องมีการวัดปริมาณแสงอาทิตย์ต่อวัน เพื่อที่จะได้เลือกตำแหน่งที่ติดตั้งแผง Solar Cell แล้วให้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) เครื่องมือนี้จะกำเนิดศักดาไฟฟ้า (EMF) ที่แปรตามปริมาณแสงแดด มีหน่วยเป็น ( $W/m^2$ ) แล้วจากนั้นนำข้อมูลไปพลอตกราฟ แล้วอินทิเกรตพื้นที่ใต้กราฟจะได้ปริมาณแสงแดดต่อวัน เป็นค่าของ Insolation ( $W \cdot h / m^2$ ) ต่อวัน



รูปที่ 1 Solar Integrator

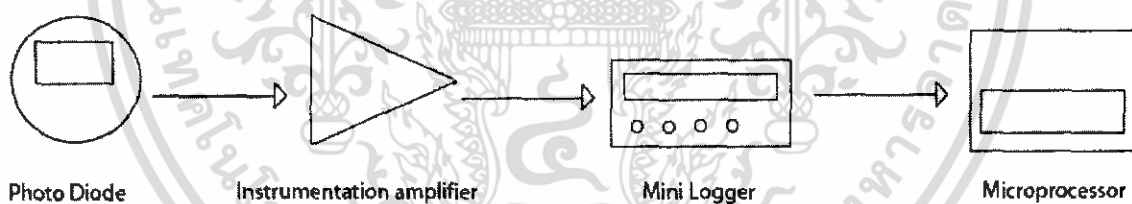
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการนำ เครื่อง ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ไปใช้งาน



### รูปที่ 2 การนำ Pyranometer ไปใช้งาน

การนำเครื่อง ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ไปใช้ในการวัดปริมาณแสงแดดจะมีการใช้ ดังรูปที่ 2 เนื่องจาก เครื่อง ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) นั้นมีราคาแพงและข้อมูลที่ได้ต้องใช้ คอมพิวเตอร์ ไปทำการ พล็อตกราฟเพื่อทำการอินทิเกรต หาค่าของ Insolation ( $W \cdot h / m^2$ ) ต่อวันนั้น เราจึงสร้างเครื่องมือวัดปริมาณแสงแดดที่ใช้ Photo Diode มาเป็นตัว Detector และใช้ Microprocessor มาช่วยในการคำนวณการทำการอินทิเกรตของข้อมูลที่ได้ เพื่อเป็นขั้นตอนในการทดลองและเป็นการ สร้างเครื่องมือวัดปริมาณแสงแดดที่นำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพที่มีราคาถูกลง



### รูปที่ 3 เครื่องมือวัดปริมาณแสงแดดโดยใช้ Photo Diode เป็นตัว Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและสร้างระบบเครื่องวัดปริมาณแสงแดด (Pyranometer )
2. เพื่อศึกษาและควบคุมปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ในแต่ละวัน
3. เพื่อศึกษาการนำ Microprocessor ประยุกต์ใช้ในการควบคุมเครื่องวัดปริมาณแสงแดด (Pyranometer )
4. เพื่อสร้างเครื่องมือวัดปริมาณแสงแดดมาใช้งานแทนการสั่งซื้อจากต่างประเทศที่มีราคาสูง
5. เพื่อสร้างเครื่องมือวัดปริมาณแสงแดดให้มีคุณภาพและความแม่นยำในการวัดเทียบเท่ากับที่ยอมรับโดยสากล

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยนี้ เราได้นำการใช้ Photo Diode มาเป็นตัว Detector แทนการใช้เครื่อง ไพราโนมิเตอร์ ( Pyranometer ) ในการวัดปริมาณแสงแดด เมื่อ Photo Diode ได้ทำการ Detect แสงแล้วจะทำให้เกิด ความต่างศักย์ไฟฟ้า ( Volts ) จากนั้นนำผ่านเข้าวงจรขยาย (Op -Amp) ค่าที่อ่านได้จะถูกเก็บโดย Mini Logger แล้วถูกส่งผ่านไปยัง Microprocessor เพื่อคำนวณหาค่า Insolation ( $W \cdot h / m^2$ ) แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับการใช้ เครื่อง ไพราโนมิเตอร์(Pyranometer ) เพื่อทำการปรับเทียบค่าให้ได้ใกล้เคียงมากที่สุด เพื่อนำได้ใช้งานได้จริง

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ

1. ศึกษาวิธีการใช้งานและการทำงานของ เครื่อง ไพราโนมิเตอร์(Pyranometer )
2. ศึกษาวิธีการใช้งาน Microprocessor (MEGA16) ควบคุมโดยใช้ภาษา C
3. ศึกษาการทำงานของ Mini Logger
4. ศึกษาการใช้งานวงจรรขยาย ( Op – Amp )
5. ออกแบบและสร้างระบบของเครื่องที่ใช้ Photo Diode เป็นตัว Detector
6. ทดลองการใช้ เครื่อง ไพราโนมิเตอร์(Pyranometer ) และ เครื่องที่ใช้ Photo Diode เพื่อทำการปรับเทียบค่าให้ได้ใกล้เคียงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลที่ได้จากการใช้ Photo Diode วัด จะมีค่าใกล้เคียงมากที่สุดของค่าที่ยอมรับ โดยการใช้เครื่องไพราโนมิเตอร์(Pyranometer )
2. เข้าใจหลักการทำงานของ เครื่องไพราโนมิเตอร์(Pyranometer )
3. สามารถนำเครื่องมือที่สร้างไปใช้งานได้จริง
4. นำข้อมูลที่ได้ใช้ในการติดตั้งแผงโซลาร์ เพื่อให้ผลิตพลังงานได้มากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 Photo Diode

Photo Diode เป็นสิ่งประดิษฐ์ตรวจจับแสงชนิด internal photoelectric มีโครงสร้างเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อ pn เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนที่รอยต่อ pn จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและแรงดันขึ้น มีการผลิต Photo Diode จากวัสดุสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆเช่น Si , GaSa , GaAsP และ GaP ซึ่งมีความไวแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆกัน

#### 2.2 โครงสร้างของ Photo Diode ชนิดต่างๆ

Photo Diode เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนสัญญาณแสง Input เป็นสัญญาณไฟฟ้า Output ได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบบน ปัจจุบันมีการพัฒนาให้ Photo Diode มีโครงสร้างและคุณสมบัติเด่นแตกต่างกันออกไปมากมายหลายชนิดกันออกไปมากมายหลายชนิด เช่น

- โฟโตไดโอดชนิดรอยต่อ pn ( pn photodiode ) แบ่งออกเป็น
  - ชนิดเพลนารีตีฟิวชัน ( planar diffusion )
  - ชนิดเพลนารีตีฟิวชันที่มีความจุต่ำ ( low capacitance planar diffusion )
  - ชนิดรอยต่อ pnn<sup>+</sup>
- พินโฟโตไดโอด ( pin photodiode )
- โฟโตไดโอดชนิดรอยต่อชอตต์กี ( Schottky photodiode )
- อะวอลันซ์โฟโตไดโอด ( Avalanche photodiode )

โฟโตไดโอดทั้งหมดเหล่านี้มีคุณสมบัติโดดเด่นคือ

1. สัญญาณ output เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของ แสงที่ input แบบเชิงเส้นได้ดี ( excellent linearity )
2. มีสัญญาณรบกวนต่ำ ( low noise )
3. ตอบสนองต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงที่กว้าง ( wide spectral response )
4. มีความคงทนทางกลศาสตร์ ( mechanical ruggedness )
5. มีอายุการใช้งานยาวนาน ( compact & light weight )
6. มีขนาดกะทัดรัดและเบา ( long lift time )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 จุดเด่นของโฟโตไดโอดต่างๆสรุปดังนี้

### 1. โฟโตไดโอดชนิดแพลนาร์ดีฟิวชัน (planar diffusion type )

มีโครงสร้างเป็นรอยต่อ pn และมีฉนวน  $\text{SiO}_2$  เคลือบทับ มีกระแสไฟฟ้ารั่วน้อย วัสดุที่ใช้ได้แก่ Si GaP GaAsP Ge และ GaAs

### 2. โฟโตไดโอดชนิดแพลนาร์ดีฟิวชันที่มีความจุต่ำ (Low capacitance planar diffusion type )

เป็นชนิดที่ออกแบบให้มีสารเจือปนที่ชั้น n น้อย ทำให้ชั้น n มีความต้านทานสูง และชั้นปลอดภาวะค่อนข้างหนา เป็นผลทำให้ความจุไฟฟ้าที่รอยต่อมีค่าน้อย ทำให้โฟโตไดโอดชนิดนี้ทำงานได้รวดเร็วมาก ช่วงเวลาขาขึ้นมีค่าเพียง 1/10 ของชนิดแรก นอกจากนี้เนื่องจากชั้น p มีความบางมากทำให้ตอบสนองต่อความยาวช่วงสั้นดีมาก

### 3. โฟโตไดโอดชนิดรอยต่อ pnn<sup>+</sup>

สารกึ่งตัวนำชั้น n<sup>+</sup> มีค่าสภาพความต้านทานต่ำโดยการโด๊ปด้วยสารเจือปนปริมาณมากๆและชั้น n<sup>+</sup> หนามากๆจนทำให้ที่รอยต่อที่ชั้น n และชั้น n<sup>+</sup> เปรียบเสมือนชั้นปลอดภาวะ ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ไม่มีผลตอบสนองต่อแสงอินฟราเรด จึงใช้วัดแสงความยาวคลื่นสั้นได้ดี

### 4. โฟโตไดโอดชนิดรอยต่อ pin หรือ ฟินโฟโตไดโอด ( pin photodiode )

ที่บริเวณตรงระหว่างชั้นของ p กับ n มีการใส่ชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดบริสุทธิ์ ( intrinsic ) ทำให้เกิด depletion layer ที่มีความต้านทานสูง ทำให้โฟโตไดโอดทำงานได้รวดเร็ว เพราะชั้น i หนา และมีค่า capacitance น้อยมาก ถ้าเพิ่มแรงดันไบแอสให้มากขึ้น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลจะเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับ PN โฟโตไดโอดธรรมดา

### 5. โฟโตไดโอดชนิดรอยต่อชอตต์กี ( Schottky photodiode )

เป็นโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อชอตต์กีแบร์เรียร์ ใช้วิธีเคลือบโลหะที่บางมากๆ ลงบนที่ผิวของสารกึ่งตัวนำให้มีคุณสมบัติเป็นรอยต่อชอตต์กีแบร์เรียร์ เช่น เคลือบทองลงบน GaAsP ชนิด n เนื่องจากโลหะที่เคลือบนั้นบางมาก ดังนั้นโฟโตไดโอดชนิดนี้จึงตอบสนองต่อแสงตั้งแต่ย่านมองเห็นถึงย่านอัลตราไวโอเล็ตได้ดี

#### 6. โฟโตไดโอดชนิดอะวะละนซ์ (Avalanche photodiode)

เป็นโฟโตไดโอดที่มีการขยายสัญญาณอยู่ภายในการทำงาน โดยใช้สนามไฟฟ้าสูงป้อนเข้าสู่รอยต่อ pn แบบย้อนกลับจนทำให้พาหะที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงถูกเร่งวิ่งไปชนกับอะตอมตัวอื่นๆ และเกิดอิเล็กตรอนชุด 2 (secondary electrons) ขึ้นมาใหม่ และ กระบวนการเช่นนี้เกิดขึ้นซ้ำๆ กัน เรียกว่า ปรากฏการณ์อะวะละนซ์ (avalanche effect) ทำให้สามารถตรวจวัดแสงที่มีความเข้มต่ำมากๆ ได้ดี เพราะโฟโตไดโอดชนิดนี้มีกลไกของการขยายสัญญาณอยู่ภายใน นอกจากนี้ก็มีผลตอบสนองที่รวดเร็วมาก จึงใช้งานได้ดีในการสื่อสารด้วยแสง



รูปที่ 4 ภาพโฟโตไดโอดชนิดต่างๆ

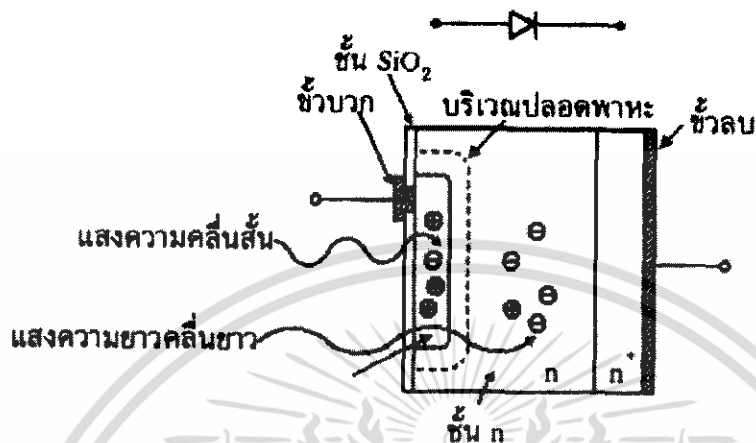
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟโตไดโอดชนิดต่างๆ	คุณสมบัติเด่นๆ
 โฟโตไดโอดชนิดซิลิคอน	กระแสไฟฟ้ามืดมีค่าน้อย
 โฟโตไดโอดชนิดซิลิคอนที่มีความจุไฟฟ้าต่ำ	กระแสไฟฟ้ามืดมีค่าน้อย ตอบสนองเร็ว และมีความไวสูง
 โฟโตไดโอดชนิด p-n <sup>+</sup> ซิลิคอน	กระแสไฟฟ้ามืดมีค่าน้อย ตอบสนองเร็ว และมีความไวสูง ตัดทอนแสงอินฟราเรด
 พินโฟโตไดโอดชนิดซิลิคอน	ตอบสนองเร็วมาก
 โฟโตไดโอดชนิดขอตักกี ของ GaAsP หรือ GaP	ตอบสนองแสงย่านอัลตราไวโอเล็ต
 อะวาลันซ์โฟโตไดโอดชนิดซิลิคอน	มีความสามารถขยายสัญญาณ ตอบสนองเร็วมาก

รูปที่ 5 โครงสร้างของโฟโตไดโอดชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 หลักการทำงานของโฟโตไดโอด



รูปที่ 6 ภาพตัดขวางแสดงโครงสร้างพื้นฐานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อ pn

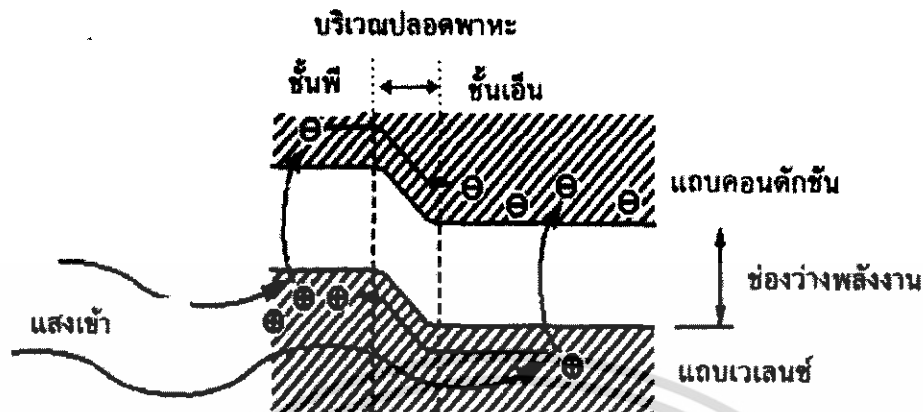
ที่รูปที่ 7 ที่ด้านรับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p และต่อติดกับชนิด n เป็นรอยต่อ pn ที่รอยต่อ pn ทำหน้าที่เป็นส่วนเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก ( photovoltaic effect ) ในกรณีที่โฟโตไดโอดทำจากวัสดุซิลิคอนนั้น ชั้น p เตรียมได้จากการแพร่ซึมธาตุโบรอน ( B ) เข้าสู่ซิลิคอนด้วยความลึก  $1\mu m$  ที่บริเวณตรงกลางรอยต่อ pn เป็นย่านปลอดพาหะ ในการผลิตจริงจะมีการควบคุมปริมาณและความหนาของโคบอลต์ที่ชั้น n และ p และชั้นต่ำสุด (  $n^+$  ) ให้เหมาะสมซึ่งจะช่วยให้โฟโตไดโอดไวต่อแสงในย่านที่ต้องการได้และสามารถทำงานที่ความถี่สูงที่ต้องการได้

เมื่อมีแสงตกกระทบโฟโตไดโอด และถ้าพลังงานของแสงมีค่ามากกว่าช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ กล่าวคือ

$$hv \geq E_g$$

แสงจะถูกสารกึ่งตัวนำดูดกลืน โดยพลังงานโฟตอนของแสงจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดจากแถบเวเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบคอนดักชัน และแถบที่เวเลนซ์จะเหลือโฮลอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 แถบพลังงานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อ pn

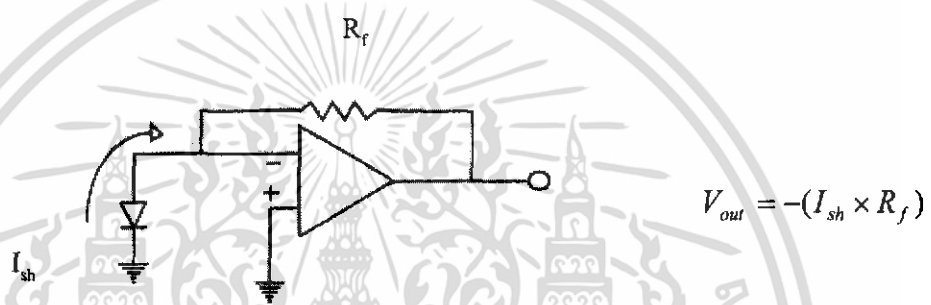
จากรูปที่ 8 การเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลนั้นเกิดขึ้นได้ที่ชั้น p ชั้นปลอดพาหะ และชั้น n อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในแถบคอนดักชันในชั้น p จะแพร่กระจายไปสู่ชั้น n และอิเล็กตรอนที่เกิดแถบคอนดักชันในชั้นปลอดพาหะจะถูกศักย์ไฟฟ้าภายใน (built-in potential) พัดพาให้วิ่งไปสู่ชั้น n

ส่วนกรณีโฮล ก็จะไหลไปในทิศทางตรงกันข้ามกับอิเล็กตรอน คือจะไหลจากแถบวาเลนซ์ในชั้น n ไปสู่ชั้น p จำนวนของการเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลนี้จะแปรผันตรงกับจำนวนโฟตอนของแสง (photon flux) ที่สารกึ่งตัวนำดูดกลืน อิเล็กตรอนที่สะสมในชั้น n จะทำให้ชั้น n มีประจุไฟฟ้าเป็นลบและโฮลไปสะสมที่ชั้น p จะทำให้ชั้น p มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ต่อจากนั้นถ้าเราต่อโฟโตไดโอดกับวงจรภายนอก อิเล็กตรอนก็จะไหลออกจากชั้น n และโฮลก็จะไหลออกจากชั้น p ไปสู่วงจรภายนอก

## 2.5 การต่อโฟโตไดโอดกับออปแอมป์

การใช้ออปแอมป์ต่อกับโฟโตไดโอดโดยให้ด้าน input ของออปแอมป์เป็นตัวรับกระแสไฟฟ้า จะทำให้โฟโตไดโอดจ่ายกระแสตัวจร  $I_{sh}$  ได้ใกล้จุดมอดคามากที่สุด ในย่านความถี่ไม่สูงมากนัก เราจะได้แรงดัน output  $V_{out}$  มีค่า

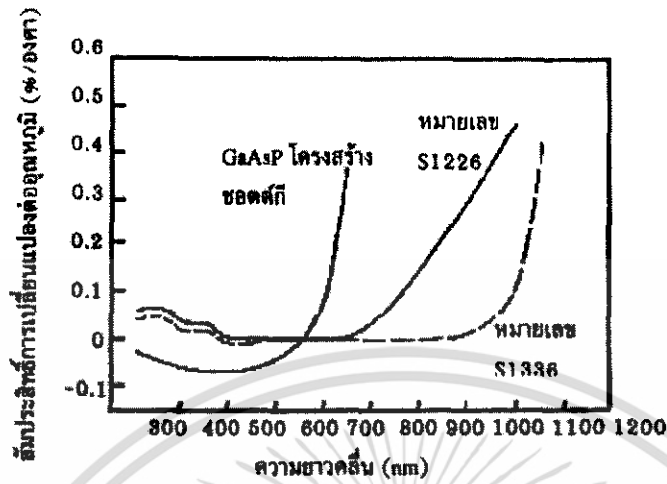
$$V_{out} = -(I_{sh} \times R_f)$$



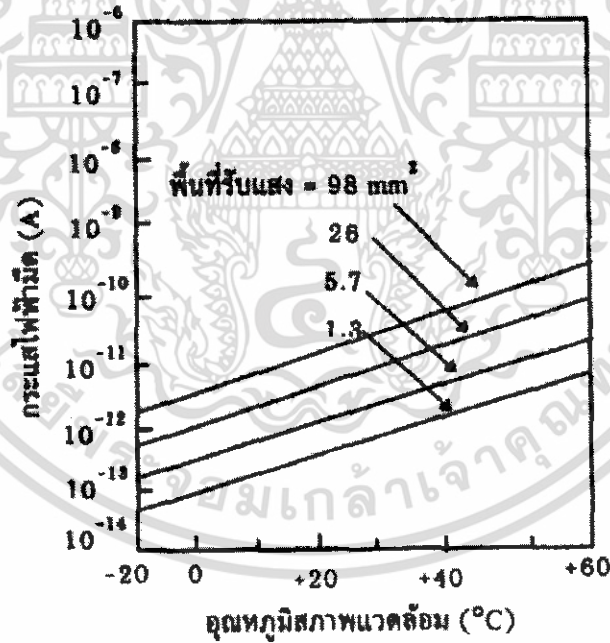
รูปที่ 8 วงจรพื้นฐานของการต่อโฟโตไดโอดกับออปแอมป์

ในวงจรนี้แม้ว่าจะไม่มีการไบแอสย้อนกลับ แต่ก็จะได้แรงดัน output ที่สูงพอสมควรซึ่งมีค่า  $R_f$  และ  $I_{sh}$  เท่านั้น แรงดัน output สูงสุดจะถูกกำหนดไว้โดยค่าแรงดันอิ่มตัวของออปแอมป์

ที่ด้าน input ของออปแอมป์อาจมีกระแสไฟฟ้าไบแอส  $I_b$  ไหลเข้าหรือไหลออกได้ ดังนั้นควรเลือกเลือกออปแอมป์ที่มีกระแสไฟฟ้าไบแอสที่มีค่าน้อยกว่ากระแสไฟฟ้าของโฟโตไดโอด

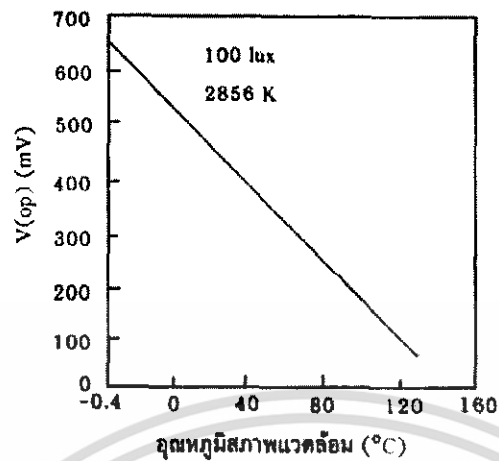


รูปที่ 9 อธิบายผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสเปกตรัม output ของโฟโตไดโอดชนิดซิลิคอน



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ามืดในโฟโตไดโอดชนิดซิลิคอนและอุณหภูมิสภาพแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

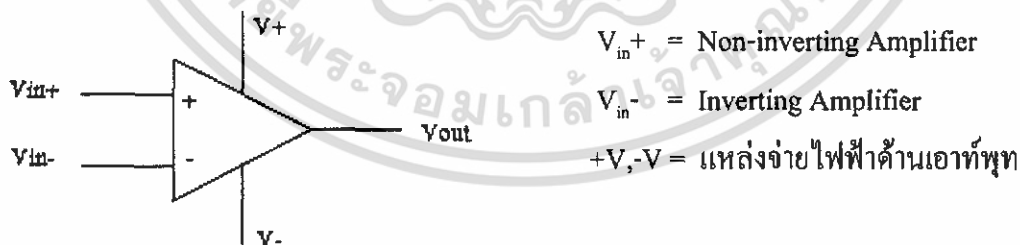


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันวงจรเปิดในโฟโตไดโอดชนิดซิลิคอนและอุณหภูมิสภาพแวดล้อม

## 2.6 การขยายสัญญาณโดยใช้ OP-AMP

วงจรพื้นฐานของวงจรขยายสัญญาณในลักษณะวงจร รวมโดยสามารถ กำหนดอัตราที่แน่นอนได้ด้วยอุปกรณ์ภายนอก

สัญลักษณ์ของ OP-AMP



รูปที่ 12 สัญลักษณ์ของ OP-AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

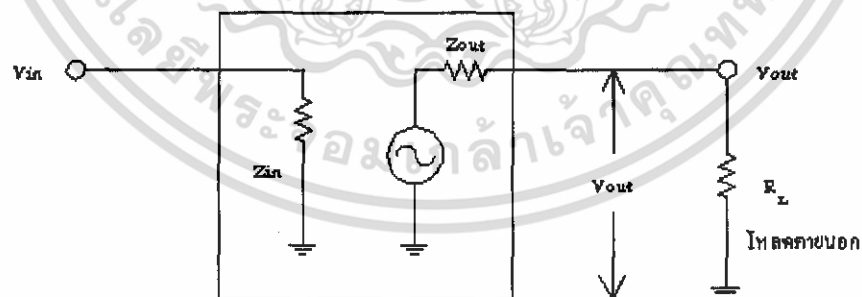
คุณลักษณะของ OP-AMP ในอุดมคติ (Ideal Op-Amp)

1. อัตราขยายของ Op-Amp แบบเปิดลูป (Open Loop Gain) มีค่าสูงมากจน เป็นอนันต์  
 $AVOL = \text{infinity}$
2.  $Z_{in}$  มีค่าสูงมากจนถือได้ว่าเป็น infinity
3.  $Z_{out}$  มีค่าต่ำมากจนถือได้ว่าเป็น 0
4. อัตราขยายของ Op-Amp ไม่ขึ้นกับความถี่
5. เมื่อ  $V_{in} = 0$  จะได้  $V_{out}$  เป็น 0 ด้วย

จากคุณสมบัติดังกล่าวแล้ว มีผลสืบเนื่องดังนี้

1.  $I_{in} = 0$  เนื่องด้วย  $Z_{in}$  สูงมาก
2. ความต่างศักย์ระหว่างขั้วอินพุตทั้งสองของ Op-Amp เป็น 0 เนื่องจาก  $I_{in} Z_{in} = 0$

คุณสมบัติด้านความต้านทานของ Op-Amp



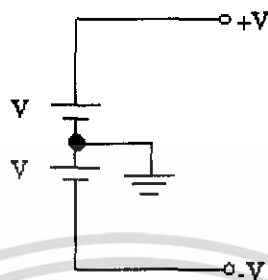
$Z_{in}$  มีค่าสูงมากจนประมาณได้ว่า  $I_{in} = 0$

$Z_{out}$  มีค่าต่ำมากจนประมาณได้ว่า  $Z_{out} = 0$

รูปที่ 13 คุณสมบัติความต้านทานของ OP-AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

