

เครื่องทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์  
(SOLAR PANEL CHARACTERISTICS TESTER)



โดย

นายณัฐ	กู้เขียว	40010217
นายทองพูล	วงศ์ลา	40010272
นายบัณฑิต	พุทธให้	40010409

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. จิรวัดน์ ปานกลาง

มี  
173/14  
85A3

เลขที่.....  
เลขทะเบียน..... 42749  
วัน, เดือน, ปี..... 7 ส.ย. 2545

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

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

11014375

โครงการปีการศึกษา 2/ 2544

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

( SOLAR PANEL CHARACTERISTICS TESTER )

จัดทำโดย นายณัฐจี กู้เจียว 40010217

นายทองพูล วงศ์ลา 40010272

นายบัณฑิต พุทธิให้ 40010409

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.จิรวัดน์ ปานกลาง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ..... .....อาจารย์ที่ปรึกษา

( ผศ. จิรวัดน์ ปานกลาง )

วันที่ 12 / 12 / 44

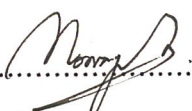
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องทดสอบคุณสมบัติกระแส และแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar panel Characteristic Tester) ได้รับความเอื้อเฟื้อในด้านต่างๆ จาก อาจารย์จิรวรรณ ปานกลาง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและพี่สันทิ หาญกล้า ที่ให้คำแนะนำ แนะนำทางการออกแบบ แก้ไขวงจร ตลอดจนแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น ทำให้เครื่องทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดันนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณอาจารย์และขอขอบคุณรุ่นพี่ที่ได้ช่วยเหลือในด้านต่างๆ มา ณ โอกาสนี้ด้วย



.....  
(นายณัฐ กู้เขียว)



.....  
(นายทองพูล วงศ์ลา)

บัณฑิต พุทธิให้  
.....  
(นายบัณฑิต พุทธิให้)  
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ณัฐจี กู้เจียว

ทองพูล วงศ์ลา

บัณฑิต พุทธิให้

ผศ.จิรวรรณ ปานกลาง(อาจารย์ที่ปรึกษา)

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2543

### บทคัดย่อ

เครื่องทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันที่จ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งค่าแรงดันค่าต่างๆ มาขับตัว IGBT เพื่อให้ดึงกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อกระแสที่จ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงไป ค่าแรงดันที่จ่ายออกมาจะเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน จากข้อมูลของค่ากระแสและแรงดันในขณะที่มีการจ่ายโหลดแต่ละค่า สามารถนำมาวิเคราะห์หาค่ากำลังงานสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายออกมาได้ ในสถานะที่มีตัวแปรขณะทำการวัด คือ ความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ

## SOLAR PANEL CHARACTERISTICS TESTER

Nattee KhuKheiw

Thongpool Wongla

Bundit Puthai

Asst.Prof.Cheerawat Panklang(Advisor)

2<sup>nd</sup> Semester, Educational Year 2000

### Abstract

Solar panel characteristics tester is an equipment using to find the relationship between current and voltage as solar cell distribute any value of load. By use microcontroller to send voltages to drive IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) fore it will sink current from the solar cell, as the current from the solar cell has changed this will change the ability distributing the voltage from the solar cell. From the data of current and voltage at any value of load. We can analysis to find the maximum power transfer from the solar cell.

## คำนำ

เอกสารเล่มนี้จัดทำขึ้นเป็นส่วนหนึ่งของวิชา Electronic Application โดยจัดทำขึ้นเพื่อเสนอเนื้อหาเกี่ยวกับการเขียน โปรแกรมควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือวัดในการทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทางคณะผู้จัดทำได้บรรจุเนื้อหาในส่วนที่สำคัญเกี่ยวกับการทำงานของวงจรที่ใช้งานและการเขียนโปรแกรมเข้าไว้ในเอกสารเล่มนี้ซึ่งจะมีเนื้อหาโดยรวมเกี่ยวกับการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT 90S8535 การเขียนโปรแกรมควบคุม การใช้งานของจอแสดงผล (LCD module) รวมทั้งวงจรที่เกี่ยวข้อง

รายงานเล่มนี้ทางผู้จัดทำได้มีการแทรกรูปภาพที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ และหากรูปภาพหรือเนื้อหาในรายงานเล่มนี้ไม่ชัดเจนหรือขาดตกบกพร่องประการใดทางคณะผู้จัดทำต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ณัฐฐิ กู๋เจียว  
ทองพุล วงศ์ลา  
บัณฑิต พุทธให้  
มีนาคม 2544

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	๗
บทคัดย่อ	๑
Abstract	๖
คำนำ	๗
สารบัญ	๑๑
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เซลล์แสงอาทิตย์	
ความสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	2
หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	3
ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์	5
ฟิลล์แพกเตอร์	7
บทที่ 3 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	
ทฤษฎีการ Sampling	8
Sampling and Hold และ Aperture time	9
Frequency folding and Aliasing	12
รหัสตัวเลขสำหรับการเปลี่ยนข้อมูล	16
วงจร Sampling Circuit	17
วงจรแรงดันอ้างอิง	19
บทที่ 4 การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ AT90S8535	
คุณลักษณะทั่วไป	20
สถาปัตยกรรม	23
บทที่ 5 การใช้งาน LCD MODULE	
ขาสัญญาณของ LCD MODULE	31
การต่อเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์	32
ชุดคำสั่งควบคุมและการแสดงข้อความ	33
บทที่ 6 การออกแบบและการคำนวณ	
หลักการคำนวณ	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
ขั้นตอนการทำงาน	38
การออกแบบและการคำนวณ	39
การแปลงสัญญาณอนุกรม	43
บทที่ 7 ผลการทดลอง	
วิธีการทดลอง	44
ตารางข้อมูลและกราฟแสดงผลการทดลอง	45
บทที่ 8 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	69
ภาคผนวก ก วงจรและอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร	
ภาคผนวก ข โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงาน	
ภาคผนวก ค ข้อมูลของตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร	
ภาคผนวก ง วิธีการใช้งานเครื่องทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดัน	
ภาคผนวก จ โปรแกรม MATLAB ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล	
บรรณานุกรม	



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันได้มีการใช้กันแต่ยังไม่มากนักเพราะมีราคาแพง คาดว่าต่อไปจะใช้กันอย่างแพร่หลายยิ่งขึ้นเพราะเป็นแหล่งพลังงานที่บริสุทธิ์ ในการใช้เซลล์แสงอาทิตย์จึงจำเป็นต้องใช้ให้คุ้มค่าโดยทำให้เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายพลังงานออกมามากที่สุด ทั้งนี้การจ่ายพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับ ภาวะที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้และสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมด้วย ดังนั้นจึงได้ประยุกต์ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาเป็นตัวควบคุมการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะควบคุมในการจ่ายภาระให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ในค่าต่างๆ เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่อไป

#### 1.2 รายละเอียดของโครงการ

เครื่องทดสอบคุณสมบัติ กระแส และแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar panel characteristic tester) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วนำค่าที่ได้ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ พร้อมกับนำค่าที่ได้ไปแสดงผลบนจอ LCD

ซึ่งทดสอบการจ่ายกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่โหลดต่างๆกัน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมเริ่มจากการส่งแรงดันไปที่ขาเกตของIGBTแล้ววัดค่า แรงดัน และกระแสไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวอุปกรณ์ แล้วนำค่าที่ได้แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8535 แล้วนำค่าดิจิทัลที่ได้ไปเก็บในหน่วยความจำ และส่งค่ามาแสดงผลที่ LCD โดยผ่านกระบวนการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์AT90S8535 ค่าดิจิทัล (ของกระแสและแรงดัน) ที่ถูกเก็บไว้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อาทิ เช่น ค่าการให้พลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ (Power Maximum) ในโอกาสต่อไป

#### 1.3 จุดประสงค์

1. เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยในการวัดค่าแรงดัน และกระแส จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเก็บค่าและแสดงผลได้
2. เพื่อศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ AT90S8535 และศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

## บทที่ 2

### เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแรกได้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นใน ค.ศ. 1954 การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มจากการใช้งานในยานอวกาศใน ค.ศ. 1958 และเมื่อเกิดเหตุการณ์วิกฤตน้ำมันในต้นทศวรรษที่ 1970 เซลล์แสงอาทิตย์จึงได้เริ่มได้รับความสนใจในการใช้งานเป็นแหล่งพลังงานทดแทนบนพื้นโลก ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์อย่างใกล้ชิด ความต้องการเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละปีก็เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง ค.ศ. 1995 ปริมาณการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลก รวมกันได้ประมาณ 760 เมกะวัตต์ (MW) และปริมาณการผลิตทั่วโลกก็สูงถึงระดับ 100 MW ต่อปีแล้ว ทางด้านต้นทุนการผลิตก็ได้ลดลงเหลือประมาณ 3-4 ดอลลาร์สหรัฐต่อวัตต์แล้ว

สำหรับในประเทศไทยจนถึง ค.ศ. 1997 มีการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์รวมแล้วประมาณ 3.7 MW และกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆทุกปี ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ทางด้านฟิสิกส์และการใช้งาน

#### 2.1 ความสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ ( solar cell ) เป็นสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (หรือแสงจากหลอดไฟ) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีที่มีแสงตกกระทบ เซลล์แสงอาทิตย์ก็จะผลิตไฟฟ้าได้ทันที และไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ( DC current ) เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง ( renewable energy ) ที่เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า สะอาดและไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใดๆ ขณะใช้งาน ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม เพียงแต่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไว้กลางแสงอาทิตย์ ก็สามารถใช้งานได้ทันที เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้โดยไม่ต้องสร้างเสียบรรยากาศหรือการเคลื่อนไหวและไม่เคยปรากฏว่ามีการคัดค้านการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เท่านั้น จึงเป็นการประหยัดน้ำมัน และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่มนุษย์ได้มาฟรีและมีไม่สิ้นสุด อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ยาวนานกว่า 20 ปี ดังนั้นเมื่อลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในครั้งแรก ก็แทบจะไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกต่อไป

การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในนโยบายการผลิตพลังงานทดแทนของประเทศไทย และเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนอื่นๆ ที่มีการค้นคว้าในประเทศไทย เช่น แอวกาศเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ ปรากฏเป็นที่เด่นชัดว่า เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ถูกนำมาใช้งานได้อย่างประสบความสำเร็จมากที่สุด เช่น มีการใช้ในหมู่บ้านชนบทห่างไกลที่สายไฟฟ้าไปไม่ถึง ใช้สูบน้ำบาดาลในพื้นที่ทุรกันดารใช้ในระบบสื่อสารถ่ายทอดสัญญาณโทรศัพท์ ใช้ในการทหาร ฯลฯ ใน ค.ศ. 1998 ได้มีโครงการสาธิตการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านในเขตกรุงเทพมหานคร ( solar house ) จำนวน 10 หลังคาอีกด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแล้วในประเทศไทยทั้งหมดในขณะนี้มีการผลิตไฟฟ้าเอาต์พุตรวมประมาณ 3.7 MW หรือ ประมาณ 92,500 แอมป์ ( กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงผลิตได้มีค่าประมาณ 40-50 W )

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกเรามีมากมายมหาศาล ร้อยละ 99.98 ของพลังงานที่โลกเราได้รับมาจากดวงอาทิตย์ ส่วนที่เหลือร้อยละ 0.02 เป็นพลังงานความร้อนใต้พิภพ ปริมาณพลังงานของแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาสู่โลกมีมากถึง  $1.77 \times 10^{14}$  MW ซึ่งมีมากกว่าปริมาณที่มนุษย์ต้องการ (  $3.8 \times 10^8$  kW ) ถึงกว่าล้านเท่า ดังนั้นถ้ามนุษย์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงนี้ให้เป็นประโยชน์ ก็จะช่วยประหยัดน้ำมันไปได้อย่างมาก

สำหรับในประเทศไทย บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร เราได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 1,000 W หรือเฉลี่ย 4-5 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ( kWh / m<sup>2</sup> / day ) ซึ่งมีความหมายว่า ในวันหนึ่งๆ บนพื้นที่เพียง 1 ตารางเมตรนั้น เราได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ 1 kW เป็นเวลานาน 4-5 ชั่วโมงนั่นเอง ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานเท่ากับ 15 % ก็แสดงว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตร จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 150 W หรือเฉลี่ย 600-750 kWh / m<sup>2</sup> / day นั่นเอง

ในเชิงเปรียบเทียบ ในวันหนึ่ง ๆ ประเทศไทยเรามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าประมาณ 250 ล้าน kWh / day ดังนั้นถ้าเรามีพื้นที่ประมาณ 1,500 ตารางกิโลเมตร ( 0.3 % ของประเทศไทย ) เราจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้เพียงพอกับความต้องการทั้งประเทศ

## 2.2 หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็น ( p-n ) ของสารกึ่งตัวนำ และวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลก ได้แก่ ซิลิคอน ซึ่งถลุงได้จากแร่ควอตไซต์หรือทราย และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ตลอดจนการทำให้เป็นผลึก เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผ่นอาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลม ( เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ) หรือแผ่นสี่เหลี่ยมจตุรัส ( ด้านละ 5 นิ้ว ) มีความหนา 200-400 um ( 0.2-0.4 mm ) และต้องนำมาแพร่ซึมสารเจือปนในเตาอุณหภูมิสูง ( ประมาณ 1,000 ° C ) เพื่อสร้างรอยต่อ p-n ที่มีความลึกประมาณ 0.3-0.5 um ขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นผิวสัมผัสโลหะเต็มแผ่น ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงมีลักษณะเป็นลายเส้นคล้ายก้างปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าชนิดประจุลบ และประจุบวกขึ้น ซึ่งได้แก่ อิเล็กตรอน และ โฮล โครงสร้างรอยต่อ p-n จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อแยกอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบและแยกโฮลให้ไหลไปที่ขั้วบวก ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดกระแสตรง ( เช่น หลอดแสงสว่าง มอเตอร์กระแสตรง ฯลฯ ) ก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร

เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว จะให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 3 A และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรมืดประมาณ 0.5 V ถ้าต้องการให้ได้กระแสมาก ๆ ทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายเซลล์มาต่อขนานกัน หรือถ้าต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูง ๆ ก็ทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลาย ๆ เซลล์มาต่ออนุกรมกัน เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขายทั่วไปจะถูกออกแบบให้อยู่ในกรอบอะลูมิเนียมสีเหลืองผิมน้ำ ซึ่งเรียกว่า แผง หรือมอดูล ( module ) แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดประมาณ 1.2 x 0.5 ตารางเมตร ภายใน 1 แผงจะมีเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากต่ออนุกรมกัน ( เช่น 32-40 เซลล์ ) เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงให้แรงดันไฟฟ้าวงจรมืดประมาณ 16-20 V กระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 3-4 A และให้กำลังไฟฟ้าประมาณ 40-50 W ในกรอบอะลูมิเนียมนี้จะออกแบบปิดผนึกด้านหน้าด้วยแผ่นกระจกใส และด้านหลังปิดผนึกด้วยวัสดุกันความชื้นและฝุ่นละอองไม่ให้เข้าไปสู่เซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้นถ้าผู้ใช้ต้องการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ ต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ ( Inverter ) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับก่อนที่จะต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับดังกล่าว

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้งานบนพื้นโลกมากที่สุดมี 3 ชนิดได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิคอน และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน แสดงภาพถ่ายเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิดนี้

### 2.3 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์

พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้อธิบายลักษณะสมบัติเอาต์พุต ( output characteristics ) ของเซลล์แสงอาทิตย์มีดังนี้

- 1) ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน ( Energy conversion efficiency ) คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดต่อพลังงานของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจเรียกสั้น ๆ ว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และใช้สัญลักษณ์  $\eta$  เขียนเป็นสูตรได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ =  $\frac{\text{กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุด} \times 100\%}{\text{พื้นที่รับแสง} \times \text{กำลังของแสงที่ตกกระทบเซลล์}}$

$$\eta = \frac{P_{\max}(w) \times 100\%}{\text{Area}(m^2) \times P_{in}(w)}$$

## 2) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current)

ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาวะลัดวงจร เราเรียกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจะว่า กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current :  $I_{sc}$ ) จะมีรูปเหมือนกับสมการของกระแสไฟฟ้าของไดโอด กล่าวคือ

$$I_o = qA \left( \frac{D_h P_n}{L_h} + \frac{D_e n_p}{L_e} \right)$$

โดยที่

$I_o$  เรียกว่า กระแสไฟฟ้าย้อนอิมิตัว และ  $n$  คือค่าแฟกเตอร์อุดมคติของไดโอด

ดังนั้นกระแสไฟฟ้า  $I_{out}$  ที่ไหลออกสู่วงจรภายนอกจะเท่ากับผลต่างระหว่างกระแสไฟฟ้า มีด  $I$  และกระแสไฟฟ้าโฟโต้  $I_{ph} (= I_{sc})$  ดังนี้

$$I_{out} = I - I_{ph}$$

ในที่นี้  $I_{ph} (= I_{sc})$  คำนวณได้จากสมการและถ้าให้  $A$  คือพื้นที่รับแสง จะได้ว่า

$$I_{sc} = qA \int_0^\infty F(\lambda) \eta_{exp}(\lambda) d\lambda$$

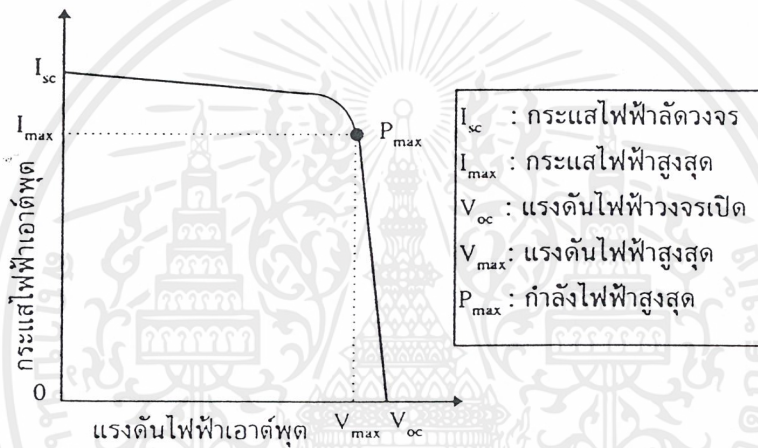
ถ้าพิจารณาความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้แก่ ความต้านทานอนุกรม  $R_s$  และ ความต้านทานชันต์  $R_{sh}$  ด้วย จะทำให้กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต  $I_{out}$  มีค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง  $I_{out} = I_o \left\{ \exp \left[ \frac{q(V - IR_s)}{nkT} \right] - 1 \right\} + \frac{V - IR_s}{R_{sh}} - I_{ph}$  นี้เป็นการนำไปใช้

### 3) แรงดันไฟฟ้าวงจรถัด (Open Circuit Voltage)

ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาพวงจรถัด (Open Circuit) แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เรียกว่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถัด (Open Circuit Voltage :  $V_{oc}$ ) โดยแทนค่า  $I_{out} = 0$  ดังนั้นจึงได้ว่า

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1\right)$$



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ จุดที่กราฟตัดแกนแรงดันไฟฟ้าคือแรงดันไฟฟ้าวงจรถัด จุดที่กราฟตัดแกนกระแสไฟฟ้า คือกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าสูงสุด  $P_{max}$  (maximum power) ที่เราจะได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max}$$

จะเท่ากับพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใหญ่ที่สุดภายในกราฟลักษณะสมบัตินี้ซึ่งแสดงด้วยเส้นไขว้ปลาในรูปที่ 2.1 ถ้าให้  $V_{max}$  (maximum voltage) และ  $I_{max}$  (maximum current) คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและกระแสไฟฟ้าสูงสุดตามลำดับที่จะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้น

เราสามารถคำนวณหาค่า  $V_{max}$  ได้ด้วยการหาค่าอนุพันธ์ของ  $P_{max}$  เทียบกับ  $V_{max}$  และกำหนดให้

$$\frac{\partial P_{max}}{\partial V_{max}} = 0 \quad \text{ผลลัพธ์คือ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\exp\left(\frac{qV_{\max}}{nkT}\right)\left(1 + \frac{qV_{\max}}{nkT}\right) = \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1\right)$$

ด้วยวิธีการคำนวณในการทำงานเดียวกัน  $I_{\max}$  จะมีค่าเท่ากับ

$$I_{\max} = \frac{(I_{sc} + I_0) \frac{qV_{\max}}{nkT}}{1 + \frac{qV_{\max}}{nkT}}$$

$$= \frac{V_{\max}}{V_{oc}} \left[ 1 - \frac{\exp(qV_{\max} / nkT) - 1}{\exp(qV_{\max} / nkT) - 1} \right]$$

#### 4) ฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor)

เอาต์พุตพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งคือ ฟิลล์แฟกเตอร์ ( Fill Factor ) เขียนย่อว่า FF นิยามของ FF คืออัตราส่วนของพื้นที่ของ  $V_{\max} \times I_{\max}$  ต่อพื้นที่  $V_{oc} \times I_{sc}$  และเขียนเป็นสูตรว่า

$$FF = \frac{P_{\max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{V_{\max} \times I_{\max}}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

ถ้าต้านทานอนุกรม  $R_s$  ในเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อย จะทำให้ฟิลล์แฟกเตอร์ FF มีค่ามากถ้าเราทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น เราจะสามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังนี้

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{V_{\max} \times I_{\max}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100\%$$

$$= FF \times (nkT / q) \ln[(I_{sc} / I_0) + 1] \times q \times \frac{\int_0^{\infty} F(\lambda) \eta_{ext}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} F(\lambda) (hc / \lambda) d\lambda}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

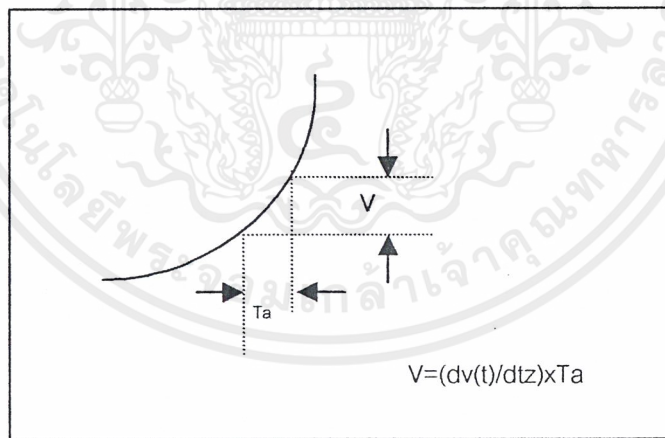
## การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

### 3.1 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

#### 3.1.1 ทฤษฎีการ sampling

ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นรหัสดิจิทัลนั้น ADC จะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการจัดการซึ่งเวลาดังกล่าวนั้น ขึ้นอยู่กับหลายๆแฟกเตอร์ เช่น ความละเอียดในการแปลงสัญญาณ(จำนวนดิจิทัลบิต) เทคนิคของการแปลงสัญญาณและความเร็วในการทำงานของอุปกรณ์ร่วมอื่นๆการกำหนดความเร็วของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณนี้ขึ้นอยู่กับการประยุกต์การใช้งานเฉพาะอย่าง และความแม่นยำที่ต้องการ

ช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ บางครั้งเรียกว่า Aperture time ซึ่งความหมายโดยทั่วไปหมายถึงช่วงเวลาที่เกิดความไม่แน่นอนขึ้นในการวัด และผลต่างคือความผิดพลาด(ERROR)ต่อค่าที่วัดได้



รูปที่ 3.1 แสดง error จากการวัดใน Aperture Time

ในรูปที่ 3.1 สัญญาณอนาลอก  $V(t)$  มีการเปลี่ยนแปลง  $dv/dt$  ในช่วง Aperture Time  $T$  ช่วงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอนาลอกจะเท่ากับ  $\rho V$  โดย

$$\rho V = T_a \frac{dV(t)}{dt}$$



ดังนั้นหากเวลาที่ ADC ใช้ในการเปลี่ยนในช่วงสัญญาณเวลานี้ รหัสดิจิทัลที่ได้อาจจะตรงกับขนาดของสัญญาณอนาลอกค่าหนึ่งในเวลาช่วงนี้ และส่วนอื่นๆที่เหลือคือ error ที่เกิดขึ้นเรียก error ที่เกิดขึ้นนี้เรียก Aperture Time error

ในตัวอย่างในกรณีสัญญาณอินพุตเป็นรูปซายน์ อัตราการเปลี่ยนแปลงบนรูปคลื่นจะเกิดสูงที่สุดตรงบริเวณจุดตัดแกนเวลารอบๆจุดศูนย์โวลท์(Zero Crossing) และ Aperture time error คือ

$$\Delta V = T_a \frac{d}{dt} (A \sin \omega t)_{t=0} = T_a A \omega$$

และ error รวม(  $\mathcal{E}$  ) คัดจากอัตราส่วนเต็มสเกล คือ

$$\mathcal{E} = \Delta V / 2A = \pi f T_a$$

ดังนั้นหากต้องเปลี่ยนสัญญาณเป็นรูปซายน์ความถี่ 1 กิโลเฮิรท์ ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล 10 บิต ซึ่งยอมให้ error ไม่เกินกว่า resolution คือ  $1/2^{10}$  LSB หรือ 0.001 ดังนั้นเวลา Aperture time จะต้องอยู่ในช่วง

$$T_a = \mathcal{E} / \pi f = (0.001 / 3.14 * 10^3) = 320 * 10^{-9}$$

จะเห็นว่าแม้แต่สัญญาณ 1 กิโลเฮิรท์ จะไม่ใช่ความถี่สูงก็จริง แต่ ADC ที่ใช้ต้องการเวลาในการเปลี่ยนในเวลา 320 นาโนวินาที ให้เป็นรหัส 10 บิต วิธีอื่นไม่จำเป็นต้องใช้ ADC ความเร็วสูงคือการ ใช้ Sample and hold ที่มี Aperture time น้อยๆนั้นทำได้ง่ายและราคาถูกกว่า

### 3.1.2 Sample and Hold และ Aperture time

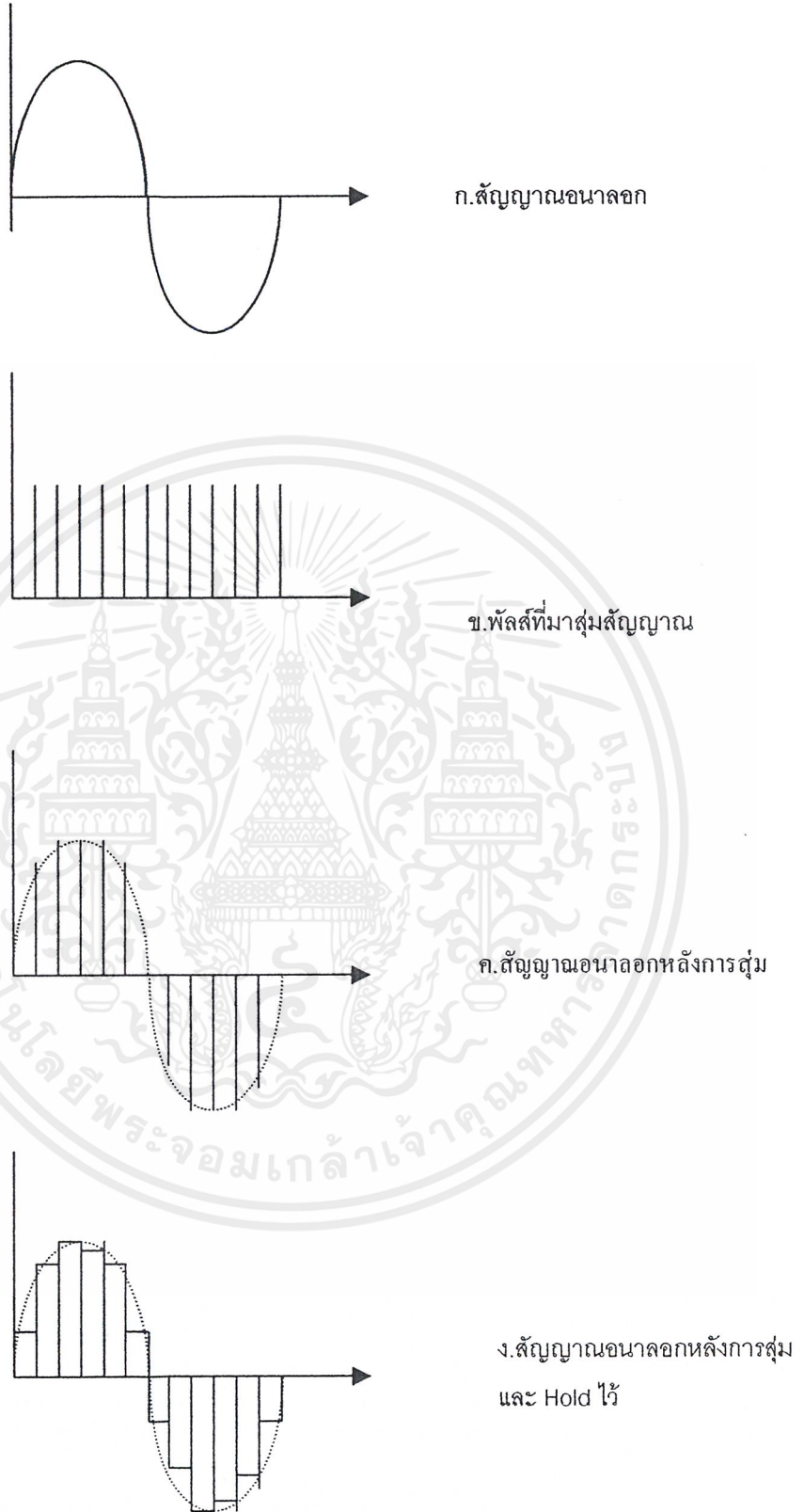
วงจร Sample and hold จะทำการสุ่ม(Sampling) สัญญาณอินพุต และนำสัญญาณที่สุ่มนั้นมาเก็บ (hold) ไว้ในช่วงใดช่วงหนึ่งก็ได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ประจุแรงดันนั้นไว้ในตัวเก็บประจุที่รั่วไหลต่ำ Aperture time ของ sample and hold คือตั้งแต่เวลาเริ่มสุ่มสัญญาณจนเก็บประจุค่าแรงดันนั้นไว้ในตัวเก็บประจุค่าแรงดันจนถึงค่าที่สุ่ม ซึ่งสำหรับ sample and hold แล้ว Aperture time ซึ่งสำหรับแบนวิทซ์ และ Sampling time ของอุปกรณ์แอกทิฟ ที่ใช้ในวงจรซึ่งหาและสร้างได้ง่ายกว่าการสร้าง ADC ความเร็วสูง