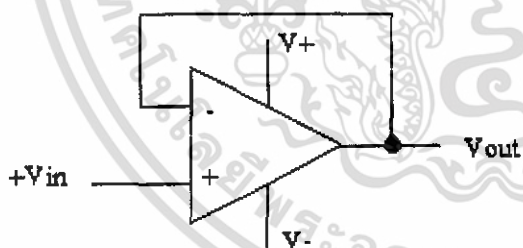
แหล่งจ่ายไฟสำหรับ OP-AMP ส่วนใหญ่ต้องการแหล่งจ่ายไฟสองชุด บวกและลบ ชนิดสมมาตร  
ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการติดตั้งแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 14 วงจรเทียบเท่าของแหล่งจ่ายไฟ 2 ชุด

## 2.6 การใช้ OP-AMP ในวงจรขยายสัญญาณ

### 1. วงจร BUFFER หรือ VOLTAGE FOLLOWER



อัตราขยายของวงจรชนิดนี้มี

ค่าประมาณ 1 นั่นคือ

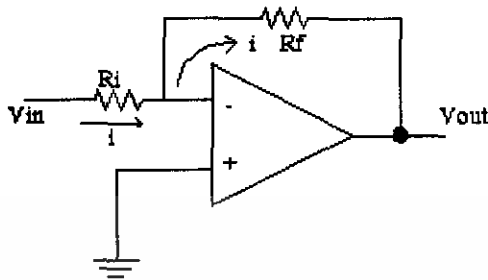
$$AV = V_{out}/V_{in} = 1$$

$$V_{out} = V_{in}$$

รูปที่ 15 วงจร VOLTAGE FOLLOWER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverter Amplifier)



ความต่างศักย์ระหว่าง  $V_{in+}$  และ  $V_{in-} = 0$

ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่ขา  $V_{in-} = 0$  กระแสผ่าน

$R_i$  และ  $R_f$  มีค่า  $i$

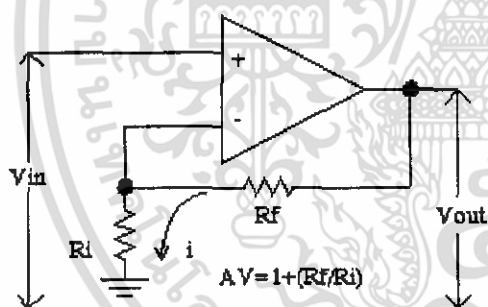
$$V_{in} = iR_i; V_{out} = iR_f$$

$$AV = V_{out}/V_{in}; -iR_f/iR_i = -R_f/R_i$$

เพราะฉะนั้น  $AV = -R_f/R_i$

รูปที่ 16 วงจร Inverter Amplifier

## 3. วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)



จากรูป กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน  $R_i$  และ  $R_f$  มี

ค่า  $i$  เท่ากันดังนั้น

$$V_{in} = iR_i$$

$$V_{out} = i(R_i + R_f)$$

$$AV = i(R_i + R_f) / iR_i$$

$$AV = R_i + R_f/R_i$$

$$\text{หรือ } AV = 1 + (R_f/R_i)$$

รูปที่ 17 วงจร Non-Inverting Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

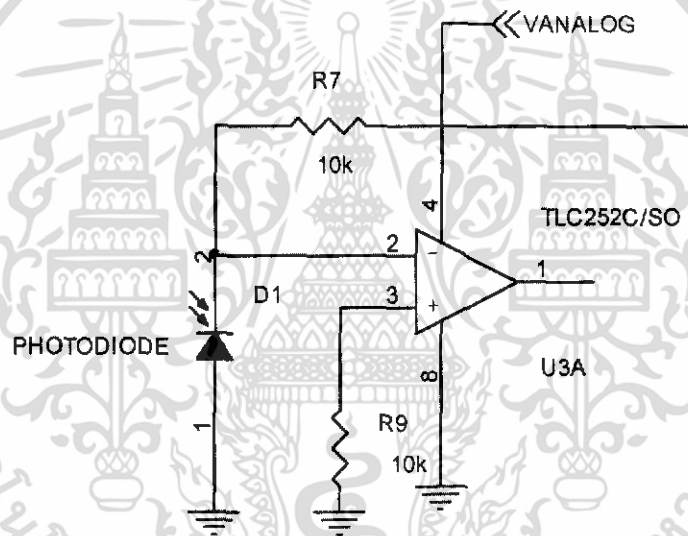
## บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

## 3.1 วิธีการดำเนินงานและรวบรวมข้อมูลต่างๆ

## 3.1.1 ส่วนของการใช้งาน Detector

ในส่วนของ Detector นั้นจะประกอบเป็น 2 ส่วน คือ 1. Photo Diode 2. Thermistor ในการใช้งานของส่วน Photo Diode นั้นจะต้องทำการขยายสัญญาณก่อนเพื่อที่จะทำการปรับเทียบค่าให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าของ Pyranometer มากที่สุดค่าที่ได้ออกมานั้นจะเป็นค่าของ ปริมาณแสงแดด มีหน่วยเป็น( $W/m^2$ ) เมื่อทำการ Integrate จะได้ค่าของปริมาณแสงแดดต่อวัน เป็นค่าของ Insolation ( $W \cdot h/m^2$ ) ต่อวัน

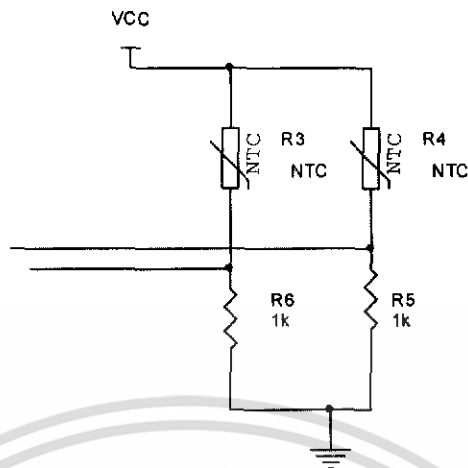


รูปที่ 18 วงจรการต่อ Photo Diode กับ Op-Amp ( TLC 252 )

ในนี้จะเห็นว่าได้มีการเลือกใช้ Op-Amp ( TLC 252 ) เพราะ Op-Amp ตัวนี้สามารถใช้งานได้ที่แรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 1.4 V – 16 V จากนั้นทำการปรับเทียบค่า output ที่ออกมาเพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับตัว Pyranometer โดยการหาค่าของ R, จากสมการ

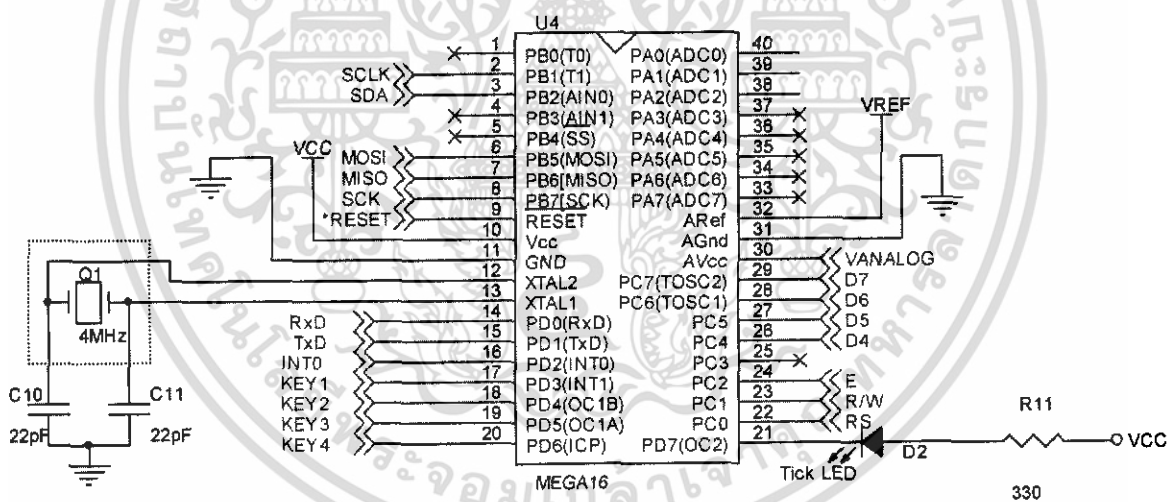
$$V_{out} = -(I_{sh} \times R_f)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 62278 ง่ายอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 วงจรของ Thermistor

3.1.2 ส่วนของการต่อเข้ากับ Microprocessor

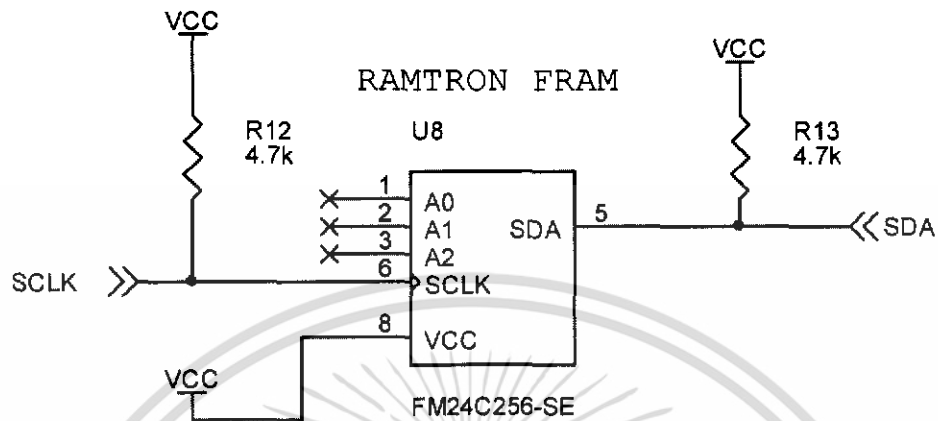


รูปที่ 20 วงจรของ Microprocessor ( MEGA 16 )

ที่เราเลือกใช้ MEGA 16 เพราะภายในตัวมีขาที่สามารถทำหน้าที่เป็น ADC ได้โดยทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานและทำให้ขั้นตอนในการสร้างลดลง

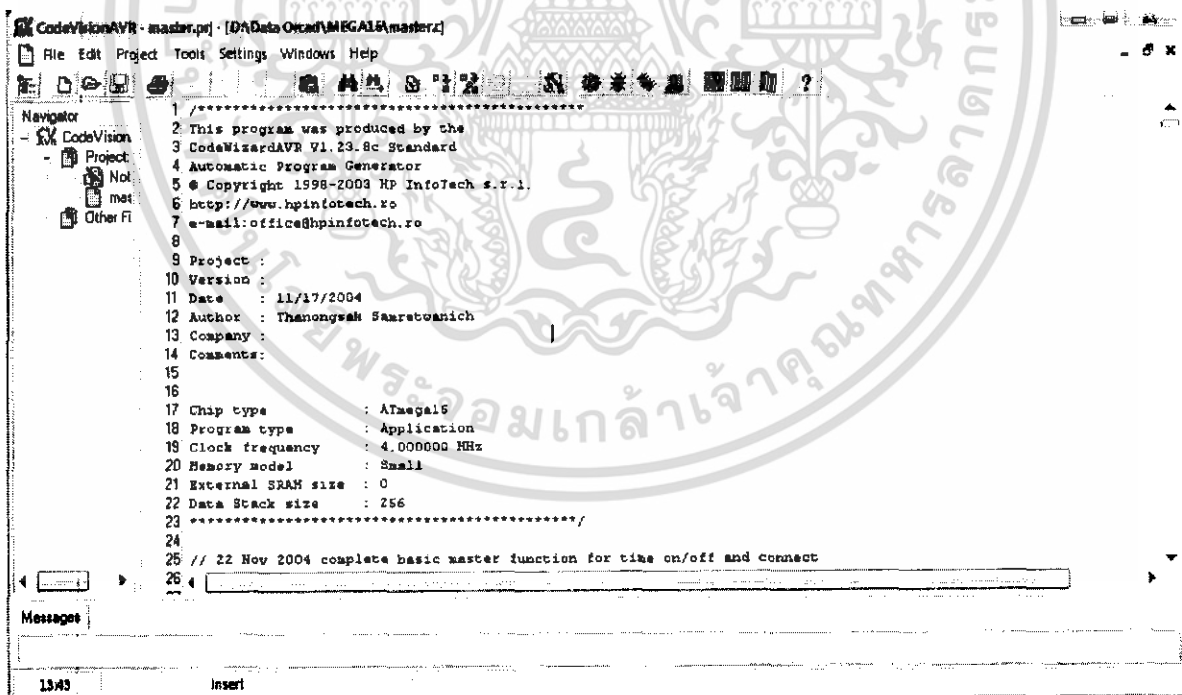
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเก็บข้อมูลที่เราได้มานั้นจะทำการเก็บไว้ใน EEPROM ( FM24C256-SE )



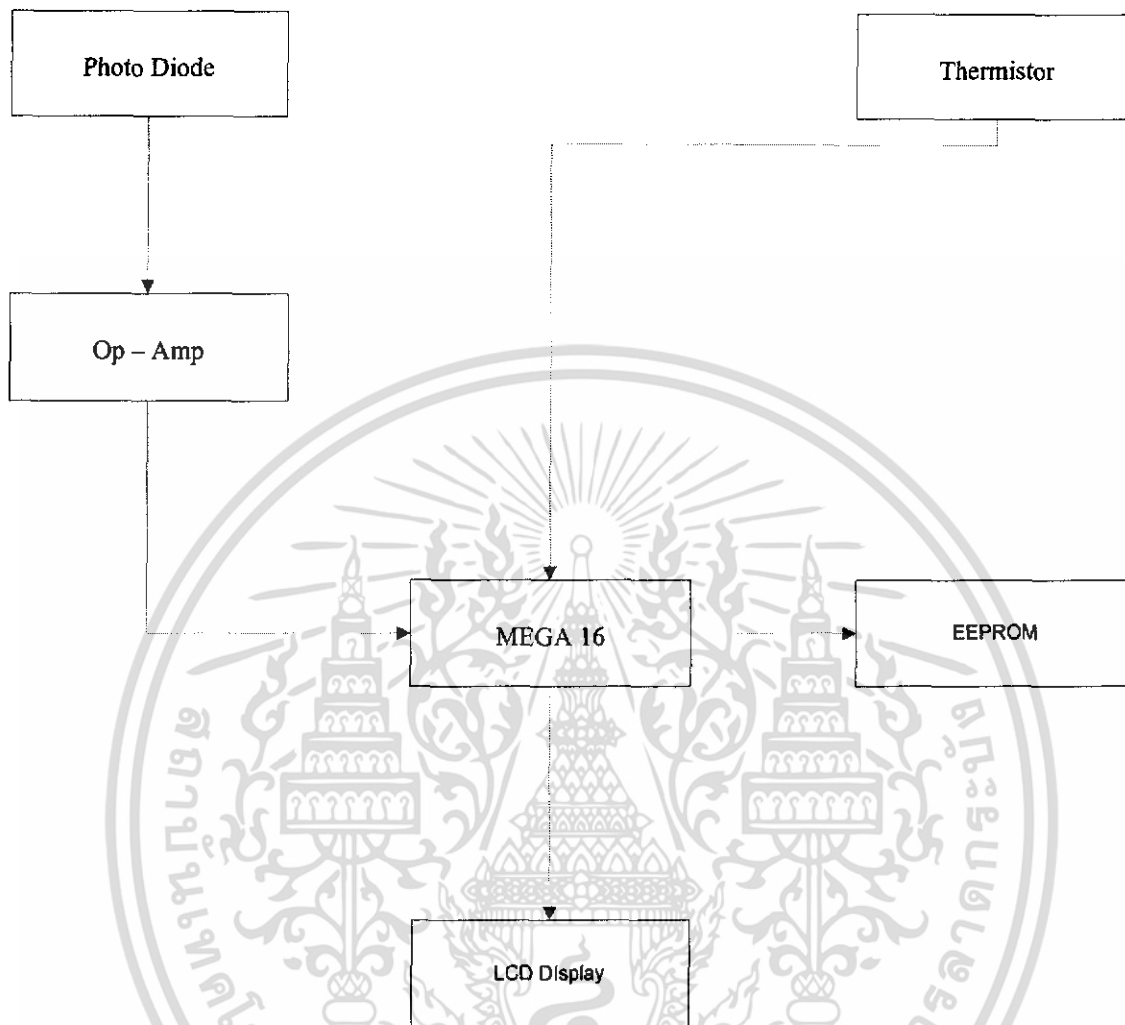
รูปที่ 21 วงจรของ EEPROM

### 3.1.3 ส่วนของการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งาน



รูปที่ 22 หน้าต่างของโปรแกรม Code Vision

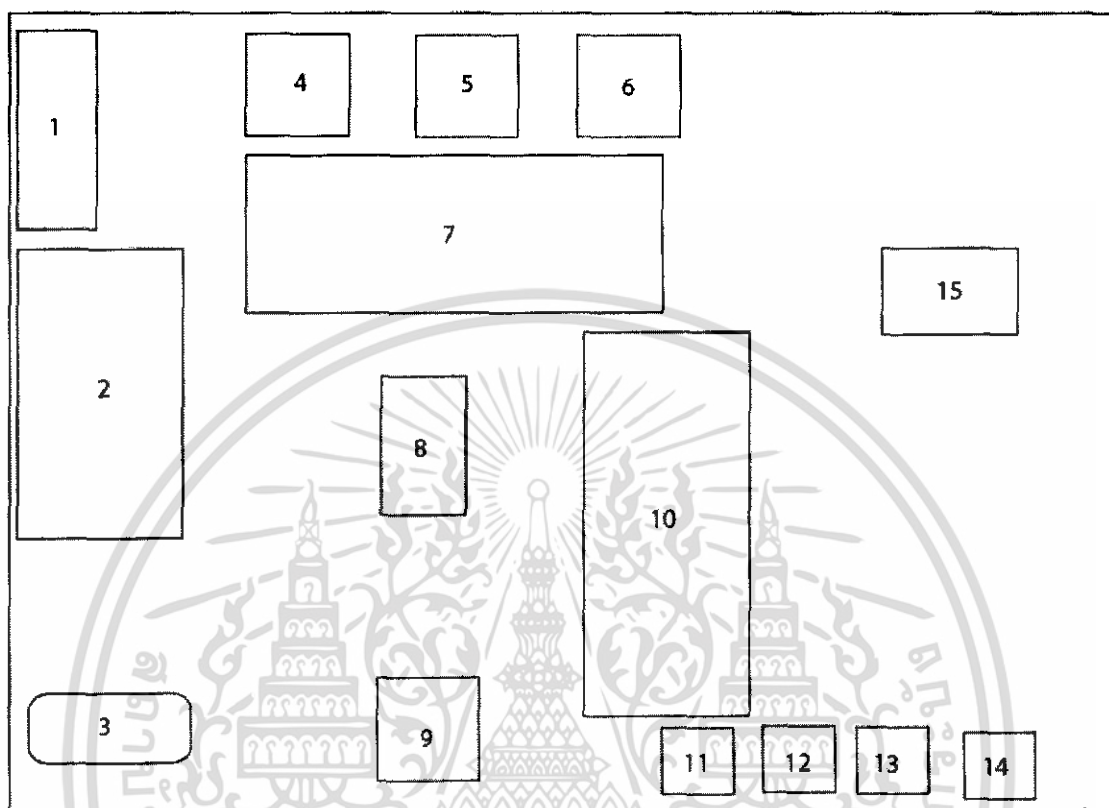
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23 Flowchart การเขียนโปรแกรมในการควบคุมเครื่อง

ในการทำงานนั้นค่าของ Photo Diode นั้นจะต้องทำการขยายสัญญาณก่อนแล้วนำมาสัญญาณมาเข้าที่ MEGA 16 ในส่วนของ ADC และ ส่วนของ Thermistor นั้นจะนำมาเข้าที่ MEGA 16 โดยเข้าที่ ADC เหมือน Photo Diode ในการอ่านค่าออกมานั้น MEGA 16 จะนำค่าไปแสงที่ LCD Display และนำข้อมูลที่อ่านมาไปเก็บไว้ที่ EEPROM

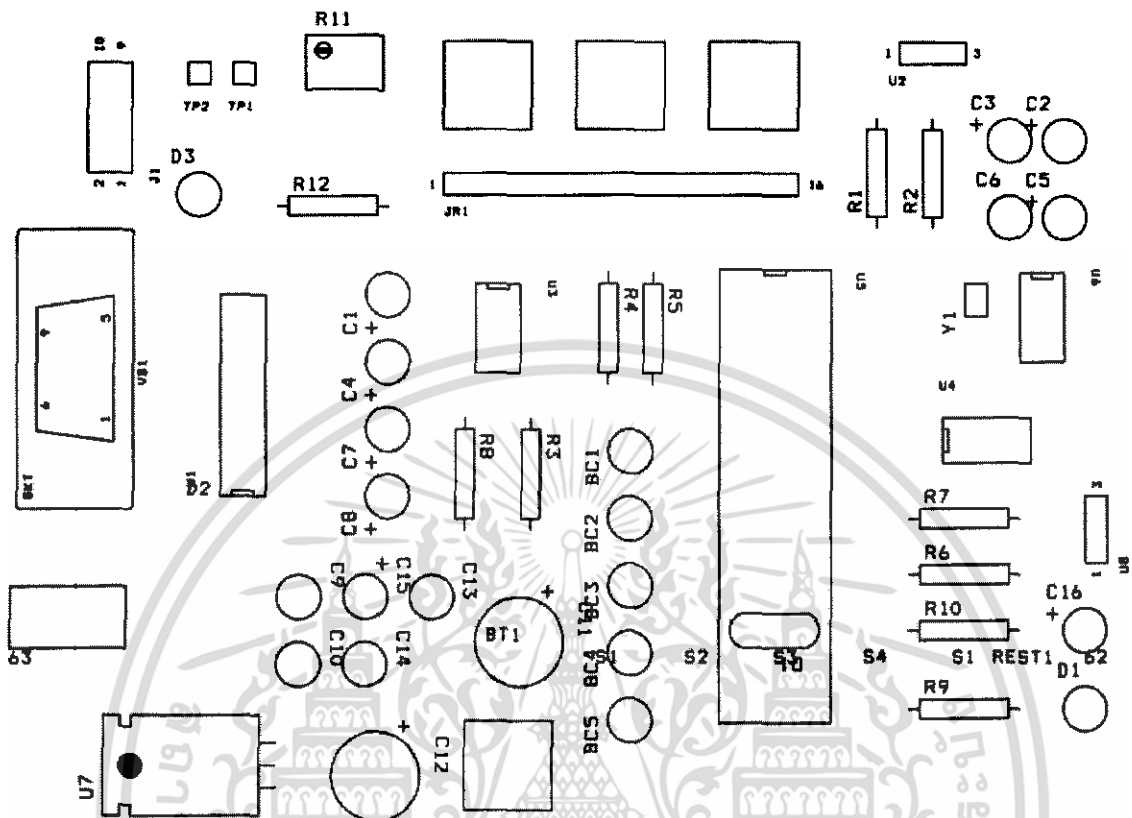
### 3.1.4 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ที่เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 24 ตำแหน่งการวางของอุปกรณ์

1. STK 200 - ใช้ในการติดต่อกับฮาร์ดโปรเกรมเมอร์ MEGA16 ของโปรแกรม Code Vision
2. Serial Port - ใช้ในการติดต่อผ่านทาง Serial Port กับ Com ในกรณีที่ไม่มี STK 200
3. RCA Jack
4. RS485 ( Photo Diode)
5. RS485 ( Thermistor 1 )
6. RS485 ( Thermistor 2 )
7. LCD Display - แสดงค่าอุณหภูมิและค่าความเข้มแสง
8. Op – Amp ( TLV 2451 )
9. RS485 ( Battery 9 Volt )
10. MEGA 16 - ส่วนประมวลผลของเครื่องมือ
11. – 14. Switch - ใช้ในการตั้งค่าของการรับค่าและการ Reset เครื่อง
15. EEPROM - เก็บข้อมูลที่วัดได้ในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 25 ตำแหน่งการวางของอุปกรณ์ที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในส่วนประกอบหลักๆของ Microprocessor Based Solar Integrator จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือส่วนของ detector ( ประกอบด้วย Photo Diode และ Thermistor ) ส่วนของภาคขยายสัญญาณ ( Op – Amp ) และ ส่วน ของ Microprocessor ( MEGA 16 ) ซึ่งในส่วนของ detector และ ส่วนของ ภาคขยายสัญญาณ ( Op – Amp ) นั้นได้ทำการทดลองเพื่อหาค่า black ground เพื่อที่จะหา noise ที่เกิด หลักจากสัญญาณถูกขยายแล้ว เพราะเนื่องจากสัญญาณที่ได้จาก detector ( Photo Diode ) นั้นสัญญาณ มีขนาดเล็กเมื่อใช้ในการวัดแล้วค่าที่วัดออกมาจะมี noise จากส่วนของภาคขยาย ( Op – Amp ) เข้ามา รบกวนทำให้ค่าที่จะทำการวัดนั้นผิดพลาดไปได้มาก ส่วน ของ Microprocessor ( MEGA 16 ) นั้น จะเป็นส่วนของการเก็บค่าจาก detector ( Photo Diode และ Thermistor ) ที่ เข้า ADC แล้วทำการ บันทึกค่าเก็บไว้ที่ EEPROM ( 24LC256 ) ทำการเก็บค่าไว้ตลอดทั้งวันจากนั้นทำการ Intergrate ค่า พื้นที่ใต้กราฟของ sampling ทั้งหมด ในส่วนของการติดค่านั้นสามารถทำการติดต่อได้ 2 ทาง คือ ทาง STK200 และทาง RS232 ในการติดต่อผ่านทาง STK200 นั้นจะทำการติดต่อผ่านทางโปรแกรม Code Vision รวมทั้งการอัปเดตโปรแกรมลง MEGA16

#### 4.1 ส่วนของ detector ( ประกอบด้วย Photo Diode และ Thermistor )

ในส่วนของ detector นี้จะต้องทำการหาค่า black ground โดยมีวิธีในการทดลองดังนี้ ทำการวัดค่าทุก 10 วินาที โดยมีหลอดไฟขนาด 10 W 350 lm 35 lm/W โดยมีระยะห่างจากตัว Photo Diode เป็นระยะทาง 37.7 cm.



รูปที่ 26 วิธีการทดลองหาค่า black ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (s)	ค่าที่ได้ในห้วงมืด (mV)	ค่าที่ได้เมื่อได้รับแสง (mV)
10	0	606
20	0	605
30	0	607
40	0	605
50	0	604
60	0	603
70	0	603
80	0	604
90	0	607
100	0	606

ตารางที่ 1 ผลการทดลองค่า black ground ใช้  $R = 100k\Omega$

เวลา (s)	ค่าที่ได้ในห้วงมืด (mV)	ค่าที่ได้เมื่อได้รับแสง (mV)
10	1	3150
20	0	3140
30	1	3150
40	0	3160
50	0	3150
60	1	3130
70	0	3120
80	0	3120
90	0	3120
100	0	3120

ตารางที่ 2 ผลการทดลองค่า black ground ใช้  $R = 500k\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (s)	ค่าที่ได้ในห้วงมืด (mV)	ค่าที่ได้เมื่อได้รับแสง (mV)
10	1	4810
20	2	4800
30	1	4810
40	2	4810
50	1	4820
60	1	4820
70	1	4810
80	2	4810
90	1	4820
100	1	4810

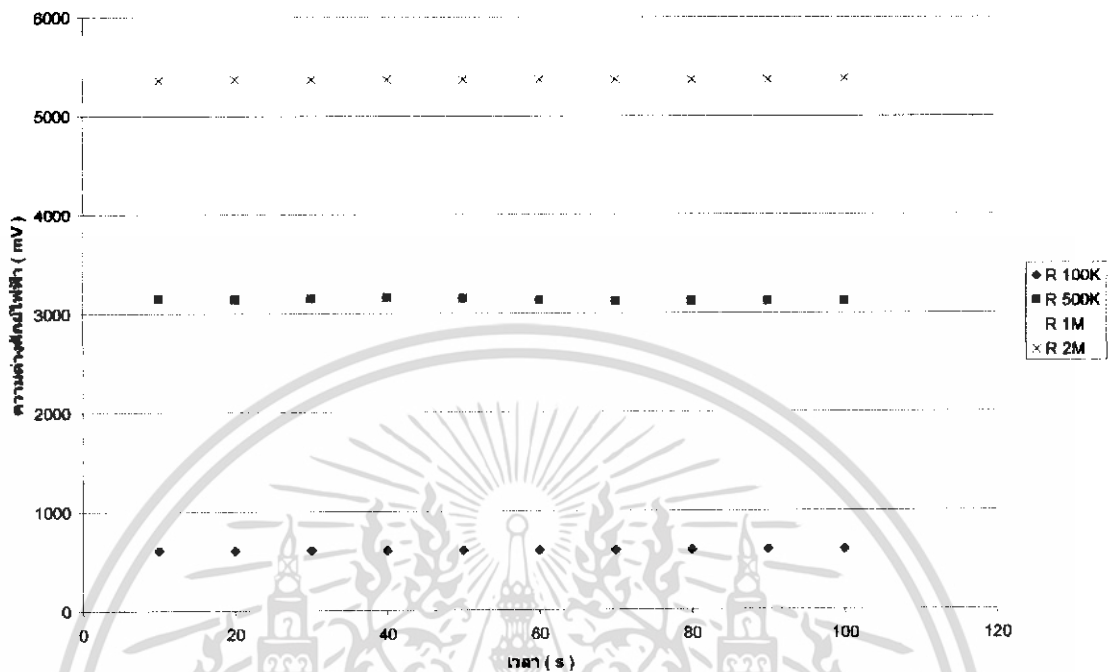
ตารางที่ 3 ผลการทดลองค่า black ground ใช้  $R = 1M\Omega$

เวลา (s)	ค่าที่ได้ในห้วงมืด (mV)	ค่าที่ได้เมื่อได้รับแสง (mV)
10	3	5360
20	3	5370
30	3	5370
40	3	5370
50	3	5370
60	3	5370
70	3	5370
80	3	5370
90	3	5370
100	3	5360

ตารางที่ 4 ผลการทดลองค่า black ground ใช้  $R = 2M\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา กับ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ อัตราการขยายต่างๆ



รูปที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา กับ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ อัตราการขยายต่างๆ

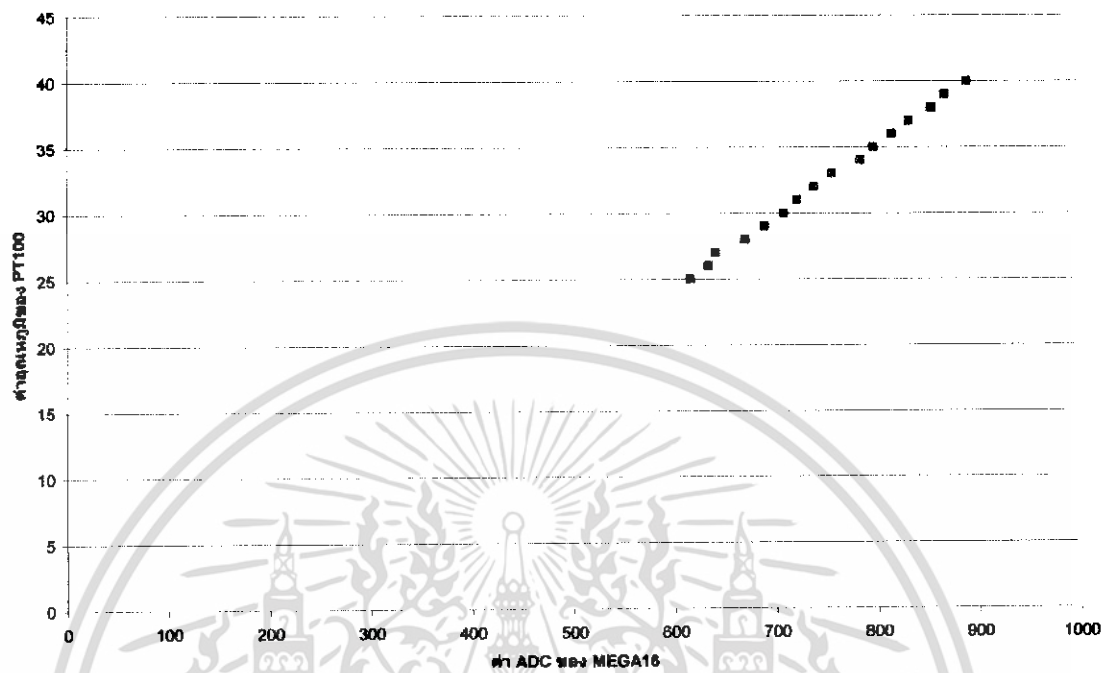
จากการทดลองที่ได้ทำมาแล้วจะเห็นได้ว่า สัญญาณที่มาจาก Photo Diode นั้นเมื่อทำการขยายสัญญาณแล้วจะเกิด noise ขึ้นได้ตามอัตราการขยายที่มากขึ้นตาม ทำให้หาความสัมพันธ์ค่าสัญญาณที่ขยายออกมาแล้วได้ตามคิงกราฟ รูปที่ 27 ในส่วนของ Thermistor นั้นเป็นการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงตามค่าความต้านทาน

ค่า ADC ที่อ่านได้	ค่าอุณหภูมิ PT100
867	40
865	39
852	38
830	37
813	36
795	35
782	34
754	33
736	32
720	31
707	30
688	29
669	28
640	27
633	26
615	25

ตารางที่ 5 ค่า ADC กับ อุณหภูมิของ PT100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของ PT100 กับ ค่า ADC ของ MEGA 16



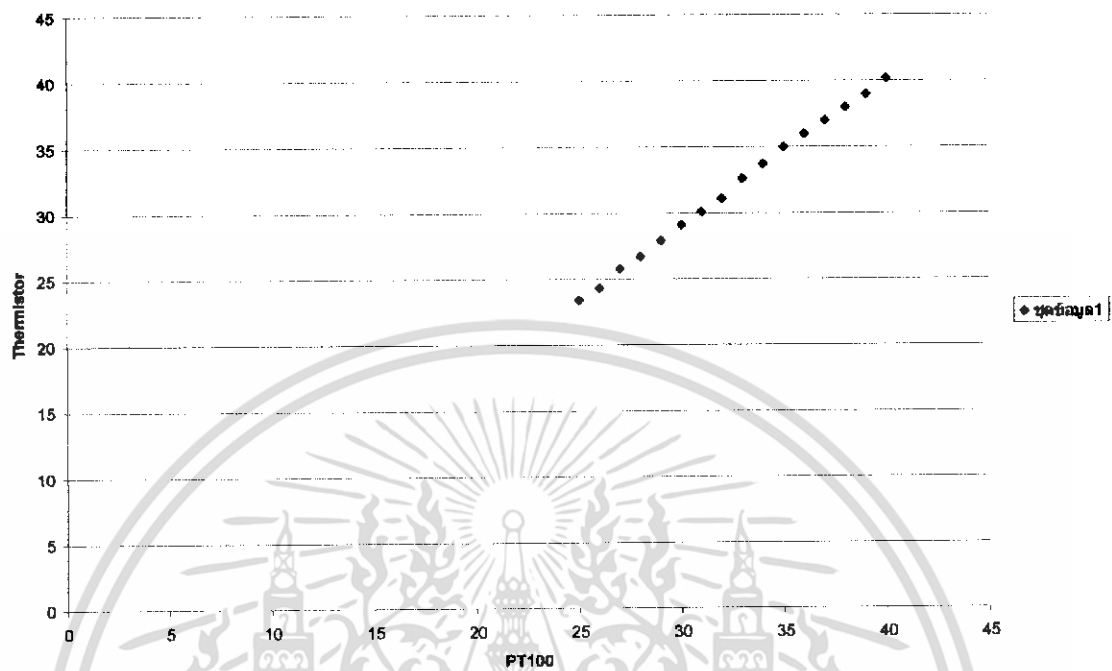
รูปที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของ PT100 กับ ค่า ADC ของ MEGA 16

ค่าอุณหภูมิ PT100	ค่าอุณหภูมิ Theristor
40	40.2
39	39
38	38
37	37
36	36
35	35
34	33.7
33	32.6
32	31.1
31	30.1
30	29.1
29	27.9
28	26.7
27	25.8
26	24.3
25	23.4

ตารางที่ 6 ค่า อุณหภูมิของ PT100 กับ Thermistor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

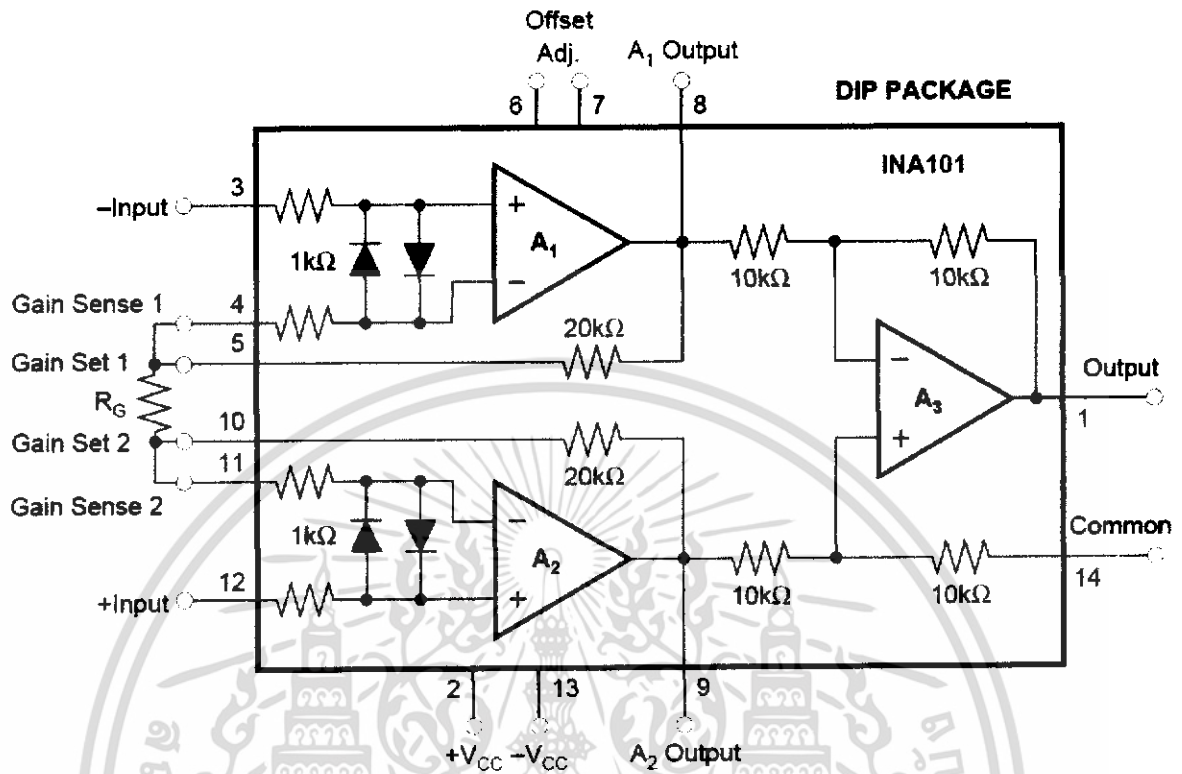
ภาพแสดงความสัมพันธ์การอ่านอุณหภูมิระหว่าง PT100 กับ Thermistor



รูปที่ 29 ความสัมพันธ์การอ่านอุณหภูมิระหว่าง PT100 กับ Thermistor

#### 4.2 ส่วนของภาคขยายสัญญาณ (Op – Amp)

ในส่วนนี้จะเป็นเรื่องของการทำงานขยายสัญญาณที่มาจาก Photo Diode เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าให้มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าที่ทำกรวัดจาก Pyranometer เนื่องจากค่าที่ได้มาจากตัว Pyranometer นั้นเป็นค่าของความเข้มของแสงต่อ 1 ตารางเมตร ( $W/m^2$ ) และค่าความความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นนั้นมีขนาดเพียง  $1\mu V$  ก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบค่านั้นต้องทำการขยายสัญญาณจากตัว Pyranometer ด้วยให้มีขนาดประมาณ  $100\mu V$  โดยใช้วงจร Instrumentation Amplifier หรือ Non-Inverting Amplifier ( อ้างอิงจาก รูปที่ 17 บทที่ 2 )



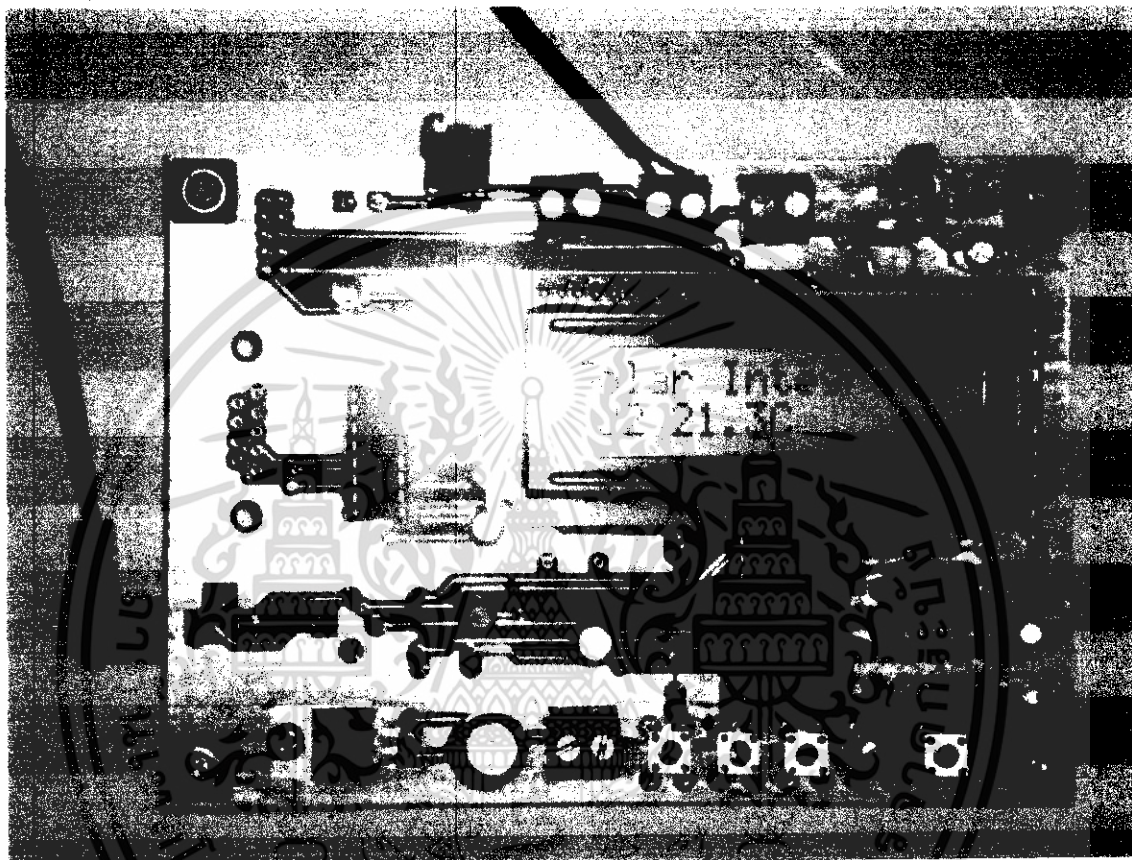
รูปที่ 30 วงจร Instrumentation Amplifier

หลังจากนั้นก็ทำการปรับเทียบค่าเพื่อที่จะให้ค่าสัญญาณที่วัดจาก Photo Diode นั้น ให้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าของ Pyranometer โดยวัดแล้วได้ออกมาเป็นค่าของความเข้มแสงต่อ 1 ตารางเมตร ( $W/m^2$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ส่วน ของ Microprocessor ( MEGA 16 )

ในส่วนของตรงนี้จะ เป็นเรื่องของการเขียนโปรแกรมในการควบคุมทางด้าน การคำนวณและด้านการเก็บข้อมูล และการติดต่อข้อมูลผ่านทาง RS232 และ STK200



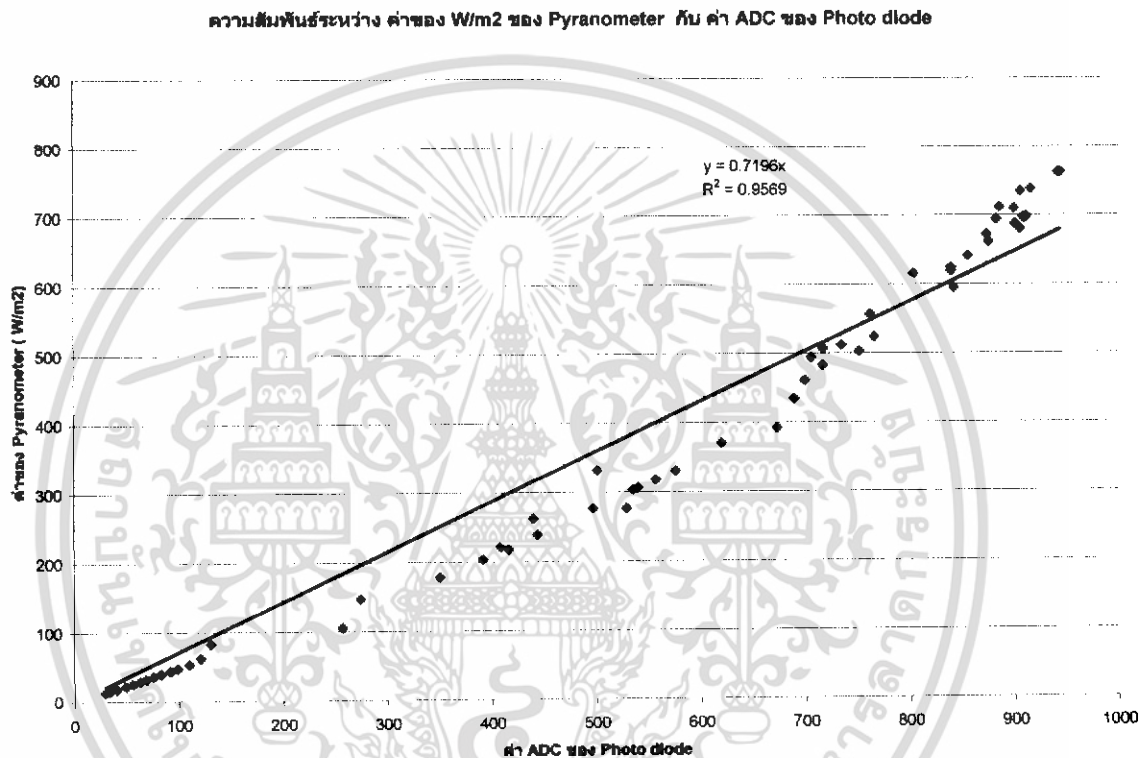
รูปที่ 31 ตัวเครื่องมือที่เสร็จแล้ว

การวางตำแหน่งของอุปกรณ์จะเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ( อ้างอิงจากรูปที่ 25 บทที่ 3 ) จะมี LCD เป็นส่วนที่คอยบอกค่าที่เก็บบันทึกในแต่ละ sampling และ อุณหภูมิ และสามารถตั้งค่าของการเก็บข้อมูล วันที่ และ เวลาที่ต้องการทำการเก็บ ได้ โดยการตั้งค่าจาก key pad ส่วนข้อมูลที่เก็บไว้ จะถูกนำไปเก็บไว้ที่ EEPROM ( 24LC256 ) เราสามารถนำข้อมูลที่เก็บไว้ออกมาดูได้โดยติดต่อผ่านทาง RS232 และ STK 200 โดย STK200 นั้นใช้โปรแกรม Code Vision ดูและเขียนโปรแกรม ส่วน RS232 นั้นใช้ Hyper Terminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การเปรียบเทียบค่า Photo diode กับ Pyranometer

การเปรียบเทียบเราทำได้โดยการอ่านค่าของตัว Pyranoter เมื่อทำการวัดจริงโดยเปรียบเทียบกับค่า ADC ( 10 BIT ) ที่อ่านได้จากตัว MEGA16 โดยใช้ Photo diode เป็นตัว Detector แล้วหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างกัน เพื่อหาสมการเส้นแนวโน้ม



รูปที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ W/m<sup>2</sup> ของ Pyranometer กับ ค่า ADC ของ Photo diode

จะได้สมการเส้นแนวโน้มเป็น

$$y = 0.7196 x$$

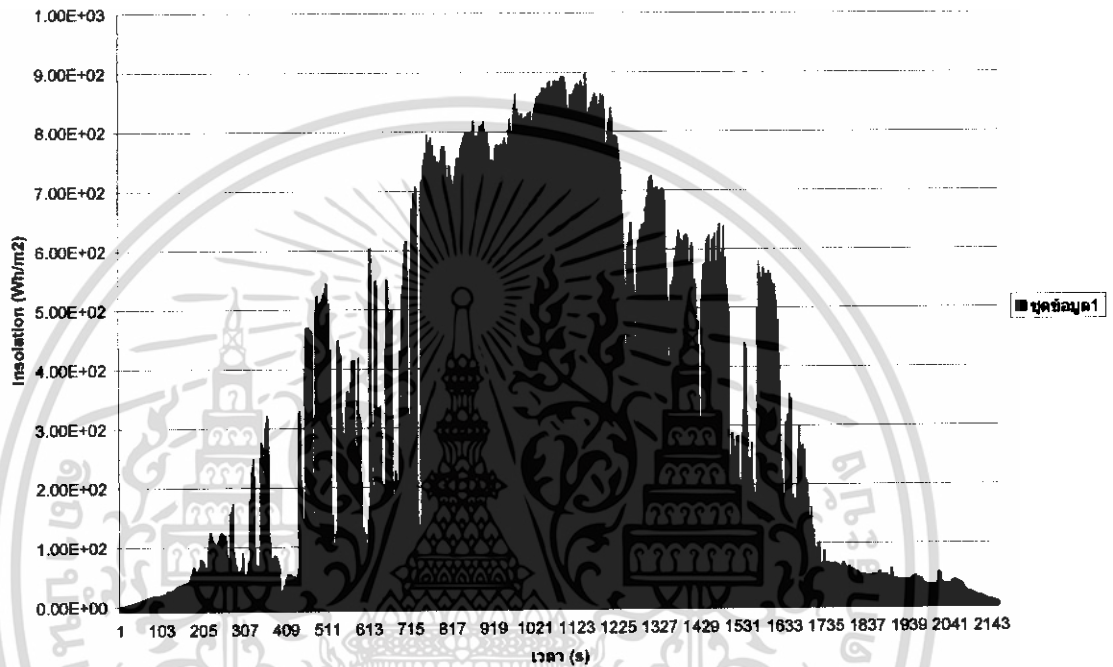
y คือค่าของ Pyranometer ( W/m<sup>2</sup> )

x คือค่าของ ADC ของ Photo diode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ผลการทดลอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Insolation (Wh/m<sup>2</sup>) กับ เวลา



รูปที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่าง Insolation (Wh/m<sup>2</sup>) กับ เวลา วันที่ 22 มี.ค 49

Daily Insolation ของ ตัว Pyranometer = 3590 Wh/m<sup>2</sup>

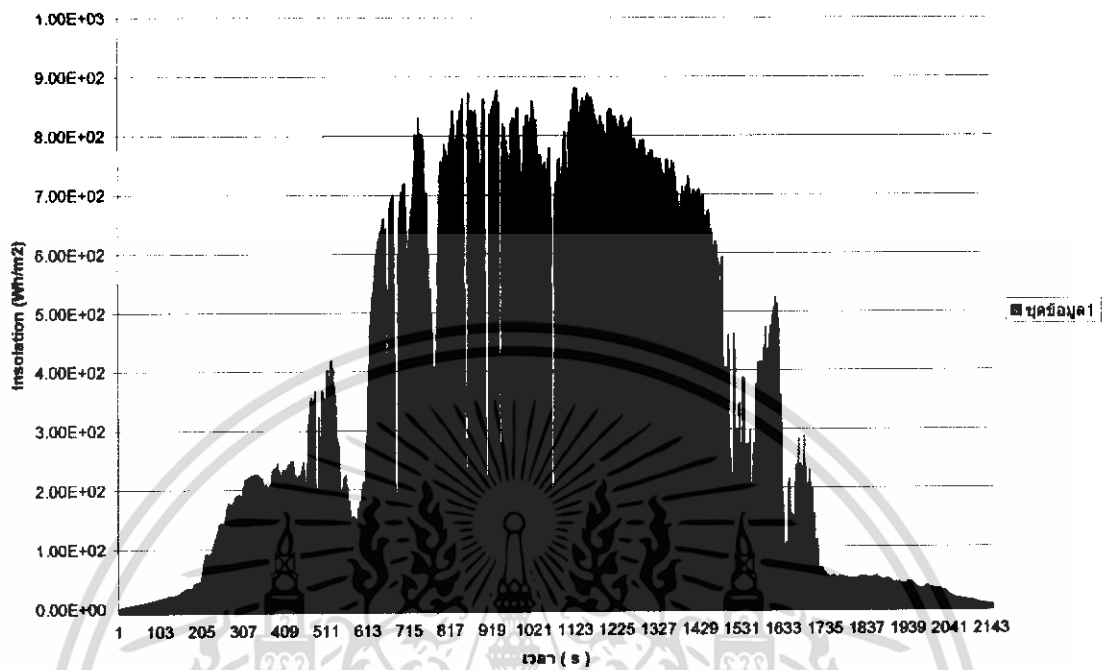
Daily Insolation ของ ตัว Photo diode = 3390 Wh/m<sup>2</sup>

$$\text{ค่าความแม่นยำของเครื่อง} = \left( \frac{3390 - 3590}{3590} \right) \cdot 100\%$$

$$= -5.571\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Insolation (Wh/m<sup>2</sup>) กับ เวลา



รูปที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่าง Insolation (Wh/m<sup>2</sup>) กับ เวลา วันที่ 23 มี.ค 49