ในการสุ่มสัญญาณอนาลอกจะถูกสุ่มเป็นระยะๆ ลงที่ ตามรูปที่ 3.2 ค. การสุ่มจะเป็นสัญญาณอนาลอกในช่วงเวลาอันสั้นด้วยสวิทช์ที่ทำงานด้วยความเร็วสูง ผลของการสุ่มสัญญาณด้วยความเร็วจะเหมือนกับผลคูณขบวนสัญญาณพัลส์แคบๆ กับสัญญาณอนาลอก ซึ่งจะได้เป็นสัญญาณที่มอดูเลทระหว่างขบวนพัลส์สัญญาณอนาลอก โดยเสมือนว่าสัญญาณอนาลอกจะเข้ามาบน

สัญญาณพัลส์ที่แสดงในรูปที่ 3.2 ค ถ้าหากสัญญาณอนาลอกที่ถูกสุ่มถูก hold จนกว่าค่าของสัญญาณใหม่จะถูกสุ่มเข้ามาซึ่งจะได้ลักษณะของ เอาท์พุทที่แสดงดังรูปที่ 3.2 ง

อัตราการสุ่มสัญญาณจะมีขนาดเท่าใดนั้นจึงจะไม่ทำให้ข้อมูลสูญหายไป เมื่อสัญญาณนั้นถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นเช่นเดิม(reconstruction) ก็จะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ขึ้นอยู่กับสัญญาณอนาลอก โดยทฤษฎีของการสุ่มกล่าวไว้ว่า “ ถ้าสัญญาณต่อเนื่องซึ่งมีค่าความถี่และฮาโมนิคส์ไม่เกิน  $f_c$  จะถูกสุ่มด้วยอัตราการสุ่มไม่น้อยกว่า  $2f_c$  แล้วสัญญาณดังกล่าวจะเปลี่ยนกลับมาได้อย่างเดิมโดยไม่สูญเสียรายละเอียดหรือผิดเพี้ยนไป ”





รูปที่ 3.2 การสุ่มสัญญาณ

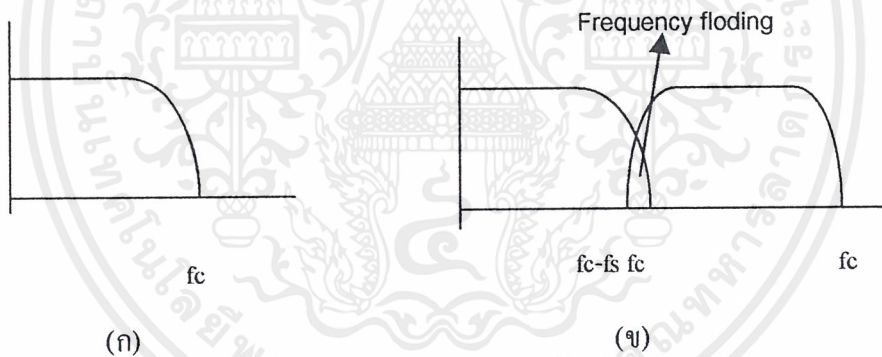
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 Frequency folding and Aliasing

จากทฤษฎีของการสุ่มสามารถอธิบายด้วยลักษณะรูปของสเปกตรัมของสัญญาณ  
ในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 (ก) แสดงให้เห็นสเปกตรัมของสัญญาณที่ถูกสุ่มซึ่งแบนวิธซ์ไม่เกิน  $f_c$  ในขณะที่สัญญาณนี้  
จะถูกสุ่มด้วยความถี่  $f_s$  ขบวนการมอดูเลชันจะทำให้เกิดความถี่สเปกตรัมของสัญญาณสุ่มที่ขยาย  
กว้างออกจาก  $f_c$  เป็น  $2f_s$ ,

$3f_s, \dots$  จะได้เป็นดังรูป 3.3 ข ถ้าเกิดความถี่ของสัญญาณสุ่ม  $f_s$  ไม่สูงพอหลังจากการสุ่มของส  
เปกตรัมบางส่วนของ  $f$  จะหาซ้อนกลับสเปกตรัมของสัญญาณ ซึ่งเรียกว่า frequency folding หากเป็น  
เช่นนี้ก็จะทำให้เกิดความเพี้ยนแก่สัญญาณนอกจากการซ้อนทับกันของสเปกตรัม เมื่อสัญญาณ  
ถูกเปลี่ยนกลับให้เป็นอยู่ในรูปเดิม



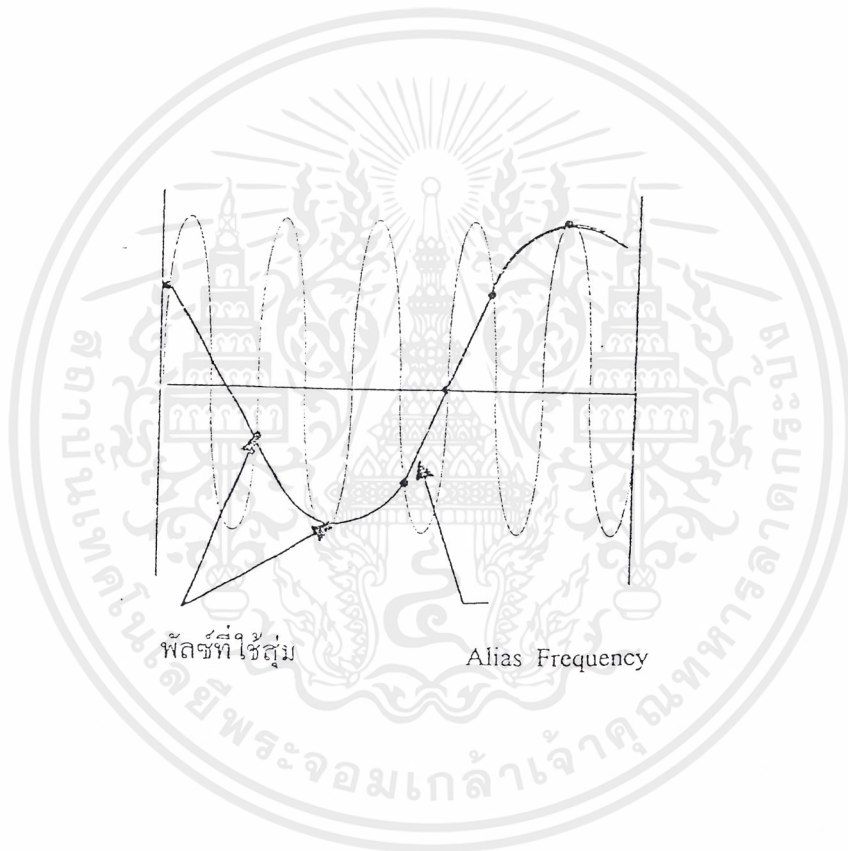
รูปที่ 3.3 (ก) แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่สุ่ม

(ข) แสดงสเปกตรัมหลังการสุ่ม

และถ้าเลื่อนความถี่ของการสุ่มให้สูงขึ้นจน โอกาสการซ้อนของสเปกตรัมทั้งหมดไป ( $f_s - f_c = f_c$ ) และการเปลี่ยนกลับของสัญญาณหลังการสุ่มเป็นเหมือนเดิมได้

ทฤษฎีของการสุ่มที่ว่าให้  $f_s > 2f_c$  นั้นก็เพื่อจัดการซ้อนกันของสเปกตรัม ซึ่งทำได้สองวิธี  
วิธีที่หนึ่งใช้วิธีการสุ่มที่สูงพอ และอีกวิธีหนึ่งคือการทำฟิลเตอร์ความถี่ของสัญญาณนอกหลัง  
การสุ่ม (Antialiasing filter) เพื่อกำจัดแบนด์วิธของสัญญาณที่ถูกแปลงไม่ให้เกินไปกว่า  $f_s/2$  ในทาง  
ปฏิบัติแล้วจะยังคงเกิด Frequency folding ได้เสมอจากส่วนจากฮาโมนิกของสัญญาณ รวมซ้อนกัน

ของสเปกตรัม ดังนั้นวิธีนี้จะลดผลของ aliasing ก็คือ นอกจากฟิลเตอร์ฮาร์โมนิกส์สูงๆของสัญญาณแล้ว พยายามให้การสุ่มของสัญญาณเป็นไปอย่างรวดเร็วมากที่สุด ซึ่งปกติจะสูงกว่าความถี่ต่ำสุดตามทฤษฎี sampling คือ  $2f_c$  เสมอ



รูปที่ 3.4 แสดงการเกิด Alias Frequency จากการสุ่มด้วยความถี่ที่ต่ำกว่า 2 เท่าของความถี่ของสัญญาณอินพุตรูปซายน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการใช้อัตราสุ่มที่ไม่เหมาะสมจะเกิดเป็นสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า เรียกว่า Alias Frequency เมื่อสัญญาณถูกเปลี่ยนกลับมาเช่นเดิมหลังจากการสุ่มแล้วจึงแสดงในรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าความถี่ Aliasing อาจแตกต่างจากความถี่เดิมไปมาก

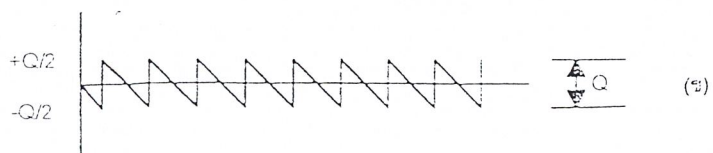
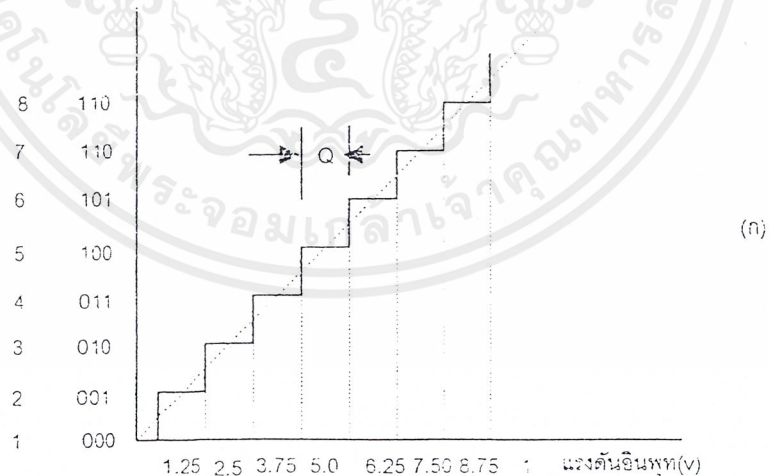
Anti Aliasing filter จะช่วยลดสัญญาณในช่วงแถบความถี่ที่ทำให้เกิด Alias Frequency ในขณะที่ต้องไม่ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณในแบนด์ที่ใช้งานและไม่ลดความแม่นยำในการวัดโดยรวมอีกด้วย ในการใช้ Anti Aliasing filter ปริมาณขจัดความถี่สูงจะขึ้นอยู่กับ

- ความถี่สูงสุดที่น่าสนใจ
- อัตราการสุ่ม
- ความละเอียดของการแปลงสัญญาณ

ฟิลเตอร์ที่ใช้อาจจะเป็น พาสซีฟฟิลเตอร์ แอกทีฟฟิลเตอร์ หรือ switched capacitor ฟิลเตอร์

### 3.3 Quantizing theory

Quantizing เป็นขบวนการที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง(discrete signal) หลังการสุ่ม โดยขบวนการ เข้ารหัส(Coding) เพื่อให้สัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องนั้นอยู่ในรูปง่ายต่อการประมวลผลเป็นสัดส่วนสัมพันธ์กับสัญญาณอนาลอก เช่น ในรูปของรหัสไบนารี (binary) เป็นต้น หากนำเอาขนาดของสัญญาณอนาลอก และเข้ารหัสดิจิทัลที่ได้จากการ Quantize มาเขียนกราฟจะได้กราฟแสดง Quantizing transfer function ดังรูป



รูปที่ 3.5 Transfer function ของ Quantize 3 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกราฟแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างสัญญาณอนาลอกที่ขนาดอยู่ระหว่าง 0 ถึง +10 โวลต์ ถูก Quantize และ Encode เป็นรหัสไบนารี (Binary) 3 บิต ได้ 8 ระดับจาก 000 ถึง 111 เนื่องจากในระบบไบนารี รหัสดิจิทัลแต่ละค่าจะแทนขนาดของสัญญาณอนาลอกแต่ละค่าที่เป็นสัดส่วนกับค่าเต็มสเกล โดยค่าสูงสุดของรหัสดิจิทัลคือ ทุกบิตเป็น 1 จะเท่ากับสัญญาณอนาลอกเต็มสเกลคูณด้วย  $(2^n - 1)$  โดย n เป็นจำนวนบิตของรหัสดิจิทัล และรหัสดิจิทัลแต่ละบิตที่เป็น 1 จะเท่ากับขนาดเต็มสเกลของอนาลอกคูณกับค่า weighting ของรหัสนั้นหารด้วย  $2^n$  ตัวอย่างเช่น ค่าเต็มสเกลของสัญญาณอนาลอกเป็น 10 โวลต์ รหัส 1011 จะแทนขนาดสัญญาณอนาลอกอินพุท

$$\begin{aligned} V_{\text{input}} &= R_s \left\{ (1 \cdot 2^3) + (0 \cdot 2^2) + (1 \cdot 2^1) + (1 \cdot 2^0) \right\} \\ &\quad 2^n \\ &= \frac{10}{2^4} \left\{ (1 \cdot 2^3) + (0 \cdot 2^2) + (1 \cdot 2^1) + (1 \cdot 2^0) \right\} \end{aligned}$$

จุดสำคัญที่เกี่ยวกับกราฟ transfer function ในรูปที่ 3.5 อันดับแรกได้แก่ ความละเอียด (Resolution) ของ quantizer ซึ่งกำหนดได้จากจำนวนบิตของรหัสของดิจิทัล หรือ จากกราฟคือขนาดกว้างของ ขั้นระดับ (step) ทางแกนอนาลอกอินพุทว่าเป็นสัดส่วนเท่าใดระหว่างเต็มสเกลอนาลอกกับค่า  $2n$

จำนวนสถานะเอาต์พุทกำหนดได้จากจำนวนบิตคือเท่ากับ  $2^n$  สถานะตัวอย่างกรณี ADC 8 บิต Quantizer จะให้ค่าเอาต์พุท 256 สถานะ และ 12 บิตให้ 4096 สถานะต่อค่าเต็ม สเกลของอนาลอกใน ไดอะแกรมแสดง transfer function จะเห็นจุดแบ่งระดับ (Decision point หรือ threshold level) สัญญาณอนาลอกจะมีจำนวน  $2^n - 1$  จุดที่อยู่ 0.625, 1.875, 3.125, 4.375, 5.625, 6.875 และ 8.125 โวลต์ ระหว่างจุดดังกล่าวเป็นสัญญาณอนาลอกซึ่งแปลงเป็นรหัสดิจิทัล 1 สถานะ ดังนั้นค่าเหล่านี้จะต้องปรับให้ถูกต้องมากที่สุดเพื่อแปลงขนาดอนาลอกให้ตรงกับค่าที่ต้องการ Quantized แรงแค้นที่ 1.25, 2.50, 3.75, 5.0, 6.25, 7.2 และ 8.75 โวลต์เป็นจุดกึ่งกลางในช่วงของสัญญาณอนาลอกที่แสดงสถานะเอาต์พุทดิจิทัลของฟังก์ชันที่มีลักษณะเป็นขั้นบันไดนี้ สามารถประมาณเป็นเส้นตรงได้ โดยการโยงเส้นตรงระหว่างจุดเริ่มและจุดปลาย ณ จุดกึ่งกลางของรหัสดิจิทัลสถานะสุดท้ายสังเกตว่าในทางทฤษฎีแล้วเส้นตรงนี้จะต้องผ่านจุดกึ่งกลางของทุกระดับดิจิทัล

### 3.4 Quantizer Resolution and Error

ในแต่สถานะของสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตจะแทนของสัญญาณอนาลอกค่าใดค่าหนึ่งในช่วงเล็กๆระหว่างจุดแบ่งระดับ เรียกช่วงเล็กๆนี้ว่าเป็นขนาดหนึ่ง Analog Quantization หรือหนึ่ง Quantum หรือ 1 LSB (Last Significant Bit) ของการแปลงสัญญาณ ตัวอย่างในรูปที่ 3.5 ก ค่าควอนตัม หรือ 1.25 โวลต์ค่านี้ได้จากการคำนวณจาก

$$Q = \text{FSR} / 2^N$$

FSR คือ ช่วงเต็มสเกลของแรงดันอนาลอก (Full Scale Analog)

N คือ จำนวนบิตของดิจิทัล

จากสมการจะเห็นว่า หากการแปลงที่ให้จำนวนบิตมากขนาดของควอนตัมก็จะลดลง และถ้าให้สัญญาณอินพุตของ Quantizer กว้างไปตลอดช่วงสัญญาณอนาลอกก็จะเป็นช่วงของผลต่างของอนาลอกอินพุตและดิจิทัลเอาต์พุตเป็นช่วง ซึ่งพล็อตได้รูปเป็น รูปฟันเลื่อยดังรูป 3.5 (ข) เรียกว่า quantizing error ซึ่ง error นั้นก็คือ 1 ช่วงสัญญาณอนาลอกแปลงเป็นดิจิทัล 1 สถานะ

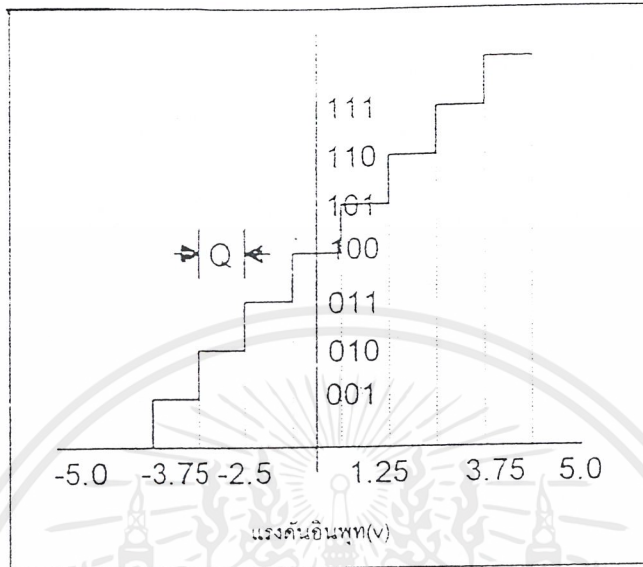
Error นี้เป็นธรรมชาติของ Quantizing ซึ่งทำการแก้ไขไม่ได้นอกจากการเพิ่มจำนวนบิตของ Quantizer ให้มากขึ้นและ เอาต์พุต error จะอยู่ระหว่าง  $Q - Q/2$  Error อาจจะเป็นศูนย์เมื่อสัญญาณอนาลอกที่จุดกึ่งกลางของควอนตัมพอดี ลักษณะฟังก์ชันของ error จะสามารถพิจารณาเป็นสัญญาณรบกวนทางอินพุต ซึ่งมีค่าเป็น  $Q/2$  และค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ค่า rms (root mean square) เป็น  $Q/2\sqrt{3}$  ซึ่งจะได้จากการวิเคราะห์รูปคลื่นฟันเลื่อย

### 3.5 รหัสตัวเลขสำหรับการเปลี่ยนข้อมูล

รหัสตัวเลขที่นิยมนำมาใช้ในระบบเปลี่ยนข้อมูลได้แก่รหัสไบนารีหรือเรียกว่า Straight binary โดยที่รหัสไบนารีสถานะสูงสุดจะแทนอนาลอก  $\text{FSR} \times (1 - 2^{-N})$  โวลต์ ตัวอย่างเช่น หากสัญญาณอนาลอกเต็มสเกล (FSR) เท่ากับ 20 โวลต์ สำหรับ ADC ขนาด 12 บิต รหัส 1111 1111 1111 จะแทนสัญญาณอนาลอกขนาด  $20 \times (1 - 2^{-12})$  หรือ 19.9951171 โวลต์ นอกจากรหัสไบนารีธรรมดาดังกล่าว ยังมีการใช้ระบบไบนารีแบบอื่นๆ ในระบบการแปลงสัญญาณได้แก่ อ็อฟเซตไบนารี, Two's complement, BCD ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดีและความเหมาะสมต่างกัน ตัวอย่างเช่น ระบบ BCD เหมาะสำหรับการแสดงเป็นตัวเลขหน้าปัด และสำหรับระบบอ็อฟเซตไบนารีนั้นเหมาะสมสำหรับการแปลงสัญญาณอินพุตที่มีทั้งช่วงบวกและลบ ในรูปที่ 3.6 แสดง transfer function ของ ADC 3 บิต ที่ใช้รหัสอ็อฟเซตไบนารี

นอกจากมาตรฐานของการใช้รหัสตัวเลข ยังมีมาตรฐานของการเลือกช่วงของขนาดแรงดันอินพุต สำหรับ ADC คือ หากเป็นสัญญาณช่วงบวกหรือ ลบ อย่างเดียวจะใช้ 0 – 5 โวลต์ หรือ 0 – 10 โวลต์ แต่ถ้าจะเป็นช่วงลบจะใช้ - 2.5 โวลต์, - 5 โวลต์ และ - 10 โวลต์ เป็นมาตรฐาน



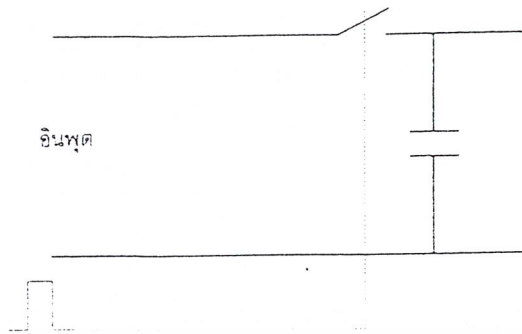


รูปที่ 3.6 Transfer function ของ ADC 3 บิตที่ใช้รหัสไบนารี

### 3.6 วงจร Sampling circuit

ความจริงแล้ววงจร Sampling มิได้มีใช้เฉพาะกับ ADC เท่านั้น แต่ก็ยังใช้งานทั้งไปในระบบ data distribution ,sampling scope , DVM ,reconstruction filter และอนาล็อกคอมพิวเตอร์ เป็นต้น วงจร Sampling โดยทั่วไปแล้ว เป็นอุปกรณ์หรือวงจรเก็บแรงดัน (Voltage memory) ซึ่งใช้อุปกรณ์ร่วมสำคัญคือตัวเก็บประจุ ในรูปที่ 3.7 แสดงวงจรพื้นฐานของ Sampling อิเล็กทรอนิกส์ วิตช์จะต่อสัญญาณแรงดันเข้ากับตัวเก็บประจุซึ่งสวิทช์นี้ควบคุมจาก Sampling pulse ช่วงการตัดต่อสวิทช์และเวลาในการประจุแรงดันจนถึงค่าที่ sample มานั้น เรียกว่า Aperture - time ของวงจร Sampling จากลักษณะการทำงานของวงจรดังกล่าววงจร Sampling จะมีจุดตัดต่อสัญญาณเข้าออก 3 จุดด้วยกันคือสัญญาณอนาล็อกอินพุตสัญญาณ Sampling และ เอาท์พุท

## สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์



สัญญาณควบคุมการสุ่ม

## รูปที่ 3.7 บล็อกโคอะแกรมของวงจร S/H

รูปที่ 3.7 แสดงวงจรที่ใกล้เคียงกับวงจรที่ใช้ในทางปฏิบัติ โดยเพิ่มเติมบัฟเฟอร์แอมป์ไฟร์เข้าทางส่วนอินพุตและเอาต์พุตของวงจร sampling พื้นฐาน แอมป์ไฟร์เออร์ทางด้านอินพุตช่วยทำให้วงจรมีอินพุตอิมพีแดนซ์ สูงสะดวกต่อการใช้งานและสามารถเพิ่มกระแสเพื่อทำการประจุ  $C_H$  ได้เร็วขึ้นส่วนทางเอาต์พุตช่วยทำให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์สามารถขับ ADC ได้ง่าย มีจุดสำคัญที่ต้องพิจารณาคือในส่วนของแอมป์ไฟร์เหล่านี้ ปกติแล้วจำเป็นจะต้องเป็นแอมป์ไฟร์ที่ใช้กระแสอินพุตต่ำเพื่อให้ดึงกระแสจากตัวเก็บประจุมีฉะนั้นแรงดันจะลดระดับเนื่องจากการโหลด (droop)

ปกติแล้วมักใช้แอมป์ไฟร์เออร์ที่มี FET หรือ MOSFET เป็นอินพุตเพราะการไบอัสด้วยแรงดันทำให้กระแสอินพุตต่ำด้วย

วงจร Sampling ในระบบ Data Acquisition นิยมใช้สองแบบคือ Sampling gate หรือ Sampler และ Sample and Holds (S&P gate) วงจร Sampling gate จะอยู่ในสถานะ input impedance เมื่อไม่มีการสุ่ม และเมื่อมีการสุ่มเอาต์พุต ปรากฏสัญญาณที่ได้รับมาทันทีนั้น ส่วน S&H จะตัดต่อสวิตช์ช้ากว่า โดยมีลักษณะการทำงานเป็นสองขั้นตอนคือ

- ขณะที่ตัดสัญญาณออกวงจรจะ track ตามสัญญาณอินพุต จนกว่าจะมีการสุ่มสัญญาณ
- Hold อินพุตค่าที่ sampling ครั้งสุดท้ายจะถูกเก็บไว้เมื่อเข้าสู่โหมด Hold

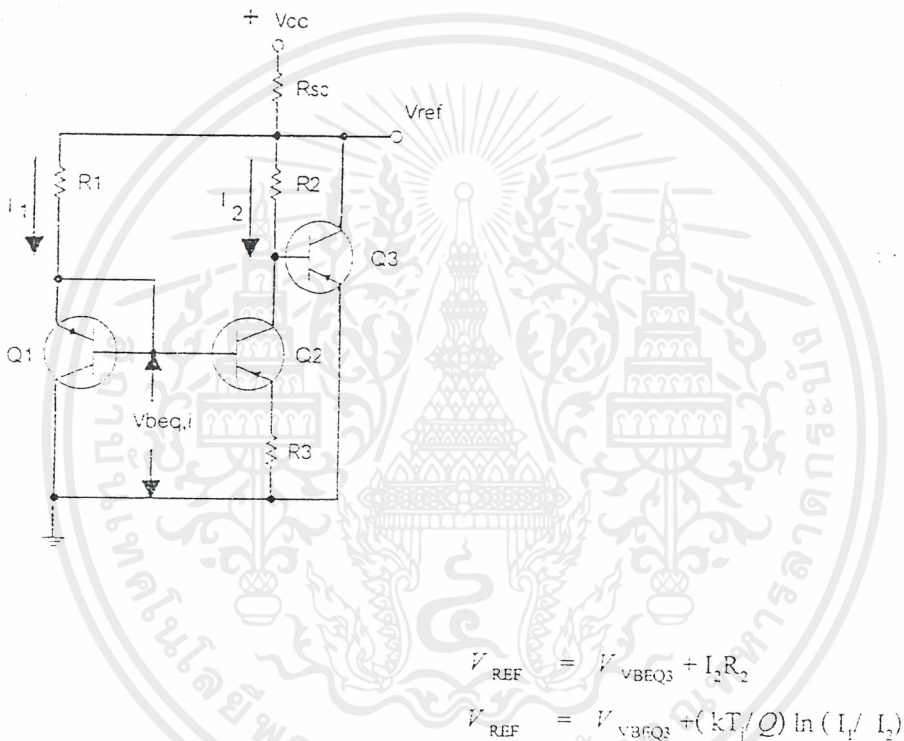
Sampling gate นิยมนำมาใช้ในระบบความถี่สูง เช่นใน Sampling CRO , Vector voltmeter ,RF vector impedance meter , Microwave DFM ส่วน S&H นั้นเนื่องจากมีแบนด์วิดธ์ต่ำกว่ามากจึงเหมาะสำหรับงานทั่วไป

### 3.7 วงจรแรงดันอ้างอิง ( Voltage Reference Circuit)

วงจรแรงดันอ้างอิง เป็นวงจรที่สำคัญวงจรหนึ่งในระบบ Data Acquisition เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดคุณภาพของวงจร DAC หรือ ADC วงจรแรงดันอ้างอิงมีทั้งเป็นวงจรอิสระหรือเป็นวงจรรวมที่อยู่ในวงจร DAC หรือ ADC

#### Bandgap Voltage Reference

Bandgap Voltage Reference ได้รับการออกแบบเพื่อแก้ไขทางสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ โดยใช้ผลต่างของแรงดันเบส – อิมิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์สองตัวที่ทำงานแตกต่างกัน



$k$  = Boltzmann's constant ( $1.3805 \times 10^{-23}$  J/K)

$T_j$  = absolute temperature ของรอยต่อ

$q$  = electron charge ( $1.6021 \times 10^{-19}$  C)

#### รูปที่ 3.8 วงจร Band gap voltage reference

แรงดันอ้างอิงแบบแบนแกปได้ถูกสร้างโดยใช้วงจรพื้นฐานในรูปที่ 3.8 และมีจำหน่ายในตัวถังคล้ายทรานซิสเตอร์ เช่น เบอร์ LM 336 สามารถปรับค่า  $V_{out}$  ได้

## บทที่ 4

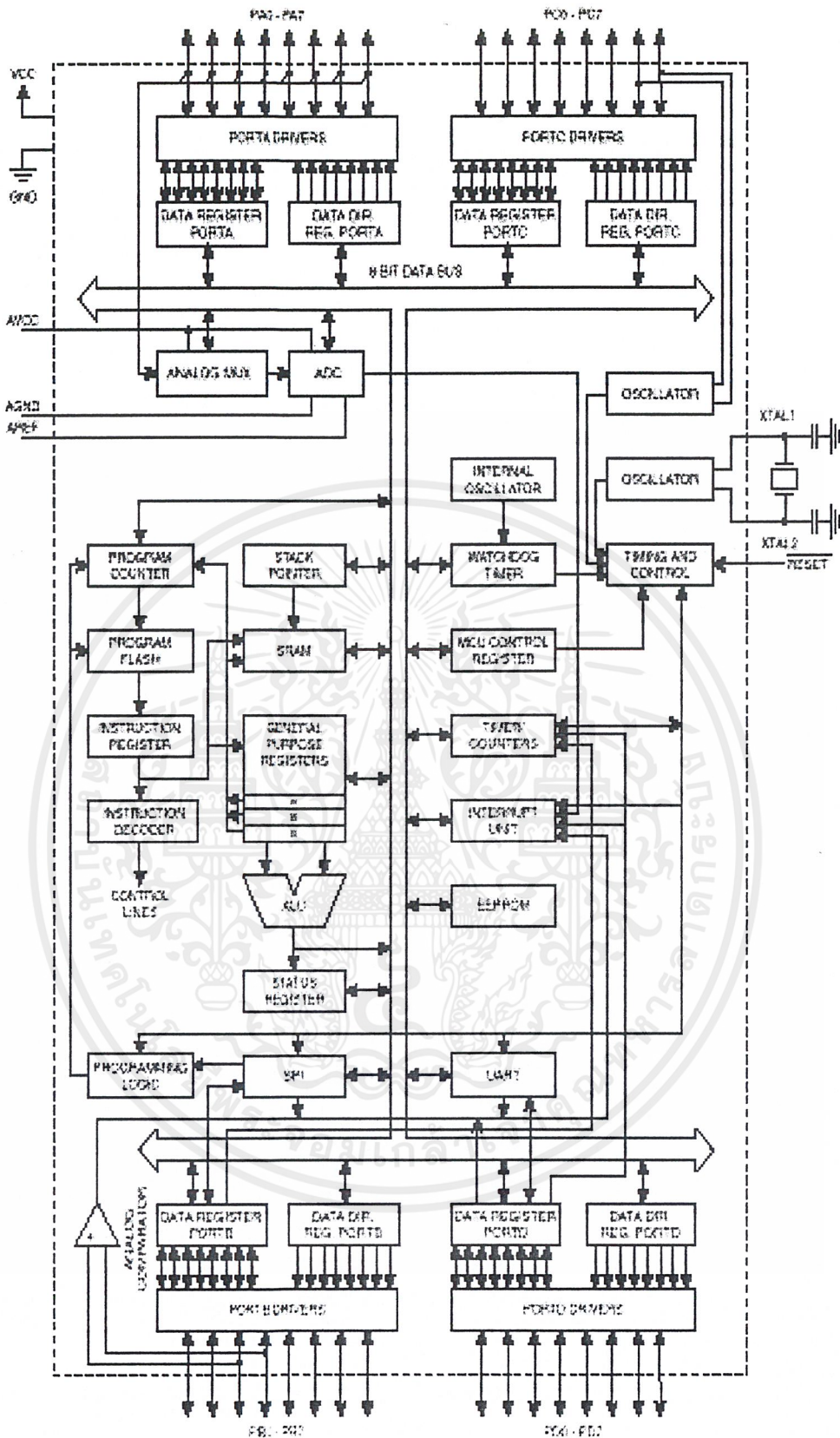
### การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ AT90S8535

#### 4.1 คุณสมบัติทั่วไป

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT90S4434/8535 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 8 บิต ที่ใช้เทคโนโลยีของ CMOS ทำให้กินกำลังงานต่ำ โดยใช้โครงสร้างทางสถาปัตยกรรมแบบ AVR enhanced RISC การทำงานแต่ละคำสั่งใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 รอบ (cycle) ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดนี้สามารถทำงานได้ถึงความเร็วระดับ 1 ล้านคำสั่งต่อวินาทีเมื่อใช้กับสัญญาณนาฬิกา 1 MHz ซึ่งการออกแบบระบบเพื่อให้มีการใช้กำลังงานอย่างเหมาะสม จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย

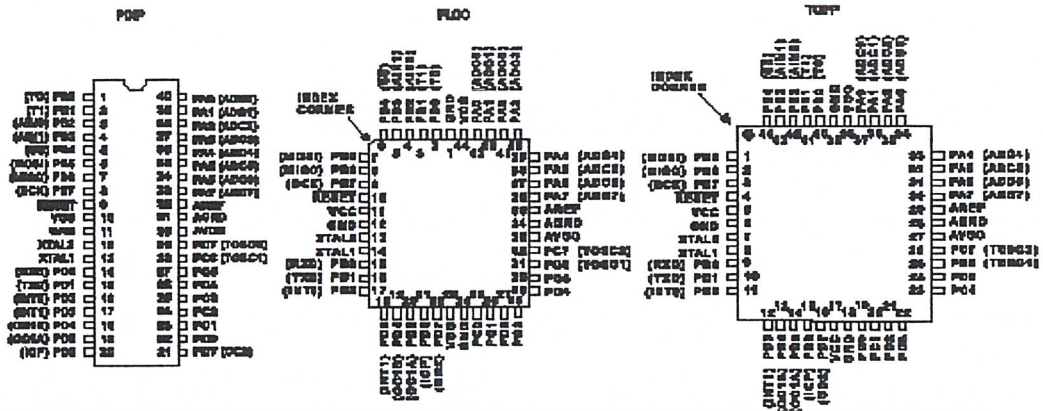
#### 4.2 คุณสมบัติที่สำคัญ

- มีคำสั่งใช้งาน 118 คำสั่ง ซึ่งคำสั่งส่วนใหญ่จะใช้เวลาในการดำเนินการ(execute) เพียง 1 cycle ของสัญญาณนาฬิกา
- มีหน่วยความจำแบบ Flash (Flash memory) ที่สามารถโปรแกรมได้ขนาด 8K bytes สำหรับ AT90S/LS8535 และ 4K bytes สำหรับ AT90S/LS4434 โดยที่สามารถเขียนและลบโปรแกรมในหน่วยความจำนี้ได้ 1000 ครั้ง
- มีหน่วยความจำ EEPROM ขนาด 512 bytes สำหรับ AT90S/LS8535 และ 256 bytes สำหรับ AT90S/LS4434 โดยที่สามารถเขียนและลบโปรแกรมในหน่วยความจำนี้ได้ 100000 ครั้ง
- มีหน่วยความจำแบบ SRAM ขนาด 512 bytes สำหรับ AT90S/LS8535 และ 256 bytes สำหรับ AT90S/LS4434
- มี port สำหรับการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล(Analog to Digital Converter) 8 ช่องสัญญาณ (channel) และได้สัญญาณที่มีขนาด 10 บิต
- มีรีจิสเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป (General Purpose Register) ขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว
- มีสายสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต (I/O line) ที่สามารถทำการ โปรแกรมได้ 32 เส้น
- มี Interrupt Sources ทั้งแบบภายนอกและภายใน
- มี sleep mode 3 แบบ คือ Idle, Power Save และ Power Down



รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงขาสัญญาณต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ในรุ่นต่างๆ  
รายละเอียดของแต่ละขาสัญญาณ

**V<sub>CC</sub>**

เป็นไฟเลี้ยงขนาด 5 V (Digital supply voltage)

**GND**

เป็นกราวด์ของระบบ (Digital ground)

**Port A (PA7..PA0)**

Port A เป็น port I/O ขนาด 8 บิต แบบ 2 ทิศทาง (bi-directional) มีตัวที่ทำหน้าที่เป็นตัวดี เนทานเพื่อทำการ pull up ภายใน Port A สามารถดึงกระแสได้ประมาณ 20 mA Port A สามารถรับอินพุตที่เป็นสัญญาณอนาล็อกเพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล

**Port B (PB7..PB0)**

Port B เป็น port I/O ขนาด 8 บิต แบบ 2 ทิศทาง (bi-directional) มีตัวที่ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานเพื่อทำการ pull up ภายใน Port B สามารถดึงกระแสได้ประมาณ 20 mA Port B สามารถแทนเป็นฟังก์ชันการทำงานต่างๆได้

**Port C (PC7..PC0)**

Port C เป็น port I/O ขนาด 8 บิต แบบ 2 ทิศทาง (bi-directional) มีตัวที่ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานเพื่อทำการ pull up ภายใน Port C สามารถดึงกระแสได้ประมาณ 20 mA ขาของPort C 2 ขาสามารถใช้เป็นตัวสร้างสัญญาณ Timer/Counter2

**Port D (PD7..PD0)**

Port D เป็น port I/O ขนาด 8 บิต แบบ 2 ทิศทาง (bi-directional) มีตัวที่ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานเพื่อทำการ pull up ภายใน เมื่อใช้เป็นอินพุต Port A สามารถดึงกระแสได้ประมาณ 20 mA Port C สามารถแทนเป็นฟังก์ชันการทำงานต่างๆได้

**RESET**

เป็นขาสำหรับ reset ระบบ เมื่อรับสัญญาณที่เป็น low เข้ามาเป็นเวลา 2 machine cycle สัญญาณจาก oscillator จะทำการ reset ระบบ

**XTAL1**

เป็นอินพุตให้กับวงจร inverting oscillator เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกา

**XTAL2**

เป็นเอาต์พุตจากวงจร inverting oscillator

**AV<sub>CC</sub>**

เป็นไฟเลี้ยงให้กับการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Converter) ซึ่งจะต่อร่วมกับ V<sub>CC</sub> โดยผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

**AREF**

เป็นแรงดันอ้างอิงทางอนาล็อก (analog reference) สำหรับ A/D Converter

**AGND**

เป็นกราวด์ทางอนาล็อก (analog ground) ถ้าไม่มีกราวด์ต่อแยกอยู่ภายนอกต้องต่อขานี้ร่วมกับขา GND

**4.3 สถาปัตยกรรมโดยรวมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR**

หลักการของการเข้าถึงรีจิสเตอร์ไฟล์ (register file) ที่ทำงานเป็นรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (General purpose working register) โดยสัญญาณนาฬิกา 1 cycle ซึ่งหมายถึง ในช่วงเวลาสัญญาณนาฬิกา 1 cycle การกระทำทางคณิตศาสตร์ผ่านทาง ALU จะดำเนินการ (execute) รวมทั้งเก็บผลลัพธ์กลับใน register file โดยที่ register file จำนวน 6 ตัวจาก 32 ตัว สามารถที่จะใช้เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต จำนวน 3 ชุด เพื่อใช้เป็นตัวชี้ตำแหน่ง address ในหน่วยความจำแบบทางอ้อม (Indirect addressing) ทำให้การคำนวณค่า address มีประสิทธิภาพมากขึ้น รีจิสเตอร์เหล่านี้ คือ X-register, Y-register, Z-register

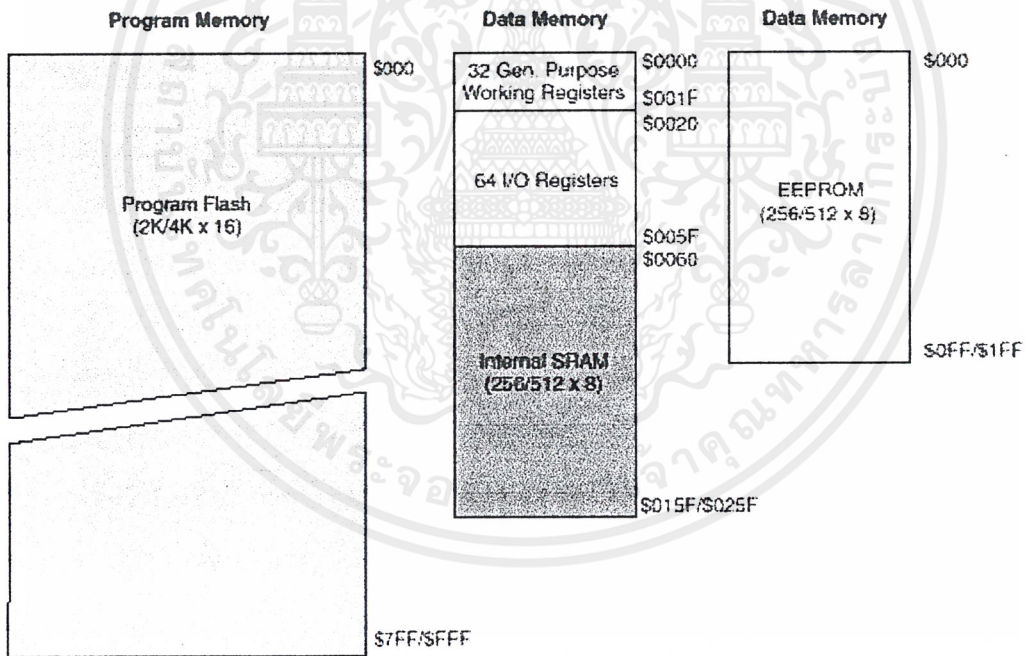
หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Logic Unit) หรือ ALU สามารถใช้ได้กับการคำนวณทางคณิตศาสตร์และฟังก์ชันทางตรรก (logic function) ระหว่างรีจิสเตอร์ด้วยกัน หรือระหว่างค่าคงที่กับรีจิสเตอร์รวมทั้งการกระทำด้วยรีจิสเตอร์เพียงตัวเดียว

ในการดำเนินการกับรีจิสเตอร์มักใช้การอ้างตำแหน่ง address ของรีจิสเตอร์ผ่านหน่วยความจำ (memory addressing mode) ซึ่งได้แก่ การจัดให้ register file อยู่ในตำแหน่ง \$00-\$1F ซึ่งสามารถเรียกใช้ register file แต่ละตัวได้โดยเรียงลำดับตามตำแหน่ง address

หน่วยความจำอินพุต/เอาต์พุต (I/O memory) มีพื้นที่ใช้งานในการอ้างตำแหน่ง address 64 ตำแหน่ง สำหรับใช้กับ Control Register, Timer/Counter, A/D-Converter และฟังก์ชัน I/O อื่นๆ โดยหน่วยความจำนี้ถูกจัดอยู่ในตำแหน่ง \$20-\$5F

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ใช้หลักการทางสถาปัตยกรรมแบบ Harvard คือ มีหน่วยความจำที่แยกกันทำงานและมีสายบัสสำหรับโปรแกรมและข้อมูล ในขณะที่คำสั่งหนึ่งถูกดำเนินการ คำสั่งถัดไปจะถูกนำเข้ามารอ หลักการนี้จะทำให้ทุกๆคำสั่งจะถูกดำเนินการในทุกๆ cycle ของสัญญาณนาฬิกา

สำหรับคำสั่งเกี่ยวกับการเรียกและการกระโดดแบบสัมพันธ์ (Relative jump and call) คำสั่งเหล่านี้สามารถเรียกตำแหน่งในหน่วยความจำโปรแกรมได้โดยตรง คำสั่งที่ใช้กับหน่วยความจำโปรแกรมจะมีขนาด 16 หรือ 32 บิต ระหว่างที่มีการ interrupt และการเรียก subroutine ตัวชี้ตำแหน่ง address (Program Counter) เดิมก่อนการกระโดดจะถูกเก็บใน stack ซึ่งการเขียนโปรแกรมจะต้องกำหนดค่า initial ให้กับ stack pointer ใน routine สำหรับการ reset ด้วย



รูปที่ 4.3 แสดงการจัดตำแหน่งในหน่วยความจำ (memory maps) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR



#### 4.3.1 หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Logic Unit)

ALU จะทำงานติดต่อกับ register file ทั้ง 32 ตัว การทำงานของ ALU แบ่งเป็น 3 ระดับหลักๆ คือ การคำนวณทางคณิตศาสตร์, ฟังก์ชันทางตรรก และฟังก์ชันระดับบิต

#### 4.3.2 หน่วยความจำโปรแกรม (Programmable Flash Memory)

เนื่องจากคำสั่งที่ใช้เป็นคำสั่งขนาด 16 หรือ 32 บิต ดังนั้น Flash memory จึงถูกจัดให้เป็น 2K/4K × 16 Flash memory สามารถที่จะเขียนและลบโปรแกรมได้ประมาณ 1000 ครั้ง

#### 4.3.3 หน่วยความจำข้อมูล SRAM

หน่วยความจำข้อมูลประกอบด้วยส่วนที่เป็น register file, I/O memory และ internal data SRAM ตำแหน่งของ SRAM จะอยู่ต่อจากส่วนของ register file และ I/O memory

#### 4.3.4 หน่วยความจำข้อมูล EEPROM

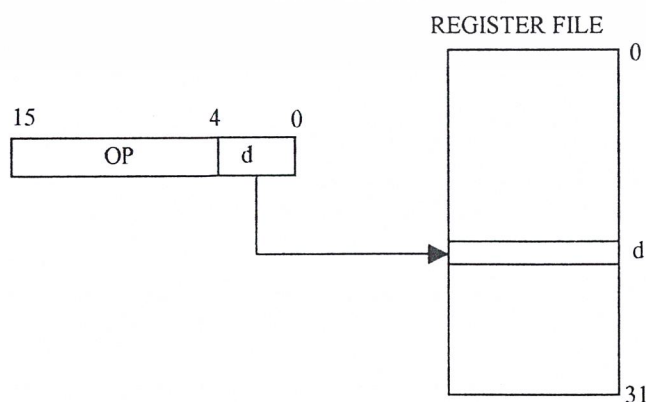
EEPROM ถูกจัดให้เป็นลักษณะที่ว่างของข้อมูล ซึ่งสามารถที่จะเขียนหรืออ่านข้อมูลขนาด 1 byte ได้ EEPROM สามารถที่จะเขียนหรือลบข้อมูลได้ประมาณ 100000 ครั้ง ในขณะที่มีการเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก EEPROM CPU จะหยุดทำงานเป็นเวลาเท่ากับสัญญาณนาฬิกา 2 cycle ก่อนที่จะทำคำสั่งต่อไป

การอ้าง address สำหรับหน่วยความจำข้อมูล มี 5 วิธี คือ แบบทางตรง, แบบทางอ้อม, แบบทางอ้อมโดยการแทนที่, แบบทางอ้อมโดยการลดค่าก่อน, แบบทางอ้อมโดยการเพิ่มค่าก่อน รีจิสเตอร์ไพล์ตัวที่ 26 ถึง 31 เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ชี้ตำแหน่ง address แบบทางอ้อม ส่วนการอ้าง address แบบโดยตรงจะใช้ได้กับรีจิสเตอร์ไพล์ทุกตัว

#### 4.3.5 โหมดการอ้างอิงตำแหน่งของโปรแกรมและข้อมูล

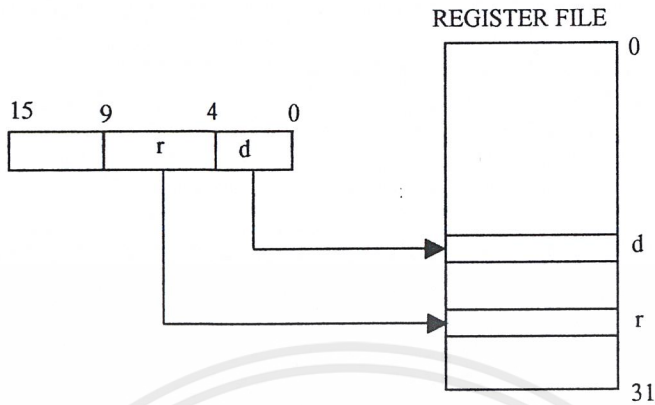
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR มีโหมดการอ้างอิงตำแหน่งในการเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรม(Flash memory) และหน่วยความจำข้อมูล(SRAM, Register File, I/O memory)

การอ้างอิงตำแหน่งโดยตรงแบบรีจิสเตอร์เดี่ยว



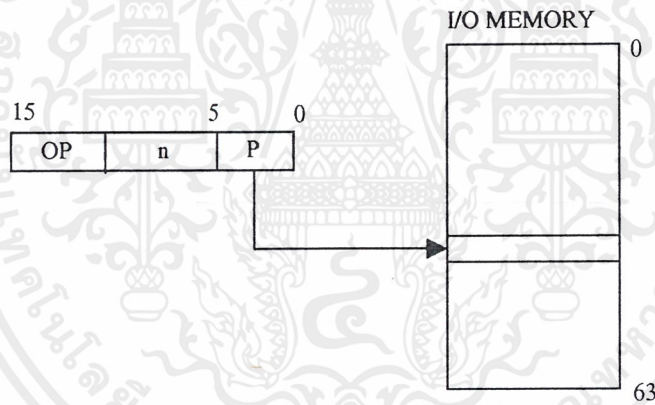
ตัวถูกดำเนินการ (Operand) จะถูกเก็บในรีจิสเตอร์ไพล์ตัวที่ d(Rd)

การอ้างอิงตำแหน่งโดยตรงแบบรีจิสเตอร์คู่



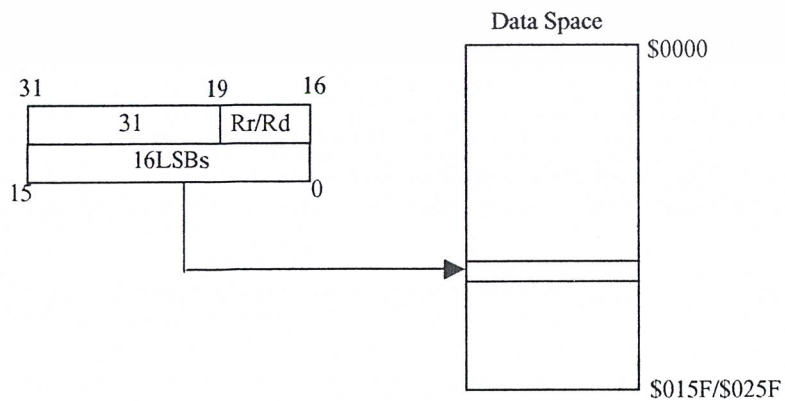
ตัวถูกดำเนินการ (Operand) จะถูกเก็บในรีจิสเตอร์ตัวที่ r(Rr) และผลลัพธ์จะเก็บกลับในรีจิสเตอร์ตัวที่ d(Rd)

การอ้างอิงตำแหน่งหน่วยความจำอินพุท/เอาต์พุทโดยตรง

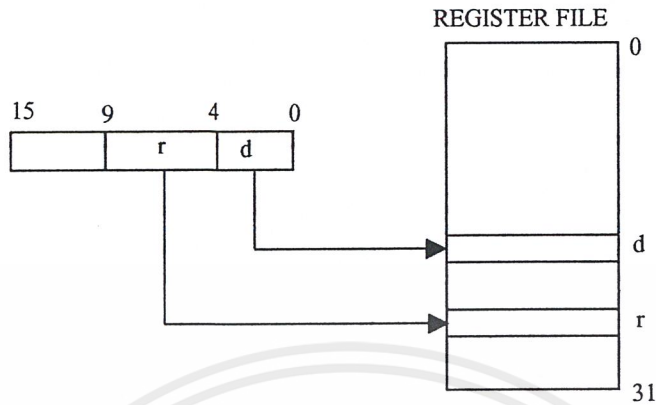


ตำแหน่งแอดเดรสของตัวถูกกระทำมีขนาด 6 บิต n คือ ค่าหรือตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการ

การอ้างอิงตำแหน่งในหน่วยความจำข้อมูลโดยตรง

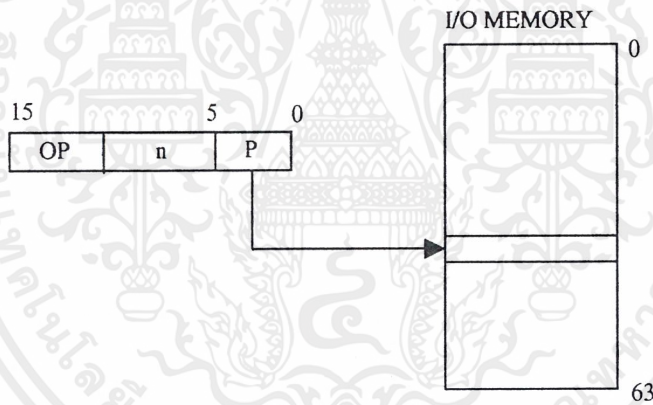


**การอ้างอิงตำแหน่งโดยตรงแบบรีจิสเตอร์คู่**



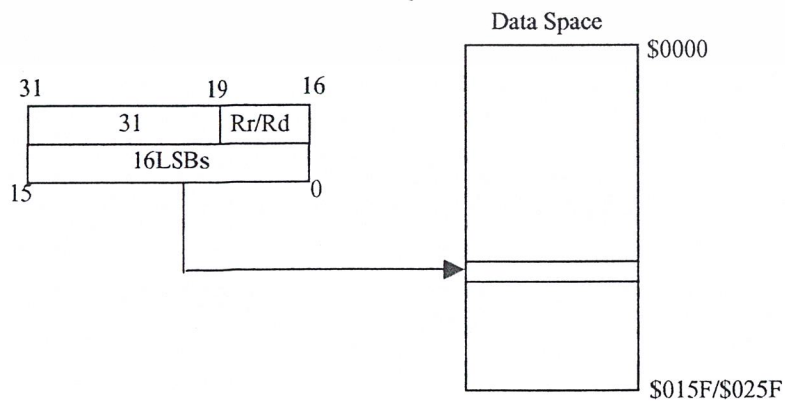
ตัวถูกดำเนินการ (Operand) จะถูกเก็บในรีจิสเตอร์ตัวที่ r(Rr) และ d(Rd) ผลลัพธ์จะเก็บกลับในรีจิสเตอร์ตัวที่ d(Rd)