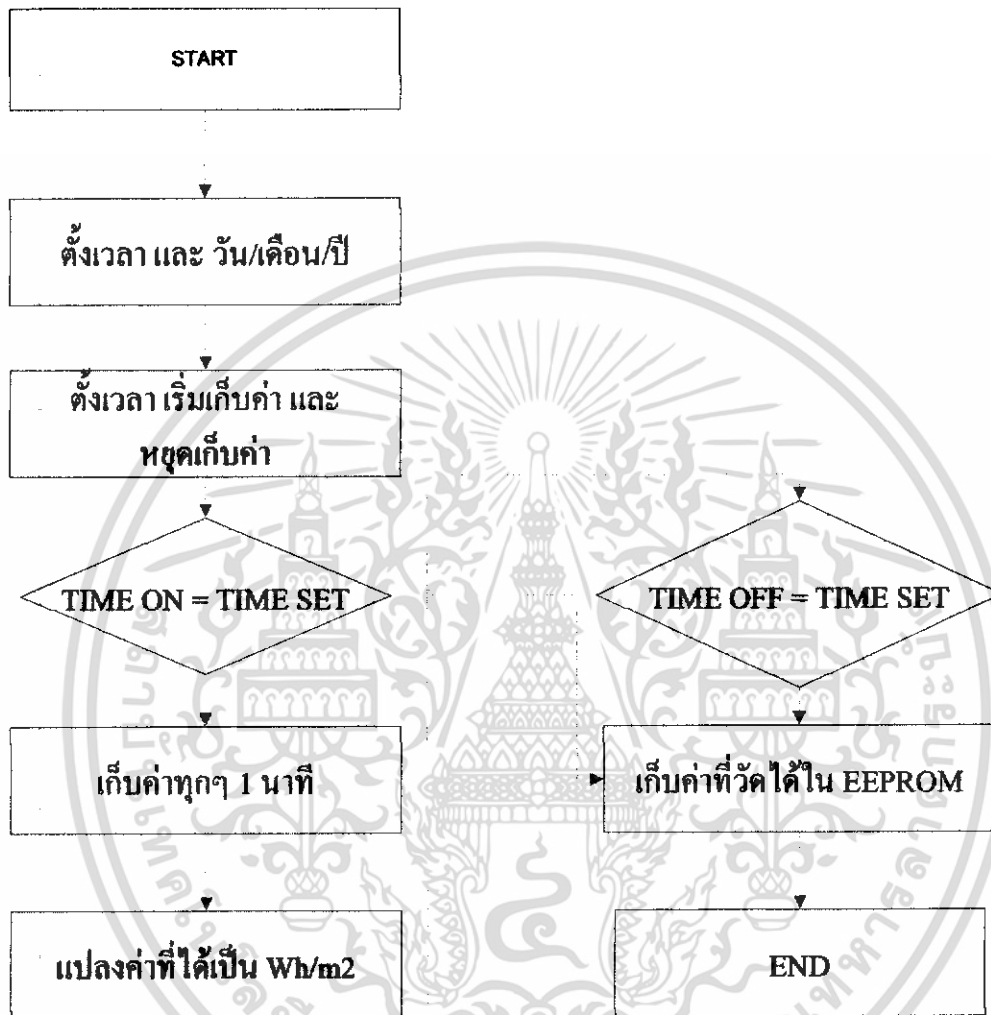
Daily Insolation ของ ตัว Pyranometer = 3750 Wh/m<sup>2</sup>

Daily Insolation ของ ตัว Photo diode = 3540 Wh/m<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{ค่าความแม่นยำของเครื่อง} &= \left( \frac{3540 - 3750}{3750} \right) \cdot 100\% \\ &= -5.6\% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 Flow Chart แสดงวิธีการใช้งานของเครื่อง



รูปที่ 35 Flow Chart แสดงวิธีการใช้งานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการทดลองที่ได้ทำ Solar Integrator เพื่อใช้ในการรวบรวมข้อมูลของความเข้มของแสงที่ได้ในแต่ละวัน ( $W/m^2$ ) เพื่อที่จะได้ศึกษาแผง Solar cell ว่าให้พลังงานที่ได้ใน 1 วันนั้นมีค่าเท่าไร ( $W/m^2$ ) ในการดำเนินงานที่ผ่านมาได้ทำการออกแบบวงจร และเขียนโปรแกรมควบคุม การอ่านค่าและการบันทึกค่าเอาไว้เพื่อสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ศึกษาและเปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้จริงในแต่ละวัน

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลองนั้นตัว Photo Diode ได้มีการทำการปรับเทียบค่ากับตัว Pyranometer แล้ว ในด้านการอ่านอุณหภูมิ โดยใช้ตัว Thermistor นั้น เราได้ทำการปรับเทียบค่ากับ PT100 (อ้างอิงจากบทที่ 4) ค่าความเข้มแสงที่อ่านได้นั้นต้องมีค่าหน่วยค่าของ gain ขยาย ที่ระดับความเข้มแสงสูงสุด (เวลาประมาณ 12.00 แสงแดดจะมีความเข้มสูงสุด) เราทำการปรับเทียบโดยให้ค่าความเข้มแสงสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.5 V (MEGA 16 มี ADC ขนาด 10 bit )

$$\text{Daily Insolation ของ ตัว Pyranometer} = 3590 \text{ Wh/m}^2$$

$$\text{Daily Insolation ของ ตัว Photo diode} = 3390 \text{ Wh/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความแม่นยำของเครื่อง} &= \left( \frac{3390 - 3590}{3590} \right) \cdot 100\% \\ &= -5.571\% \end{aligned}$$

$$\text{Daily Insolation ของ ตัว Pyranometer} = 3750 \text{ Wh/m}^2$$

$$\text{Daily Insolation ของ ตัว Photo diode} = 3540 \text{ Wh/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความแม่นยำของเครื่อง} &= \left( \frac{3540 - 3750}{3750} \right) \cdot 100\% \\ &= -5.6\% \end{aligned}$$

$$\text{ค่าความแม่นยำของเครื่องมือ} \approx \pm 6\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

จากการสร้างและทำการศึกษา Solar Integrator ในการวิจัยนี้ได้พบปัญหาบางประการที่ควรได้รับการแก้ไขดังต่อไปนี้

1. ค่าของความเข้มแสงที่วัดได้และค่าของอุณหภูมินั้นอาจคาดเคลื่อนไปเล็กน้อยเนื่องจากระยะของตัว Photo Diode นั้น ถ้ามีระยะห่างกันมากเกินไปค่าที่ได้จึงผิดพลาดไปบ้าง
2. ตัว Photo Diode เมื่อเวลานำไปใช้งานจริงควรใช้ Tefron มาใส่ด้วยเพื่อที่เวลานำไปใช้งานค่าที่วัดได้จะได้ไม่ผิดไปเพราะสภาพของอากาศ
3. ในขั้นตอนการปรับเทียบถ้าจะให้ดีกว่าควรทำการปรับเทียบกับบริเวณที่ใช้วางแผง Solar เพื่อให้ได้สมการเส้นแนวโน้มที่ใกล้เคียงมากที่สุด
4. ค่าที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกับตัว Pyranometer เท่านั้นเพราะความเข้มของแสงขึ้นอยู่กับฤดูกาล ทำให้สมการเส้นแนวโน้มเปลี่ยนแปลงได้ตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. รศ. คุณิต เครื่องงาม สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ฟิสิกส์ เทคโนโลยีและการใช้  
กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. สุปานี ลีมสุวรรณ (2539) กลศาสตร์ควอนตัม กรุงเทพฯ ห.จ.ก. เอ็กเพรส มีเดีย
3. ผศ. วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์ ออปแอมป์ และ การประมวลผลสัญญาณอนาล็อก  
( OP-AMPs and Analog Signal Processing ) กรุงเทพฯ บริษัท ว. เพ็ชรสกุล จำกัด
4. [http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/sensor/temp\\_pres/](http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/sensor/temp_pres/)
5. <http://www.kmitl.ac.th/~kswichit/>



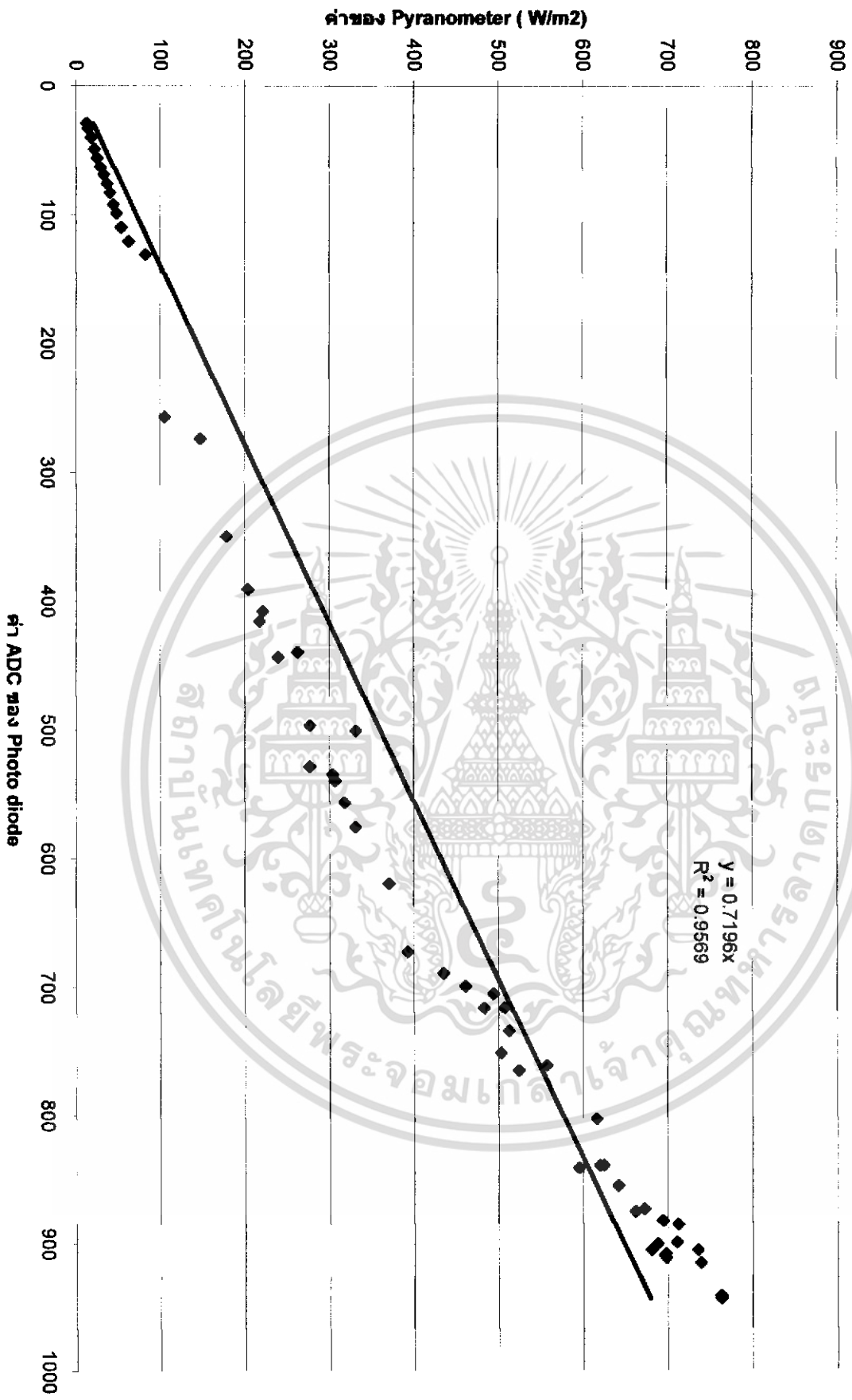
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

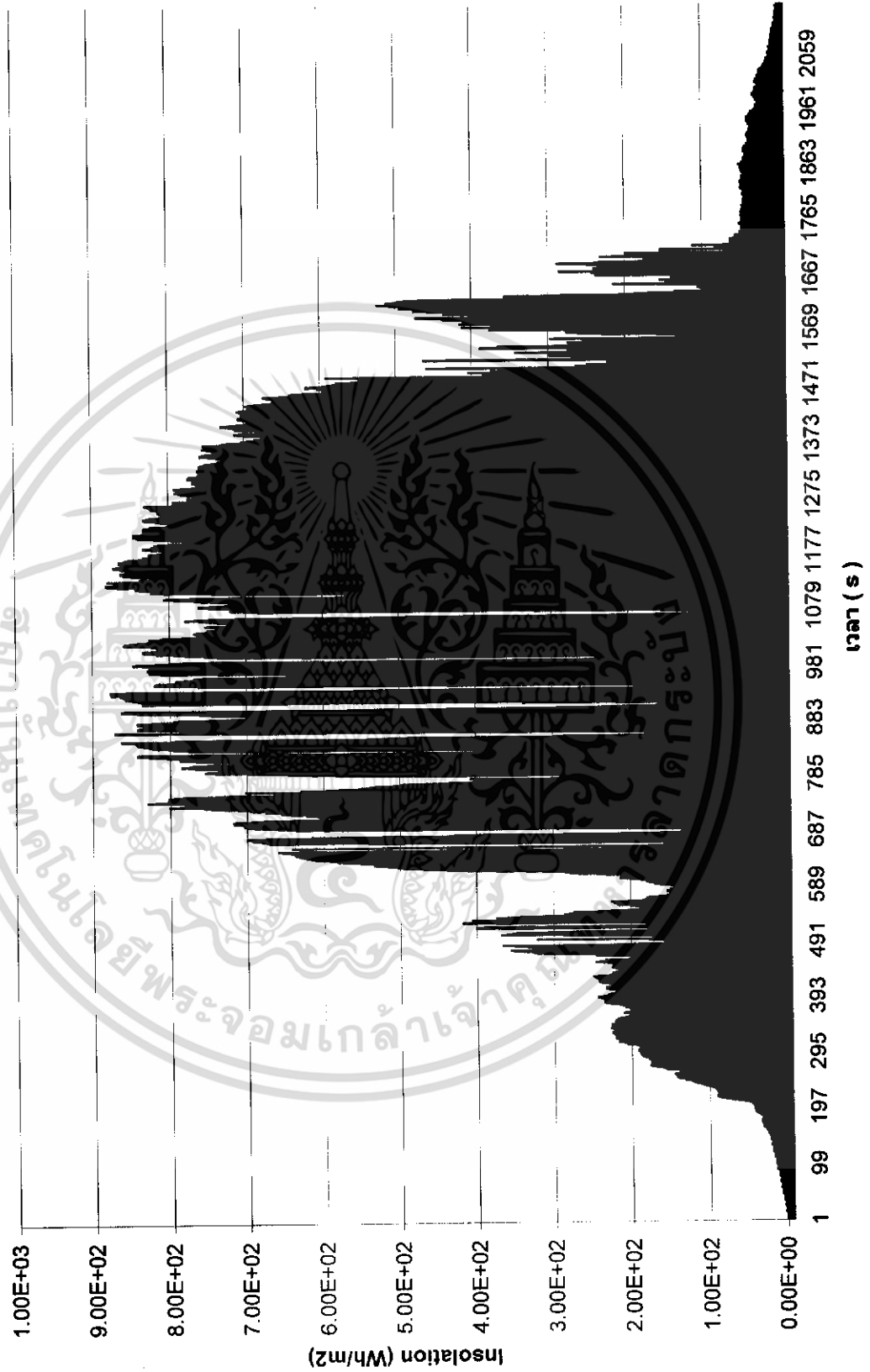
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ W/m<sup>2</sup> ของ Pyranometer กับ ค่า ADC ของ Photo diode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Insolation (Wh/m<sup>2</sup>) กับ เวลา



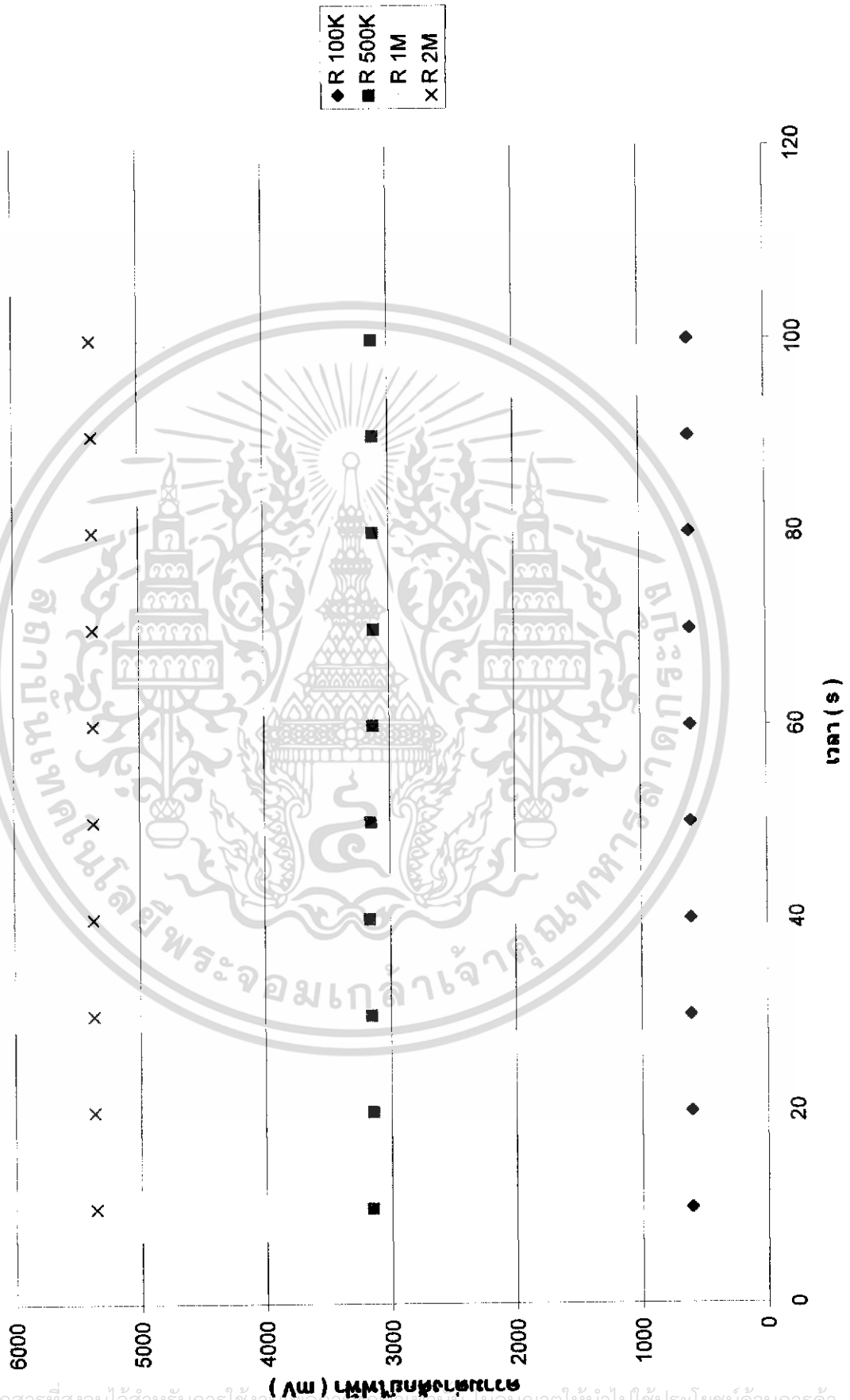
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Insolation (Wh/m2) กับ เวลา



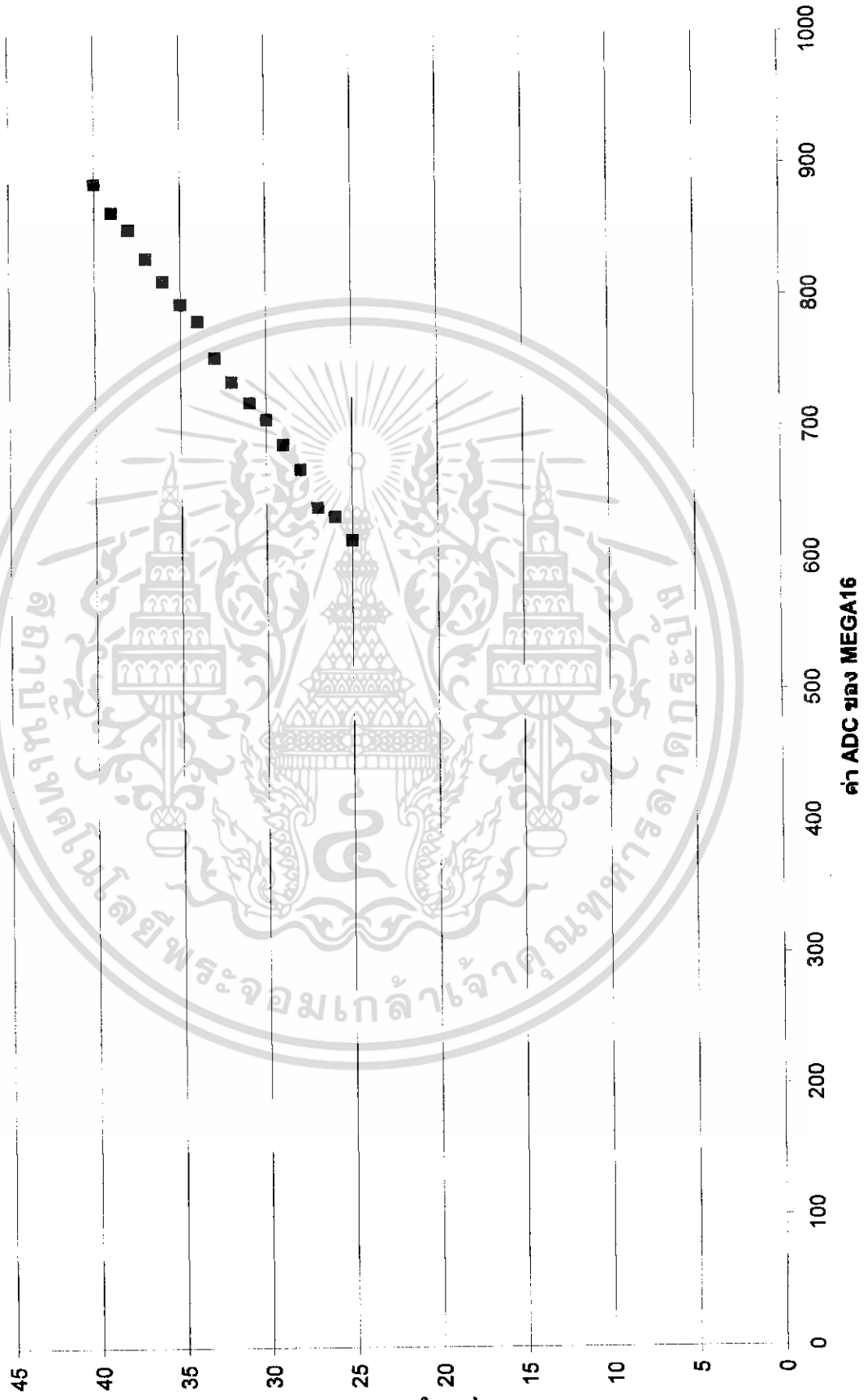
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา กับ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ อัตราการขยายต่างๆ



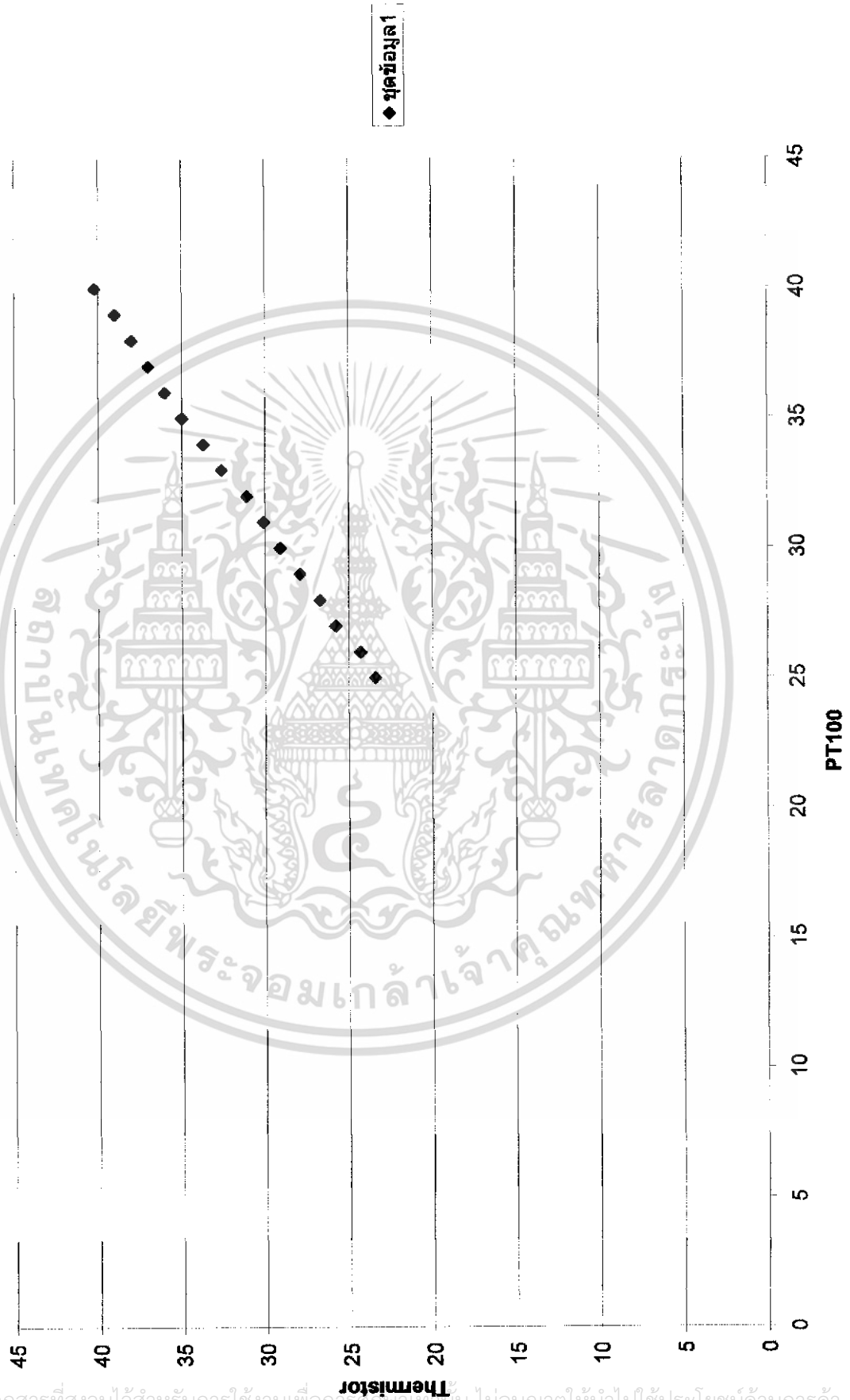
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของ PT100 กับ ค่า ADC ของ MEGA 16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์การอ่านอุณหภูมิระหว่าง PT100 กับ Thermistor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