**การอ้างอิงตำแหน่งหน่วยความจำอินพุท/เอาต์พุทโดยตรง**



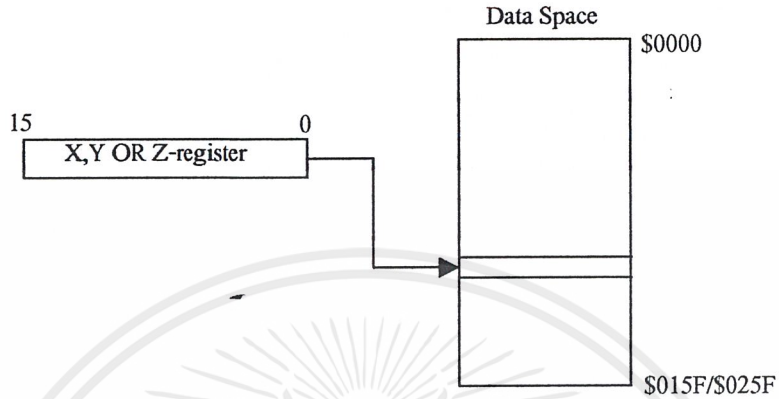
ตำแหน่งแอดเดรสของตัวถูกกระทำมีขนาด 6 บิต n คือ ค่าหรือตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการ

**การอ้างอิงตำแหน่งในหน่วยความจำข้อมูลโดยตรง**



คำสั่งมีขนาด 32 บิต โดยตำแหน่งแอดเดรสของข้อมูลมีขนาด 16 บิตและเก็บเป็นไบนารีค่า (LSBs) Rd/Rr คือ รีจิสเตอร์เป้าหมายที่ต้องการ

**การอ้างอิงตำแหน่งในหน่วยความจำข้อมูลโดยอ้อม**



ตำแหน่งแอดเดรสของตัวถูกดำเนินการจะแทนด้วยรีจิสเตอร์ X, Y หรือรีจิสเตอร์ Z

**4.3.6 การเข้าถึงหน่วยความจำ EEPROM**

ในการเขียนข้อมูลลง EEPROM จะใช้เวลาประมาณ 2.5 – 4 มิลลิวินาที ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟเลี้ยง ( $V_{CC}$ ) ที่ใช้ ในการเขียน โปรแกรมจะมีฟังก์ชันสำหรับกำหนดขั้นตอนในการเขียนข้อมูล ซึ่งในขณะที่มีการอ่านหรือเขียนข้อมูลลง EEPROM ตัว CPU จะหยุดการทำงานเป็นเวลา 2 รอบของสัญญาณนาฬิกาก่อนที่จะทำคำสั่งถัดไป

**รีจิสเตอร์ กำหนดแอดเดรส (The EEPROM Address Register – EEARH and EEARL)**

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
\$1F (\$3F)	-	-	-	-	-	-	-	-	EEAR9
\$1E (\$3E)	EEAR7	EEAR6	EEAR5	EEAR4	EEAR3	EEAR2	EEAR1	EEAR0	EEARL
	7	6	5	4	3	2	1	0	

รีจิสเตอร์ EEARH และ EEARL ใช้กำหนดแอดเดรสของ EEPROM ได้ 512 ไบต์ ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 0-511

**รีจิสเตอร์เก็บข้อมูล (The EEPROM Data Register - EEDR )**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$1D (\$3D)	MSB							LSB	EEDR

ข้อมูลขนาด 8 บิต(บิต0..7) จะถูกเก็บในรีจิสเตอร์ EEDR(ทั้งข้อมูลที่จะเขียนลงและอ่านจาก EEPROM) ซึ่งจะเก็บในตำแหน่งแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ EEAR

#### รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงาน (The EEPROM Control Register – EECR)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
§1C (§3C)	-	-	-	-	EERIE	EEMWE	EEWE	EERE	EECR

#### 4.4 ขั้นตอนในการเขียนข้อมูลลง EEPROM

1. กำหนดให้ บิต EERIE(EEPROM Ready Interrupt Enable) เป็น 1 (set) เพื่ออนุญาตการทำงานให้กับ EEPROM
2. รอเวลาให้บิต EEWE(EEPROM Write Enable) กลายเป็น 0 เพื่อเป็นการยืนยันว่ามีกรเขียนข้อมูลก่อนหน้าเสร็จไปแล้ว
3. กำหนดแอดเดรสที่จะเขียนข้อมูลให้กับ EEARL และ EEARH
4. กำหนดข้อมูลที่จะเก็บให้กับ EEDR
5. กำหนดให้บิต EEMWE(EEPROM Master Write Enable) เป็น 1
6. กำหนดให้บิต EEWE เป็น 1

#### 4.5 ขั้นตอนการอ่านข้อมูลจาก EEPROM

1. กำหนดตำแหน่งที่จะอ่านข้อมูลให้กับรีจิสเตอร์ EEAR
2. กำหนดให้บิต EERE(EEPROM Read Enable) เป็น 1
3. เมื่อบิต EERE ถูกรีเซ็ตให้เป็น 0 โดยวงจรแล้ว ข้อมูลที่เรียกจะมาอยู่ที่ EEDR

#### 4.6 การใช้งานพอร์ตการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล(The Analog to Digital Converter)

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล(ADC)ของไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ ใช้วิธี successive approximation ขนาด 10 บิต และประกอบด้วยวงจร Sample & Hold เพื่อทำการรักษาระดับสัญญาณอินพุตให้มีความแน่นอนระหว่างที่ทำการแปลงค่า การใช้งาน ADC จะต้องใช้ไฟเลี้ยง 2 ชุด คือ  $AV_{CC}$  และ AGND โดย  $AV_{CC}$  ต้องต่อกับ GND และค่า  $AV_{CC}$  ต้องมีค่าไม่ต่างจาก  $V_{CC}$  เกิน  $\pm 0.3$  V และต้องมีแรงดันอ้างอิงจากภายนอกต่อให้กับ AREF ซึ่งมีค่าได้ตั้งแต่  $0 - AV_{CC}$

ADC ที่ใช้มีการทำงาน 2 โหมด คือ โหมดการแปลงแบบเดี่ยว(Single Conversion Mode) และโหมดการแปลงแบบอิสระ(Free Running Mode) ในโหมดการแปลงแบบเดี่ยว การแปลงแต่ละ

ครั้งจะต้องได้รับการกำหนดจากผู้ใช้ สำหรับการแปลงแบบอิสระ ADC จะมีอัตราการ Sampling คงที่และจะเปลี่ยนแปลงข้อมูล ในรีจิสเตอร์เก็บข้อมูลได้เอง

**4.6.1 การกำหนดบิตต่างๆใน ADCSR (The ADC Control and Status Register)**

1. กำหนดให้บิต ADEN(ADC Enable) เป็น 1 เพื่ออนุญาตการใช้งานให้กับ ADC
2. กำหนดให้บิต ADSC(ADC Start Conversion) เป็น 1 เพื่อเริ่มทำการแปลงข้อมูล โดยที่ระหว่างทำการแปลงข้อมูล บิตนี้จะเป็น 1 เมื่อแปลงข้อมูลเสร็จวงจรจะรีเซ็ตให้บิตนี้เป็น 0
3. กำหนดให้บิต ADFR เป็น 1 ถ้าการทำงานของ ADC เป็นโหมดการแปลงแบบอิสระ
4. บิต ADIF(ADC Interrupt Flag) จะถูกเซ็ตเป็น 1 เมื่อ ADC ทำการแปลงข้อมูลเสร็จ และข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง บิตนี้จะถูกรีเซ็ตเมื่อกำหนดให้แฟล็กเป็น 1
5. เมื่อบิต ADIE(ADC Interrupt Enable) และ I-bit ใน SREG ถูกเซ็ตเป็น 1 อินเทอร์รัพท์ของการแปลงข้อมูลจะเริ่มทำงาน
6. บิต ADPS2..ADPS0 จะแสดงตัวประกอบหารหาร(division factor) ระหว่างความถี่ของสัญญาณจาก XTAL และสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้กับ ADC

**4.6.2 รีจิสเตอร์ควบคุมและแสดงสถานะของADC (The ADC Control and Status Register) - ADCSR**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$06 (\$26)	ADEN	ADSC	ADFR	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSR

เมื่อทำการแปลงข้อมูลเสร็จ ผลลัพธ์จะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ ADCL และรีจิสเตอร์ ADCH โดยการอ่านข้อมูลจะอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ ADCL ก่อน

**3.6.3 รีจิสเตอร์เก็บข้อมูลADC (The ADC Data Register –ADCL AND ADCH)**

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
\$05 (\$25)	.	.	.	.	.	.	ADC9	ADC8	ADCH
\$04 (\$24)	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0	ADCL
	7	6	5	4	3	2	1	0	

## บทที่ 5

### การใช้งาน LCD MODULE

ปัจจุบัน LCD เป็นที่นิยมกันอย่างมาก สำหรับการแสดงผลในเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากมีความเหมาะสมด้วยประการทั้งปวง ทั้งในด้านการกินกระแสต่ำ สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรและตัวเลข หรือแสดงเป็นกราฟฟิกได้ (เฉพาะรุ่น) จะคิดปัญหาคือด้านวงจร ซึ่งมีระบบการทำงานที่ซับซ้อน และหาอุปกรณ์ได้ค่อนข้างยาก แต่ขณะนี้ผู้ผลิต LCD จะทำรุ่นที่เป็น LCD MODULE ออกมาคือเป็น MODULE ที่มีตัว LCD และวงจรควบคุมมาให้พร้อม (เรียกว่า LCM) ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่ายและสะดวกในการเขียนโปรแกรม รวมทั้งมีจำหน่ายกันอย่างกว้างขวางและมีราคาที่เหมาะสมทำให้ผู้ใช้งานด้านไมโครคอนโทรลเลอร์หันมาใช้แผงแสดงด้วย LCD MODULE กันมากขึ้น

LCD MODULE มีอยู่มากมายหลายรุ่น และมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักคือ

1. แบบ DOT METRIX
2. แบบ GRAPHIC

โดยแบบ DOT METRIX จะแสดงผลเป็นตัวอักษรขนาด 5\*8 และมีจำนวนตัวอักษรและบรรทัดแตกต่างกันออกไปในแต่ละรุ่น ส่วนแบบ GRAPHIC จะแสดงผลในแบบ BIT MAP คือจะสร้างภาพใดๆก็ได้ตามต้องการ แนวทางในการใช้งานของทั้ง 2 แบบ จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน การใช้งานโดยทั่วไปมักจะใช้แบบ DOT METRIX มากกว่า เนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่า และเพียงพอสำหรับงานส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงการใช้งาน DOT METRIX เท่านั้น คุณสมบัติต่างๆ สามารถสรุปได้เป็นข้อๆดังนี้

1. มีให้เลือกหลายรุ่นตามการใช้งาน โดยมีจำนวนตัวอักษรและบรรทัดแตกต่างกันไป
2. ตัวอักษรแสดงด้วย DOT METRIX ขนาด 5\*8 DOT
3. สามารถมาต่อเข้ากับระบบไมโครได้ 2 ลักษณะ คือแบบ MEMORY MAP (20-PIN LCD BUS) และแบบผ่าน 8255 PORT (26-PIN 8255 BUS) โดยกรณี 26-PIN 8255 BUS จะใช้แผ่น PCB (DMCAD) เป็นตัว ADAPTER ทำให้เป็น 8255 BUS อีกที
4. การใช้งานง่ายและสะดวก ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพียงแค่ข้อมูลให้กับ LCD MODULE เท่าข้อความก็จะปรากฏบนแผงแสดง และจะคงค้างไว้ตลอด ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาหลักของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

5. มีคำสั่งพิเศษสำหรับอำนวยความสะดวกมากมาย เช่น CLEAR DISPLAY, HOME , CURSOR ,ON OFF CUSOR ,BLINK , CHARACTER และอื่นๆ อีก
6. สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษและตัวเลขได้ 160 ตัว และสัญลักษณ์พิเศษอีก 32 ตัว รวมทั้งสามารถกำหนดคีย์ที่ออกแบบเองได้อีก 8 ตัว
7. กินกระแสน้อย และมีน้ำหนักเบา รวมทั้งทำงานได้ด้วยไฟเลี้ยงระดับ 5V เท่านั้น

### 5.1 ขาสัญญาณของ LCD MODULE

PI N	SYMBO L	LEVEL	FUNCTION
1	Vss	----	0 V GND
2	Vcc	----	+5 V POWER SUPPLY
3	Vee	----	+ V FOR LIQUID CRISTRAL DRIVE
4	RS	H/L	REGISTER SELECT H: DATA INPUT L:INSTRUCTION
5	R/W	H/L	H: DATA READ L: DATA WRITE
6	E	H	ENABLE SIGNAL (L--->H)
7	DB 0	H/L	DATA BUS BIT 0
8	DB 1	H/L	DATA BUS BIT 1
9	DB 2	H/L	DATA BUS BIT 2
10	DB 3	H/L	DATA BUS BIT 3
11	DB 4	H/L	DATA BUS BIT 4
12	DB 5	H/L	DATA BUS BIT 5
13	DB 6	H/L	DATA BUS BIT 6
14	DB 7	H/L	DATA BUS BIT 7



## 5.2 การต่อเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

LCD MODULE จะต่อเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ 2 ลักษณะ คือแบบ MEMORY MAP โดยผ่าน LCD BUS ขนาด 20 PIN และแบบ I/O PORT โดยผ่าน 8255 BUS ขนาด 20 PIN ซึ่งทั้งสองแบบนี้มีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันไป โดยแต่ละแบบจะมีหลักการดังนี้

### 5.2.1 การต่อแบบ MEMORY MAP

1. สามารถต่อเข้ากับ CHIP เบอร์ต่างๆ ไปได้เช่น 8051 หรือ Z80 โดยจะทำให้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มองเห็น LCD -MODULE ในลักษณะ MEMORY MAP ได้ทันที
2. ผู้ใช้สามารถเขียนและอ่านข้อมูลจาก LCD MODULE ได้ ทำให้มองเสมือนว่าเป็น MEMORY BUFFER ไปในตัว
3. เนื่องจากสามารถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงสามารถทำให้สามารถตรวจสอบ FLAG ความพร้อมในขณะที่ LCD MODULE กำลังทำงานได้
4. ใช้ได้กับบอร์ดที่มี LCD BUS มาให้พร้อมเท่านั้น
5. ทำให้กินพื้นที่ของหน่วยความจำไปส่วนหนึ่ง และต้องมีการ DECODE ละเอียดพอสมควร
6. การจัดหาสัญญาณต้องเป็นไปตาม CHIP แต่ละเบอร์ด้วย

### 5.2.2 การต่อแบบ I/O PORT

1. สามารถต่อเข้ากับ I/O PORT ใดๆก็ได้โดยใช้สัญญาณจำนวน 11 เส้น และ ใช้โปรแกรมเป็นตัวสร้างสัญญาณขึ้นมาให้ตรงกับข้อกำหนดของ LCD MODULE
2. ผู้ใช้จะเขียนข้อมูลให้ LCD MODULE ได้อย่างเดียว ซึ่งผู้ใช้ควรกำหนด MEMORY ส่วนหนึ่งให้เป็นเสมือน BUFFER ให้กับ LCD MODULE อีกที
3. เนื่องจากไม่สามารถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงต้องใช้การหน่วงของไมโครคอนโทรลเลอร์เองเพื่อรอให้ LCD MODULE กระทำกระบวนการต่างๆ
4. ใช้ได้กับบอร์ดทั่วไปที่มี PORT
5. ไม่เปลืองส่วนของ MEMORY ในการใช้งาน
6. การจัดหาสัญญาณกระทำได้อย่างอิสระ

## 5.3 ชุดคำสั่งควบคุมและการแสดงข้อความ

การเขียนหรืออ่านข้อมูลกับ LCD MODULE ก็คือการกำหนดคุณสมบัติต่างๆในการใช้งานของ LCD ตามชุดคำสั่งควบคุม และรวมถึงการเขียนข้อมูลที่เป็นข้อความ เพื่อให้ปรากฏบนแผงแสดงด้วย

#### 5.4 ความเข้าใจพื้นฐาน

1. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD MODULE จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ INSTRUCTION และ DATA โดยจะกำหนดขาสัญญาณ RS คือถ้า RS=0 จะหมายถึงส่งสัญญาณควบคุม (INSTRUCTION) หรืออ่านค่า FLAG สภาพการทำงานของ LCD MODULE และถ้า RS=1 จะหมายถึงการเขียนหรือการอ่าน DATA กับ LCD MODULE
2. หลักในการเขียนข้อมูลให้ LCD MODULE นี้คือเมื่อมีการเขียนข้อมูลไปแล้ว ตัว LCD MODULE จะต้องใช้เวลาในการเขียนข้อมูลในระยะหนึ่ง (ตามค่า EXECUTE TIME ในตาราง) ซึ่งในระบบไมโครสามารถตรวจสอบได้จาก BUSY FLAG (BF) และถ้าเรียบร้อยจึงจะสามารถเขียนข้อมูลลำดับต่อไปได้ ในกรณีที่การต่อวงจรเป็นแบบ I/O PORT คือไม่สามารถอ่านข้อมูลย้อนกลับได้ ระบบไมโครก็ต้องใช้วิธีการหน่วงเวลาแทน
3. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD MODULE นี้ สามารถทำได้ทั้งแบบ 8 BIT และ 4 BIT โดยกรณี 4 BIT จะใช้สัญญาณ DATA เพียง 4 เส้น คือ DB4- DB7 (ใช้สำหรับระบบไมโครแบบ 8 BIT หรือเพื่อการประหยัดสาย) การเขียนข้อมูลจะกระทำเหมือน 8 BIT เพียงแต่ให้เขียนข้อมูล 2 ครั้ง คือ DB4-DB7 ก่อนแล้วตามด้วย DB0-DB3 และจะต้องกำหนดคุณสมบัติตามค่า DL ในคำสั่ง FUNCTION SET ด้วย
4. DDRAM (DISPLAY DATA RAM) คือหน่วยความจำภายในตัว LCD MODULE ที่เป็น BUFFER ของข้อมูล โดยถ้าเขียนรหัส ASCII ใดๆ ลงไปในหน่วยความจำนี้ ก็จะปรากฏเป็นตัวอักษรที่แสดงผลทันที
5. CGRAM (CHARACTER GENERATOR RAM) คือหน่วยความจำในตัว LCD MODULE สำหรับเก็บตัวอักษรที่ผู้ใช้สามารถกำหนด หรือสร้างได้เอง (8 ตัว) โดยจะอ้าง ADDRESS ได้ทั้งหมด 64 BYTE คือ 8 ตัวอักษร คูณกับ 8 ROW

#### 4.3.1 รายละเอียดแต่ละคำสั่ง

##### 1. CLEAR DISPLAY

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

สำหรับการ CLEAR DISPLAY โดยจะทำการเขียนตัวอักษร SPACE ลงใน DDRAM ทั้งหมด และกำหนดค่า DDRAM ADDRESS ให้เป็น 0 พร้อมทั้ง CURSOR จะกลับไปตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ

## 2. CURSOR AT HOME

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	*

สำหรับกำหนดค่า DDRAM ADDRESS ให้เป็น 0 พร้อมทั้ง CURSOR จะไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ โดยที่ข้อมูลใน DDRAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

## 3. ENTRY MODE SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S

I/D = 0 กำหนดทิศทางของ CURSOR และ DDRAM ให้เป็นแบบ DECREMENT

I/D = 1 กำหนดทิศทางของ CURSOR และ DDRAM ให้เป็นแบบ INCREMENT

S = 0 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัว CURSOR จะถูกเลื่อนไปที่ทิศทางตามค่า I/D

S = 1 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัว CURSOR จะอยู่กับที่ และตัวอักษรจะถูกดันไปที่ทิศทางตามค่า I/D

การกำหนด I/D และ S นี้ให้กำหนดก่อนการเขียนข้อมูลใน DDRAM และเมื่อกำหนดแล้ว จะต้องไม่ใช้คำสั่ง CLEAR DISPLAY อีก

## 4. DISPLAY ON/OFF

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

D = 0 กำหนดให้ OFF DISPLAY

D = 1 กำหนดให้ ON DISPLAY

C = 0 กำหนดให้ OFF CURSOR

C = 1 กำหนดให้ ON CURSOR โดย CURSOR จะเป็นเส้นจิกได้ตัวอักษร

B = 0 กำหนดให้ ไม่มีการกระพริบที่ตำแหน่ง CURSOR

B = 1 กำหนดให้ มีการกระพริบที่ตำแหน่ง CURSOR (กระพริบเป็นรูปสี่เหลี่ยม)

## 5. DISPLAY SHIFT

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

S/C = 0 กำหนดให้เลื่อน CURSOR ตามทิศทาง R/L ไป 1 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S/C = 1 กำหนดให้เลื่อนข้อความบนแผงแสดงตามทิศทาง R/L ไป 1 COLUME (เลื่อนทุกบรรทัด)

R/L = 0 กำหนดให้มีทิศทางไปทางซ้าย

R/L = 1 กำหนดให้มีทิศทางไปทางขวา

#### 6. FUNCTION SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*

DL = 0 กำหนดให้การติดต่อกับ LCD MODULE เป็นแบบ 4 BIT

DL = 1 กำหนดให้การติดต่อกับ LCD MODULE เป็นแบบ 8 BIT

จะสังเกตว่าการกำหนดค่า DL นี้สามารถกระทำได้ที่ DB4 – DB7 ซึ่งมีการกำหนดให้เป็นแบบ 4 BIT ตั้งแต่วัดครั้งแรก หลังจากจ่ายไฟเลี้ยง ก็จะทำให้ LCD MODULE มีการรับข้อมูลแบบ 4 BIT ทันที

N = 0 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/8 DUTY และ 1/11 DUTY

N = 1 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/16 DUTY

F = 0 กำหนดให้ตัวอักษรเป็นแบบ 5\*7 DOTS

F = 1 กำหนดให้ตัวอักษรเป็นแบบ 5\*10 DOTS (กรณี LCD MODULE เป็นแบบ 5\*7 อยู่แล้วก็จะไม่มีผลอะไร)

#### 7. SET CGRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	CGRAM ADDRESS					

สำหรับการกำหนด ADDRESS ของ CGRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้ว การอ่านและเขียน DATA ที่ต่อจากนี้ จะเป็นไปตาม ADDRESS ที่กำหนดทันที

#### 8. SET DDRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	DDRAM ADDRESS						

สำหรับการกำหนด ADDRESS ของ DDRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้ว การอ่านและเขียน DATA ที่ต่อจากนี้จะเป็นไปตาม ADDRESS ที่กำหนดทันที ตำแหน่งของ ADDRESS ในแต่ละรุ่นมีความแตกต่างกันบ้าง เพราะจำนวนอักษรต่อบรรทัดไม่เท่ากัน

## 9. BUSY FLAG AND ADDRESS READ

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	ADDRESS						

สำหรับการอ่านค่า BF (BUSY FLAG) ซึ่งบอกถึงความพร้อมของ LCD MODULE ในการรับข้อมูล ถ้า BF = 0 หมายถึงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลต่อไปได้ แต่ถ้า BF = 1 หมายถึงว่ายังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลต่อไปได้ นอกจากนี้ยังเป็นการอ่านค่า ADDRESS ของ CGRAM หรือ DDRAM ด้วย

### 4.4 การอ่านและเขียนข้อมูลกับ DDRAM / CGRAM

#### 1. WRITE DATA TO DDRAM OR CGRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	DATA							

สำหรับการเขียนข้อมูลหน่วยความจำ DDRAM หรือ CGRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้ว ADDRESS จะถูกเพิ่ม โดยอัตโนมัติ ตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง ENTRY MODE SET และการเขียน DDRAM หรือ CGRAM ก็ขึ้นกับว่า ก่อนหน้าคำสั่งนี้มีการกำหนด ADDRESS ที่ใด

#### 2. READ DATA FROM DDRAM OR CGRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	DATA							

สำหรับการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ DDRAM หรือ CGRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้ว ADDRESS จะถูกเพิ่มหรือลด โดยอัตโนมัติ ตามที่กำหนดค่า I/D ในคำสั่ง ENTRY MODE SET และการอ่านจะเป็น DDRAM หรือ CGRAM ก็ขึ้นกับว่าก่อนหน้าคำสั่งนี้มีการกำหนด ADDRESS ที่ใด

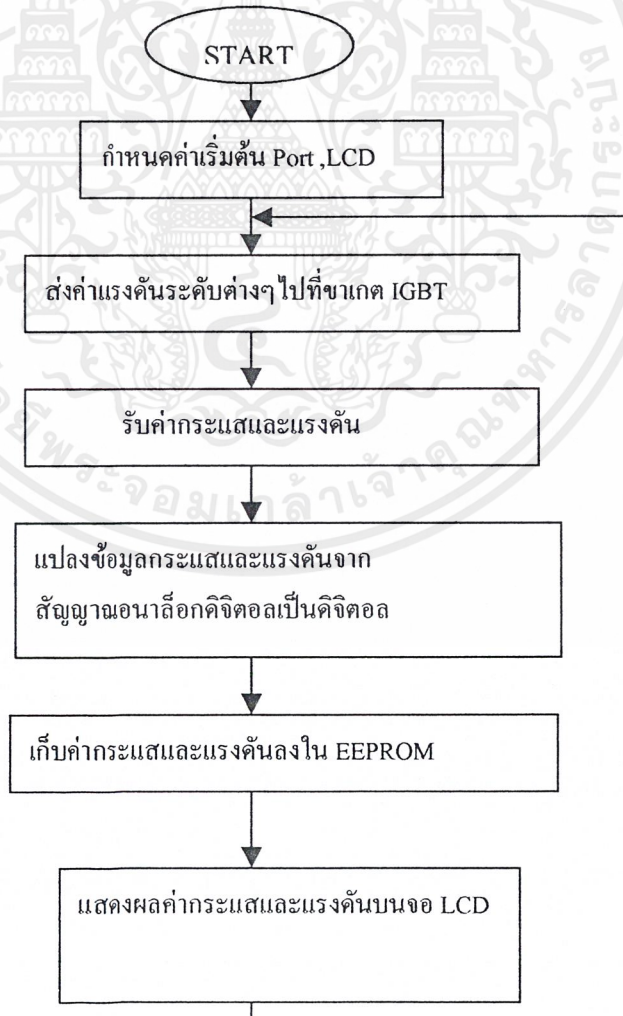
## บทที่ 6

### การออกแบบและการคำนวณ

#### 6.1 หลักการทำงาน

โครงการนี้เป็นการทดลองให้ แผลงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกระแสที่โหลดค่าต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันจาก แผลงเซลล์แสงอาทิตย์ ขณะที่จ่ายโหลดแต่ละค่า ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาค่ากำลังงานสูงสุดที่ แผลงเซลล์แสงอาทิตย์ จ่ายออกมาได้ ในที่นี้จะให้โหลดของ แผลงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นลักษณะ Active load โดยจะใช้ IGBT (Insulate Gate Bipolar Transistor) เนื่องจากสามารถปรับกระแสทางเอาต์พุต ( $I_{CE}$ ) ได้โดยการปรับแรงดันระหว่างขาเกต-อีมีเตอร์ ( $V_{GE}$ ) เมื่อให้  $V_{GE}$  มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า  $I_{CE}$  ก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้แผลงเซลล์แสงอาทิตย์ จ่ายกระแสได้เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันแรงดันคร่อม แผลงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีค่าลดลง

#### 6.1.1 Flow Chart แสดงการทำงานของเครื่องทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดันของแผลงเซลล์แสงอาทิตย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