1: /*****
2: This program was produced by the
3: CodeWizardAVR V1.24.8b Standard
4: Automatic Program Generator
5: © Copyright 1998-2006 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
6: http://www.hpinfotech.com
7:
8: Project :
9: Version :
10: Date : 3/3/2006
11: Author : reinforce
12: Company : reinforce
13: Comments:
14:
15:
16: Chip type : ATmega16
17: Program type : Application
18: Clock frequency : 4.000000 MHz
19: Memory model : Small
20: External SRAM size : 0
21: Data Stack size : 256
22: *****/
23:
24: #include <mega16.h>
25: #include <delay.h>
26: #include <stdio.h>
27: #include <math.h>
28: // I2C Bus functions
29: #asm
30: .equ __i2c_port=0x18 ;PORTB
31: .equ __sda_bit=2
32: .equ __scl_bit=1
33: #endasm
34: #include <i2c.h>
35:
36: // DS1307 Real Time Clock functions
37: #include <ds1307.h>
38:
39: // Alphanumeric LCD Module functions
40: #asm
41: .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
42: #endasm
43: #include <lcd.h>
44:
45:
46: #define RXB8 1
47: #define TXB8 0
48: #define UPE 2
49: #define OVR 3
50: #define FE 4
51: #define UDRE 5
52: #define RXC 7
53:
54:
55: #define S1 PIND.3
56: #define S2 PIND.4
57: #define S3 PIND.5
58: #define S4 PIND.6
59: #define LED PORTD.7
60:
61: #define FRAMING_ERROR (1<<FE)
62: #define PARITY_ERROR (1<<UPE)
63: #define DATA_OVERRUN (1<<OVR)
64: #define DATA_REGISTER_EMPTY (1<<UDRE)
65: #define RX_COMPLETE (1<<RXC)
66:
67: int x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8,x9,x10,number=0,tick = 0,get_data=1,b,c=1,count_data=0;
68: unsigned char lcd_buffer[16];
69: int a,data1,data2,data3,i,show_data;
70: char mode_display,count,count1,mode_control,hour_on,min_on,hour_off,min_off;
71: float hu_on,hu_off;
72: char data_set[6],res1,res2,res3,res4;
73: char data_value[5];
74: flash char *DISPLAY_SET[4]={"ON -> HOUR","ON -> MIN","OFF -> HOUR","OFF -> MIN"};
75: flash char *DISPLAY_VALUE[5]={"DATE","MONTH","YEAR","HOUR","MIN"};
76:
77:
78: // USART Receiver buffer
79: #define RX_BUFFER_SIZE 8
80: char rx_buffer[RX_BUFFER_SIZE];
81:
82: #if RX_BUFFER_SIZE<256
83: unsigned char rx_wr_index,rx_rd_index,rx_counter;
84: #else
85: unsigned int rx_wr_index,rx_rd_index,rx_counter;
86: #endif

```

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

87:
88: // This flag is set on USART Receiver buffer overflow
89: bit rx_buffer_overflow;
90:
91: // USART Receiver interrupt service routine
92: interrupt [USART_RXC] void usart_rx_isr(void)
93: {
94:   char status,data;
95:   status=UCSRA;
96:   data=UDR;
97:   if ((status & (FRAMING_ERROR | PARITY_ERROR | DATA_OVERRUN))==0)
98:   {
99:     rx_buffer[rx_wr_index]=data;
100:    if (++rx_wr_index == RX_BUFFER_SIZE) rx_wr_index=0;
101:    if (++rx_counter == RX_BUFFER_SIZE)
102:    {
103:      rx_counter=0;
104:      rx_buffer_overflow=1;
105:    };
106:  };
107: }
108:
109: #ifndef _DEBUG_TERMINAL_IO_
110: // Get a character from the USART Receiver buffer
111: #define _ALTERNATE_GETCHAR_
112: #pragma used+
113: char getchar(void)
114: {
115:   char data;
116:   while (rx_counter==0);
117:   data=rx_buffer[rx_rd_index];
118:   if (++rx_rd_index == RX_BUFFER_SIZE) rx_rd_index=0;
119:   #asm("cli")
120:   --rx_counter;
121:   #asm("sei")
122:   return data;
123: }
124: #pragma used-
125: #endif
126:
127: // USART Transmitter buffer
128: #define TX_BUFFER_SIZE 8
129: char tx_buffer[TX_BUFFER_SIZE];
130:
131: #if TX_BUFFER_SIZE<256
132: unsigned char tx_wr_index,tx_rd_index,tx_counter;
133: #else
134: unsigned int tx_wr_index,tx_rd_index,tx_counter;
135: #endif
136:
137: // USART Transmitter interrupt service routine
138: interrupt [USART_TXC] void usart_tx_isr(void)
139: {
140:   if (tx_counter)
141:   {
142:     --tx_counter;
143:     UDR=tx_buffer[tx_rd_index];
144:     if (++tx_rd_index == TX_BUFFER_SIZE) tx_rd_index=0;
145:   };
146: }
147:
148: #ifndef _DEBUG_TERMINAL_IO_
149: // Write a character to the USART Transmitter buffer
150: #define _ALTERNATE_PUTCHAR_
151: #pragma used+
152: void putchar(char c)
153: {
154:   while (tx_counter == TX_BUFFER_SIZE);
155:   #asm("cli")
156:   if (tx_counter || ((UCSRA & DATA_REGISTER_EMPTY)==0))
157:   {
158:     tx_buffer[tx_wr_index]=c;
159:     if (++tx_wr_index == TX_BUFFER_SIZE) tx_wr_index=0;
160:     ++tx_counter;
161:   }
162:   else
163:     UDR=c;
164:   #asm("sei")
165: }
166: #pragma used-
167: #endif
168:
169: // Standard Input/Output functions
170: #include <stdio.h>
171:
172: #define ADC_VREF_TYPE 0x00

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

73:
74: // Read the AD conversion result
75: unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
76: {
77: ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;
78: // Start the AD conversion
79: ADCSRA|=0x40;
80: // Wait for the AD conversion to complete
81: while ((ADCSRA & 0x10)==0);
82: ADCSRA|=0x10;
83: return ADCW;
84: }
85:
86: // Declare your global variables here
87:
88:
89:
90:
91:
92: // Declare your global variables here
93: // SET DAY TO DS1307
94:
95: void set_day(unsigned char day)
96: {
97:     i2c_start();
98:     i2c_write(0xd0);
99:     i2c_write(3);
100:    i2c_write(day);
101:    i2c_stop();
102: }
103: // GET DAY FROM DS1307
104: char rtc_get_day()
105: {
106:     char day;
107:     i2c_start();
108:     i2c_write(0xd0);
109:     i2c_write(3);
110:     i2c_start();
111:     i2c_write(0xd1);
112:     day=i2c_read(0);
113:     i2c_stop();
114:     return day;
115: }
116:
117: #define EEPROM_BUS_ADDRESS 0xa0 // FM24C256 RAMTRON FRAM
118:
119: // read FRAM
120: unsigned char eeprom_read(unsigned int address) {
121: unsigned char data, reg1;
122: i2c_start();
123: i2c_write(EEPROM_BUS_ADDRESS);
124: reg1 = address>>8;
125: i2c_write(reg1);
126: reg1 = address;
127: i2c_write(reg1);
128: i2c_start();
129: i2c_write(EEPROM_BUS_ADDRESS | 1);
130: data=i2c_read(0);
131: i2c_stop();
132: return data;
133: }
134:
135: // write FRAM no delay needed
136: void eeprom_write(unsigned int address, unsigned char data) {
137: unsigned char reg1;
138: i2c_start();
139: i2c_write(EEPROM_BUS_ADDRESS);
140: reg1 = address>>8;
141: //printf("%x", reg1);
142: i2c_write(reg1);
143: reg1 = address;
144: //printf("%x", reg1);
145: i2c_write(reg1);
146: i2c_write(data);
147: i2c_stop();
148: delay_ms(10);
149: }
150:
151: float read_solar()
152: {
153:     float n;
154:     //x10=x9;
155:     //x9=x8;
156:     //x8=x7;
157:     //x7=x6;
158:     //x6=x5;

```

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

59:         //x5=x4;
60:         //x4=x3;
61:         //x3=x2;
62:         //x2=x1;
63:         x1= read_adc(0);
64:         n= x1;
65:         return((n*0.7196));
66: }
67:
68:
69: // SAVE/LOAD DATA
70: // Save data to EEPROM
71: save_data()
72: {
73:     eeprom_write(2000,mode_display);
74:     eeprom_write(2001,mode_control);
75:     eeprom_write(2002,count);
76:     eeprom_write(2003,count1);
77:     eeprom_write(2004,hu_on);
78:     eeprom_write(2005,hu_off);
79:     eeprom_write(2006,hour_on);
80:     eeprom_write(2007,hour_off);
81:     eeprom_write(2008,min_on);
82:     eeprom_write(2009,min_off);
83: }
84: // Load data from EEPROM
85: load_data()
86: {
87:     mode_display = eeprom_read(2000);
88:     mode_control = eeprom_read(2001);
89:     count = eeprom_read(2002);
90:     count1 = eeprom_read(2003);
91:     hu_on = eeprom_read(2004);
92:     hu_off = eeprom_read(2005);
93:     hour_on = eeprom_read(2006);
94:     hour_off = eeprom_read(2007);
95:     min_on = eeprom_read(2008);
96:     min_off = eeprom_read(2009);
97: }
98:
99: // Show display day,date,month,year,time,hu,temp
100: show_display()
101: {
102:     char day;
103:     unsigned char h,m,s,date,month,year;
104:
105:     day = rtc_get_day();
106:     rtc_get_date(&date,&month,&year);
107:     rtc_get_time(&h,&m,&s);
108:
109:
110:     // display count
111:     count1++;
112:     if(count1 > 5)
113:         count = 1;
114:     if(count1 > 10)
115:     {
116:         count = 0;
117:         count1 = 0;
118:     }
119:
120:
121:     if(count == 0)
122:     {
123:         sprintf(lcd_buffer,"
124:         lcd_gotoxy(0,0);
125:         lcd_puts(lcd_buffer);
126:         sprintf(lcd_buffer," %02d:%02d:%02d",h,m,s);
127:         lcd_gotoxy(0,0);
128:         lcd_puts(lcd_buffer);
129:     }
130:     if(count == 1)
131:     {
132:         sprintf(lcd_buffer,"
133:         lcd_gotoxy(0,0);
134:         lcd_puts(lcd_buffer);
135:         sprintf(lcd_buffer," %02d-%02d-%02d",date,month,year);
136:         lcd_gotoxy(0,0);
137:         lcd_puts(lcd_buffer);
138:     }
139:
140: }
141:
142: write_eeprom()
143: {
144:     //a = 0x00;

```

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆ หากมีใครคัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต กรุณาแจ้งให้ทราบทันที และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

45: //while(1)
46: //delay_ms(1000);
47: eeprom_write(1,read_adc(0));
48: //get_data = 2500;
49: //data2 = eeprom_read(1);
50: //data2 = (data2/60);
51: sprintf(lcd_buffer,"Data = %04d",a);
52: lcd_gotoxy(0,1);
53: lcd_puts(lcd_buffer);
54: for(c=2;c<=1700;c=c+1)
55: {
56: delay_ms(60000);
57: eeprom_write(a,read_adc(0));
58: //data1=eeprom_read(a);
59: //data2 = data2+data1;
60: //data3 = (data2/60);
61: //eeprom_write(get_data,data3);
62: sprintf(lcd_buffer,"Data = %04d",c);
63: lcd_gotoxy(0,1);
64: lcd_puts(lcd_buffer);
65:
66: }
67: }
68:
69:
70: read_eeprom()
71: {
72: b = 1;
73: //get_data= 2000;
74: data1 = eeprom_read(b);
75: printf("%04d \r",data1);
76: for(b=2;b<=1700;b=b+1)
77: {
78: delay_ms(500);
79: data1=eeprom_read(b);
80: //data2 = data2+data1;
81: printf("%04d \r",data1);
82: //a = a+1;
83: }
84: //data3 = (data2/60);
85: //eeprom_write(get_data,data3);
86: //printf("insolation %0.0f",data3);
87: }
88:
89: S1_exe()
90: {
91:
92: if(S1==0)
93: {
94: write_eeprom();
95: }
96: }
97:
98: S2_exe()
99: {
100: if(S4==0)
101: {
102: read_eeprom();
103: }
104: }
105:
106: // SWITCH KEY
107: SWITCH_EXE()
108: {
109: char ddday,dday;
110: unsigned char hour,min,sec,dd,mm,yy;
111: char display_s,display_v,stoper,stoper1,select;
112: select = 0;
113: stoper = 0;
114: LED = 1;
115:
116: //S3 Set ON/OFF control
117: if(S2 == 0)
118: {
119: select = 1;
120: delay_ms(200);
121: //Set ON/OFF Time
122: display_s = 0;
123: while(select)
124: {
125: if(S1 == 0)
126: {
127: if(display_s == 0)
128: hour_on++;
129: if(hour_on > 23)
130:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

31:         hour_on = 0;
32:     }
33:     if(display_s == 1)
34:     {
35:         min_on++;
36:         if(min_on > 59)
37:             min_on = 0;
38:     }
39:     if(display_s == 2)
40:     {
41:         hour_off++;
42:         if(hour_off > 23)
43:             hour_off = 0;
44:     }
45:     if(display_s == 3)
46:     {
47:         min_off++;
48:         if(min_off > 59)
49:             min_off = 0;
50:     }
51: }
52: if(S2 == 0)
53: {
54:     if(display_s == 0)
55:     {
56:         hour_on--;
57:         if(hour_on > 250)
58:             hour_on = 23;
59:     }
60:     if(display_s == 1)
61:     {
62:         min_on--;
63:         if(min_on > 250)
64:             min_on = 59;
65:     }
66:     if(display_s == 2)
67:     {
68:         hour_off--;
69:         if(hour_off > 250)
70:             hour_off = 23;
71:     }
72:     if(display_s == 3)
73:     {
74:         min_off--;
75:         if(min_off > 250)
76:             min_off = 59;
77:     }
78: }
79: if(S3 == 0)
80: {
81:     display_s++;
82:     if(display_s > 3)
83:         display_s = 0;
84: }
85: if(S4 == 0)
86: {
87:     select = 0;
88:     delay_ms(100);
89: }
90: delay_ms(100);
91: data_set[0] = hour_on;
92: data_set[1] = min_on;
93: data_set[2] = hour_off;
94: data_set[3] = min_off;
95:
96: sprintf lcd_buffer, "          ";
97: lcd_gotoxy(0,1);
98: lcd_puts lcd_buffer;
99:
100: sprintf lcd_buffer, "%p = %02d", DISPLAY_SET[display_s], data_set[display_s];
101: lcd_gotoxy(0,1);
102: lcd_puts lcd_buffer;
103: }
104: }
105:
106: //S1 Set day,date,month,year,time
107: if(S1 == 0)
108: {
109:     #asm("cli") // disable interrupt
110:     stoper = 1;
111:     stoper1 = 0;
112:     display_v = 0;
113:     dday = rtc_get_day();
114:     rtc_get_date(&dd, &mm, &yy);
115:     rtc_get_time(&hour, &min, &sec);
116:     data_value[0] = dd;

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ควรแก้ไขหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

17: data_value[1] = mm;
18: data_value[2] = yy;
19: data_value[3] = hour;
20: data_value[4] = min;
21: delay_ms(200);
22:
23: while(stoper)
24: {
25:     if(S1 == 0)
26:     {
27:
28:         if(display_v == 0)
29:         {
30:             dd++;
31:             if(dd > 31)
32:                 dd = 1;
33:             data_value[0] = dd;
34:         }
35:         if(display_v == 1)
36:         {
37:             mm++;
38:             if(mm > 12)
39:                 mm = 1;
40:             data_value[1] = mm;
41:         }
42:         if(display_v == 2)
43:         {
44:             yy++;
45:             if(yy > 99)
46:                 yy = 0;
47:             data_value[2] = yy;
48:         }
49:         if(display_v == 3)
50:         {
51:             hour++;
52:             if(hour > 23)
53:                 hour = 0;
54:             data_value[3] = hour;
55:         }
56:         if(display_v == 4)
57:         {
58:             min++;
59:             if(min > 59)
60:                 min = 0;
61:             data_value[4] = min;
62:         }
63:     }
64:     if(S2 == 0)
65:     {
66:
67:         if(display_v == 0)
68:         {
69:             dd--;
70:             if(dd < 1)
71:                 dd = 31;
72:             data_value[0] = dd;
73:         }
74:         if(display_v == 1)
75:         {
76:             mm--;
77:             if(mm < 1)
78:                 mm = 12;
79:             data_value[1] = mm;
80:         }
81:         if(display_v == 2)
82:         {
83:             yy--;
84:             if(yy > 250)
85:                 yy = 99;
86:             data_value[2] = yy;
87:         }
88:         if(display_v == 3)
89:         {
90:             hour--;
91:             if(hour > 250)
92:                 hour = 23;
93:             data_value[3] = hour;
94:         }
95:         if(display_v == 4)
96:         {
97:             min--;
98:             if(min > 250)
99:                 min = 59;
100:             data_value[4] = min;
101:         }
102:     }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2 รับการจ้างงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

3:      }
4:      if(S3 == 0)
5:      {
6:          display_v++;
7:          if(display_v > 4)
8:              display_v = 0;
9:          delay_ms(100);
10:     }
11:     if(S4 == 0)
12:         stoper = 0;
13:
14:         sprintf(lcd_buffer, "                ");
15:         lcd_gotoxy(0,1);
16:         lcd_puts(lcd_buffer);
17:         sprintf(lcd_buffer, " %p = %02d ", DISPLAY_VALUE[display_v], data_value[display_v]);
18:         lcd_gotoxy(0,1);
19:         lcd_puts(lcd_buffer);
20:         delay_ms(100);
21:     }
22:     set_day(dday);
23:     rtc_set_date(dd,mm,yy);
24:     rtc_set_time(hour,min,0);
25:     #asm("sei")
26: }
27: delay_ms(100);
28: if(S3 == 0)
29: { // unsigned char dd2,mm2,yy2;
30:   //dd2 = eeprom_read(3100);
31:   //mm2 = eeprom_read(3101);
32:   //yy2 = eeprom_read(3102);
33:   //for(a=1;a<=count_data;a=a+1)
34:   //{
35:   //delay_ms(200);
36:   //res1 = eeprom_read(get_data);
37:   //res2 = eeprom_read(get_data+1);
38:   //res3 = eeprom_read(get_data+2);
39:   //res4 = eeprom_read(get_data+3);
40:   //printf("%02d:%02d:%02d  %c%c%c Wh/m2 \r", dd2,mm2,yy2, res1, res2, res3, res4);
41:   //dd2 = dd2 + 1;
42:   //get_data = get_data+3;
43:   read_eeprom();
44:   //}
45: }
46: delay_ms(100);
47: }
48: }
49:
50: // RUNNING MODE
51: RUNNING_MODE()
52: {
53:     int address;
54:     unsigned char h1,m1,s1,dd2,mm2,yy2,check_ss,check_mm1;
55:     // RUNNING MODE 1 (TIME)
56:     //address = 1;
57:     rtc_get_time(&h1,&m1,&s1);
58:     if(h1 == hour_on)
59:     {
60:         if(m1 == min_on)
61:         {
62:
63:             eeprom_write(c,read_adc(0));
64:             sprintf(lcd_buffer,"Data = %04d",read_adc(0));
65:             lcd_gotoxy(0,1);
66:             lcd_puts(lcd_buffer);
67:             //sprintf(lcd_buffer, "                ");
68:             //lcd_gotoxy(0,1);
69:             //lcd_puts(lcd_buffer);
70:             //eeprom_write(address,read_solar());
71:             //data2 = eeprom_read(address);
72:             //data2 = read_solar();
73:             //data3 = (data2/60);
74:             //sprintf(lcd_buffer,"INSO= %0.0f Wh/m2 \r",data3);
75:             //lcd_gotoxy(0,1);
76:             //lcd_puts(lcd_buffer);
77:             //printf(" %0.0f %0.0f %d \r",read_solar(),data2,read_adc(0));
78:             a = 1;
79:             while(a)
80:             {
81:                 c = c +1;
82:             }
83:             delay_ms(60000);
84:             eeprom_write(c,read_adc(0));
85:             sprintf(lcd_buffer,"Data = %04d",read_adc(0));
86:             lcd_gotoxy(0,1);
87:             lcd_puts(lcd_buffer);
88:             //eeprom_write(get_data,0);
89:             //eeprom_write(get_data+1,0);

```

ไม่ว่าการมีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

39:         //eeprom_write(get_data+2,0);
40:         //eeprom_write(get_data+3,0);
41:         //address++;
42:         //delay_ms(60000);
43:         //eeprom_write(address,read_solar());
44:         //data1=eeprom_read(address);
45:         //data1 = read_solar();
46:         //data3 = data3+(data1/60);
47:         //data3 = (data2/60);
48:         //eeprom_write(get_data,data3);
49:         //sprintf(lcd_buffer,"INSO= %.0f Wh/m2 \r",data3);
50:         //lcd_gotoxy(0,1);
51:         //lcd_puts(lcd_buffer);
52:         // eeprom_write(get_data,lcd_buffer[6]);
53:         //eeprom_write(get_data+1,lcd_buffer[7]);
54:         //eeprom_write(get_data+2,lcd_buffer[8]);
55:         //eeprom_write(get_data+3,lcd_buffer[9]);
56:         //printf("%.0f %.0f %.0f %d \r",a,data1,data3,read_adc(0));
57:
58:
59:         rtc_get_time(&h1,&m1,&s1);
60:         if(h1 == hour_off)
61:         {
62:             if(m1 == min_off)
63:             {
64:                 a = 0;
65:                 count_data++;
66:
67:                 //eeprom_write(3000,count_data);
68:                 //rtc_get_date(&dd2,&mm2,&yy2);
69:                 //eeprom_write(3100,dd2);
70:                 //eeprom_write(3101,mm2);
71:                 //eeprom_write(3102,yy2);
72:             }
73:         }
74:     }
75: }
76:
77: // External Interrupt 0 service routine
78: #interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void)
79: {
80:     // Place your code here
81:     show_display();
82:     LED = 0;
83:     tick++;
84:     if(tick>59)
85:     {
86:         tick = 0;
87:         number = 1;
88:     }
89: }
90:
91: void main(void)
92: {
93:     // Declare your local variables here
94:
95:     // Input/Output Ports initialization
96:     // Port A initialization
97:     // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
98:     // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
99:     PORTA=0x00;
100:    DDRA=0x00;
101:
102:    // Port B initialization
103:    // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
104:    // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
105:    PORTB=0x00;
106:    DDRB=0x00;
107:
108:    // Port C initialization
109:    // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
110:    // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
111:    PORTC=0x00;
112:    DDRC=0x00;
113:
114:    // Port D initialization
115:    // Func7=Out Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
116:    // State7=1 State6=P State5=P State4=P State3=P State2=T State1=T State0=T
117:    PORTD=0xF8;

```

ไม่ว่ากรณใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

'5: DDRD=0x80;
'6:
'7:
'8: // Timer/Counter 0 initialization
'9: // Clock source: System Clock
30: // Clock value: Timer 0 Stopped
31: // Mode: Normal top=FFh
32: // OC0 output: Disconnected
33: TCCR0=0x00;
34: TCNT0=0x00;
35: OCR0=0x00;
36:
37: // Timer/Counter 1 initialization
38: // Clock source: System Clock
39: // Clock value: Timer 1 Stopped
40: // Mode: Normal top=FFFFh
41: // OC1A output: Discon.
42: // OC1B output: Discon.
43: // Noise Canceler: Off
44: // Input Capture on Falling Edge
45: // Timer 1 Overflow Interrupt: Off
46: // Input Capture Interrupt: Off
47: // Compare A Match Interrupt: Off
48: // Compare B Match Interrupt: Off
49: TCCR1A=0x00;
50: TCCR1B=0x00;
51: TCNT1H=0x00;
52: TCNT1L=0x00;
53: ICR1H=0x00;
54: ICR1L=0x00;
55: OCR1AH=0x00;
56: OCR1AL=0x00;
57: OCR1BH=0x00;
58: OCR1BL=0x00;
59:
60: // Timer/Counter 2 initialization
61: // Clock source: System Clock
62: // Clock value: Timer 2 Stopped
63: // Mode: Normal top=FFh
64: // OC2 output: Disconnected
65: ASSR=0x00;
66: TCCR2=0x00;
67: TCNT2=0x00;
68: OCR2=0x00;
69:
70: // External Interrupt(s) initialization
71: // INT0: On
72: // INT0 Mode: Falling Edge
73: // INT1: Off
74: // INT2: Off
75: GICR|=0x40;
76: MCUCR=0x02;
77: MCUCSR=0x00;
78: GIFR=0x40;
79:
80: // Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
81: TIMSK=0x00;
82:
83: // USART initialization
84: // Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
85: // USART Receiver: On
86: // USART Transmitter: On
87: // USART Mode: Asynchronous
88: // USART Baud rate: 9600
89: UCSRA=0x00;
90: UCSRB=0x08;
91: UCSRC=0x86;
92: UBRRH=0x00;
93: UBRRL=0x19;
94:
95: // Analog Comparator initialization
96: // Analog Comparator: Off
97: // Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
98: ACSR=0x80;
99: SFIOR=0x00;
100:
101: // ADC initialization
102: // ADC Clock frequency: 125.000 kHz
103: // ADC Voltage Reference: AREF pin
104: // ADC Auto Trigger Source: None
105: ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
106: ADCSRA=0x85;
107:
108: // I2C Bus initialization
109: i2c_init();
110:

```

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

i1: // DS1307 Real Time Clock initialization
i2: // Square wave output on pin SQW/OUT: On
i3: // Square wave frequency: 1Hz
i4: rtc_init(0,1,0);
i5:
i6: // LCD module initialization
i7: lcd_init(16);
i8: //rtc_set_time(10,12,50);
i9:
i10: // Global enable interrupts
i11: hu_on = 0;
i12: hu_off = 0;
i13: hour_on = 0;
i14: min_on = 0;
i15: hour_off = 0;
i16: min_off = 0;
i17: load_data();
i18: sprintf(lcd_buffer, " ");
i19: lcd_gotoxy(0,0);
i20: lcd_puts(lcd_buffer);
i21: sprintf(lcd_buffer, " SOLAR ");
i22: lcd_gotoxy(0,0);
i23: lcd_puts(lcd_buffer);
i24: sprintf(lcd_buffer, " ");
i25: lcd_gotoxy(0,1);
i26: lcd_puts(lcd_buffer);
i27: sprintf(lcd_buffer, " INTERGRATOR ");
i28: lcd_gotoxy(0,1);
i29: lcd_puts(lcd_buffer);
i30: delay_ms(2000);
i31: sprintf(lcd_buffer, " ");
i32: lcd_gotoxy(0,1);
i33: lcd_puts(lcd_buffer);
i34: #asm("sei")
i35:
i36:
i37:
i38: while (1)
i39: {
i40: // Place your code here
i41: delay_ms(200);
i42: LED = 1;
i43: SWITCH_EXE();
i44: RUNNING_MODE();
i45: save_data();
i46: //S1_exe();
i47: //S2_exe();
i48: };
i49: }
i50:

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Features

### High-performance, Low-power AVR<sup>®</sup> 8-bit Microcontroller

#### Advanced RISC Architecture

- 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
- 32 x 8 General Purpose Working Registers
- Fully Static Operation
- Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
- On-chip 2-cycle Multiplier

#### Nonvolatile Program and Data Memories

- 16K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
  - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
- Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
  - In-System Programming by On-chip Boot Program
  - True Read-While-Write Operation
- 512 Bytes EEPROM
  - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
- 1K Byte Internal SRAM

#### Programming Lock for Software Security

#### JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface

- Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
- Extensive On-chip Debug Support
- Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface

#### Peripheral Features

- Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
- One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
- Real Time Counter with Separate Oscillator
- Four PWM Channels
- 8-channel, 10-bit ADC
  - 8 Single-ended Channels
  - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
  - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
- Byte-oriented Two-wire Serial Interface
- Programmable Serial USART
- Master/Slave SPI Serial Interface
- Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
- On-chip Analog Comparator

#### Special Microcontroller Features

- Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
- Internal Calibrated RC Oscillator
- External and Internal Interrupt Sources
- Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby

#### I/O and Packages

- 32 Programmable I/O Lines
- 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad MLF

#### Operating Voltages

- 2.7 - 5.5V for ATmega16L
- 4.5 - 5.5V for ATmega16

#### Speed Grades

- 0 - 8 MHz for ATmega16L
- 0 - 16 MHz for ATmega16

#### Power Consumption @ 1 MHz, 3V, and 25°C for ATmega16L

- Active: 1.1 mA
- Idle Mode: 0.35 mA
- Power-down Mode: < 1 µA



## 8-bit AVR<sup>®</sup> Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash

ATmega16  
ATmega16L

Preliminary  
Summary

Rev. 2466FS-AVR-02/03



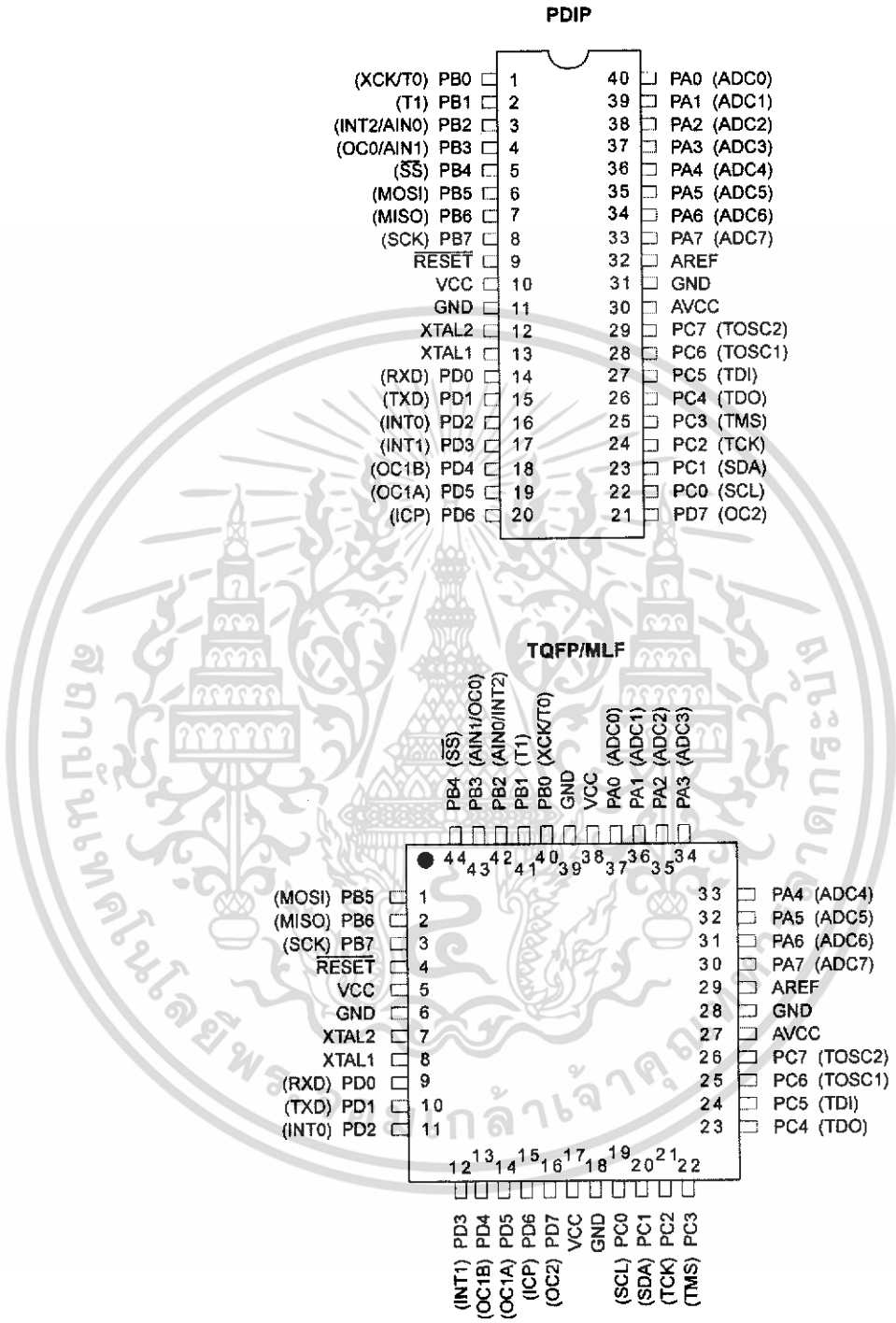
Note: This is a summary document. A complete document is available on our website at [www.atmel.com](http://www.atmel.com).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## In Configurations

Figure 1. Pinouts ATmega16



## Disclaimer

Typical values contained in this data sheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

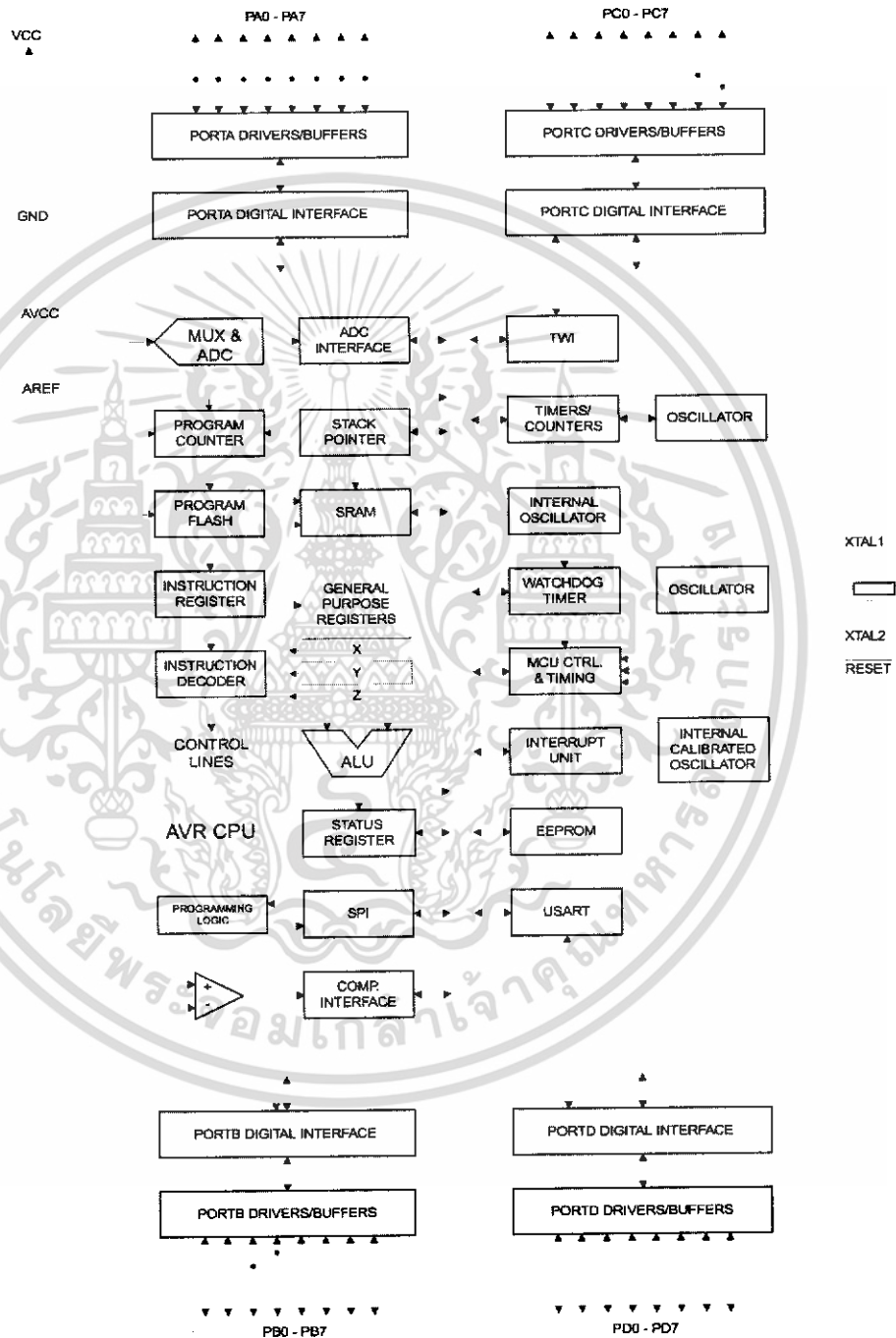
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Overview

The ATmega16 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega16 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

## Block Diagram

Figure 2. Block Diagram





The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega16 provides the following features: 16K bytes of In-System Programmable Flash Program memory with Read-While-Write capabilities, 512 bytes EEPROM, 1K byte SRAM, 32 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, a JTAG interface for Boundary-scan, On-chip Debugging support and programming, three flexible Timer/Counters with compare modes, Internal and External Interrupts, a serial programmable USART, a byte oriented Two-wire Serial Interface, an 8-channel, 10-bit ADC with optional differential input stage with programmable gain (TQFP package only), a programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, and six software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the USART, Two-wire interface, A/D Converter, SRAM, Timer/Counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next External Interrupt or Hardware Reset. In Power-save mode, the Asynchronous Timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except Asynchronous Timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low-power consumption. In Extended Standby mode, both the main Oscillator and the Asynchronous Timer continue to run.

The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface, by a conventional nonvolatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega16 is a powerful microcontroller that provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The ATmega16 AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, In-Circuit Emulators, and evaluation kits.

## Pin Descriptions

V <sub>CC</sub>	Digital supply voltage.
GND	Ground.
Port A (PA7..PA0)	Port A serves as the analog inputs to the A/D Converter.  Port A also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter is not used. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. When pins PA0 to PA7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

## ATmega16(L)

2466FS-AVR-02/03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Port B (PB7..PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega16 as listed on page 56.

## Port C (PC7..PC0)

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. If the JTAG interface is enabled, the pull-up resistors on pins PC5(TDI), PC3(TMS) and PC2(TCK) will be activated even if a reset occurs.

Port C also serves the functions of the JTAG interface and other special features of the ATmega16 as listed on page 59.

## Port D (PD7..PD0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega16 as listed on page 61.

## $\overline{\text{RESET}}$

Reset Input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 15 on page 36. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

## TAL1

Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

## TAL2

Output from the inverting Oscillator amplifier.

## AVCC

AVCC is the supply voltage pin for Port A and the A/D Converter. It should be externally connected to  $V_{CC}$ , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to  $V_{CC}$  through a low-pass filter.

## AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

## About Code Examples

This documentation contains simple code examples that briefly show how to use various parts of the device. These code examples assume that the part specific header file is included before compilation. Be aware that not all C Compiler vendors include bit definitions in the header files and interrupt handling in C is compiler dependent. Please confirm with the C Compiler documentation for more details.



## Register Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page	
\$3F (\$5F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	7	
\$3E (\$5E)	SPH	-	-	-	-	-	SP10	SP9	SP8	10	
\$3D (\$5D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	10	
\$3C (\$5C)	OCR0	Timer/Counter0 Output Compare Register								82	
\$3B (\$5B)	GICR	INT1	INT0	INT2	-	-	-	IVSEL	IVCE	46, 66	
\$3A (\$5A)	GIFR	INTF1	INTF0	INTF2	-	-	-	-	-	67	
\$39 (\$59)	TIMSK	OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0	82, 113, 131	
\$38 (\$58)	TIFR	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	OCF0	TOV0	83, 114, 132	
\$37 (\$57)	SPMCR	SPMIE	RWWSB	-	RWWSRE	BLBSET	PGWRT	PGERS	SPMEN	250	
\$36 (\$56)	TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE	179	
\$35 (\$55)	MCUCR	SM2	SE	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	30, 65	
\$34 (\$54)	MCUCSR	JTD	ISC2	-	JTRF	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	39, 66, 230	
\$33 (\$53)	TCCR0	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00	80	
\$32 (\$52)	TCNT0	Timer/Counter0 (8 Bits)								82	
\$31 <sup>(1)</sup> (\$51 <sup>(1)</sup> )	OSCCAL	Oscillator Calibration Register								28	
	OCDR	On-Chip Debug Register								226	
	SFIOR	ADTS2	ADTS1	ADTS0	-	ACME	PUD	PSR2	PSR10	55, 85, 133, 200, 220	
\$2F (\$4F)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10	108	
\$2E (\$4E)	TCCR1B	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	111	
\$2D (\$4D)	TCNT1H	Timer/Counter1 – Counter Register High Byte								112	
\$2C (\$4C)	TCNT1L	Timer/Counter1 – Counter Register Low Byte								112	
\$2B (\$4B)	OCR1AH	Timer/Counter1 – Output Compare Register A High Byte								112	
\$2A (\$4A)	OCR1AL	Timer/Counter1 – Output Compare Register A Low Byte								112	
\$29 (\$49)	OCR1BH	Timer/Counter1 – Output Compare Register B High Byte								112	
\$28 (\$48)	OCR1BL	Timer/Counter1 – Output Compare Register B Low Byte								112	
\$27 (\$47)	ICR1H	Timer/Counter1 – Input Capture Register High Byte								113	
\$26 (\$46)	ICR1L	Timer/Counter1 – Input Capture Register Low Byte								113	
\$25 (\$45)	TCCR2	FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20	126	
\$24 (\$44)	TCNT2	Timer/Counter2 (8 Bits)								128	
\$23 (\$43)	OCR2	Timer/Counter2 Output Compare Register								128	
\$22 (\$42)	ASSR	-	-	-	-	AS2	TCN2UB	OCR2UB	TCR2UB	129	
\$21 (\$41)	WDTCR	-	-	-	WDTOE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	41	
\$20 <sup>(2)</sup> (\$40 <sup>(2)</sup> )	UBRRH	URSEL	-	-	-	-	UBRR[11:8]				166
	UCSRC	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	164	
\$1F (\$3F)	EEARH	-	-	-	-	-	-	-	EEAR8	17	
\$1E (\$3E)	EEARL	EEPROM Address Register Low Byte								17	
\$1D (\$3D)	EEDR	EEPROM Data Register								17	
\$1C (\$3C)	EEDR	-	-	-	-	EERIE	EEMWE	EWE	EERE	17	
\$1B (\$3B)	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	63	
\$1A (\$3A)	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	63	
\$19 (\$39)	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	63	
\$18 (\$38)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	63	
\$17 (\$37)	DDRB	ddb7	ddb6	ddb5	ddb4	ddb3	ddb2	ddb1	ddb0	63	
\$16 (\$36)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	64	
\$15 (\$35)	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	64	
\$14 (\$34)	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	64	
\$13 (\$33)	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	64	
\$12 (\$32)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	64	
\$11 (\$31)	DDRD	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	64	
\$10 (\$30)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	64	
\$0F (\$2F)	SPDR	SPI Data Register								140	
\$0E (\$2E)	SPSR	SPIF	WCOL	-	-	-	-	-	SPI2X	140	
\$0D (\$2D)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	138	
\$0C (\$2C)	UDR	USART I/O Data Register								161	
\$0B (\$2B)	UCSRA	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM	162	
\$0A (\$2A)	UCSRB	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	163	
\$09 (\$29)	UBRRL	USART Baud Rate Register Low Byte								166	
\$08 (\$28)	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACK	ACIS1	ACIS0	200	
\$07 (\$27)	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	216	
\$06 (\$26)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	218	
\$05 (\$25)	ADCH	ADC Data Register High Byte								219	
\$04 (\$24)	ADCL	ADC Data Register Low Byte								219	
\$03 (\$23)	TWDR	Two-wire Serial Interface Data Register								181	
\$02 (\$22)	TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE	181	

## 3 ATmega16(L)

2466FS-AVR-02/03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page	
\$01 (\$21)	TWSR	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	-	TWPS1	TWPS0	180	
\$00 (\$20)	TWBR	Two-wire Serial Interface Bit Rate Register									179

- Notes:
1. When the OCDEN Fuse is unprogrammed, the OSCCAL Register is always accessed on this address. Refer to the debugger specific documentation for details on how to use the OCSR Register.
  2. Refer to the USART description for details on how to access UBRRH and UCSRC.
  3. For compatibility with future devices, reserved bits should be written to zero if accessed. Reserved I/O memory addresses should never be written.
  4. Some of the status flags are cleared by writing a logical one to them. Note that the CBI and SBI instructions will operate on all bits in the I/O register, writing a one back into any flag read as set, thus clearing the flag. The CBI and SBI instructions work with registers \$00 to \$1F only.





## Instruction Set Summary

Inemconics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
<b>ARITHMETIC AND LOGIC INSTRUCTIONS</b>					
AD	Rd, Rr	Add two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr$	Z,C,N,V,H	1
DC	Rd, Rr	Add with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr + C$	Z,C,N,V,H	1
DIW	Rdl,K	Add Immediate to Word	$Rdh:Rdl \leftarrow Rdh:Rdl + K$	Z,C,N,V,S	2
UB	Rd, Rr	Subtract two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr$	Z,C,N,V,H	1
UBI	Rd, K	Subtract Constant from Register	$Rd \leftarrow Rd - K$	Z,C,N,V,H	1
BC	Rd, Rr	Subtract with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr - C$	Z,C,N,V,H	1
BCI	Rd, K	Subtract with Carry Constant from Reg.	$Rd \leftarrow Rd - K - C$	Z,C,N,V,H	1
BIW	Rdl,K	Subtract Immediate from Word	$Rdh:Rdl \leftarrow Rdh:Rdl - K$	Z,C,N,V,S	2
ND	Rd, Rr	Logical AND Registers	$Rd \leftarrow Rd \& Rr$	Z,N,V	1
NDI	Rd, K	Logical AND Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \& K$	Z,N,V	1
OR	Rd, Rr	Logical OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \vee Rr$	Z,N,V	1
IRI	Rd, K	Logical OR Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z,N,V	1
OR	Rd, Rr	Exclusive OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rr$	Z,N,V	1
COM	Rd	One's Complement	$Rd \leftarrow \$FF - Rd$	Z,C,N,V	1
NEG	Rd	Two's Complement	$Rd \leftarrow \$00 - Rd$	Z,C,N,V,H	1
BR	Rd,K	Set Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z,N,V	1
BR	Rd,K	Clear Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \& (\$FF - K)$	Z,N,V	1
INC	Rd	Increment	$Rd \leftarrow Rd + 1$	Z,N,V	1
DEC	Rd	Decrement	$Rd \leftarrow Rd - 1$	Z,N,V	1
ZST	Rd	Test for Zero or Minus	$Rd \leftarrow Rd \& Rd$	Z,N,V	1
CLR	Rd	Clear Register	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rd$	Z,N,V	1
SEI	Rd	Set Register	$Rd \leftarrow \$FF$	None	1
MUL	Rd, Rr	Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
MULS	Rd, Rr	Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
MULSU	Rd, Rr	Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
FMUL	Rd, Rr	Fractional Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
FMULS	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
FMULSU	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
<b>BRANCH INSTRUCTIONS</b>					
JMP	k	Relative Jump	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	2
JMP		Indirect Jump to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	2
JMP	k	Direct Jump	$PC \leftarrow k$	None	3
RCALL	k	Relative Subroutine Call	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	3
CALL		Indirect Call to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	3
CALL	k	Direct Subroutine Call	$PC \leftarrow k$	None	4
RET		Subroutine Return	$PC \leftarrow STACK$	None	4
RETI		Interrupt Return	$PC \leftarrow STACK$	I	4
CPSE	Rd,Rr	Compare, Skip if Equal	if $(Rd = Rr)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
CP	Rd,Rr	Compare	$Rd - Rr$	Z, N,V,C,H	1
CPC	Rd,Rr	Compare with Carry	$Rd - Rr - C$	Z, N,V,C,H	1
CPI	Rd,K	Compare Register with Immediate	$Rd - K$	Z, N,V,C,H	1
SBRC	Rr, b	Skip if Bit in Register Cleared	if $(Rr(b)=0)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
SBRS	Rr, b	Skip if Bit in Register is Set	if $(Rr(b)=1)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
SBIC	P, b	Skip if Bit in I/O Register Cleared	if $(P(b)=0)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
SBIS	P, b	Skip if Bit in I/O Register is Set	if $(P(b)=1)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
BRBS	s, k	Branch if Status Flag Set	if $(SREG(s) = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRBC	s, k	Branch if Status Flag Cleared	if $(SREG(s) = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BREQ	k	Branch if Equal	if $(Z = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRNE	k	Branch if Not Equal	if $(Z = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRCS	k	Branch if Carry Set	if $(C = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRCC	k	Branch if Carry Cleared	if $(C = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRSH	k	Branch if Same or Higher	if $(C = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRLO	k	Branch if Lower	if $(C = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRMI	k	Branch if Minus	if $(N = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRPL	k	Branch if Plus	if $(N = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRGE	k	Branch if Greater or Equal, Signed	if $(N \oplus V = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRLT	k	Branch if Less Than Zero, Signed	if $(N \oplus V = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRHS	k	Branch if Half Carry Flag Set	if $(H = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRHC	k	Branch if Half Carry Flag Cleared	if $(H = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRTS	k	Branch if T Flag Set	if $(T = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRTC	k	Branch if T Flag Cleared	if $(T = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRVS	k	Branch if Overflow Flag is Set	if $(V = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRVC	k	Branch if Overflow Flag is Cleared	if $(V = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
BRIE	k	Branch if Interrupt Enabled	if (I = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1/2
BRID	k	Branch if Interrupt Disabled	if (I = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1/2
<b>DATA TRANSFER INSTRUCTIONS</b>					
MOV	Rd, Rr	Move Between Registers	Rd ← Rr	None	1
MOVW	Rd, Rr	Copy Register Word	Rd+1:Rd ← Rr+1:Rr	None	1
LDI	Rd, K	Load Immediate	Rd ← K	None	1
LDD	Rd, X	Load Indirect	Rd ← (X)	None	2
LDD	Rd, X+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (X), X ← X + 1	None	2
LDD	Rd, -X	Load Indirect and Pre-Dec.	X ← X - 1, Rd ← (X)	None	2
LDD	Rd, Y	Load Indirect	Rd ← (Y)	None	2
LDD	Rd, Y+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (Y), Y ← Y + 1	None	2
LDD	Rd, -Y	Load Indirect and Pre-Dec.	Y ← Y - 1, Rd ← (Y)	None	2
LDD	Rd, Y+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Y + q)	None	2
LDD	Rd, Z	Load Indirect	Rd ← (Z)	None	2
LDD	Rd, Z+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (Z), Z ← Z + 1	None	2
LDD	Rd, -Z	Load Indirect and Pre-Dec.	Z ← Z - 1, Rd ← (Z)	None	2
LDD	Rd, Z+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Z + q)	None	2
LDS	Rd, k	Load Direct from SRAM	Rd ← (k)	None	2
ST	X, Rr	Store Indirect	(X) ← Rr	None	2
ST	X+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(X) ← Rr, X ← X + 1	None	2
ST	-X, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	X ← X - 1, (X) ← Rr	None	2
ST	Y, Rr	Store Indirect	(Y) ← Rr	None	2
ST	Y+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(Y) ← Rr, Y ← Y + 1	None	2
ST	-Y, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	Y ← Y - 1, (Y) ← Rr	None	2
STD	Y+q, Rr	Store Indirect with Displacement	(Y + q) ← Rr	None	2
ST	Z, Rr	Store Indirect	(Z) ← Rr	None	2
ST	Z+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(Z) ← Rr, Z ← Z + 1	None	2
ST	-Z, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	Z ← Z - 1, (Z) ← Rr	None	2
STD	Z+q, Rr	Store Indirect with Displacement	(Z + q) ← Rr	None	2
STS	k, Rr	Store Direct to SRAM	(k) ← Rr	None	2
LPM		Load Program Memory	R0 ← (Z)	None	3
LPM	Rd, Z	Load Program Memory	Rd ← (Z)	None	3
LPM	Rd, Z+	Load Program Memory and Post-Inc.	Rd ← (Z), Z ← Z + 1	None	3
SPM		Store Program Memory	(Z) ← R1:R0	None	-
IN	Rd, P	In Port	Rd ← P	None	1
OUT	P, Rr	Out Port	P ← Rr	None	1
PUSH	Rr	Push Register on Stack	STACK ← Rr	None	2
POP	Rd	Pop Register from Stack	Rd ← STACK	None	2
<b>BIT AND BIT-TEST INSTRUCTIONS</b>					
SBI	P, b	Set Bit in I/O Register	I/O(P, b) ← 1	None	2
CBI	P, b	Clear Bit in I/O Register	I/O(P, b) ← 0	None	2
LSL	Rd	Logical Shift Left	Rd(n+1) ← Rd(n), Rd(0) ← 0	Z, C, N, V	1
LSR	Rd	Logical Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), Rd(7) ← 0	Z, C, N, V	1
ROL	Rd	Rotate Left Through Carry	Rd(0) ← C, Rd(n+1) ← Rd(n), C ← Rd(7)	Z, C, N, V	1
ROR	Rd	Rotate Right Through Carry	Rd(7) ← C, Rd(n) ← Rd(n+1), C ← Rd(0)	Z, C, N, V	1
ASR	Rd	Arithmetic Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), n=0..6	Z, C, N, V	1
SWAP	Rd	Swap Nibbles	Rd(3..0) ← Rd(7..4), Rd(7..4) ← Rd(3..0)	None	1
BSET	s	Flag Set	SREG(s) ← 1	SREG(s)	1
BCLR	s	Flag Clear	SREG(s) ← 0	SREG(s)	1
BST	Rr, b	Bit Store from Register to T	T ← Rr(b)	T	1
BLD	Rd, b	Bit load from T to Register	Rd(b) ← T	None	1
SEC		Set Carry	C ← 1	C	1
CLC		Clear Carry	C ← 0	C	1
SEN		Set Negative Flag	N ← 1	N	1
CLN		Clear Negative Flag	N ← 0	N	1
SEZ		Set Zero Flag	Z ← 1	Z	1
CLZ		Clear Zero Flag	Z ← 0	Z	1
SEI		Global Interrupt Enable	I ← 1	I	1
CLI		Global Interrupt Disable	I ← 0	I	1
SES		Set Signed Test Flag	S ← 1	S	1
CLS		Clear Signed Test Flag	S ← 0	S	1
SEV		Set Twos Complement Overflow	V ← 1	V	1
CLV		Clear Twos Complement Overflow	V ← 0	V	1
SET		Set T in SREG	T ← 1	T	1
CLT		Clear T in SREG	T ← 0	T	1
SEH		Set Half Carry Flag in SREG	H ← 1	H	1





Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
CLH		Clear Half Carry Flag in SREG	$H \leftarrow 0$	H	1
MCU CONTROL INSTRUCTIONS					
NOP		No Operation		None	1
SLEEP		Sleep	(see specific descr. for Sleep function)	None	1
WDR		Watchdog Reset	(see specific descr. for WDR/timer)	None	1
BREAK		Break	For On-Chip Debug Only	None	N/A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
8	2.7 - 5.5V	ATmega16L-8AC ATmega16L-8PC ATmega16L-8MC	44A 40P6 44M1	Commercial (0°C to 70°C)
		ATmega16L-8AI ATmega16L-8PI ATmega16L-8MI	44A 40P6 44M1	Industrial (-40°C to 85°C)
16	4.5 - 5.5V	ATmega16-16AC ATmega16-16PC ATmega16-16MI	44A 40P6 44M1	Commercial (0°C to 70°C)
		ATmega16-16AI ATmega16-16PI ATmega16-16MC	44A 40P6 44M1	Industrial (-40°C to 85°C)