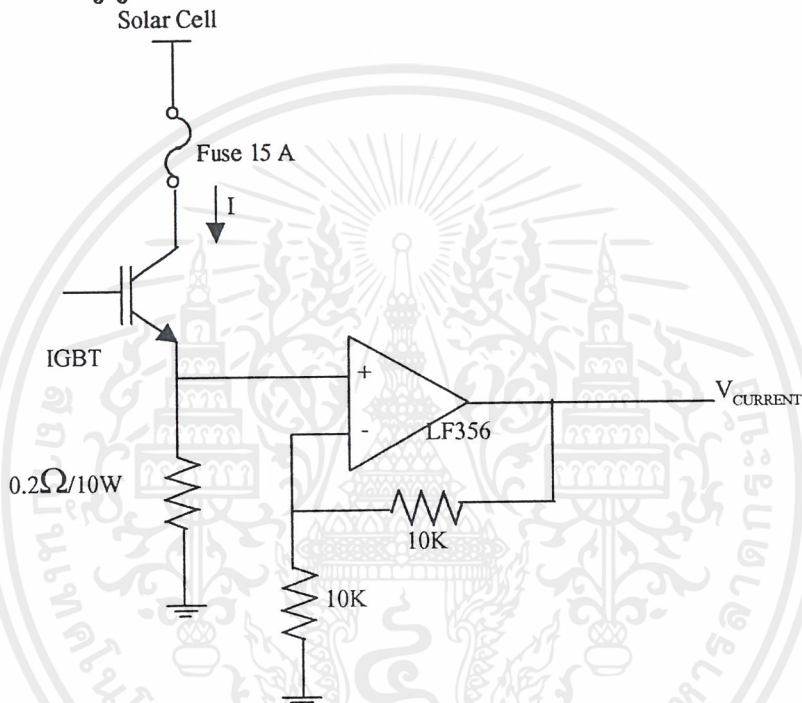
## 6.2 ขั้นตอนการทำงาน

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบค่าแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะนั้น หากมีค่าไม่เกิน 100 V จะทำให้หน้าสัมผัสของ relay เปลี่ยนจาก R 680kมาอยู่ที่ R 200k เพื่อความปลอดภัยของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ และเพื่อความละเอียดที่เหมาะสมในการวัดสัญญาณ
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งค่า (สัญญาณอนาล็อก)ที่กำหนดไว้เป็นค่าแรงดันเริ่มต้นไปขั้วขาเกตของ IGBT
3. กระแสที่ไหลผ่านตัว IGBT จะไหลผ่านตัวต้านทานขนาด  $0.2\Omega / 10W$  นำค่าแรงดันนี้ไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อเก็บเป็นค่ากระแสที่จ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะเดียวกันจะเก็บค่าแรงดันที่คร่อมตัวต้านทาน  $10\text{ k}\Omega$  ซึ่งเป็นวงจรส่วนรับสัญญาณแรงดัน ไปเก็บเป็นค่าแรงดันที่จ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เช่นกัน ส่งค่าแรงดัน 0 V เพื่อทำการ off gate และเป็นการพักตัว IGBT
4. ทำขั้นตอนเดียวกับในข้อ 3. และใช้แรงดันที่ขั้วขาเกตค่าเดิม(จากข้อ 2.) เพื่อทำการเก็บข้อมูล 16 ชุคแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ข้อมูลของกระแสและแรงดัน 1 ชุค
5. เพิ่มค่าแรงดันที่มาขั้วขาเกตของ IGBT ครั้งละ 1 digit =  $9 / 256\text{ V}$  (ค่าจากD/A) เพื่อเก็บค่ากระแสและแรงดัน 100 ชุค ซึ่งเป็นขั้นตอนเดียวกับจากข้อ1. ถึงข้อ 4. และจะนำค่าจากการเก็บแต่ละครั้งมาแสดงทาง LCD module
6. นำข้อมูลของกระแสและแรงดันที่จ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ละชุกมาพล็อตกราฟ เพื่อนำไปวิเคราะห์หา กำลังงานสูงสุด ที่จ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

### 6.3 การออกแบบและการคำนวณ

ในการออกแบบวงจรเพื่อทำหน้าที่แปลงขนาดของ แรงดันและกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมทั้งวงจรส่วนของการแปลงสัญญาณอุณหภูมิและความเข้มแสง สัญญาณส่วนที่จะนำไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลจะต้องมีค่าไม่เกิน 5 V เพราะถ้าเกินจากค่านี้จะไม่สามารถแปลงค่าได้ถูกต้องและไม่โครคอนโทรลเลอร์จะได้รับความเสียหาย

#### การแปลงสัญญาณกระแส



รูปที่ 6.1 แสดงวงจรส่วนทำหน้าที่รับสัญญาณกระแส

จากรูปเมื่อ IGBT นำกระแสมากขึ้น จะมีการดึงกระแสจาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์ มากขึ้น เช่นกัน ทำให้แรงดันที่คร่อมตัวต้านทานขนาด  $0.2\Omega/10W$  มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกขยายขึ้นเป็น 2 เท่า ด้วยวงจรขยายแบบ non-inverting amplifier

เนื่องจากสัญญาณกระแสจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีขนาด 10 บิต ซึ่งสามารถแบ่งระดับของสัญญาณได้  $2^{10} = 1024$  ระดับ โดยที่แรงดันอ้างอิงในการแปลงสัญญาณ A/D เป็น 5 V ดังนั้นสัญญาณแต่ละระดับจะแสดงค่าได้  $\frac{5}{1024} = 0.005$  V การหาค่ากระแสที่จ่ายจาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์ คำนวณจาก

$$\begin{aligned} V_{\text{CURRENT}} &= I_{\text{SOLARCELL}} \times 0.2 \times 2 = \frac{5}{1024} \times V_{\text{DIGITAL}(1)} \\ I_{\text{SOLARCELL}} &= 0.0122 \times V_{\text{DIGITAL}} \end{aligned} \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อ  $V_{\text{DIGITAL}}$  คือ ระดับสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากการแปลงสัญญาณ  $V_{\text{CURRENT}}$

สมการที่ (1) เป็นสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณในโปรแกรมการทำงานเพื่อหาค่ากระแสที่

จ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ดังนั้นขนาดของค่ากระแสสูงสุดที่สามารถแสดงได้ คือ

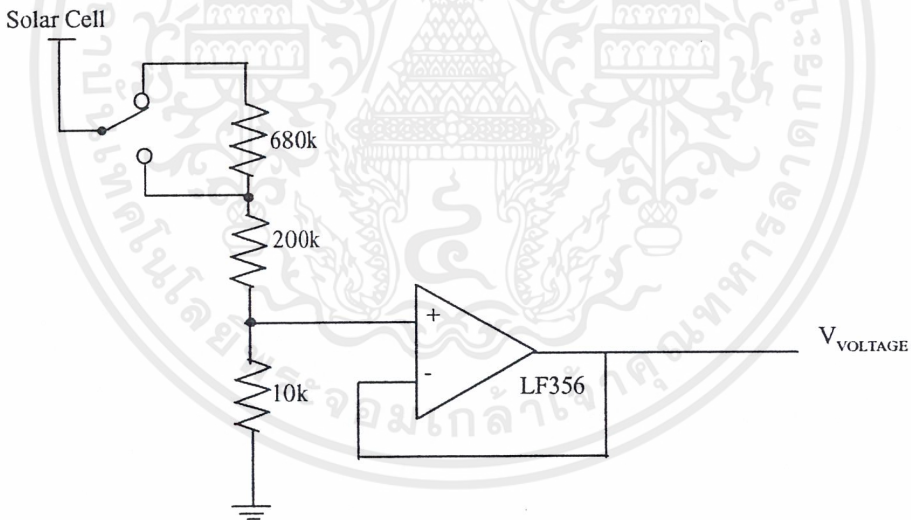
$$\begin{aligned} I_{\text{SOLARCELL (MAX)}} &= 0.0122 \times 1024 \\ &= 12.5 \text{ A} \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} V_{\text{CURRENT (MAX)}} &= 12.5 \times 0.2 \times 2 \\ &= 5 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความละเอียดในการแสดงผล} &= \frac{\text{ค่ากระแสสูงสุดที่สามารถแสดงได้}}{\text{ค่าระดับสัญญาณทั้งหมดที่สามารถแสดงได้}} \\ &= \frac{12.5}{2^{10}} \approx 0.01 \text{ V} \end{aligned}$$

### 6.3.1 การแปลงสัญญาณแรงดัน



รูปที่ 6.2 แสดงวงจรส่วนทำหน้าที่รับสัญญาณแรงดัน

จากรูป หากแรงดันที่จะทำการวัดจาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าไม่เกิน 100 V หน้าสัมผัสของ relay จะเปลี่ยนจากตำแหน่ง NC มาอยู่ที่ตำแหน่ง NO และสัมผัสกับ R 200k แทน เพื่อเป็นการแบ่งขนาดแรงดันให้เหมาะสมก่อนทำการวัดค่า

กรณีหน้าสัมผัสของ relay อยู่ที่ตำแหน่ง NC สามารถคำนวณค่าแรงดันที่จ่ายจาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{\text{VOLTAGE}} = V_{\text{SOLARCELL}} \times \frac{10\text{k}}{890\text{k}} = \frac{5}{1024} \times V_{\text{DIGITAL(V)}} \quad (2)$$

$$V_{\text{SOLARCELL}} = 0.435 \times V_{\text{DIGITAL(V)}}$$

เมื่อ  $V_{\text{DIGITAL(V)}}$  คือ ระดับสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากการแปลงสัญญาณ  $V_{\text{VOLTAGE}}$

ค่าขนาดแรงดันสูงสุดที่สามารถวัดได้ในกรณีนี้คือ

$$V_{\text{SOLARCELL (MAX)}} = 0.435 \times 1024$$

$$= 445 \text{ V}$$

และ

$$V_{\text{VOLTAGE(MAX)}} = \frac{10\text{k}}{890\text{k}} \times 445$$

$$= 5 \text{ V}$$

$$\text{ค่าความละเอียดในการแสดงผล} = \frac{\text{ค่าแรงดันสูงสุดที่สามารถแสดงได้}}{\text{ค่าระดับสัญญาณทั้งหมดที่สามารถแสดงได้}}$$

$$= \frac{445}{2^{10}} \approx 0.4 \text{ V}$$

กรณีหน้าสัมผัสของ relay อยู่ที่ตำแหน่ง NO สามารถคำนวณค่าแรงดันที่จ่ายจาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้จาก

$$V_{\text{VOLTAGE}} = V_{\text{SOLARCELL}} \times \frac{10\text{k}}{210\text{k}} = \frac{5}{1024} \times V_{\text{DIGITAL(V)}} \quad (3)$$

$$V_{\text{SOLARCELL}} = 0.102 \times V_{\text{DIGITAL(V)}}$$

สมการที่ (2) และ (3) เป็นสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณใน โปรแกรมการทำงานเพื่อหาค่าแรงดันที่จ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ค่าขนาดแรงดันสูงสุดที่สามารถวัดได้ในกรณีนี้คือ

$$V_{\text{SOLARCELL (MAX)}} = 0.102 \times 1024$$

$$= 105 \text{ V}$$

และ

$$V_{\text{VOLTAGE(MAX)}} = \frac{10\text{k}}{210\text{k}} \times 105$$

$$= 5 \text{ V}$$

$$\text{ค่าความละเอียดในการแสดงผล} = \frac{\text{ค่าแรงดันสูงสุดที่สามารถแสดงได้}}{\text{ค่าระดับสัญญาณทั้งหมดที่สามารถแสดงได้}}$$

$$= \frac{105}{2^{10}} \approx 0.1 \text{ V}$$

เมื่อใช้วิธีการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวรับสัญญาณแรงดัน จะเห็นว่าเครื่องทดสอบนี้สามารถวัดแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้สูงสุดถึง 445 V แต่เมื่อวัดที่แรงดันสูงกว่า 105 V จะทำให้ความละเอียดในการแสดงผลของข้อมูลหยابขึ้น

### 6.3.2 การควบคุมการทำงานของ IGBT

ในระบบการจ่ายพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ จำเป็นจะต้องต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวนหลายแผงร่วมกันตามปริมาณความต้องการใช้ ถ้าระดับแรงดันและกระแสที่จ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเป็น 400 V และ 10 A กำลังงานสูงสุดที่จ่ายได้เป็น

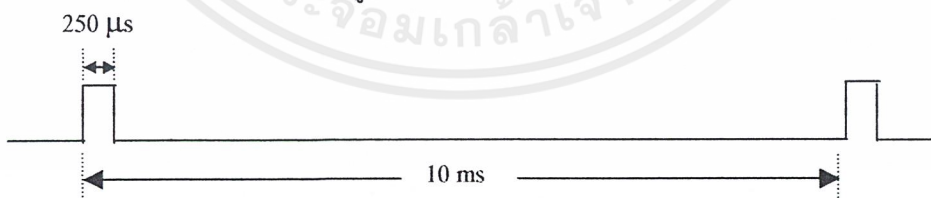
$$\begin{aligned} P_{\max} &= V_{\max} \times I_{\max} \\ &= 400 \times 10 \\ &= 4 \text{ kW} \end{aligned}$$

จากคู่มือของ IGBT เบอร์ HGTC20N60 สามารถทนอัตรากำลังได้ 100 W·s

ช่วงเวลาที่สามารถให้ IGBT นำกระแสได้อย่างต่อเนื่อง คือ

$$\begin{aligned} P_{\max} \times T &= 100 \\ T &= \frac{100}{4000} = 25 \text{ ms} \end{aligned}$$

เนื่องจากข้อมูลที่ต้องการมีจำนวน 100 ชุด ดังนั้นในการเก็บข้อมูลแต่ละชุดจะใช้เวลา 0.25 ms หรือ 250  $\mu$ s แต่เพื่อความปลอดภัยของตัว IGBT จำเป็นต้อง off gate ของ IGBT ตักระยะหนึ่ง ก่อนที่จะ on gate เพื่อให้ นำกระแสครั้งต่อไป ในที่นี้จะให้คาบเวลาในการ on gate แต่ละครั้งเป็น 10 ms ดังนั้นในเวลา 1 วินาที จะสามารถ on gate ของ IGBT และเก็บข้อมูลได้ 100 ครั้ง แผนผังเวลาการนำกระแสของ IGBT แสดงดังรูปที่ 3

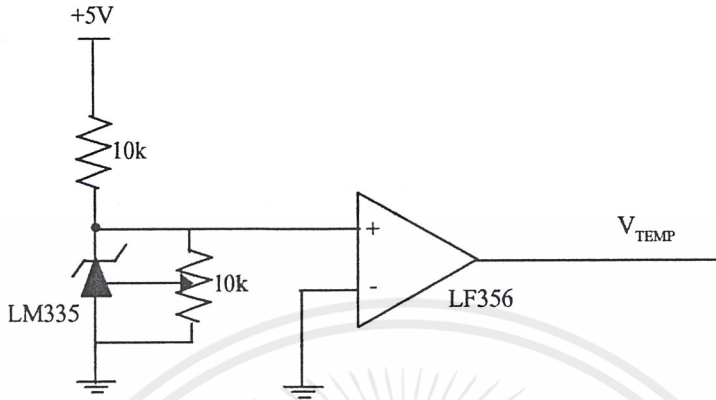


รูปที่ 6.3 แสดงแผนผังเวลาเพื่อควบคุมการนำกระแสของตัว IGBT

เพื่อความแม่นยำของข้อมูลที่ได้ในแต่ละค่า จำเป็นต้องเก็บข้อมูลหลายๆ ครั้ง แล้วนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งในที่นี้จะทำการเก็บข้อมูล 16 ครั้ง ต่อข้อมูลของกระแสและแรงดัน 1 ชุด

∴ เครื่องทดสอบนี้จะใช้เวลาทั้งสิ้นในการเก็บข้อมูล 100 ชุด เป็นเวลา 16 วินาที

### การแปลงสัญญาณอุณหภูมิ



รูปที่ 6.4 แสดงวงจรส่วนทำหน้าที่รับสัญญาณอุณหภูมิ

LM335 เป็น IC ที่ใช้สำหรับตรวจจับอุณหภูมิ ซึ่งจะให้แรงดันเอาต์พุตเป็นเชิงเส้นกับค่าอุณหภูมิ คือ  $10 \text{ mV/K}$  โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{OUT}} \times \frac{T}{T_0}$$

โดยที่ เมื่อวัดที่อุณหภูมิ  $T_0 = 25^\circ\text{C}$  ( $298 \text{ K}$ ) จะวัดแรงดันเอาต์พุต  $V_{\text{OUT}}$  ได้  $2.982 \text{ V}$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} V_{\text{OUT}} &= \frac{2.982}{298} \times T \\ &= 0.01 \times T \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากรูป } V_{\text{TEMP}} = V_{\text{OUT}} &= \frac{5}{1024} \times V_{\text{DIGITAL}(T)} \\ 0.01 \times T &= \frac{5}{1024} \times V_{\text{DIGITAL}(T)} \\ T &= 0.48 \times V_{\text{DIGITAL}(T)} \end{aligned} \quad (4)$$

สมการที่ (4) เป็นสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณในโปรแกรมการทำงานเพื่อหาค่าอุณหภูมิขณะใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$\begin{aligned} \text{ค่าความละเอียดในการแสดงผล} &= \frac{\text{ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่สามารถแสดงได้}}{\text{ค่าระดับสัญญาณทั้งหมดที่สามารถแสดงได้}} \\ &= \frac{5/0.01}{2^{10}} \approx 0.5 \text{ V} \end{aligned}$$

## บทที่ 7

### การทดลอง

ทดสอบคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการนำเครื่องทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์(SOLAR PANEL CHARACTERISTICS TESTER)ไปต่อเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจำลองการเป็นภาระให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ ทดสอบคุณสมบัติการจ่ายกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะต่างๆกันเช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ เพื่อพัฒนาหาคุณสมบัติของการจ่ายกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์(SOLAR PANEL CHARACTERISTICS TESTER)
2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.2m x 0.5m จำนวน 2 แผง
3. เครื่องวัดความเข้มแสง
4. คอมพิวเตอร์
5. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ SUNWA รุ่น YX-360TRn

#### วิธีการทดลอง

1. นำเครื่องทดสอบคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับแผงเซลล์ แผงที่ 1 ทำการทดสอบคุณสมบัติ แล้วบันทึกผล
2. นำเครื่องทดสอบคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับแผงเซลล์ แผงที่ 2 ทำการทดสอบคุณสมบัติ แล้วบันทึกผล
3. นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแผงต่ออนุกรมกัน ทำการทดสอบคุณสมบัติ แล้วบันทึกผล
4. นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแผงต่อขนานกัน ทำการทดสอบคุณสมบัติ แล้วบันทึกผล
5. นำข้อมูลที่ได้ไปศึกษาโดยใช้ โปรแกรม MATLAB

ตารางที่ 7.1 แสดงบันทึกผลการทดลองระหว่างกระแสกับแรงดัน  
ที่ความเข้มแสง 850 วัตต์/ตารางเมตร อุณหภูมิ 47.4 องศาเซลเซียส

แผงที่ 1			แผงที่ 2			2 แผงขนาน			2 แผงอนุกรม		
ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	19.3	0	1	19.2	0	1	19	0	1	38.4	0
2	19.3	0	2	19.2	0	2	19	0	2	38.4	0
3	19.2	0	3	19.2	0	3	19	0	3	38.4	0
4	19.3	0	4	19.2	0	4	19	0	4	38.4	0
5	19.3	0	5	19.2	0	5	19	0	5	38.3	0
6	19.2	0	6	19.2	0	6	19	0	6	38.3	0
7	19.3	0	7	19.2	0	7	19	0	7	38.4	0
8	19.2	0	8	19.2	0	8	19	0	8	38.4	0
9	19.2	0	9	19.2	0	9	19	0	9	38.4	0
10	19.3	0	10	19.2	0	10	19	0	10	38.4	0
11	19.2	0	11	19.2	0	11	19	0	11	38.4	0
12	19.3	0	12	19.2	0	12	19	0	12	38.4	0
13	19.3	0	13	19.2	0	13	19	0	13	38.4	0
14	19.2	0	14	19.2	0	14	19	0	14	38.4	0
15	19.3	0	15	19.2	0	15	19	0	15	38.4	0
16	19.3	0	16	19.2	0	16	19	0	16	38.4	0
17	19.3	0	17	19.3	0	17	19	0	17	38.4	0
18	19.3	0	18	19.2	0	18	19	0	18	38.4	0
19	19.3	0	19	19.3	0	19	19	0	19	38.4	0
20	19.3	0	20	19.2	0	20	19	0	20	38.3	0
21	19.3	0	21	19.3	0	21	18.9	0	21	38.4	0
22	19.3	0	22	19.2	0	22	19	0	22	38.3	0
23	19.3	0	23	19.3	0	23	19	0	23	38.4	0
24	19.2	0	24	19.2	0	24	19	0	24	38.4	0
25	19.2	0	25	19.2	0	25	19	0	25	38.4	0
26	19.2	0	26	19.3	0	26	19	0	26	38.4	0
27	19.2	0	27	19.3	0	27	19	0	27	38.4	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 (ต่อ)

แผงที่ 1			แผงที่ 2			2 แผงขนาน			2 แผงอนุกรม		
ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
28	19.2	0	28	19.2	0	28	19	0	28	38.3	0.01
29	19.2	0	29	19.2	0	29	18.9	0	29	38.3	0.02
30	19.3	0	30	19.2	0	30	19	0	30	38.2	0.02
31	19.2	0	31	19.2	0	31	19	0	31	38.1	0.04
32	19.2	0	32	19.2	0	32	19	0	32	37.9	0.02
33	19.3	0	33	19.2	0	33	19	0	33	37.8	0.04
34	19.2	0	34	19.2	0	34	18.9	0	34	37.8	0.06
35	19.2	0	35	19.2	0	35	18.9	0	35	37.5	0.1
36	19.2	0	36	19.2	0.01	36	18.9	0.01	36	37.5	0.12
37	19.2	0	37	19.2	0	37	18.9	0.01	37	37.7	0.14
38	19.2	0.01	38	19.2	0.02	38	18.8	0.02	38	37.6	0.1
39	19.2	0.01	39	19.1	0.02	39	18.8	0.03	39	37.6	0.06
40	19.1	0.04	40	19.1	0.06	40	18.6	0.06	40	37.2	0.08
41	19.2	0.03	41	19.1	0.04	41	18.7	0.05	41	37.6	0.1
42	19.1	0.08	42	18.9	0.09	42	18.6	0.08	42	37.2	0.14
43	19.1	0.07	43	19	0.08	43	18.7	0.08	43	37.3	0.12
44	19.1	0.07	44	18.9	0.09	44	18.7	0.09	44	37.2	0.14
45	19	0.09	45	18.8	0.12	45	18.6	0.11	45	36.9	0.19
46	18.7	0.26	46	18.7	0.17	46	18.7	0.16	46	36.6	0.28
47	18.9	0.12	47	18.9	0.09	47	18.9	0.11	47	36.1	0.15
48	19.2	0.02	48	19	0.02	48	18.9	0.08	48	36.6	0.06
49	19.2	0.03	49	19	0.03	49	18.9	0.06	49	35.7	0.08
50	19.1	0.04	50	19	0.04	50	18.8	0.07	50	37.5	0.08
51	19.1	0.04	51	18.9	0.03	51	18.8	0.04	51	37	0.06
52	19.1	0.04	52	19	0.04	52	18.9	0.06	52	37.2	0.08
53	19.1	0.07	53	19	0.06	53	18.9	0.06	53	36	0.12
54	19	0.1	54	18.8	0.13	54	18.9	0.12	54	37.3	0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 (ต่อ)

แผงที่ 1			แผงที่ 2			2 แผงขนาน			2 แผงอนุกรม		
ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
55	19	0.12	55	18.8	0.15	55	18.8	0.16	55	37.2	0.11
56	18.8	0.2	56	18.6	0.29	56	18.7	0.25	56	37.1	0.32
57	18.8	0.2	57	18.6	0.3	57	18.7	0.26	57	37	0.35
58	17.8	0.67	58	17.6	0.79	58	17.8	0.76	58	36.9	0.74
59	18.2	0.52	59	17.5	0.82	59	17.6	0.89	59	37.2	0.76
60	17.9	0.62	60	17.3	0.9	60	17.6	0.92	60	37.1	0.82
61	17.1	0.93	61	17.1	0.97	61	17.4	1	61	36.8	0.87
62	17.3	0.84	62	17.2	0.93	62	17.5	0.84	62	36.6	0.85
63	17	0.97	63	17	1.06	63	17.4	0.82	63	36.2	0.97
64	16.8	1.07	64	17	1.04	64	17.4	0.84	64	35.6	0.8
65	17.1	0.93	65	17.5	0.85	65	17.6	0.85	65	35.1	0.76
66	17.2	0.9	66	17.4	0.86	66	17.5	1.04	66	34.7	0.78
67	17.3	0.9	67	17.4	0.87	67	17.4	1.09	67	34.1	0.79
68	17.2	0.92	68	17.3	0.92	68	17.4	1.23	68	32.5	0.82
69	17	1	69	16.8	1.08	69	16.8	1.43	69	32.2	0.93
70	16.7	1.11	70	16.4	1.22	70	16.4	1.96	70	31.1	0.96
71	16	1.23	71	15.5	1.37	71	15.5	2.18	71	30.2	1.24
72	15.3	1.43	72	14.9	1.53	72	15.2	2.76	72	28.5	1.41
73	14.4	1.57	73	14.7	1.57	73	14.9	2.82	73	27.9	1.64
74	13.5	1.68	74	13.4	1.7	74	14.6	3.11	74	25.4	1.71
75	12	1.75	75	11.2	1.78	75	14.5	3.22	75	23.4	1.85
76	9.3	1.8	76	8.5	1.81	76	14.1	3.26	76	22.6	1.89
77	6.9	1.8	77	6.1	1.8	77	10.4	3.22	77	7.4	1.9
78	5.2	1.78	78	4.6	1.78	78	8.4	3.2	78	2.5	1.91
79	3.8	1.75	79	3.5	1.75	79	8.1	3.19	79	2.6	1.88
80	3	1.75	80	2.9	1.73	80	7.4	3.14	80	2.5	1.86
81	2.7	1.83	81	2.6	1.86	81	7.1	3.32	81	2.4	1.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

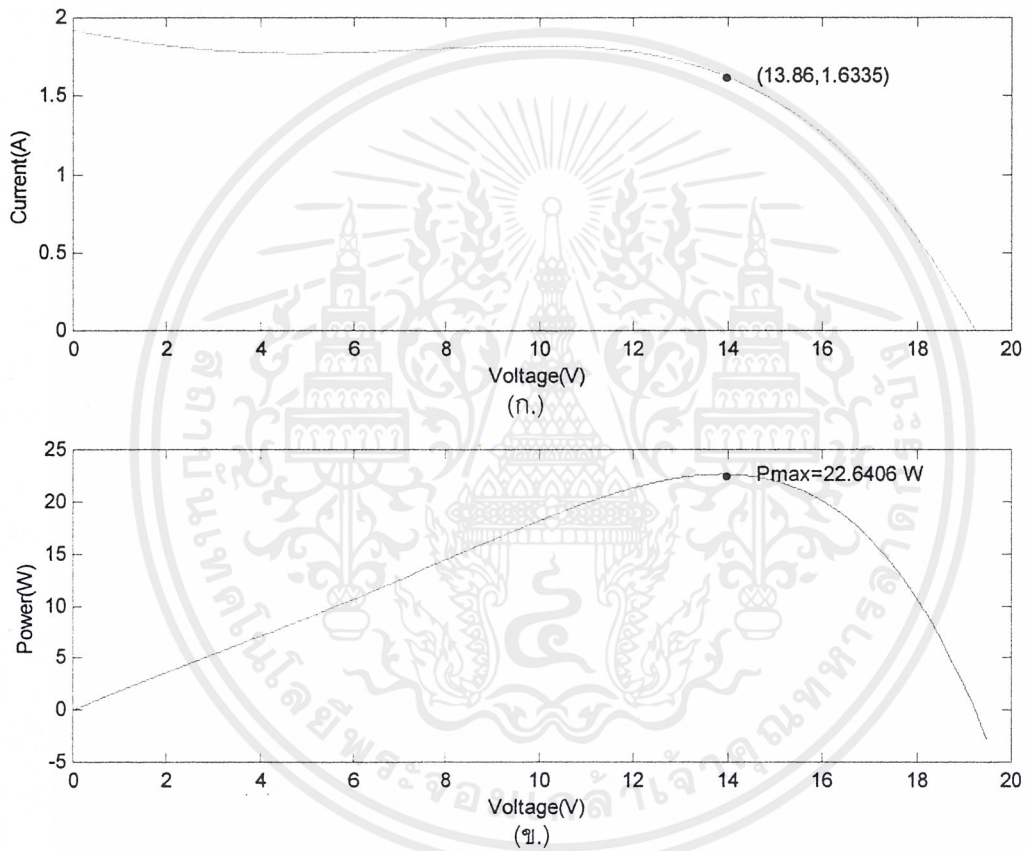


ตารางที่ 7.1 (ต่อ)