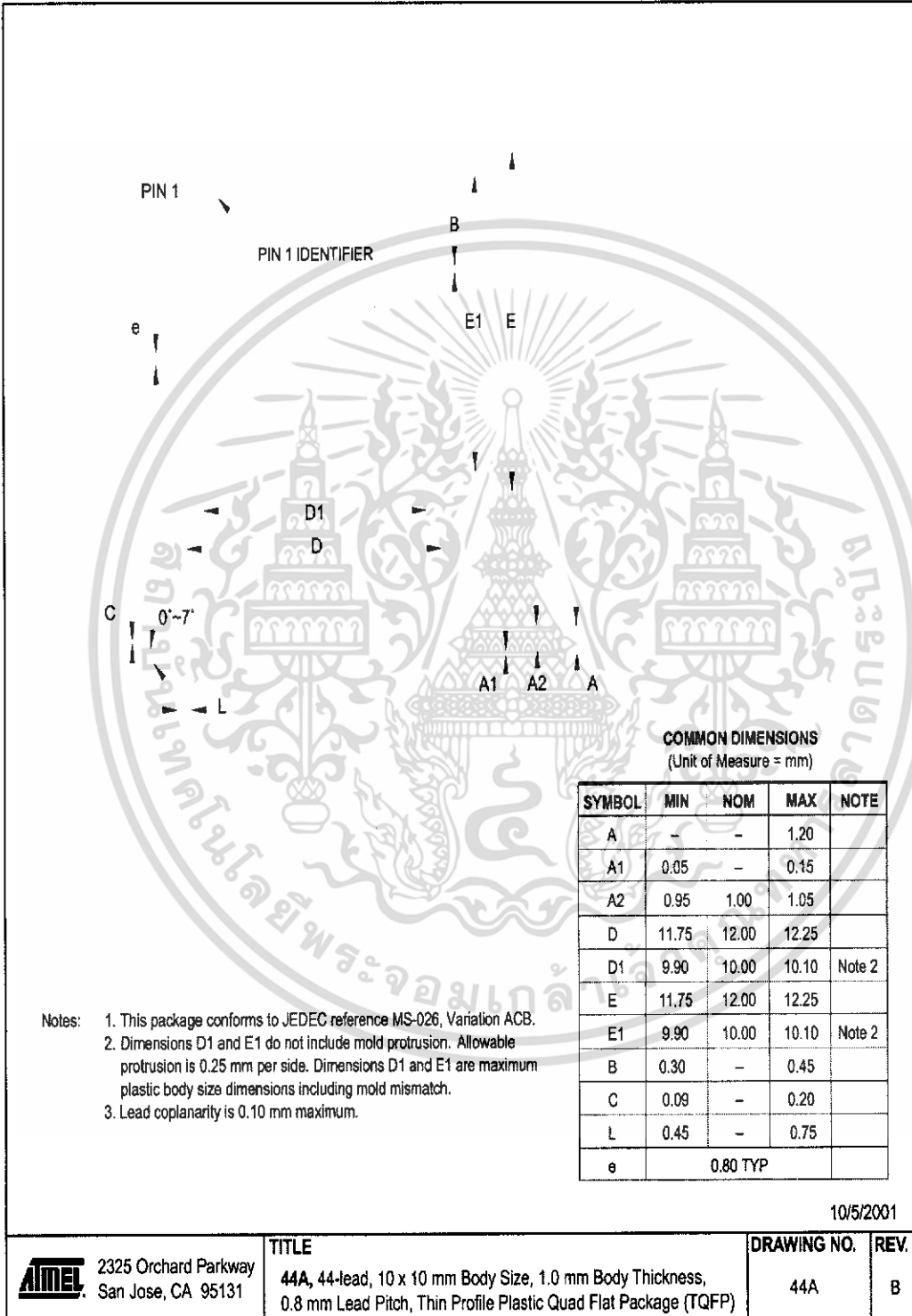
### Package Type

<b>44A</b>	44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
<b>40P6</b>	40-pin, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
<b>44M1</b>	44-pad, 7 x 7 x 1.0 mm body, lead pitch 0.50 mm, Micro Lead Frame Package (MLF)

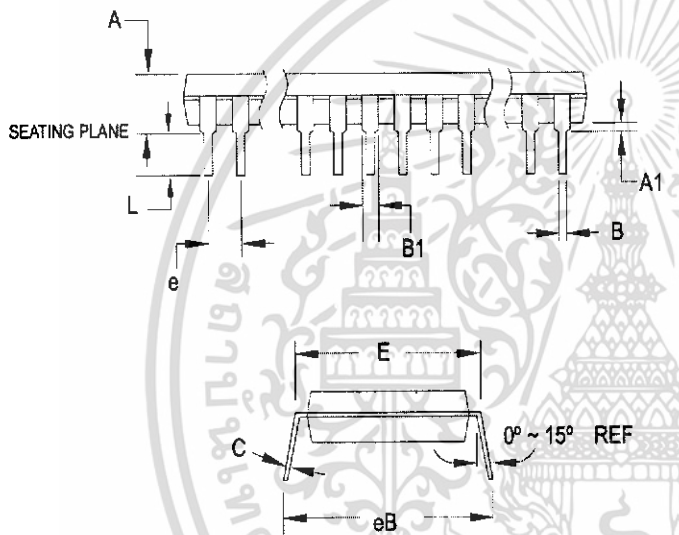
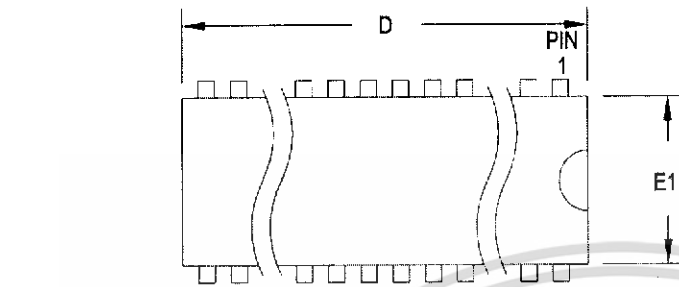


## Packaging Information

4A



0P6



**COMMON DIMENSIONS**  
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	-	-	4.826	
A1	0.381	-	-	
D	52.070	-	52.578	Note 2
E	15.240	-	15.875	
E1	13.462	-	13.970	Note 2
B	0.356	-	0.559	
B1	1.041	-	1.651	
L	3.048	-	3.556	
C	0.203	-	0.381	
eB	15.494	-	17.526	
e	2.540 TYP			

- Notes:
1. This package conforms to JEDEC reference MS-011, Variation AC.
  2. Dimensions D and E1 do not include mold Flash or Protrusion.  
Mold Flash or Protrusion shall not exceed 0.25 mm (0.010").

09/28/01

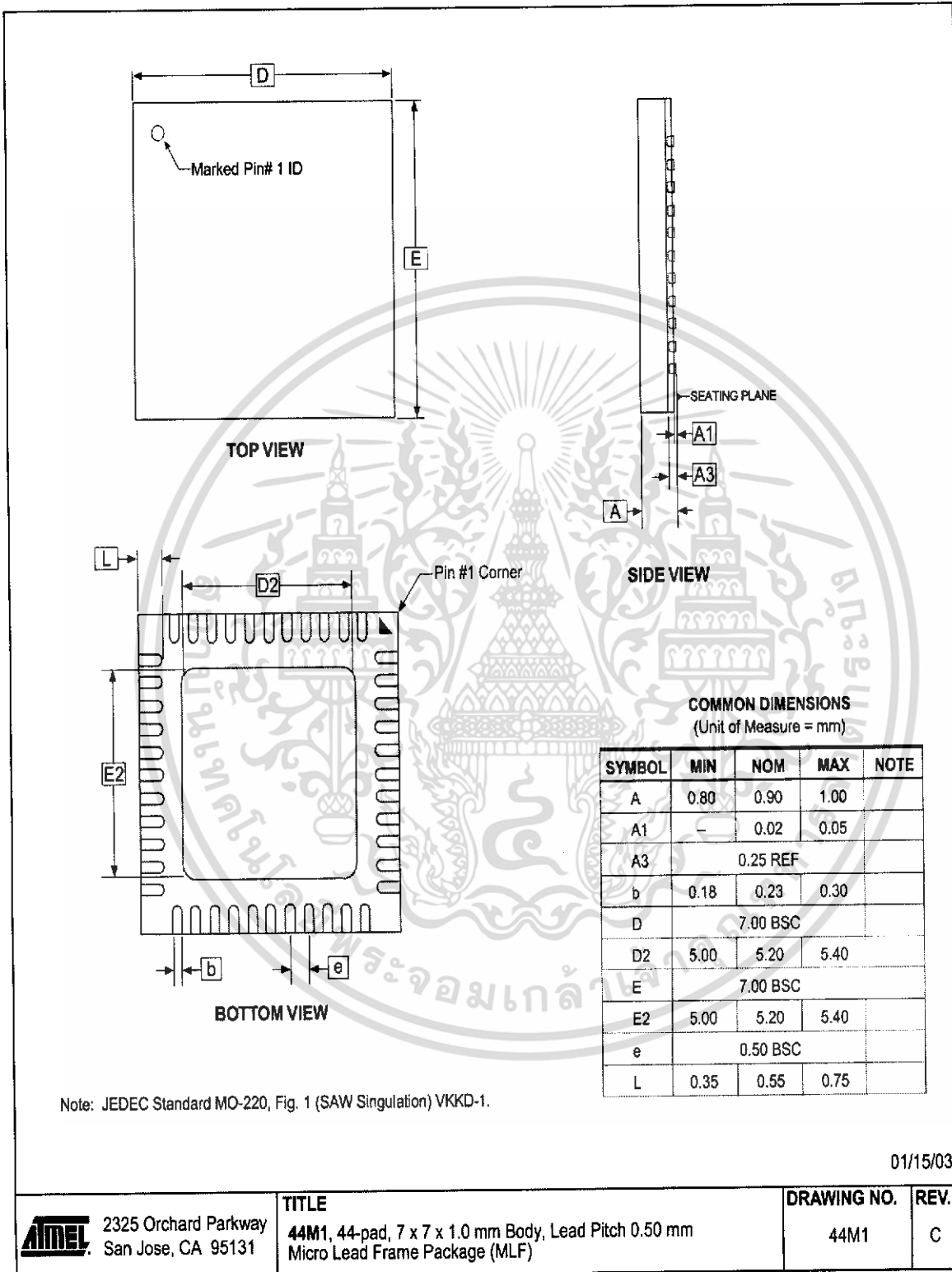
**ATMEL** 2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131

**TITLE**  
**40P6, 40-lead (0.600"/15.24 mm Wide) Plastic Dual  
Inline Package (PDIP)**

**DRAWING NO.**  
40P6

**REV.**  
B





## Erratas

The revision letter in this section refers to the revision of the ATmega16 device.

### ATmega16(L) Rev. G.

There are no errata for this revision of ATmega16.

### ATmega16(L) Rev. H.

There are no errata for this revision of ATmega16.



## Changes from Rev. 466C-03/02 to Rev. 466D-09/02

All page numbers refer to this document.

1. Changed all Flash write/erase cycles from 1,000 to 10,000.
2. Updated the following tables: Table 4 on page 24, Table 15 on page 36, Table 42 on page 82, Table 45 on page 109, Table 46 on page 109, Table 59 on page 141, Table 67 on page 166, Table 90 on page 234, Table 102 on page 258, "DC Characteristics" on page 290, Table 119 on page 292, Table 121 on page 294, and Table 122 on page 296.
3. Updated "Erratas" on page 15.

## Changes from Rev. 466D-09/02 to Rev. 466E-10/02

All page numbers refer to this document.

1. Updated "DC Characteristics" on page 290.

## Changes from Rev. 466E-10/02 to Rev. 466F-02/03

All page numbers refer to this document.

1. Added note about masking out unused bits when reading the Program Counter in "Stack Pointer" on page 10.
2. Added Chip Erase as a first step in "Programming the Flash" on page 287 and "Programming the EEPROM" on page 288.
3. Added the section "Unconnected pins" on page 53.
4. Added tips on how to disable the OCD system in "On-chip Debug System" on page 34.
5. Removed reference to the "Multi-purpose Oscillator" application note and "32 kHz Crystal Oscillator" application note, which do not exist.
6. Added information about PWM symmetry for Timer0 and Timer2.
7. Added note in "Filling the Temporary Buffer (Page Loading)" on page 253 about writing to the EEPROM during an SPM Page Load.
8. Removed ADHSM completely.
9. Added Table 73, "TWI Bit Rate Prescaler," on page 181 to describe the TWPS bits in the "TWI Status Register – TWSR" on page 180.
10. Added section "Default Clock Source" on page 23.
11. Added note about frequency variation when using an external clock. Note added in "External Clock" on page 29. An extra row and a note added in Table 118 on page 292.
12. Various minor TWI corrections.
13. Added "Power Consumption" data in "Features" on page 1.
14. Added section "EEPROM Write During Power-down Sleep Mode" on page 20.



15. Added note about Differential Mode with Auto Triggering in “Prescaling and Conversion Timing” on page 206.

16. Added updated “Packaging Information” on page 12.







## Atmel Headquarters

**Corporate Headquarters**  
2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131  
TEL 1(408) 441-0311  
FAX 1(408) 487-2600

## Europe

Atmel Sarl  
Route des Arsenaux 41  
Case Postale 80  
CH-1705 Fribourg  
Switzerland  
TEL (41) 26-426-5555  
FAX (41) 26-426-5500

## Asia

Room 1219  
Chinachem Golden Plaza  
77 Mody Road Tsimhatsui  
East Kowloon  
Hong Kong  
TEL (852) 2721-9778  
FAX (852) 2722-1369

## Japan

9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.  
1-24-8 Shinkawa  
Chuo-ku, Tokyo 104-0033  
Japan  
TEL (81) 3-3523-3551  
FAX (81) 3-3523-7581

## Atmel Operations

### Memory

2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131  
TEL 1(408) 441-0311  
FAX 1(408) 436-4314

### Microcontrollers

2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131  
TEL 1(408) 441-0311  
FAX 1(408) 436-4314

La Chantrerie  
BP 70602  
44306 Nantes Cedex 3, France  
TEL (33) 2-40-18-18-18  
FAX (33) 2-40-18-19-60

### ASIC/ASSP/Smart Cards

Zone Industrielle  
13106 Rousset Cedex, France  
TEL (33) 4-42-53-60-00  
FAX (33) 4-42-53-60-01

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.  
Colorado Springs, CO 80906  
TEL 1(719) 576-3300  
FAX 1(719) 540-1759

Scottish Enterprise Technology Park  
Maxwell Building  
East Kilbride G75 0QR, Scotland  
TEL (44) 1355-803-000  
FAX (44) 1355-242-743

### RF/Automotive

Theresienstrasse 2  
Postfach 3535  
74025 Heilbronn, Germany  
TEL (49) 71-31-67-0  
FAX (49) 71-31-67-2340

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.  
Colorado Springs, CO 80906  
TEL 1(719) 576-3300  
FAX 1(719) 540-1759

### Biometrics/Imaging/Hi-Rel MPU/ High Speed Converters/RF Datacom

Avenue de Rochepleine  
BP 123  
38521 Saint-Egreve Cedex, France  
TEL (33) 4-76-58-30-00  
FAX (33) 4-76-58-34-80

### e-mail

[literature@atmel.com](mailto:literature@atmel.com)

### Web Site

<http://www.atmel.com>

### © Atmel Corporation 2003.

Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

ATMEL®, AVR®, and AVR Studio® are the registered trademarks of Atmel.

Other terms and product names may be the trademarks of others.

Printed on recycled paper.

2466FS-AVR-02/03

0M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

# 24AA256/24LC256/24FC256

## 256K Bit I<sup>2</sup>C™ CMOS Serial EEPROM

### DEVICE SELECTION TABLE

Part Number	Vcc Range	Max Clock Frequency	Temp Ranges
24AA256	1.8-5.5V	400 kHz†	C
24LC256	2.5-5.5V	400 kHz‡	I, E
24FC256	2.5-5.5V	1 MHz	I

†100 kHz for Vcc < 2.5V.  
‡100 kHz for E temperature range.

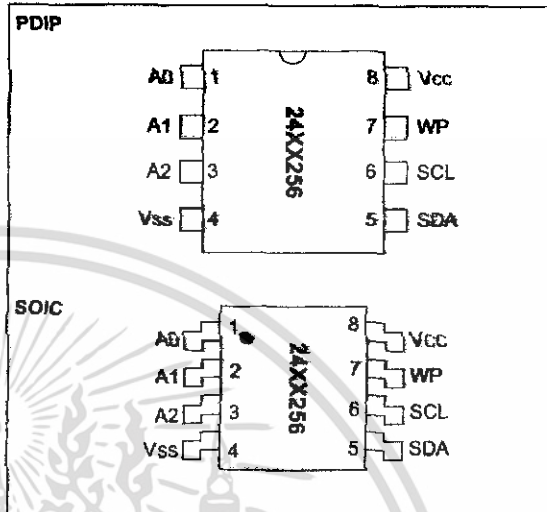
### FEATURES

- Low power CMOS technology
  - Maximum write current 3 mA at 5.5V
  - Maximum read current 400 µA at 5.5V
  - Standby current 100 nA typical at 5.5V
- 2-wire serial interface bus, I<sup>2</sup>C compatible
- Cascadable for up to eight devices
- Self-timed ERASE/WRITE cycle
- 64-byte page-write mode available
- 5 ms max write-cycle time
- Hardware write protect for entire array
- Output slope control to eliminate ground bounce
- Schmitt trigger inputs for noise suppression
- 100,000 erase/write cycles guaranteed
- Electrostatic discharge protection > 4000V
- Data retention > 200 years
- 8-pin PDIP and SOIC (208 mil) packages
- Temperature ranges:
  - Commercial (C): 0°C to +70°C
  - Industrial (I): -40°C to +85°C
  - Automotive (E): -40°C to +125°C

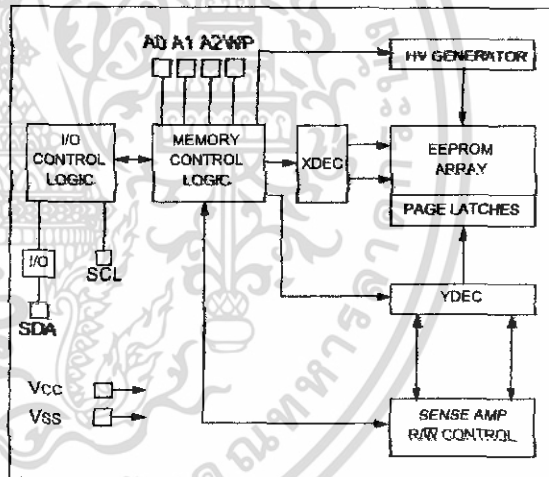
### DESCRIPTION

The Microchip Technology Inc. 24AA256/24LC256/24FC256 (24XX256\*) is a 32K x 8 (256K bit) Serial Electrically Erasable PROM, capable of operation across a broad voltage range (1.8V to 5.5V). It has been developed for advanced, low power applications such as personal communications or data acquisition. This device also has a page-write capability of up to 64 bytes of data. This device is capable of both random and sequential reads up to the 256K boundary. Functional address lines allow up to eight devices on the same bus, for up to 2M bit address space. This device is available in the standard 8-pin plastic DIP and 8-pin SOIC (208 mil) packages.

### PACKAGE TYPE



### BLOCK DIAGRAM



I<sup>2</sup>C is a trademark of Philips Corporation.

\*24XX256 is used in this document as a generic part number for the 24AA256/24LC256/24FC256 devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 24AA256/24LC256/24FC256

## 1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### 1.1 Maximum Ratings\*

V <sub>CC</sub> .....	7.0V
All inputs and outputs w.r.t. V <sub>SS</sub> .....	-0.6V to V <sub>CC</sub> +1.0V
Storage temperature.....	-65°C to +150°C
Ambient temp. with power applied.....	-65°C to +125°C
Soldering temperature of leads (10 seconds).....	+300°C
ESD protection on all pins.....	±4 kV

\*Notice: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

TABLE 1-1 PIN FUNCTION TABLE

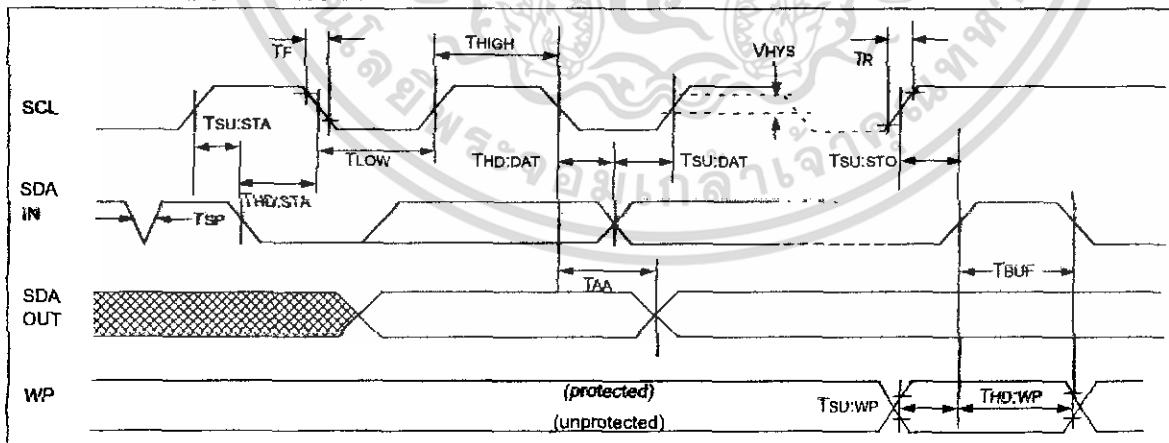
Name	Function
A0, A1, A2	User Configurable Chip Selects
V <sub>SS</sub>	Ground
SDA	Serial Data
SCL	Serial Clock
WP	Write Protect Input
V <sub>CC</sub>	+1.8 to 5.5V (24AA256) +2.5 to 5.5V (24LC256, 24FC256)

TABLE 1-2 DC CHARACTERISTICS

Parameter	Symbol	Min	Max	Units	Conditions
Commercial (C): V <sub>CC</sub> = +1.8V to 5.5V T <sub>amb</sub> = 0°C to +70°C					
Industrial (I): V <sub>CC</sub> = +2.5V to 5.5V T <sub>amb</sub> = -40°C to +85°C					
Automotive (E): V <sub>CC</sub> = +4.5V to 5.5V T <sub>amb</sub> = -40°C to 125°C					
AD, A1, A2, SCL, SDA, and WP pins: High level input voltage	V <sub>IH</sub>	0.7 V <sub>CC</sub>	—	V	
Low level input voltage	V <sub>IL</sub>	—	0.3 V <sub>CC</sub>	V	V <sub>CC</sub> 2.5V
Hysteresis of Schmitt Trigger inputs (SDA, SCL pins)	V <sub>HYS</sub>	0.05 V <sub>CC</sub>	—	V	V <sub>CC</sub> < 2.5V
Low level output voltage	V <sub>OL</sub>	—	0.40	V	V <sub>CC</sub> 2.5V (Note)
Input leakage current	I <sub>I</sub>	-10	10	μA	I <sub>OL</sub> = 3.0 mA @ V <sub>CC</sub> = 4.5V I <sub>OL</sub> = 2.1 mA @ V <sub>CC</sub> = 2.5V
Output leakage current	I <sub>LO</sub>	-10	10	μA	V <sub>OUT</sub> = V <sub>SS</sub> or V <sub>CC</sub>
Pin capacitance (all inputs/outputs)	C <sub>IN</sub> , C <sub>OUT</sub>	—	10	pF	V <sub>CC</sub> = 5.0V (Note) T <sub>amb</sub> = 25°C, f <sub>c</sub> = 1 MHz
Operating current	I <sub>CC</sub> Read	—	400	μA	V <sub>CC</sub> = 5.5V, SCL = 400 kHz
	I <sub>CC</sub> Write	—	3	mA	V <sub>CC</sub> = 5.5V
Standby current	I <sub>CCS</sub>	—	1	μA	SCL = SDA = V <sub>CC</sub> = 5.5V A0, A1, A2, WP = V <sub>SS</sub>

Note: This parameter is periodically sampled and not 100% tested.

FIGURE 1-1: BUS TIMING DATA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 24AA256/24LC256/24FC256

**TABLE 1-3 AC CHARACTERISTICS**

All parameters apply across the specified operating ranges unless otherwise noted.					
		Commercial (C): Vcc = +1.8V to 5.5V Industrial (I): Vcc = +2.5V to 5.5V Automotive (E): Vcc = +4.5V to 5.5V		Tamb = 0°C to +70°C Tamb = -40°C to +85°C Tamb = -40°C to 125°C	
	Symbol	Min	Max	Units	Conditions
Clock frequency	FCLK	— — — —	100 100 400 1000	kHz	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
Clock high time	THIGH	4000 4000 600 500	— — — —	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
Clock low time	TLOW	4700 4700 1300 500	— — — —	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
SDA and SCL rise time (Note 1)	Tr	— — — —	1000 1000 300 300	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
SDA and SCL fall time (Note 1)	Tf	— —	300 100	ns	All except 24FC256 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
START condition hold time	THD:STA	4000 4000 600 250	— — — —	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
START condition setup time	TSU:STA	4700 4700 600 250	— — — —	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
Data input hold time	THD:DAT	0	—	ns	(Note 2)
Data input setup time	TSU:DAT	250 250 100 100	— — — —	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
STOP condition setup time	TSU:STO	4000 4000 600 250	— — — —	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
WP setup time	TSU:WP	4000 4000 600 600	— — — —	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
WP hold time	THD:WP	4700 4700 1300 1300	— — — —	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
Output valid from clock (Note 2)	TAA	— — — —	3500 3500 900 400	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
Bus free time: Time the bus must be free before a new transmission can start	TBUF	4700 4700 1300 500	— — — —	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
Output fall time from VIH minimum to VIL maximum Cb ≤ 100 pF	TOF	10 + 0.1Cb	250 250	ns	All except 24FC256 (Note 1) 24FC256 (Note 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 24AA256/24LC256/24FC256

TABLE 1-3 AC CHARACTERISTICS

All parameters apply across the specified operating ranges unless otherwise noted.	Commercial (C): Vcc = +1.8V to 5.5V		Tamb = 0°C to +70°C		
	Industrial (I): Vcc = +2.5V to 5.5V		Tamb = -40°C to +85°C		
	Automotive (E): Vcc = +4.5V to 5.5V		Tamb = -40°C to 125°C		
	Symbol	Min	Max	Units	Conditions
Input filter spike suppression (SDA and SCL pins)	TSP	—	50	ns	All except 24FC256 (Notes 1 and 3)
Write cycle time (byte or page)	TWC	—	5	ms	
Endurance		100K	—	cycles	25°C, Vcc = 5.0V, Block Mode (Note 4)

- Note 1:** Not 100% tested. C<sub>B</sub> = total capacitance of one bus line in pF.
- As a transmitter, the device must provide an internal minimum delay time to bridge the undefined region (minimum 300 ns) of the falling edge of SCL to avoid unintended generation of START or STOP conditions.
  - The combined TSP and VHYS specifications are due to new Schmitt trigger inputs which provide improved noise spike suppression. This eliminates the need for a TI specification for standard operation.
  - This parameter is not tested but guaranteed by characterization. For endurance estimates in a specific application, please consult the Total Endurance Model which can be obtained on Microchip's website @[www.microchip.com](http://www.microchip.com).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.0 PIN DESCRIPTIONS

### 2.1 A0, A1, A2 Chip Address Inputs

The A0, A1, A2 inputs are used by the 24XX256 for multiple device operations. The levels on these inputs are compared with the corresponding bits in the slave address. The chip is selected if the compare is true.

Up to eight devices may be connected to the same bus by using different chip select bit combinations. If left unconnected, these inputs will be pulled down internally to Vss.

### 2.2 SDA Serial Data

This is a bi-directional pin used to transfer addresses and data into and data out of the device. It is an open-drain terminal, therefore, the SDA bus requires a pullup resistor to Vcc (typical 10 k $\Omega$  for 100 kHz, 2 k $\Omega$  for 400 kHz and 1 MHz).

For normal data transfer SDA is allowed to change only during SCL low. Changes during SCL high are reserved for indicating the START and STOP conditions.

### 2.3 SCL Serial Clock

This input is used to synchronize the data transfer from and to the device.

### 2.4 WP

This pin can be connected to either Vss, Vcc or left floating. An internal pull-down resistor on this pin will keep the device in the unprotected state if left floating. If tied to Vss or left floating, normal memory operation is enabled (read/write the entire memory 0000-7FFF).

If tied to Vcc, WRITE operations are inhibited. Read operations are not affected.

## 3.0 FUNCTIONAL DESCRIPTION

The 24XX256 supports a bi-directional 2-wire bus and data transmission protocol. A device that sends data onto the bus is defined as a transmitter, and a device receiving data as a receiver. The bus must be controlled by a master device which generates the serial clock (SCL), controls the bus access, and generates the START and STOP conditions while the 24XX256 works as a slave. Both master and slave can operate as a transmitter or receiver, but the master device determines which mode is activated.

## 4.0 BUS CHARACTERISTICS

The following bus protocol has been defined:

- Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.
- During data transfer, the data line must remain stable whenever the clock line is HIGH. Changes in the data line while the clock line is HIGH will be interpreted as a START or STOP condition.

Accordingly, the following bus conditions have been defined (Figure 4-1).

### 4.1 Bus not Busy (A)

Both data and clock lines remain HIGH.

### 4.2 Start Data Transfer (B)

A HIGH to LOW transition of the SDA line while the clock (SCL) is HIGH determines a START condition. All commands must be preceded by a START condition.

### 4.3 Stop Data Transfer (C)

A LOW to HIGH transition of the SDA line while the clock (SCL) is HIGH determines a STOP condition. All operations must end with a STOP condition.

### 4.4 Data Valid (D)

The state of the data line represents valid data when, after a START condition, the data line is stable for the duration of the HIGH period of the clock signal.

The data on the line must be changed during the LOW period of the clock signal. There is one bit of data per clock pulse.

Each data transfer is initiated with a START condition and terminated with a STOP condition. The number of the data bytes transferred between the START and STOP conditions is determined by the master device.

### 4.5 Acknowledge

Each receiving device, when addressed, is obliged to generate an acknowledge signal after the reception of each byte. The master device must generate an extra clock pulse which is associated with this acknowledge bit.

**Note:** The 24XX256 does not generate any acknowledge bits if an internal programming cycle is in progress.

A device that acknowledges must pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse in such a way that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. Of course, setup and hold times must be taken into account. During reads, a master must signal an end of data to the slave by NOT generating an acknowledge bit on the last byte that has been clocked out of the slave. In this case, the slave (24XX256) will leave the data line HIGH to enable the master to generate the STOP condition.

FIGURE 4-1: DATA TRANSFER SEQUENCE ON THE SERIAL BUS

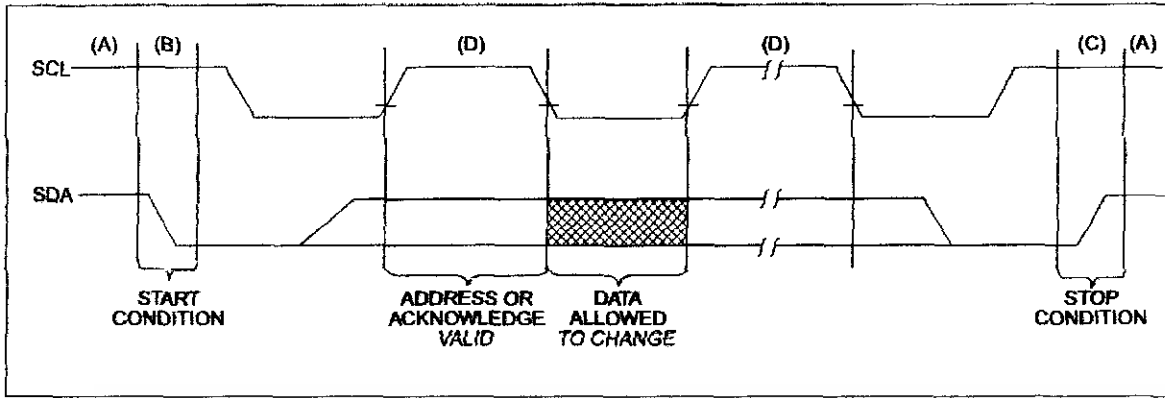
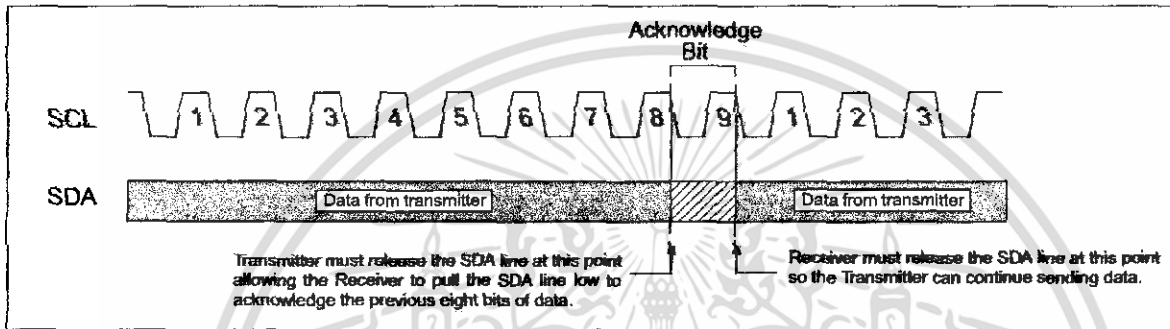


FIGURE 4-2: ACKNOWLEDGE TIMING



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

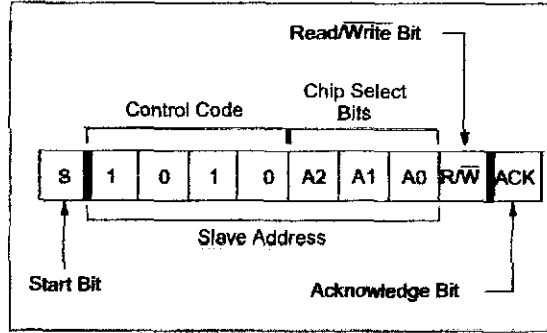
## 5.0 DEVICE ADDRESSING

A control byte is the first byte received following the start condition from the master device (Figure 5-1). The control byte consists of a 4-bit control code; for the 24XX256 this is set as 1010 binary for read and write operations. The next three bits of the control byte are the chip select bits (A2, A1, A0). The chip select bits allow the use of up to eight 24XX256 devices on the same bus and are used to select which device is accessed. The chip select bits in the control byte must correspond to the logic levels on the corresponding A2, A1, and A0 pins for the device to respond. These bits are in effect the three most significant bits of the word address.

The last bit of the control byte defines the operation to be performed. When set to a one a read operation is selected, and when set to a zero a write operation is selected. The next two bytes received define the address of the first data byte (Figure 5-2). Because only A14...A0 are used, the upper address bits is a don't care. The upper address bits are transferred first, followed by the less significant bits.

Following the start condition, the 24XX256 monitors the SDA bus checking the device type identifier being transmitted. Upon receiving a 1010 code and appropriate device select bits, the slave device outputs an acknowledge signal on the SDA line. Depending on the state of the R/W bit, the 24XX256 will select a read or write operation.

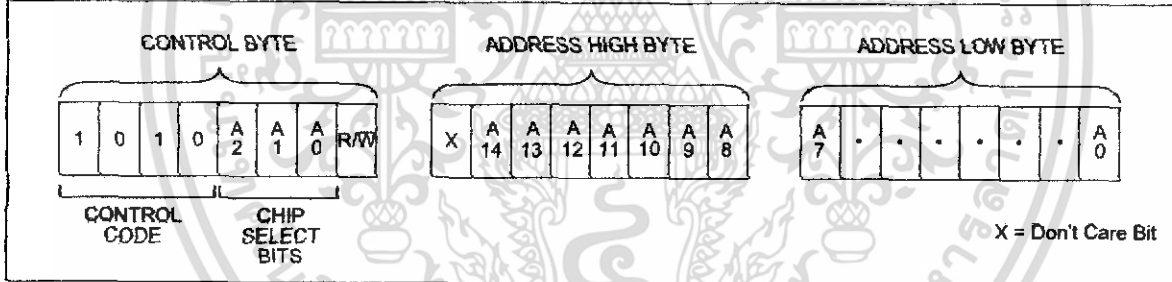
FIGURE 5-1: CONTROL BYTE FORMAT



### 5.1 Contiguous Addressing Across Multiple Devices

The chip select bits A2, A1, A0 can be used to expand the contiguous address space for up to 2 Mbit by adding up to eight 24XX256's on the same bus. In this case, software can use A0 of the control byte as address bit A15; A1, as address bit A16; and A2, as address bit A17. It is not possible to sequentially read across device boundaries.

FIGURE 5-2: ADDRESS SEQUENCE BIT ASSIGNMENTS



## 6.0 WRITE OPERATIONS

### 6.1 Byte Write

Following the start condition from the master, the control code (four bits), the chip select (three bits), and the R/W bit (which is a logic low) are clocked onto the bus by the master transmitter. This indicates to the addressed slave receiver that the address high byte will follow after it has generated an acknowledge bit during the ninth clock cycle. Therefore, the next byte transmitted by the master is the high-order byte of the word address and will be written into the address pointer of the 24XX256. The next byte is the least significant address byte. After receiving another acknowledge signal from the 24XX256, the master device will transmit the data word to be written into the addressed memory location. The 24XX256 acknowledges again and the master generates a stop condition. This initiates the internal write cycle, and, during this time, the 24XX256 will not generate acknowledge signals (Figure 6-1). If an attempt is made to write to the array with the WP pin held high, the device will acknowledge the command but no write cycle will occur, no data will be written, and the device will immediately accept a new command. After a byte write command, the internal address counter will point to the address location following the one that was just written.

### 6.2 Page Write

The write control byte, word address, and the first data byte are transmitted to the 24XX256 in the same way as in a byte write. But instead of generating a stop condition, the master transmits up to 63 additional bytes, which are temporarily stored in the on-chip page buffer and will be written into memory after the master has transmitted a stop condition. After receipt of each word, the six lower address pointer bits are internally incremented by one. If the master should transmit more

than 64 bytes prior to generating the stop condition, the address counter will roll over and the previously received data will be overwritten. As with the byte write operation, once the stop condition is received, an internal write cycle will begin (Figure 6-2). If an attempt is made to write to the array with the WP pin held high, the device will acknowledge the command but no write cycle will occur, no data will be written, and the device will immediately accept a new command.

### 6.3 Write Protection

The WP pin allows the user to write-protect the entire array (0000-7FFF) when the pin is tied to Vcc. If tied to Vss or left floating, the write protection is disabled. The WP pin is sampled at the STOP bit for every write command (Figure 1-1). Toggling the WP pin after the STOP bit will have no effect on the execution of the write cycle.

**Note:** Page write operations are limited to writing bytes within a single physical page, regardless of the number of bytes actually being written. Physical page boundaries start at addresses that are integer multiples of the page buffer size (or 'page size') and end at addresses that are integer multiples of [page size - 1]. If a page write command attempts to write across a physical page boundary, the result is that the data wraps around to the beginning of the current page (overwriting data previously stored there), instead of being written to the next page as might be expected. It is therefore necessary for the application software to prevent page write operations that would attempt to cross a page boundary.

FIGURE 6-1: BYTE WRITE

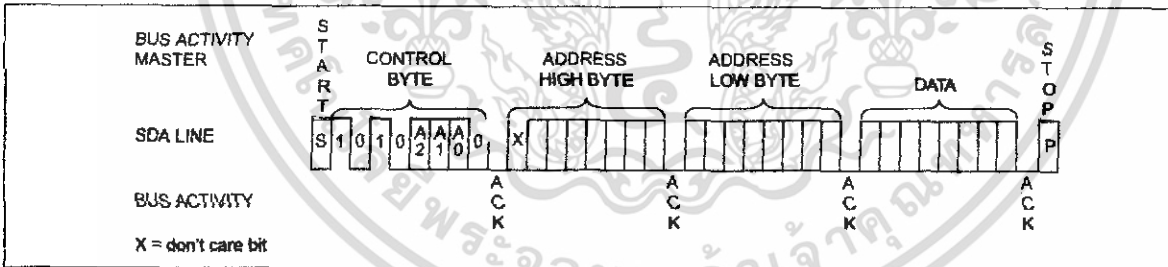
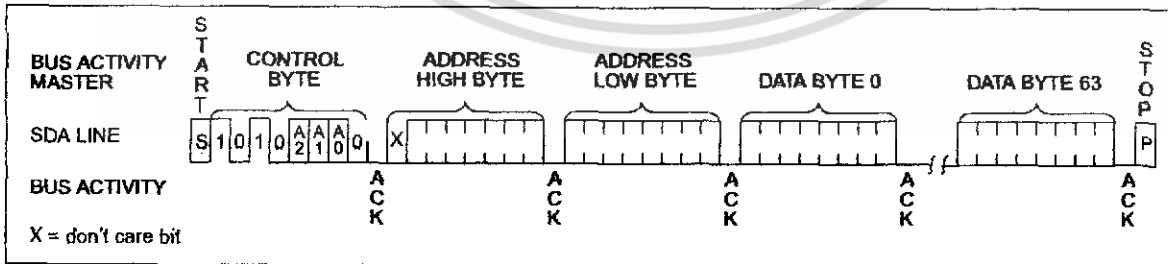


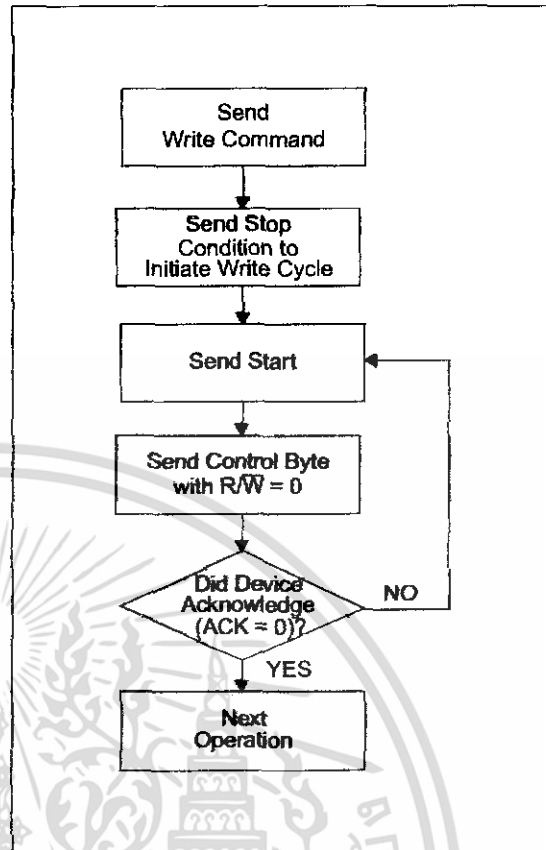
FIGURE 6-2: PAGE WRITE



## 7.0 ACKNOWLEDGE POLLING

Since the device will not acknowledge during a write cycle, this can be used to determine when the cycle is complete (This feature can be used to maximize bus throughput.) Once the stop condition for a write command has been issued from the master, the device initiates the internally timed write cycle. ACK polling can be initiated immediately. This involves the master sending a start condition, followed by the control byte for a write command ( $R/\bar{W} = 0$ ). If the device is still busy with the write cycle, then no ACK will be returned. If no ACK is returned, then the start bit and control byte must be resent. If the cycle is complete, then the device will return the ACK, and the master can then proceed with the next read or write command. See Figure 7-1 for flow diagram.

FIGURE 7-1: ACKNOWLEDGE POLLING FLOW



## 8.0 READ OPERATION

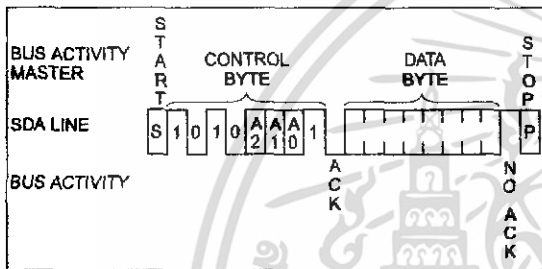
Read operations are initiated in the same way as write operations with the exception that the  $R/\bar{W}$  bit of the control byte is set to one. There are three basic types of read operations: *current address read*, *random read*, and *sequential read*.

### 8.1 Current Address Read

The 24XX256 contains an address counter that maintains the address of the last word accessed, internally incremented by one. Therefore, if the previous read access was to address  $n$  ( $n$  is any legal address), the next current address read operation would access data from address  $n + 1$ .

Upon receipt of the control byte with  $R/\bar{W}$  bit set to one, the 24XX256 issues an acknowledge and transmits the 8-bit data word. The master will not acknowledge the transfer but does generate a stop condition and the 24XX256 discontinues transmission (Figure 8-1).

FIGURE 8-1: CURRENT ADDRESS READ



### 8.2 Random Read

Random read operations allow the master to access any memory location in a random manner. To perform this type of read operation, first the word address must be set. This is done by sending the word address to the 24XX256 as part of a write operation ( $R/\bar{W}$  bit set to 0). After the word address is sent, the master generates a start condition following the acknowledge. This terminates the write operation, but not before the internal address pointer is set. Then, the master issues the control byte again but with the  $R/\bar{W}$  bit set to a one. The 24XX256 will then issue an acknowledge and transmit the 8-bit data word. The master will not acknowledge the transfer but does generate a stop condition which causes the 24XX256 to discontinue transmission (Figure 8-2). After a random read command, the internal address counter will point to the address location following the one that was just read.

### 8.3 Sequential Read

Sequential reads are initiated in the same way as a random read except that after the 24XX256 transmits the first data byte, the master issues an acknowledge as opposed to the stop condition used in a random read. This acknowledge directs the 24XX256 to transmit the next sequentially addressed 8-bit word (Figure 8-3). Following the final byte transmitted to the master, the master will NOT generate an acknowledge but will generate a stop condition. To provide sequential reads, the 24XX256 contains an internal address pointer which is incremented by one at the completion of each operation. This address pointer allows the entire memory contents to be serially read during one operation. The internal address pointer will automatically roll over from address 7FFF to address 0000 if the master acknowledges the byte received from the array address 7FFF.

FIGURE 8-2: RANDOM READ

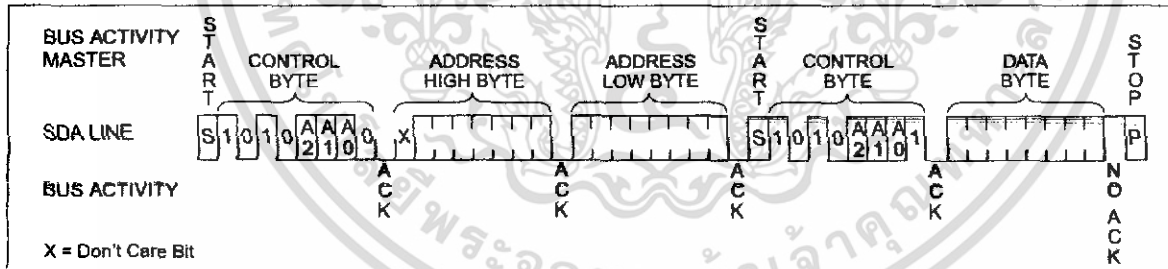
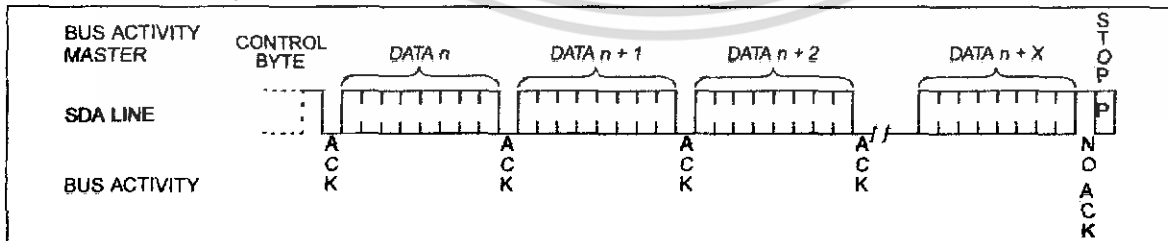


FIGURE 8-3: SEQUENTIAL READ



# 24AA256/24LC256/24FC256

## 24XX256 PRODUCT IDENTIFICATION SYSTEM

To order or obtain information, e.g., on pricing or delivery, refer to the factory or the listed sales office.

24XX256 — /P	<b>Package:</b>	P = Plastic DIP (300 mil Body), 8-lead SM = Plastic SOIC (208 mil Body, EIAJ standard), 8-lead
	<b>Temperature Range:</b>	Blank = 0°C to +70°C I = -40°C to +85°C E = -40°C to +125°C
	<b>Device:</b>	24AA256 256K bit 1.8V I <sup>2</sup> C Serial EEPROM 24AA256T 256K bit 1.8V I <sup>2</sup> C Serial EEPROM (Tape and Reel) 24LC256 256K bit 2.5V I <sup>2</sup> C Serial EEPROM 24LC256T 256K bit 2.5V I <sup>2</sup> C Serial EEPROM (Tape and Reel) 24FC256 256K bit 1MHz I <sup>2</sup> C Serial EEPROM 24FC256T 256K bit 1MHz I <sup>2</sup> C Serial EEPROM (Tape and Reel)

### Sales and Support

#### Data Sheets

Products supported by a preliminary Data Sheet may have an errata sheet describing minor operational differences and recommended workarounds. To determine if an errata sheet exists for a particular device, please contact one of the following:

1. Your local Microchip sales office
2. The Microchip Corporate Literature Center U.S. FAX: (602) 786-7277
3. The Microchip Worldwide Site ([www.microchip.com](http://www.microchip.com))

Please specify which device, revision of silicon and Data Sheet (include Literature #) you are using.

#### New Customer Notification System

Register on our web site ([www.microchip.com/cn](http://www.microchip.com/cn)) to receive the most current information on our products.



## WORLDWIDE SALES AND SERVICE

### AMERICAS

#### Corporate Office

Microchip Technology Inc.  
2355 West Chandler Blvd.  
Chandler, AZ 85224-6198  
Tel: 480-786-7200 Fax: 480-786-7277  
Technical Support: 480-786-7627  
Web Address: <http://www.microchip.com>

#### Atlanta

Microchip Technology Inc.  
500 Sugar Mill Road, Suite 200B  
Atlanta, GA 30350  
Tel: 770-640-0034 Fax: 770-640-0307

#### Boston

Microchip Technology Inc.  
5 Mount Royal Avenue  
Marlborough, MA 01752  
Tel: 508-480-9990 Fax: 508-480-8575

#### Chicago

Microchip Technology Inc.  
333 Pierce Road, Suite 180  
Itasca, IL 60143  
Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075

#### Dallas

Microchip Technology Inc.  
4570 Westgrove Drive, Suite 160  
Addicks, TX 75248  
Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924

#### Dayton

Microchip Technology Inc.  
Two Prestige Place, Suite 150  
Miamisburg, OH 45342  
Tel: 937-291-1654 Fax: 937-291-8175

#### Detroit

Microchip Technology Inc.  
Tri-Atria Office Building  
32255 Northwestern Highway, Suite 190  
Farmington Hills, MI 48334  
Tel: 248-538-2250 Fax: 248-538-2260

#### Los Angeles

Microchip Technology Inc.  
18201 Von Karman, Suite 1090  
Irvine, CA 92612  
Tel: 949-263-1888 Fax: 949-263-1338

#### New York

Microchip Technology Inc.  
150 Motor Parkway, Suite 202  
Hauppauge, NY 11788  
Tel: 631-273-5305 Fax: 631-273-5335

#### San Jose

Microchip Technology Inc.  
2107 North First Street, Suite 590  
San Jose, CA 95131  
Tel: 408-436-7950 Fax: 408-436-7955

### AMERICAS (continued)

#### Toronto

Microchip Technology Inc.  
5925 Airport Road, Suite 200  
Mississauga, Ontario L4V 1W1, Canada  
Tel: 905-405-6279 Fax: 905-405-6253

### ASIAPACIFIC

#### Hong Kong

Microchip Asia Pacific  
Unit 2101, Tower 2  
Metroplaza  
223 Hing Fong Road  
Kwai Fong, N.T., Hong Kong  
Tel: 852-2-401-1200 Fax: 852-2-401-3431

#### Beijing

Microchip Technology, Beijing  
Unit 915, 6 Chaoyangmen Bei Dajie  
Dong Erhuan Road, Dongcheng District  
New China Hong Kong Manhattan Building  
Beijing 100027 PRC  
Tel: 86-10-85282100 Fax: 86-10-85282104

#### India

Microchip Technology Inc.  
India Liaison Office  
No. 6, Legacy, Convent Road  
Bangalore 560 025, India  
Tel: 91-80-229-0081 Fax: 91-80-229-0062

#### Japan

Microchip Technology Intl. Inc.  
Benex 5-1 6F  
3-18-20, Shinyokohama  
Kohoku-Ku, Yokohama-shi  
Kanagawa 222-0033 Japan  
Tel: 81-45-471-6166 Fax: 81-45-471-6122

#### Korea

Microchip Technology Korea  
168-1, Youngbo Bldg. 3 Floor  
Samsung-Dong, Kangnam-Ku  
Seoul, Korea  
Tel: 82-2-564-7200 Fax: 82-2-558-5934

#### Shanghai

Microchip Technology  
RM 406 Shanghai Golden Bridge Bldg.  
2077 Yan'an Road West, Hong Qiao District  
Shanghai, PRC 200335  
Tel: 86-21-6275-5700 Fax: 86-21-6275-5060

### ASIA/PACIFIC (continued)

#### Singapore

Microchip Technology Singapore Pte Ltd.  
200 Middle Road  
#07-02 Prime Centre  
Singapore 188980  
Tel: 65-334-8870 Fax: 65-334-8850

#### Taiwan, R.O.C

Microchip Technology Taiwan  
10F-1C 207  
Tung Hua North Road  
Taipei, Taiwan, R.O.C  
Tel: 886-2-2717-7175 Fax: 886-2-2545-0139

### EUROPE

#### United Kingdom

Arizona Microchip Technology Ltd.  
505 Eskdale Road  
Winklers Triangle  
Wokingham  
Berkshire, England RG41 5TU  
Tel: 44 118 921 5858 Fax: 44-118 921-5835

#### Denmark

Microchip Technology Denmark ApS  
Regus Business Centre  
Lautrup høj 1-3  
Ballerup DK-2750 Denmark  
Tel: 45 4420 9895 Fax: 45 4420 9810

#### France

Arizona Microchip Technology SARL  
Parc d'Activité du Moulin de Massy  
43 Rue du Saule Trappu  
Batiment A - 1er Etage  
91300 Massy, France  
Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79

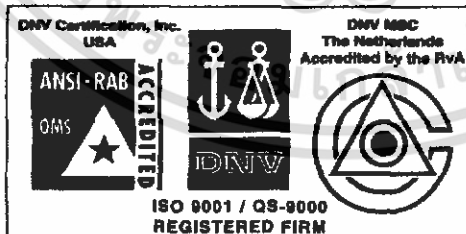
#### Germany

Arizona Microchip Technology GmbH  
Gustav-Heinemann-Platz 125  
D-81739 München, Germany  
Tel: 49-89-627-144 0 Fax: 49-89-627-144-44

#### Italy

Arizona Microchip Technology SRL  
Centro Direzionale Colleoni  
Palazzo Taurus 1 V. Le Colleoni 1  
20041 Agrate Brianza  
Milan, Italy  
Tel: 39-039-65791-1 Fax: 39-039-6899883

11/15/99



Microchip received QS-9000 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona in July 1999. The Company's quality system processes and procedures are QS-9000 compliant for its PICmicro 8-bit MCUs, KEELoc code hopping devices, Serial EEPROMs and microperipheral products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001 certified.

All rights reserved. © 1999 Microchip Technology Incorporated. Printed in the USA. 11/99 Printed on recycled paper.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended for suggestion only and may be superseded by updates. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights. The Microchip logo and name are registered trademarks of Microchip Technology Inc. in the U.S.A. and other countries. All other trademarks mentioned herein are the property of their respective companies.

© 1999 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้