แผงที่ 1			แผงที่ 2			2 แผงขนาน			2 แผงอนุกรม		
ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
82	2.5	1.83	82	2.5	1.85	82	6.4	3.34	82	2.4	1.93
83	2.3	1.81	83	2.4	1.85	83	5.9	3.34	83	2.4	1.94
84	2.3	1.81	84	2.3	1.84	84	4.8	3.32	84	2.4	1.92
85	2.2	1.8	85	2.2	1.84	85	2.9	3.32	85	2.4	1.94
86	2.2	1.76	86	2.2	1.78	86	2.9	3.34	86	2.3	1.91
87	2.1	1.75	87	2.1	1.76	87	2.9	3.32	87	2.3	1.91
88	2.1	1.74	88	2.1	1.75	88	2.8	3.3	88	2.4	1.91
89	2	1.74	89	2.1	1.75	89	2.8	3.34	89	2.4	1.91
90	2	1.73	90	2	1.74	90	2.6	3.35	90	2.3	1.92
91	2.1	1.93	91	2.2	1.95	91	2.8	3.73	91	2.2	2.01
92	2.2	1.95	92	2.2	1.96	92	2.9	3.73	92	2.2	2.03
93	2.2	1.95	93	2.2	1.96	93	2.9	3.74	93	2.2	2.03
94	2.1	1.93	94	2.1	1.96	94	2.7	3.73	94	2.2	2.04
95	2.1	1.93	95	2.1	1.96	95	2.9	3.73	95	2.2	2.04
96	2.1	1.93	96	2.1	1.96	96	2.8	3.73	96	2.1	2.03
97	2.1	1.93	97	2.1	1.97	97	2.8	3.73	97	2.2	2.03
98	2.1	1.93	98	2.1	1.96	98	2.8	3.73	98	2.2	2.02
99	2.1	1.93	99	2.1	1.96	99	2.8	3.73	99	2.2	2.02
100	2.1	1.93	100	2.1	1.97	100	2.8	3.73	100	2.2	2.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 7.1 จะได้กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลเมื่อทำการทดสอบ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 1 ที่ความเข้มแสง 850 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังรูปที่ 7.1

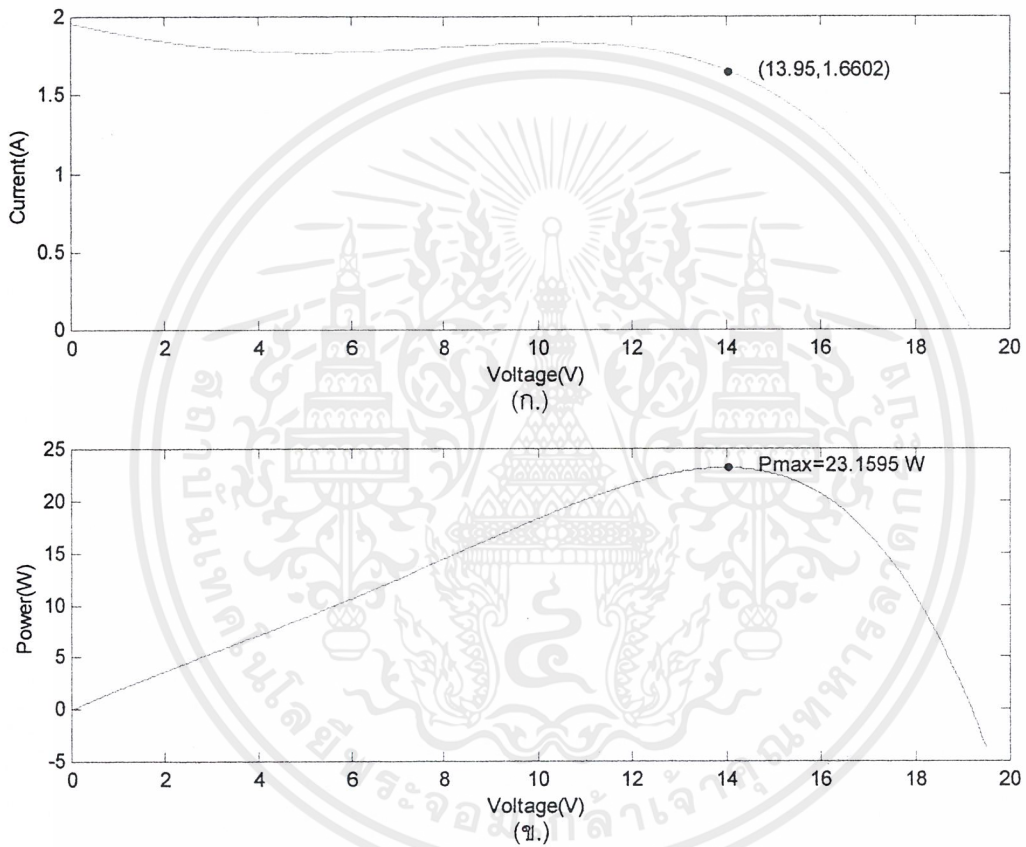


รูปที่ 7.1 (ก.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

(ข.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

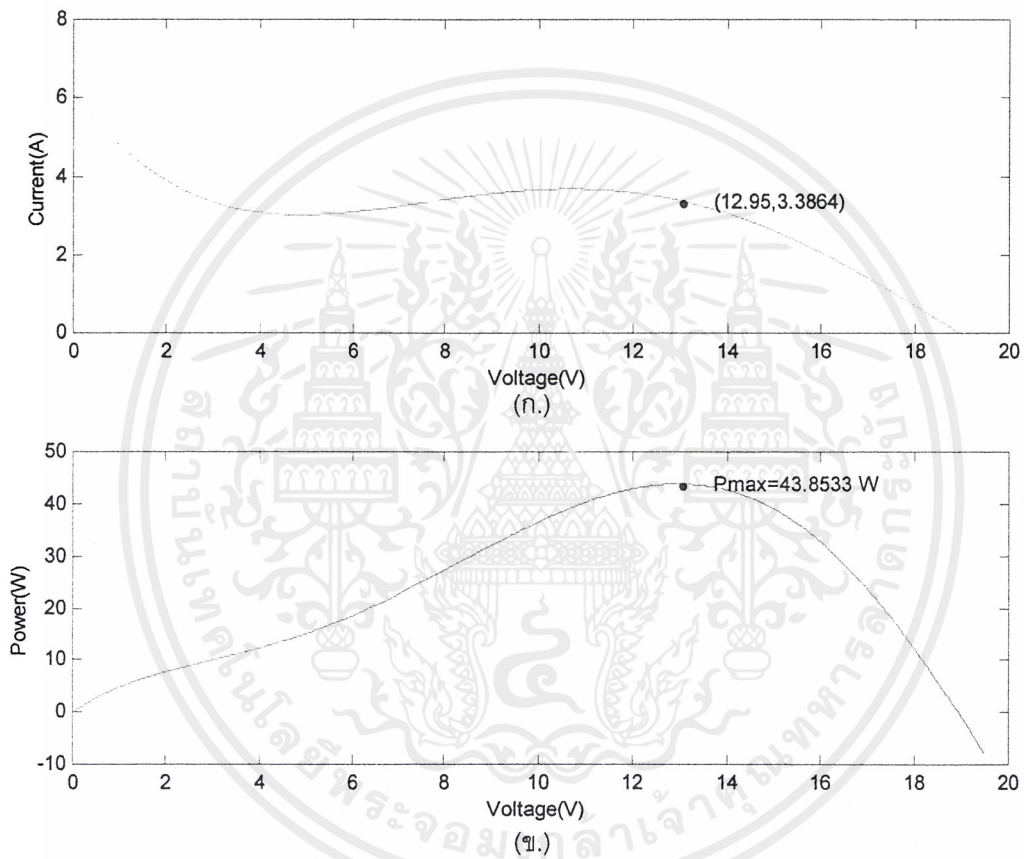
จากข้อมูลในตารางที่ 7.1 จะได้กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลเมื่อทำการทดสอบ โดยแผง เซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 2 ที่ความเข้มแสง 850 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 (ก.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

(ข.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังงาน

กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลเมื่อทำการทดสอบโดยต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 1 ขนาน  
กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 2 ที่ความเข้มแสง 850 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังรูปที่ 7.3

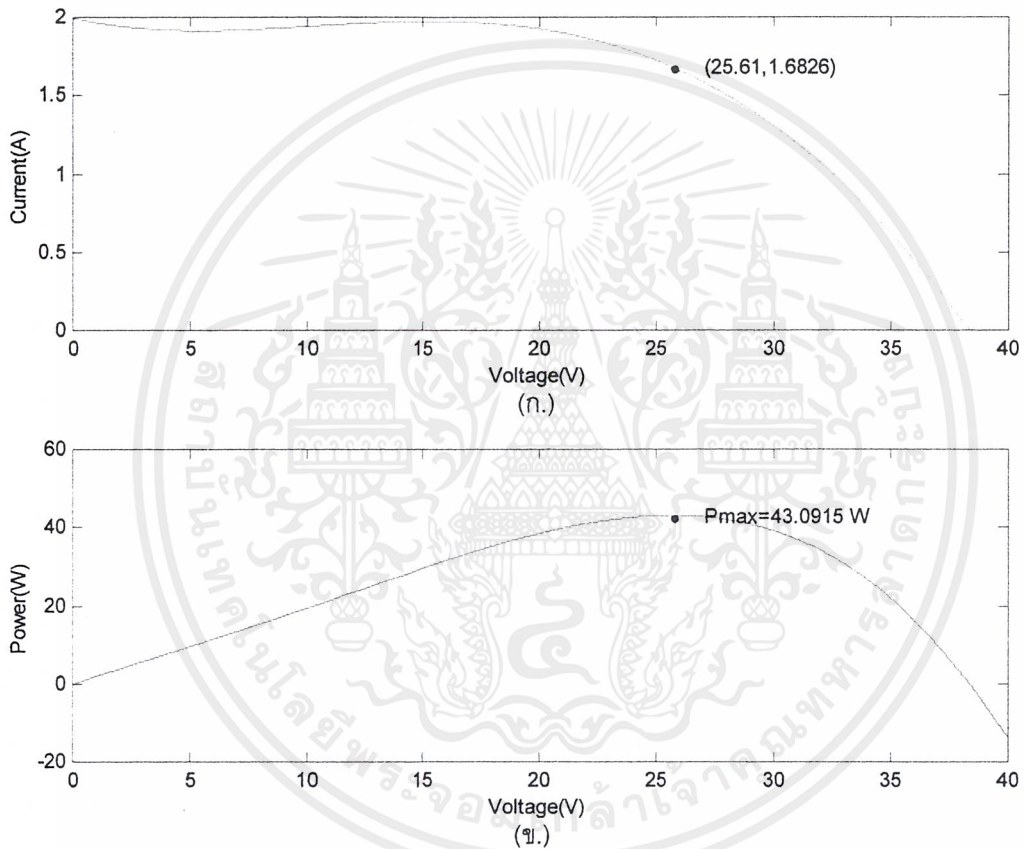


รูปที่ 7.3 (ก.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

(ข.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลเมื่อทำการทดสอบ โดยต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 1  
อนุกรมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 2 ที่ความเข้มแสง 850 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 (ก.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

(ข.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังงาน

ตารางที่ 7.2 แสดงบันทึกผลการทดลองระหว่างกระแสกับแรงดัน  
ที่ความเข้มแสง 400 วัตต์/ตารางเมตร อุณหภูมิ 44.3 องศาเซลเซียส

แผงที่ 1			แผงที่ 2			2 แผงขนาน			2 แผงอนุกรม		
ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	19.2	0	1	19.2	0	1	19.1	0	1	38.7	0
2	19.2	0	2	19.2	0	2	19.1	0	2	38.7	0
3	19.1	0	3	19.2	0	3	19.1	0	3	38.7	0
4	19.2	0	4	19.2	0	4	19.1	0	4	38.7	0
5	19.2	0	5	19.2	0	5	19.1	0	5	38.6	0
6	19.2	0	6	19.2	0	6	19.1	0	6	38.6	0
7	19.2	0	7	19.2	0	7	19.1	0	7	38.7	0
8	19.2	0	8	19.2	0	8	19.1	0	8	38.7	0
9	19.2	0	9	19.2	0	9	19.1	0	9	38.7	0
10	19.2	0	10	19.2	0	10	19.1	0	10	38.7	0
11	19.2	0	11	19.2	0	11	19.1	0	11	38.7	0
12	19.2	0	12	19.2	0	12	19.1	0	12	38.7	0
13	19.2	0	13	19.2	0	13	19.1	0	13	38.7	0
14	19.2	0	14	19.2	0	14	19.1	0	14	38.7	0
15	19.2	0	15	19.2	0	15	19.1	0	15	38.7	0
16	19.2	0	16	19.2	0	16	19.1	0	16	38.7	0
17	19.2	0	17	19.2	0	17	19.1	0	17	38.7	0
18	19.2	0	18	19.2	0	18	19.1	0	18	38.7	0
19	19.2	0	19	19.2	0	19	19.1	0	19	38.7	0
20	19.2	0	20	19.2	0	20	19.1	0	20	38.6	0
21	19.2	0	21	19.2	0	21	19.1	0	21	38.7	0
22	19.2	0	22	19.2	0	22	19.1	0	22	38.6	0
23	19.2	0	23	19.2	0	23	19.1	0	23	38.7	0
24	19.2	0	24	19.2	0	24	19.1	0	24	38.7	0
25	19.1	0	25	19.2	0	25	19.1	0	25	38.7	0
26	19.2	0	26	19.2	0	26	19.1	0	26	38.7	0
27	19.2	0	27	19.2	0	27	19.1	0	27	38.7	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

แผงที่ 1			แผงที่ 2			2 แผงขนาน			2 แผงอนุกรม		
ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
28	19.2	0	28	19.2	0	28	19.1	0	28	38.6	0
29	19.2	0	29	19.2	0	29	19.1	0	29	38.6	0
30	19.2	0	30	19.2	0	30	19.1	0	30	38.7	0
31	19.2	0	31	19.2	0	31	19.1	0	31	38.6	0
32	19.2	0	32	19.2	0	32	19.1	0	32	38.5	0
33	19.2	0	33	19.2	0	33	19.1	0	33	38.4	0.02
34	19.2	0	34	19.2	0	34	19.1	0	34	38.4	0.02
35	19.2	0	35	19.2	0	35	19.1	0	35	38.3	0.04
36	19.2	0	36	19.2	0	36	19.1	0	36	38.2	0.06
37	19.2	0	37	19.2	0	37	19.1	0	37	38.3	0.03
38	19.2	0	38	19.2	0	38	19.1	0	38	38.1	0.08
39	19.2	0	39	19.2	0	39	19.1	0	39	38.1	0.08
40	19.2	0	40	19.2	0	40	19.1	0	40	38	0.1
41	19.2	0	41	19.2	0	41	19.1	0	41	38.1	0.08
42	19.2	0	42	19.2	0	42	19.1	0	42	37.8	0.12
43	19.2	0	43	19.2	0	43	19.1	0	43	38	0.1
44	19.2	0	44	19.2	0	44	19.1	0	44	37.9	0.1
45	19.1	0	45	19.1	0.01	45	19.1	0	45	37.6	0.17
46	19.1	0.02	46	19.1	0.03	46	19.1	0.01	46	37.1	0.24
47	19.1	0.02	47	19.1	0.03	47	19.1	0.01	47	36.6	0.29
48	19	0.03	48	19	0.04	48	19	0.02	48	37	0.3
49	19	0.06	49	19	0.07	49	19	0.03	49	36.2	0.39
50	18.9	0.08	50	18.9	0.09	50	19	0.06	50	38.1	0.08
51	18.9	0.08	51	18.9	0.09	51	19	0.04	51	37.7	0.18
52	18.9	0.08	52	18.9	0.09	52	19	0.06	52	37.9	0.1
53	18.8	0.1	53	18.8	0.13	53	18.9	0.08	53	36.4	0.34
54	18.7	0.15	54	18.6	0.18	54	18.9	0.12	54	37.9	0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

แผงที่ 1			แผงที่ 2			2 แผงขนาน			2 แผงอนุกรม		
ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
55	18.7	0.14	55	18.6	0.17	55	18.9	0.1	55	37.8	0.14
56	18.7	0.14	56	18.6	0.17	56	18.9	0.1	56	37.6	0.15
57	18.6	0.18	57	18.5	0.19	57	18.9	0.13	57	37.5	0.18
58	18.5	0.2	58	18.5	0.2	58	18.8	0.14	58	37.4	0.2
59	18.8	0.14	59	18.7	0.15	59	18.9	0.1	59	37.4	0.2
60	18.8	0.12	60	18.8	0.12	60	18.9	0.09	60	37.2	0.23
61	18.5	0.2	61	18.6	0.18	61	18.8	0.17	61	36.6	0.31
62	18.5	0.2	62	18.5	0.2	62	18.8	0.17	62	36.6	0.3
63	18.3	0.28	63	18.3	0.25	63	18.7	0.23	63	36.5	0.32
64	18	0.35	64	17.9	0.34	64	18.5	0.3	64	36.3	0.36
65	17.7	0.45	65	17.8	0.4	65	18.2	0.47	65	36.1	0.39
66	17.6	0.46	66	17.7	0.4	66	18.2	0.47	66	35.7	0.42
67	16.1	0.69	67	16.9	0.56	67	17.4	0.78	67	35.4	0.45
68	14.4	0.81	68	15.6	0.67	68	16.7	1.03	68	35.3	0.46
69	15.8	0.71	69	16.7	0.58	69	17.1	0.95	69	34.5	0.54
70	16.5	0.65	70	16.1	0.65	70	17.4	0.84	70	34	0.59
71	15.7	0.73	71	15	0.7	71	16.9	1.04	71	32.8	0.64
72	15	0.78	72	13.2	0.78	72	15.8	1.18	72	32	0.68
73	9.9	0.86	73	6.5	0.78	73	16.7	1	73	31.4	0.71
74	7.2	0.85	74	5.3	0.76	74	14.3	1.47	74	24.6	0.81
75	7	0.85	75	5.3	0.76	75	15.4	1.29	75	27.9	0.79
76	6.9	0.85	76	5.6	0.76	76	14.3	1.4	76	25.6	0.8
77	2.6	0.95	77	2.1	0.84	77	7.2	1.56	77	5.8	0.91
78	2	0.97	78	1.8	0.86	78	5.4	1.63	78	1.9	0.93
79	1.9	0.98	79	1.8	0.86	79	4.5	1.68	79	1.9	0.93
80	1.8	1.01	80	1.7	0.89	80	3.6	1.73	80	1.8	0.93
81	1.7	0.8	81	1.5	0.69	81	2.8	1.5	81	1.7	0.81

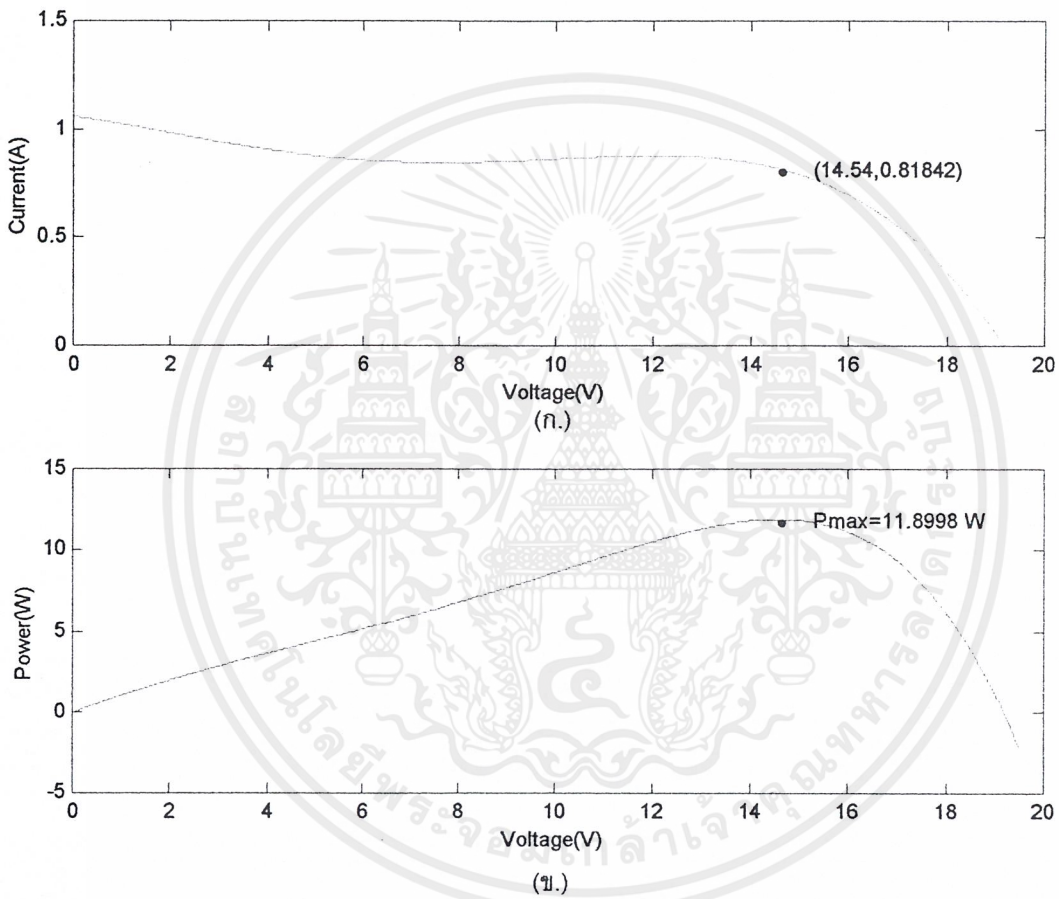


ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

แผงที่ 1			แผงที่ 2			2 แผงขนาน			2 แผงอนุกรม		
ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
82	1.6	0.81	82	1.5	0.69	82	2.4	1.5	82	1.7	0.79
83	1.5	0.8	83	1.4	0.69	83	2.3	1.51	83	1.7	0.8
84	1.6	0.8	84	1.5	0.69	84	2.3	1.52	84	1.7	0.79
85	1.6	0.82	85	1.5	0.71	85	2.2	1.52	85	1.7	0.8
86	1.6	0.86	86	1.6	0.75	86	2.6	1.58	86	1.6	0.8
87	1.6	0.87	87	1.5	0.75	87	2.2	1.62	87	1.6	0.81
88	1.6	0.89	88	1.5	0.76	88	2.3	1.63	88	1.7	0.81
89	1.6	0.89	89	1.5	0.76	89	2.2	1.65	89	1.7	0.82
90	1.6	0.89	90	1.5	0.75	90	2.2	1.67	90	1.6	0.84
91	1.4	0.7	91	1.4	0.64	91	1.9	1.28	91	1.5	0.73
92	1.4	0.7	92	1.4	0.65	92	1.8	1.25	92	1.5	0.75
93	1.4	0.69	93	1.4	0.65	93	1.9	1.24	93	1.5	0.74
94	1.4	0.69	94	1.4	0.65	94	1.8	1.26	94	1.5	0.73
95	1.4	0.69	95	1.4	0.67	95	1.8	1.2	95	1.5	0.73
96	1.4	0.69	96	1.4	0.67	96	1.9	1.26	96	1.4	0.71
97	1.5	0.69	97	1.4	0.65	97	1.8	1.23	97	1.5	0.71
98	1.4	0.69	98	1.4	0.65	98	1.8	1.25	98	1.5	0.7
99	1.5	0.69	99	1.4	0.65	99	1.8	1.25	99	1.5	0.71
100	1.4	0.69	100	1.4	0.64	100	1.8	1.22	100	1.5	0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 5.2 จะได้กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลเมื่อทำการทดสอบ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 1 ที่ความเข้มแสง 400 วัตต์ต่อตารางเมตรดังรูปที่ 7.5

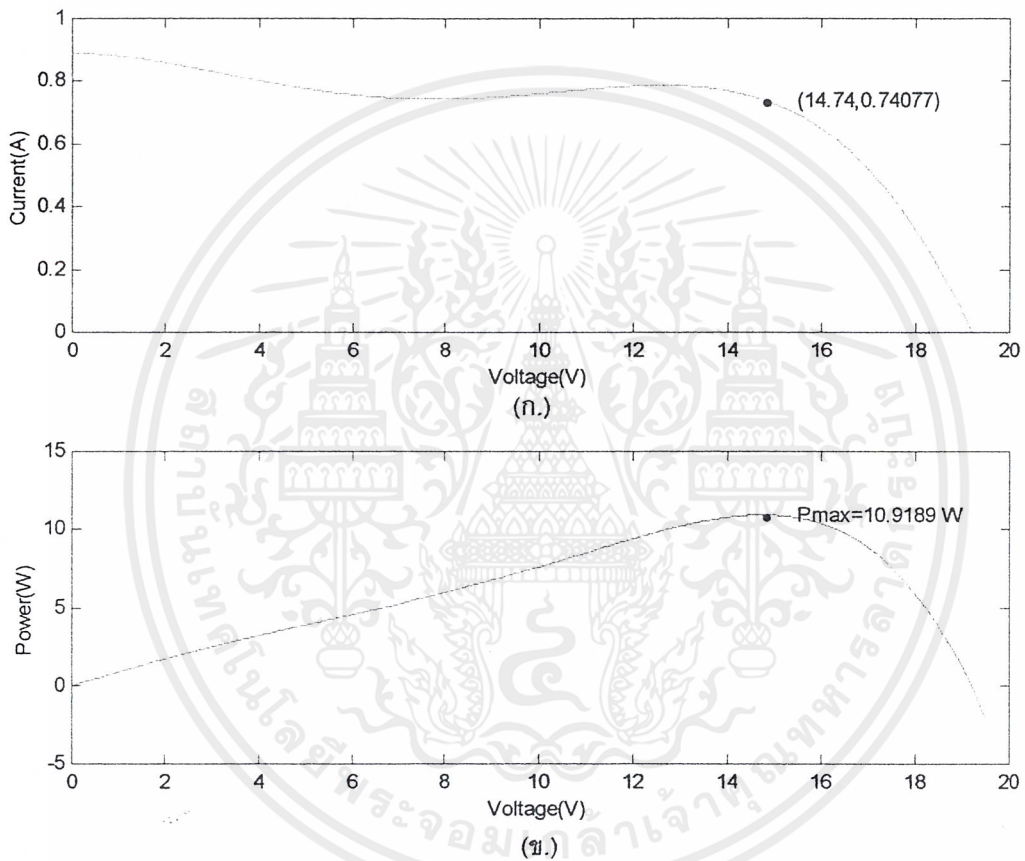


รูปที่ 7.5 (ก.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

(ข.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลเมื่อทำการทดสอบ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 2 ที่ความเข้มแสง 400 วัตต์ต่อตารางเมตร แสดงดังรูปที่ 7.6

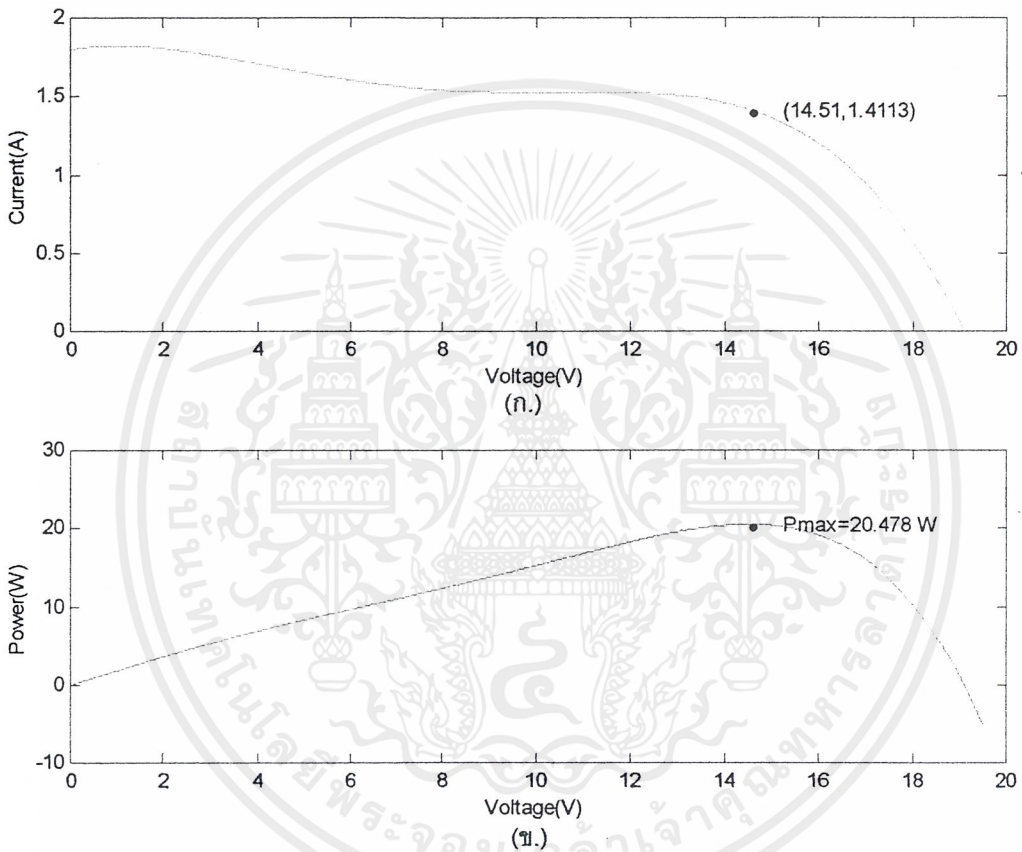


รูปที่ 7.6 (ก.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

(ข.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

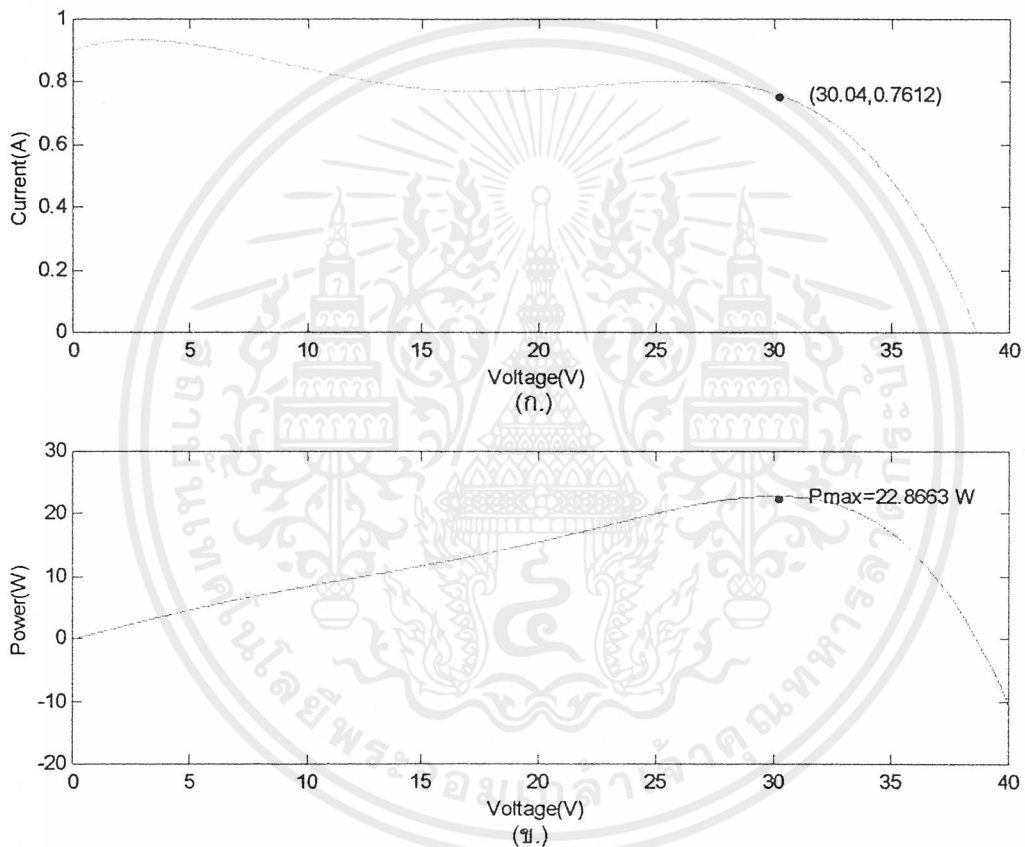
กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลเมื่อทำการทดสอบ โดยต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 1 และแผงที่ 2 ขนานกัน ที่ความเข้มแสง 400 วัตต์ต่อตารางเมตร แสดงดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 (ก.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

(ข.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังงาน

กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลเมื่อทำการทดสอบ โดยต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 1 และแผงที่ 2อนุกรมกัน ที่ความเข้มแสง 400 วัตต์ต่อตารางเมตร แสดงดังรูปที่ 7.8



รูปที่ 7.8 (ก.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

(ข.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 แสดงบันทึกผลการทดลองระหว่างกระแสกับแรงดัน  
ที่ความเข้มแสง 200 วัตต์/ตารางเมตร อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส

แผงที่ 1			แผงที่ 2			2 แผงขนาน			2 แผงอนุกรม		
ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	19.1	0	1	19.3	0	1	18.8	0	1	38.9	0
2	19.1	0	2	19.3	0	2	18.8	0	2	38.9	0
3	19.2	0	3	19.3	0	3	18.8	0	3	38.9	0
4	19.1	0	4	19.3	0	4	18.8	0	4	38.9	0
5	19.1	0	5	19.3	0	5	18.8	0	5	38.9	0
6	19.1	0	6	19.3	0	6	18.7	0	6	38.9	0
7	19.1	0	7	19.3	0	7	18.8	0	7	38.9	0
8	19.2	0	8	19.3	0	8	18.8	0	8	38.9	0
9	19.1	0	9	19.3	0	9	18.8	0	9	38.9	0
10	19.1	0	10	19.3	0	10	18.8	0	10	38.9	0
11	19.1	0	11	19.3	0	11	18.7	0	11	38.9	0
12	19.1	0	12	19.3	0	12	18.8	0	12	38.9	0
13	19.1	0	13	19.3	0	13	18.8	0	13	38.9	0
14	19.1	0	14	19.2	0	14	18.7	0	14	38.9	0
15	19.1	0	15	19.3	0	15	18.8	0	15	38.9	0
16	19.1	0	16	19.3	0	16	18.7	0	16	38.9	0
17	19.1	0	17	19.3	0	17	18.8	0	17	38.9	0
18	19.1	0	18	19.3	0	18	18.8	0	18	38.9	0
19	19.1	0	19	19.2	0	19	18.8	0	19	38.9	0
20	19.1	0	20	19.3	0	20	18.8	0	20	38.9	0
21	19.1	0	21	19.3	0	21	18.8	0	21	38.9	0
22	19.1	0	22	19.3	0	22	18.8	0	22	38.9	0
23	19.1	0	23	19.3	0	23	18.7	0	23	38.9	0
24	19.1	0	24	19.3	0	24	18.8	0	24	38.9	0
25	19.1	0	25	19.3	0	25	18.7	0	25	38.9	0
26	19.1	0	26	19.3	0	26	18.8	0	26	38.9	0
27	19.1	0	27	19.3	0	27	18.8	0	27	38.9	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 (ต่อ)

แผงที่ 1			แผงที่ 2			2 แผงขนาน			2 แผงอนุกรม		
ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
28	19.1	0	28	19.3	0	28	18.8	0	28	38.9	0
29	19.1	0	29	19.3	0	29	18.8	0	29	38.9	0
30	19.1	0	30	19.3	0	30	18.7	0	30	38.9	0
31	19.1	0	31	19.3	0	31	18.8	0	31	38.9	0
32	19.1	0	32	19.3	0	32	18.8	0	32	38.9	0
33	19.1	0	33	19.3	0	33	18.8	0	33	38.9	0
34	19.1	0	34	19.3	0	34	18.8	0	34	38.9	0
35	19.1	0	35	19.3	0	35	18.8	0	35	38.9	0
36	19.1	0	36	19.3	0	36	18.8	0	36	38.9	0
37	19.1	0	37	19.3	0	37	18.8	0	37	38.9	0
38	19.1	0	38	19.3	0	38	18.8	0	38	38.9	0
39	19.1	0	39	19.2	0	39	18.8	0	39	38.9	0
40	19.1	0	40	19.3	0	40	18.8	0	40	38.9	0
41	19.1	0	41	19.2	0	41	18.8	0	41	38.9	0
42	19.1	0	42	19.2	0	42	18.7	0	42	38.9	0
43	19.1	0	43	19.3	0	43	18.8	0	43	38.8	0
44	19.1	0	44	19.2	0	44	18.7	0	44	38.7	0.01
45	19	0.02	45	19.2	0.02	45	18.7	0.01	45	38.8	0
46	18.9	0.02	46	19.1	0.03	46	18.7	0.02	46	38.9	0
47	18.9	0.02	47	19.1	0.03	47	18.6	0.02	47	38.8	0
48	18.9	0.03	48	19	0.04	48	18.7	0.02	48	38.7	0
49	18.8	0.06	49	19	0.07	49	18.6	0.04	49	38.7	0.01
50	18.7	0.08	50	18.8	0.08	50	18.6	0.06	50	38.6	0.02
51	18.8	0.08	51	18.8	0.09	51	18.6	0.06	51	38.5	0.03
52	18.7	0.08	52	18.8	0.08	52	18.6	0.06	52	38.3	0.06
53	18.6	0.1	53	18.7	0.13	53	18.5	0.08	53	38.4	0.04
54	18.4	0.15	54	18.5	0.18	54	18.4	0.13	54	38.2	0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 (ต่อ)

แผงที่ 1			แผงที่ 2			2 แผงขนาน			2 แผงอนุกรม		
ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
55	18.4	0.17	55	18.5	0.18	55	18.4	0.13	55	38	0.1
56	18.4	0.17	56	18.4	0.18	56	18.4	0.14	56	37.8	0.13
57	18.2	0.2	57	18.2	0.21	57	18.3	0.17	57	37.7	0.13
58	18.1	0.21	58	18.1	0.24	58	18.2	0.19	58	37.5	0.17
59	18.4	0.17	59	18.4	0.19	59	18.4	0.14	59	36.9	0.24
60	18.6	0.12	60	18.6	0.13	60	18.5	0.09	60	35.8	0.34
61	18.2	0.2	61	18.4	0.2	61	18.3	0.17	61	35.7	0.28
62	18.1	0.21	62	18.1	0.24	62	18.2	0.19	62	36.4	0.26
63	17.8	0.26	63	18.1	0.24	63	18.1	0.23	63	36.3	0.29
64	17.5	0.31	64	17.9	0.28	64	18	0.28	64	35.3	0.36
65	17	0.37	65	17.5	0.34	65	17.7	0.36	65	35.4	0.36
66	16.9	0.39	66	17.2	0.39	66	17.6	0.4	66	32.6	0.48
67	15.6	0.47	67	16.6	0.42	67	16.8	0.58	67	34.9	0.4
68	13.8	0.52	68	15.5	0.5	68	15.7	0.75	68	34.4	0.42
69	15	0.5	69	15.3	0.5	69	16.8	0.58	69	33.7	0.45
70	13.6	0.53	70	12.4	0.57	70	16.9	0.58	70	31.3	0.52
71	12	0.54	71	11.5	0.56	71	16.4	0.65	71	29.9	0.56
72	11	0.54	72	10.3	0.57	72	15.7	0.73	72	28	0.57
73	5.8	0.59	73	5.8	0.58	73	9.7	0.95	73	24.7	0.59
74	4.1	0.63	74	4.4	0.61	74	7.9	1	74	23.4	0.59
75	4.1	0.63	75	4.1	0.61	75	8	0.97	75	19.2	0.61
76	3.9	0.63	76	4.1	0.61	76	9	0.93	76	16.9	0.61
77	1.7	0.69	77	1.6	0.68	77	3.6	1.18	77	18.4	0.61
78	1.6	0.69	78	1.6	0.69	78	2.6	1.19	78	6.3	0.64
79	1.6	0.69	79	1.6	0.69	79	2.4	1.2	79	5.6	0.63
80	1.6	0.69	80	1.5	0.7	80	2.2	1.24	80	3.9	0.63
81	1.5	0.61	81	1.4	0.54	81	2.2	1.15	81	3.6	0.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

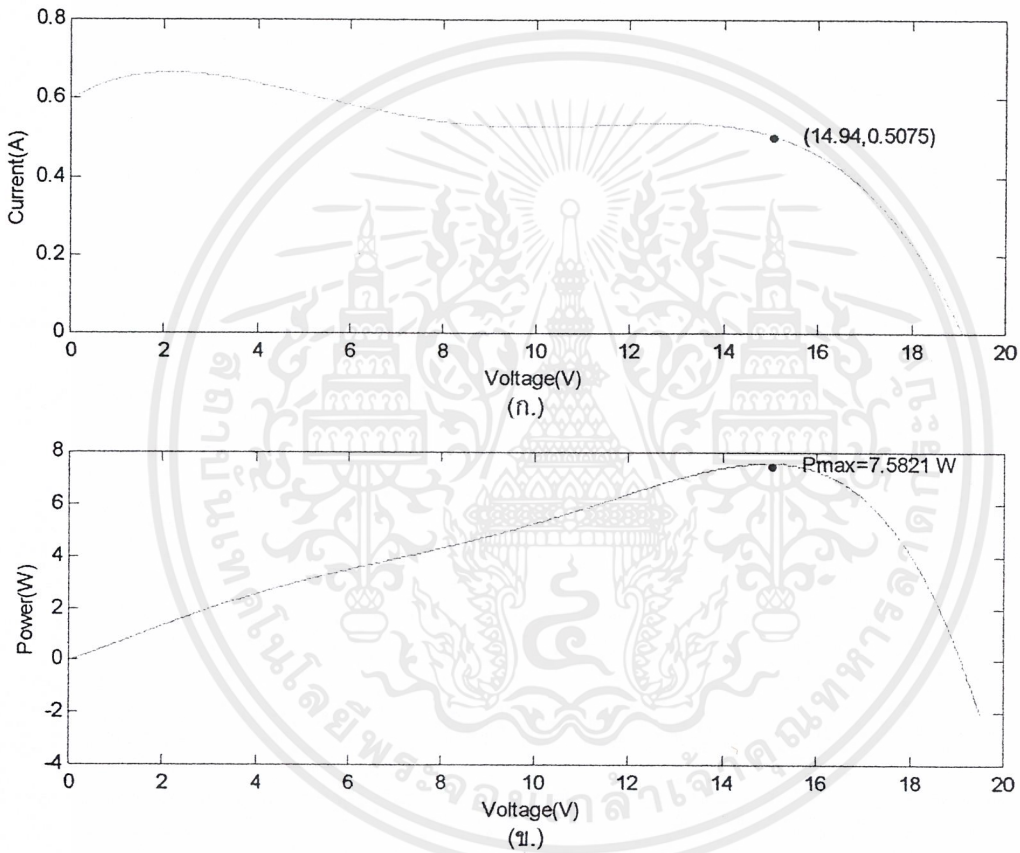


ตารางที่ 7.3 (ต่อ)

แผงที่ 1			แผงที่ 2			2 แผงขนาน			2 แผงอนุกรม		
ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับ ที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
82	1.3	0.62	82	1.3	0.54	82	1.9	1.18	82	6.2	0.62
83	1.4	0.61	83	1.4	0.54	83	2	1.18	83	4.8	0.63
84	1.4	0.62	84	1.3	0.54	84	1.9	1.19	84	1.4	0.65
85	1.4	0.63	85	1.3	0.57	85	2	1.2	85	1.5	0.64
86	1.4	0.67	86	1.3	0.61	86	1.9	1.25	86	1.4	0.64
87	1.4	0.67	87	1.4	0.62	87	1.9	1.25	87	1.5	0.65
88	1.4	0.68	88	1.4	0.63	88	1.9	1.26	88	1.4	0.65
89	1.4	0.69	89	1.4	0.63	89	1.8	1.28	89	1.4	0.67
90	1.4	0.69	90	1.4	0.63	90	1.8	1.29	90	1.4	0.67
91	1.2	0.45	91	1.2	0.41	91	1.7	0.98	91	1.2	0.51
92	1.1	0.43	92	1.1	0.41	92	1.6	0.93	92	1.3	0.51
93	1.2	0.45	93	1.2	0.41	93	1.6	0.96	93	1.3	0.5
94	1.2	0.45	94	1.1	0.41	94	1.7	0.97	94	1.3	0.53
95	1.2	0.45	95	1.1	0.41	95	1.7	0.96	95	1.3	0.52
96	1.2	0.45	96	1.1	0.41	96	1.6	0.96	96	1.3	0.51
97	1.2	0.45	97	1.2	0.41	97	1.7	0.98	97	1.3	0.52
98	1.2	0.45	98	1.1	0.41	98	1.7	0.97	98	1.3	0.52
99	1.2	0.45	99	1.2	0.4	99	1.7	0.97	99	1.2	0.51
100	1.1	0.43	100	1.2	0.41	100	1.7	0.96	100	1.3	0.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 7.3 จะได้กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลเมื่อทำการทดสอบ โดยแผง เซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 1 ที่ความเข้มแสง 200 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังรูปที่ 7.9

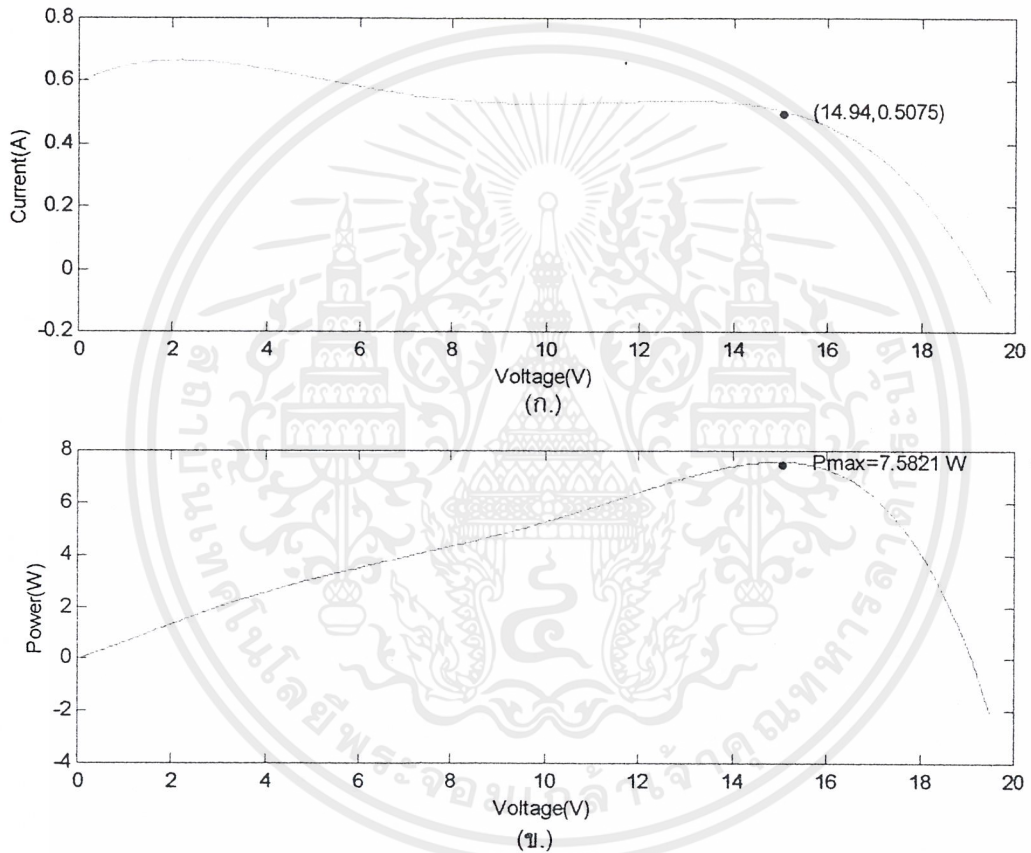


รูปที่ 7.9 (ก.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

(ข.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลเมื่อทำการทดสอบ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 2 ที่ความเข้มแสง 200 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังรูปที่ 7.10

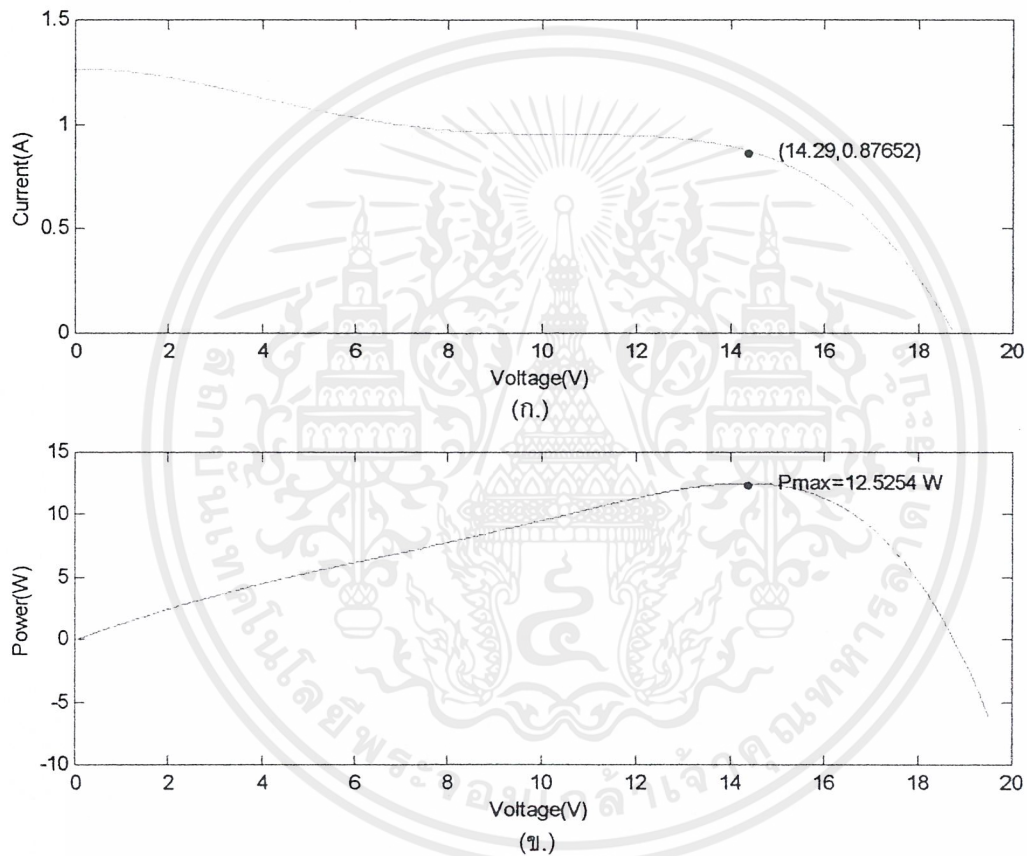


รูปที่ 7.10 (ก.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

(ข.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลเมื่อทำการทดสอบ โดยต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 1 ขนาน  
กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 2 ที่ความเข้มแสง 200 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังรูปที่ 7.11

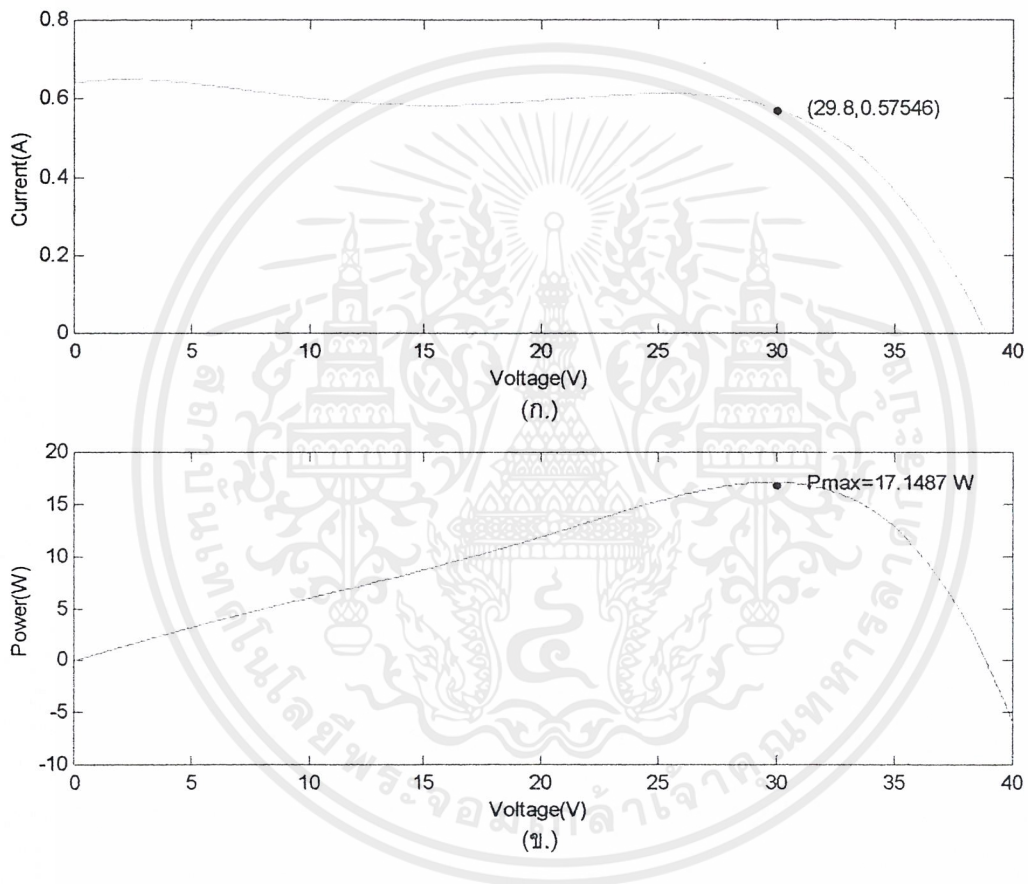


รูปที่ 7.11 (ก.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

(ข.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลเมื่อทำการทดสอบ โดยต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 1  
อนุกรมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 2 ที่ความเข้มแสง 200 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังรูปที่ 7.12



รูปที่ 7.12 (ก.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส  
(ข.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

## บทที่ 8

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน ดังผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ที่ความเข้มแสง 850 วัตต์/ตารางเมตร อุณหภูมิ 47.4 องศาเซลเซียส
  - 1.1 แผงที่ 1 สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 23.1595 วัตต์ ที่ แรงดัน 13.95 โวลต์ กระแส 1.6602 แอมป์
  - 1.2 แผงที่ 2 สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 22.6406 วัตต์ ที่ แรงดัน 13.86 โวลต์ กระแส 1.6335 แอมป์
  - 1.3 เมื่อนำแผงที่ 1 และ 2 มาต่อขนานกัน สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 43.5833 วัตต์ ที่ แรงดัน 12.95 โวลต์ กระแส 3.3864 แอมป์
  - 1.4 เมื่อนำแผงที่ 1 และ 2 มาต่ออนุกรมกัน สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 43.0915 วัตต์ ที่ แรงดัน 25.61 โวลต์ กระแส 1.6826 แอมป์
2. ที่ความเข้มแสง 400 วัตต์/ตารางเมตร อุณหภูมิ 44.3 องศาเซลเซียส
  - 2.1 แผงที่ 1 สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 11.8998 วัตต์ ที่ แรงดัน 14.54 โวลต์ กระแส 0.8184 แอมป์
  - 2.2 แผงที่ 2 สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 10.9189 วัตต์ ที่ แรงดัน 14.74 โวลต์ กระแส 0.7407 แอมป์
  - 2.3 เมื่อนำแผงที่ 1 และ 2 มาต่อขนานกัน สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 20.478 วัตต์ ที่ แรงดัน 14.51 โวลต์ กระแส 1.4113 แอมป์
  - 2.4 เมื่อนำแผงที่ 1 และ 2 มาต่ออนุกรมกัน สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 22.8663 วัตต์ ที่ แรงดัน 30.04 โวลต์ กระแส 0.7612 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ที่ความเข้มแสง 200 วัตต์/ตารางเมตร อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส
  - 3.1 แผงที่ 1 สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 7.5821 วัตต์ ที่ แรงดัน 14.94 โวลต์ กระแส 0.5075 แอมป์
  - 3.2 แผงที่ 2 สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 7.8625 วัตต์ ที่ แรงดัน 14.91 โวลต์ กระแส 0.5273 แอมป์
  - 3.3 เมื่อนำแผงที่ 1 และ 2 มาต่อขนานกัน สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 12.5254 วัตต์ ที่ แรงดัน 14.29 โวลต์ กระแส 0.8765 แอมป์
  - 3.4 เมื่อนำแผงที่ 1 และ 2 มาต่ออนุกรมกัน สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 17.1487 วัตต์ ที่ แรงดัน 29.8 โวลต์ กระแส 0.5755 แอมป์
4. เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น เซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายกำลังงานได้สูงขึ้น โดยจะจ่ายกระแสได้เพิ่มขึ้น
5. เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายแรงดันได้ลดลงเล็กน้อย
6. เมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 แผงมาต่อขนานหรืออนุกรมกัน จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้เพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงเดียว
7. การทดลองอาจมีผลคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น
  - 7.1 ปัจจัยภายนอก เช่น ความเข้มแสงและอุณหภูมิขณะที่ทำการวัดไม่คงที่
  - 7.2 ปัจจัยภายใน เช่น จากข้อมูลการทดลองช่วงประมาณจุดที่ 80 ค่าของข้อมูลจะมีการแกว่งขึ้นลงเนื่องจาก คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อจ่ายกระแสเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันลดลง ในขณะที่ คุณสมบัติของ IGBT เมื่อกระแส( $I_{CE}$ )เพิ่มขึ้น ทำให้แรงดัน( $V_{CE}$ )เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้ค่าของข้อมูลเกิดการแกว่ง
8. แนวทางการพัฒนา
  - 8.1 สามารถนำไปวัดคุณสมบัติการจ่ายกระแสและแรงดันของแหล่งจ่ายต่างๆได้
  - 8.2 เพิ่มตัวตรวจจับความเข้มแสงเข้าไปเพื่อเครื่องทดสอบสมบูรณ์ยิ่งขึ้น



# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

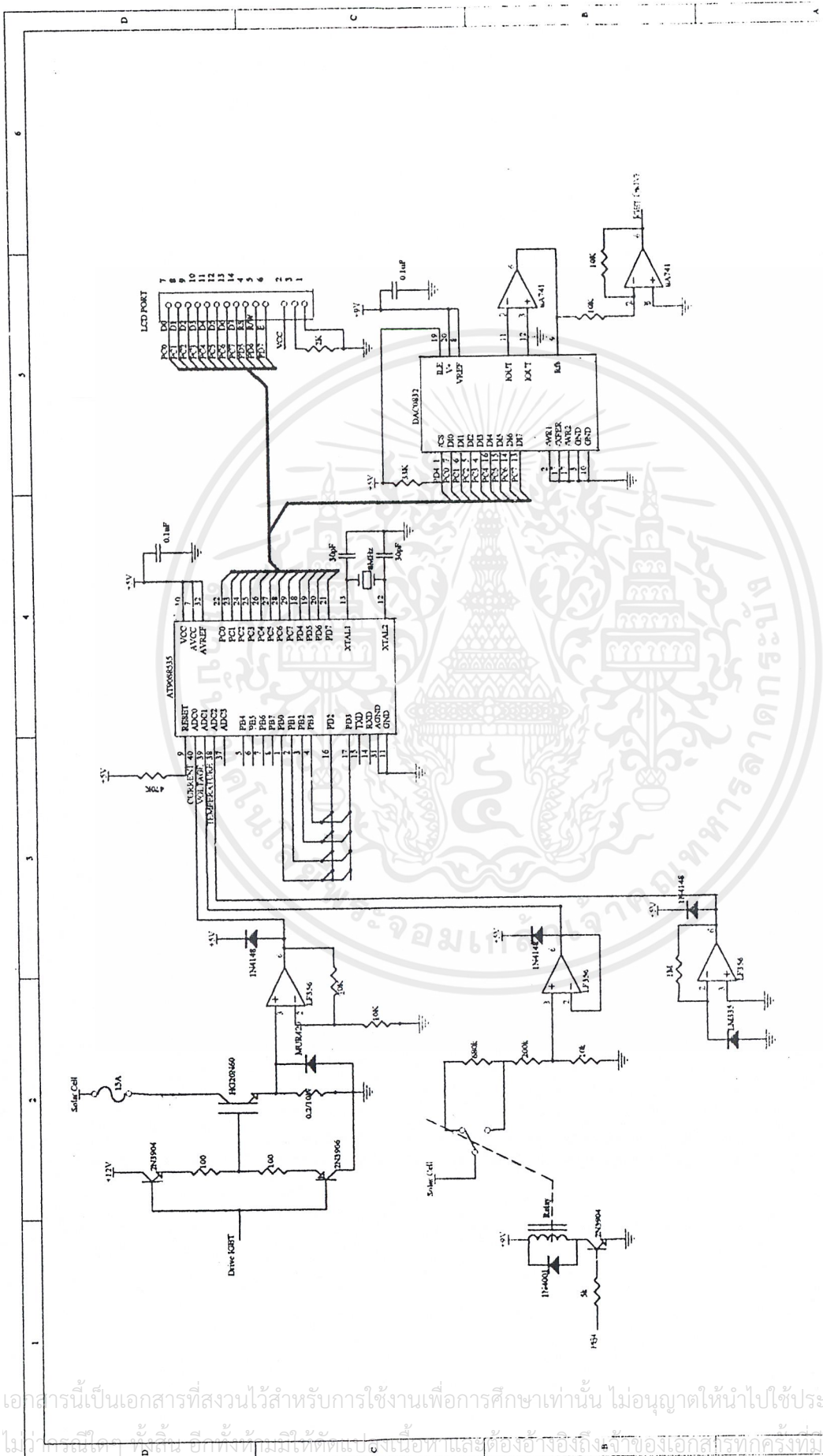




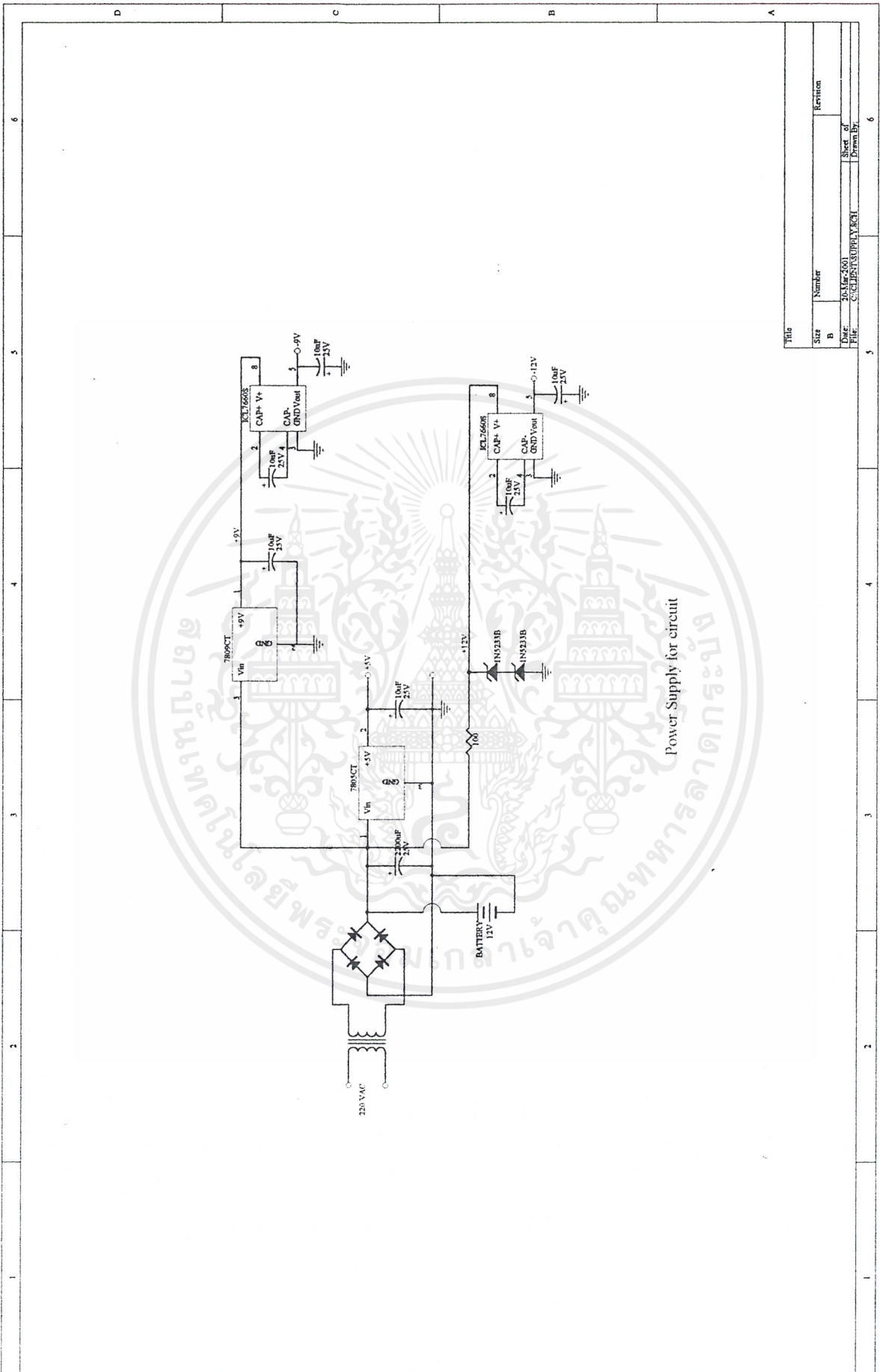
# ภาคผนวก ก

## วงจรและอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Year	Name	Section
2547	ANALOG	Section 2
2548	ANALOG	Section 2



Power Supply for circuit

Title	CIRCUIT SUPPLY MICRO		
Size	Number	Revision	
B			
Date	26 May 2001	Sheet of	
File	CIRCUIT SUPPLY MICRO	Drawn By	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการอุปกรณ์ที่ใช้

1. ชุดพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ AT90S8535	1	ชุด
2. IGBT เบอร์ HG20N60	1	ตัว
3. DAC0832LCN	1	ตัว
4. LF356	4	ตัว
5. LCD DISPLAY	1	ชุด
6. LM335	1	ตัว
7. Relay 12 V	1	ชุด
8. 2N3904	2	ตัว
9. 2N3906	1	ตัว
10. 1N4148	2	ตัว
11. หม้อแปลง 12V-0-12V/1A	1	ตัว
12. LM7805	1	ตัว
13. LM7809	1	ตัว
14. Zener diode 6 V	2	ตัว
15. ICL7660S	2	ตัว
16. Bridge 1 A	1	ตัว
17. X-TAL 8 MHz	1	ตัว
18. R 0.2 $\Omega$ / 10W	1	ตัว
19. R 10 K $\Omega$ /0.25W	6	ตัว
20. R 100 $\Omega$ /0.25W	2	ตัว
21. R 470 K $\Omega$ /0.25W	1	ตัว
22. R 33 K $\Omega$ /0.25W	1	ตัว
23. R 50 $\Omega$ /0.5 W	2	ตัว
24. C Electrolyte 2200 uF/25V	2	ตัว
25. C Electrolyte 10 uF/25V	6	ตัว
26. C ceramic 30 pF	2	ตัว
27. C ceramic 0.1 uF	3	ตัว
28. KEY SWITCH	8	ตัว
29. Fuse 15 A	1	ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ข**  
**โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;Title
;~{
;SOLAR1.ASM
;~{
```

```
////////////////////////////////////
```

```
.include"8535def.inc"
```

```
.equ cr = $0d
.equ lf = $0a
.equ eos = $10
.equ EndRbuf = 10
.equ EndSbuf = 40
.equ pmc = 0
.equ rs = 5
.equ rw = 6
.equ enable = 7
.equ DAen = 4
.equ row1 = 2
.equ row2 = 3
.equ col1 = 0
.equ col2 = 1
.equ col3 = 2
.equ col4 = 3
.equ measure = 0
.equ getI = 1
.equ LoadI = 2
.equ sendMsg = 3
.equ Krepeat = 4
.equ Kpress = 5
.equ Enter = 6
.equ LoadPC = 7

.equ _measure = 1
.equ _getI = 2
.equ _LoadI = 4
.equ _sendMsg = 8
.equ _Krepeat = 0x10
.equ _Kpress = 0x20
.equ _Enter = 0x40
.equ _LoadPC = 0x80
.equ IntroScr = 0
.equ ViewScr = 1
.equ ThScr = 2
.equ StrScr = 3
.equ ParamScr = 4
.equ Endscreen = 5

.equ MaxTh = 70

.def b = r0
.def a = r1
.def ans1 = r3
.def ans2 = r4
.def give = r5
.def Buffer2 = r6
.def asc0 = r7
.def asc1 = r8
.def asc2 = r9
.def asc3 = r10
.def asc4 = r11
.def Temp = r16 ;Temporary Store Register for Gen.Pur
.def Buffer = r17 ;Auxiliary Register for Gen.Pur
.def Aux = r18 ;Auxiliary Register for Gen.Pur
.def devider1 = r19 ;Counter Register
.def devider2 = r20
.def acca = r21
.def accb = r22
```

```

.def index1 = r23
.def index2 = r24
.def div = r25

.dseg
Channel: .byte 1

Rbuffer: .byte 10 ;Receiving Buffer
Rbufindex: .byte 1 ;Index of Receiving Buffer
ChkRindex: .byte 1 ;Index for Checking data in Receive Buffer
Sbuffer: .byte 40 ;Sending Buffer
Sindex: .byte 1 ;Index of Sending Buffer while Sending
Sbufindex: .byte 1 ;Index of Sending Buffer while storign
result: .byte 3
Daout: .byte 1 ;store Dauot in ram
Keycode: .byte 1 ;keyboard input code
LcdMsg: .byte 32 ;message buffer of lcd display
LcdAddr: .byte 1 ;lcd buffer address start at 0
ModuleAdr: .byte 1 ;lcd module address start at 0x80
KeyDel: .byte 1 ;delay for debounce
Counter: .byte 1 ;general counter
screen: .byte 1 ;store lcd screen
countsec: .byte 1 ;second counter
AdcAcc: .byte 2 ;Analog to digital Accumulator
AdcCount: .byte 1
Current: .byte 2 ;Solar cell current buffer
Voltage: .byte 2 ;Solar cell voltage buffer
Light: .byte 2 ;Light intensity of solar cell
ViewIadr: .byte 2 ;view current address
ViewVadr: .byte 2 ;view voltage address
Point: .byte 1 ;view point
SaveIadr: .byte 2 ;save current address
SaveVadr: .byte 2 ;save voltage address
SaveCount: .byte 2 ;save counter (start = 0,max = 100)
Temperature: .byte 2
LoadCount: .byte 1
LoadIadr: .byte 1
LoadVadr: .byte 2
AdcBuf1: .byte 32
AdcBuf2: .byte 32
AdcNum: .byte 1
LightBuf: .byte 2
TempBuf: .byte 2

Sec: .byte 1
Min: .byte 1
Hour: .byte 1
Threshold: .byte 1 ;Gate threshold voltage
SetVal: .byte 1
MulVolt: .byte 2
SaveMul: .byte 1
Keep: .byte 1
Flag1: .byte 1
;system status flag
;Flag1.0 ==> On measurment flag
;Flag1.1 ==> Get current flag
;Flag1.2 ==> Load Current to PC
;Flag1.3 ==> Sending message flag
;Flag1.4 ==> KeyRepeat
;Flag1.5 ==> KeyPress
;Flag1.6 ==> Enter
;Flag1.7 ==> LoadPC
;*****
.cseg
.org 0
rjmp reset ;Vector1: Reset Handler
rjmp dummy ;Vector2: IRQ0 Handler
rjmp dummy ;Vector3: IRQ1 Handler

```

```

rjmp Timer2Int ;Vector4: Timer2 Compare Handler
rjmp dummy ;Vector5: Timer2 Overflow Handler
rjmp dummy ;Vector6: Timer1 Capture Handler
rjmp dummy ;Vector7: Timer1 CompareA Handler
rjmp dummy ;Vector8: Timer1 CompareB Handler
rjmp dummy ;Vector9: Timer1 Overflow Handler
rjmp dummy ;Vector10: Timer0 Overflow Handler
rjmp dummy ;Vector11: SPI Transfer Complete Handler
rjmp dummy ;Vector12: UART RX Complete Handler
rjmp dummy ;Vector13: UDR Empty Handler
rjmp dummy ;Vector14: UART TX Complete Handler
rjmp dummy ;Vector15: ADC Conversion Complete Interupt Handler
rjmp dummy ;Vector16: EEPROM Ready Handler
rjmp dummy ;Vector17: Analog Comparator Handler

;*****
dummy:
nop
reti
;*****
Getkey:
lds Aux,Flag1 ;load system flag
cbi portd,row1 ;column 1 ==> low
cbi portd,row2 ;column 2 ==> low
nop
in Temp,pinb ;load key value
andi Temp,0x0f
cpi Temp,0x0f ;check key pressed
breq notpress

sbrc Aux,Kpress ;previous pressing
rjmp Getkey2 ;yes

lds Temp,KeyDel ;if not you should debounce 50 mS
inc Temp
sts KeyDel,Temp
cpi Temp,10
brlo quitGetKey
clr Temp
sts KeyDel,Temp
sbr Aux,_Kpress ;debounce already
sts Flag1,Aux
rcall KeyEncode ;and get keycode
ret

;-----
Getkey2:
sbrc Aux,Krepeat ;check repeating of key press
rjmp Getkey3 ;yes
lds Temp,KeyDel ;if no you should delay 1 S for key repeating
inc Temp
sts KeyDel,Temp
cpi Temp,75
brlo quitGetKey
clr Temp
sts KeyDel,Temp
sbr Aux,_Krepeat ;Key is repeated
sts Flag1,Aux
ret

;-----
notpress:
clr Temp
sts KeyDel,Temp
cbr Aux,_Kpress
cbr Aux,_Krepeat
sts Flag1,Aux
quitGetKey:
ret
;-----

```



# ProgramSolarTest

```
Getkey3:
  lds   Temp,KeyDel
  inc   Temp
  sts   KeyDel,Temp
  cpi   Temp,10
  brlo  quitGetKey
  clr   Temp
  sts   KeyDel,Temp
  cbi   portd,row1   ;column 1 ==> low
  sbi   portd,row2   ;column 2 ==> low
  nop

Row1col1:
  sbic  pinb,col1
  rjmp  Row1col2
  ldi   Temp,'1'
  sts   Keycode,Temp
  ret

Row1col2:
  sbic  pinb,col2
  rjmp  exitGetkey3
  ldi   Temp,'2'
  sts   Keycode,Temp
exitGetkey3:
  ret
;*****
KeyEncode:
  cbi   portd,row1   ;column 1 ==> low
  sbi   portd,row2
  nop
row1col1:
  sbic  pinb,col1
  rjmp  row1col2
  ldi   Temp,'1'
  sts   Keycode,Temp
  ret
row1col2:
  sbic  pinb,col2
  rjmp  row1col3
  ldi   Temp,'2'
  sts   Keycode,Temp
  ret
row1col3:
  sbic  pinb,col3
  rjmp  row1col4
  ldi   Temp,'3'
  sts   Keycode,Temp
  ret
row1col4:
  sbic  pinb,col4
  rjmp  row2col1
  ldi   Temp,'4'
  sts   Keycode,Temp
  ret
row2col1:
  sbi   portd,row1
  cbi   portd,row2
  nop
  sbic  pinb,col1
  rjmp  row2col2
  ldi   Temp,'5'
  sts   Keycode,Temp
  ret
row2col2:
  sbic  pinb,col2
  rjmp  row2col3
  ldi   Temp,'6'
  sts   Keycode,Temp
  ret
```

```

row2col3:
    sbic    pinb,col3
    rjmp   row2col4
    ldi    Temp,'7'
    sts    Keycode,Temp
    ret

row2col4:
    sbic    pinb,col4
    ret
    ldi    Temp,'8'
    sts    Keycode,Temp
    ret
;input:Keycode
;*****
FuncKey:
    lds    Temp,KeyCode
    cpi    Temp,'1'    ;check key 1
    brne   FuncKey2
    rcall  UpKey      ;up key function
    rjmp   exitFuncKey

FuncKey2:
    cpi    Temp,'2'    ;check key 2
    brne   Function3
    rcall  DownKey    ;down key function
    rjmp   exitFuncKey

Function3:
    cpi    Temp,'3'    ;check key3
    brne   Function4
    rcall  RoundKey   ;select function key
    rjmp   exitFuncKey

Function4:
    cpi    Temp,'4'    ;check key 4
    brne   Function5
    rcall  EnterKey   ;enter key

exitFuncKey:
    clr    Temp        ;clear keycode
    sts    KeyCode,Temp
    ret

Function5:
    cpi    Temp,'5'    ;check key 5
    brne   exitFuncKey
    lds    Aux,Flag1
    sbr    Aux,_LoadPC
    cbr    Aux,_LoadI
    sts    Flag1,Aux
    clr    Temp
    sts    LoadCount,Temp
    sts    LoadIadr,Temp

    ldi    Temp,200
    sts    LoadVadr,Temp
    sts    LoadVadr+1,Temp
    rjmp   exitFuncKey
;*****
;Select function key operation
;check screen for operation
;*****
RoundKey:
    rcall  LcdSpace    ;clear lcd buffer before
    lds    Aux,Flag1    ;check enter flag
    sbrc   Aux,Enter    ;and clear if it is set
    rjmp   OutEnter
    lds    Temp,screen  ;change to next screen
    inc    Temp
    sts    screen,Temp
    
```

# ProgramSolarTest

```
    cpi    Temp,Endscreen
    brlo   ExitRound
    clr    Temp
    sts    screen,Temp
ExitRound:
    ret
OutEnter:
    cbr    Aux,_Enter
    sts    Flag1,Aux
    ret
;*****
EnterKey:
    lds    Aux,Flag1
    sbrs   Aux,Enter
    rjmp   SetEnter
ClrEnter:
    lds    Temp,screen
    cpi    Temp,ThScr
    brne   exitEnter
    lds    Temp,SetVal
    sts    Threshold,Temp
    ret
SetEnter:
    sbr    Aux,_Enter
    sts    Flag1,Aux

    lds    Temp,screen
    cpi    Temp,ThScr
    brne   ChkStrScr
    lds    Temp,Threshold
    sts    SetVal,Temp
exitEnter:
    ret
ChkStrScr:
    cpi    Temp,StrScr
    brne   exitEnter
    lds    Aux,Flag1
    sbr    Aux,_measure
    sbr    Aux,_GetI
    sts    Flag1,Aux

    clr    Temp
    sts    SaveIadr,Temp        ;initial save current address
    sts    SaveIadr+1,Temp
    ldi    Temp,200            ;initial save voltage address
    sts    SaveVadr,Temp
    clr    Temp
    sts    SaveVadr+1,Temp

    ldi    Temp,0
    sts    SaveCount,Temp

    clr    acca
    lds    accb,Threshold
    ldi    Aux,29
    rcall Mul16vs8
    mov    Devide1,ans1
    mov    Devide2,ans2
    ldi    div,10
    rcall Devider1
    sts    Daout,ans1

    rcall beforeTest
    ret
;input Devider1,Devider2.div
;-----
GetTempLight:
    ldi    Temp,3
```

```

out   admux,Temp
rcall Getadc
rcall Getadc
ldi   ZL,low(AdcBuf1)
ldi   ZH,high(AdcBuf1)
lds   Aux,AdcNum
lsl   Aux
add   ZL,Aux
clr   Aux
adc   ZH,Aux
st    Z,accb
adiw  ZL,1
st    Z,acca

ldi   ZL,low(AdcBuf1)
ldi   ZH,high(AdcBuf1)
rcall Average
ldi   Temp,2
ldi   Aux,0x33
clc
sbc   accb,Aux
sbc   acca,Temp
sts   Temperature,accb
sts   Temperature+1,acca

;Get Light Intensity
ldi   Temp,2
out   admux,Temp
rcall Getadc
rcall Getadc
ldi   ZL,low(AdcBuf2)
ldi   ZH,high(AdcBuf2)
lds   Aux,AdcNum
lsl   Aux
add   ZL,Aux
clr   Aux
adc   ZH,Aux
st    Z,accb
adiw  ZL,1
st    Z,acca

ldi   ZL,low(AdcBuf2)
ldi   ZH,high(AdcBuf2)
rcall Average
sts   Light,accb
sts   Light+1,acca

lds   Temp,AdcNum
inc   Temp
sts   AdcNum,Temp
cpi   Temp,16
brlo  QuitTempLight
clr   Temp
sts   AdcNum,Temp

QuitTempLight:
ret
;*****
Average:
clr   acca
clr   accb
ldi   Aux,16

L_Aver:
ld    Temp,Z
adiw  ZL,1
add   accb,Temp
ld    Temp,Z
adc   acca,Temp
adiw  ZL,1

```

```

dec    Aux
brne   L_Aver

    ldi   Aux,4
L_Aver_shift:
lsr    acca
ror    accb
dec    Aux
brne   L_Aver_shift
ret

,*****
UpKey:
lds    Temp,screen
cpi    Temp,ThScr
brne   ChkViewScr
lds    Aux,Flag1
sbrs   Aux,Enter
rjmp   ExitUpKey
lds    Temp,SetVal
cpi    Temp,MaxTh
brge   ExitUpKey
inc    Temp
sts    SetVal,Temp
ExitUpKey:
ret
ChkViewScr:
cpi    Temp,ViewScr
brne   ExitUpKey
lds    Temp,Point
cpi    Temp,101
brge   ExitUpKey
inc    Temp
sts    Point,Temp

lds    ZL,ViewVadr
lds    ZH,ViewVadr+1
adiw   ZL,2
sts    ViewVadr,ZL
sts    ViewVadr+1,ZH

lds    ZL,ViewIadr
lds    ZH,ViewIadr+1
adiw   ZL,2
sts    ViewIadr,ZL
sts    ViewIadr+1,ZH
ret

,*****
DownKey:
lds    Temp,screen
cpi    Temp,ThScr
brne   ChkViewDown
lds    Aux,Flag1
sbrs   Aux,Enter
rjmp   ExitDownKey
lds    Temp,SetVal
cpi    Temp,0
breq   ExitDownKey
dec    Temp
sts    SetVal,Temp
ExitDownKey:
ret
ChkViewDown:
lds    Temp,screen
cpi    Temp,ViewScr
brne   ExitDownKey
lds    Temp,Point
cpi    Temp,1
breq   ExitDownKey

```

```

dec    Temp
sts    Point,Temp

lds    ZL,ViewVadr
lds    ZH,ViewVadr+1
sbiw   ZL,2
sts    ViewVadr,ZL
sts    ViewVadr+1,ZH

lds    ZL,ViewIadr
lds    ZH,ViewIadr+1
sbiw   ZL,2
sts    ViewIadr,ZL
sts    ViewIadr+1,ZH
ret

;*****
chgschr:
lds    Temp,screen
cpi    Temp,IntroScr
brne   chgschr2
rcall  display1
ret

;-----
chgschr2:
cpi    Temp,ViewScr
brne   chgschr3
rcall  display2
ret

;-----
chgschr3:
cpi    Temp,ThScr
brne   chgschr4
lds    Aux,Flag1
sbrcl  Aux,Enter
rjmp   SetThreshold
rcall  display3
ret

SetThreshold:
rcall  Set_Threshold
ret

;-----
chgschr4:
cpi    Temp,StrScr
brne   chgschr5
rcall  display4

exitchg:
ret

;-----
chgschr5:
cpi    Temp,ParamScr
brne   exitchg
rcall  display5
ret

;*****
display1:
ldi    ZH,high(2*Message1)
ldi    ZL,low(2*Message1)
rcall  LoadMsg
ret

;-----
display2:
lds    Aux,Flag1
sbrcl  Aux,Enter
rjmp   OnView
ldi    ZH,high(2*Message2)
ldi    ZL,low(2*Message2)
rcall  LoadMsg
ret

```

# ProgramSolarTest

```
    sts    LoadCount,Temp
    rcall  LoadTemp
    ret
ChkLight:
    cpi    Temp,1
    brne   NormLoad
    inc    Temp
    sts    LoadCount,Temp
    rcall  LoadLight
    ret
NormLoad:
    sbrc   Aux,LoadI
    rjmp   LoadCurr

    sbr    Aux,_LoadI
    sts    Flag1,Aux
    lds    ZL,LoadVadr
    lds    ZH,LoadVadr+1

    push   ZH
    push   ZL
    adiw   ZL,2
    sts    LoadVadr,ZL
    sts    LoadVadr+1,ZH
    pop    ZL
    pop    ZH

    rcall  ReadEEPROM
    mov    r1,Temp
    adiw   ZL,1
    rcall  ReadEEPROM
    mov    r0,Temp
    lds    r3,MuVolt+1
    lds    r2,MuVolt
    rcall  Mul16w16
    clr    r5
    ldi    Temp,100
    mov    r4,Temp
    rcall  Div32w16

    mov    ZH,r1
    mov    ZL,r0
    rcall  HTD
    mov    Temp,asc4
    rcall  Send
    mov    Temp,asc3
    rcall  Send
    mov    Temp,asc2
    rcall  Send
    ldi    Temp,','
    rcall  Send
    mov    Temp,asc1
    rcall  Send
    ldi    Temp,','
    rcall  Send
    ret
LoadCurr:
    cbr    Aux,_LoadI
    sts    Flag1,Aux
    clr    ZH
    lds    ZL,LoadIadr
    push   ZH
    push   ZL
    adiw   ZL,2
    sts    LoadIadr,ZL
    pop    ZL
    pop    ZH
```

# ProgramSolarTest

```
ldi Aux,26
ldi Temp,','
rcall PutLcd
ldi Aux,27
mov Temp,asc0
rcall PutLcd
ret
;-----
ShowTest:
ldi ZH,high(2*ViewStor)
ldi ZL,low(2*ViewStor)
rcall LoadMsg
lds ZL,SaveCount
;lsr ZL
clr ZH
rcall HTD
ldi Aux,25
mov Temp,asc2
rcall PutLcd
ldi Aux,26
mov Temp,asc1
rcall PutLcd
ldi Aux,27
mov Temp,asc0
rcall PutLcd
ret
;*****
Set_Threshold:
ldi ZH,high(2*Message5)
ldi ZL,low(2*Message5)
rcall LoadMsg

lds ZL,Threshold
clr ZH
rcall HTD
ldi Aux,9
mov Temp,asc1
rcall PutLcd
ldi Aux,10
ldi Temp,','
rcall PutLcd
ldi Aux,11
mov Temp,asc0
rcall PutLcd

lds ZL,SetVal
clr ZH
rcall HTD
ldi Aux,25
mov Temp,asc1
rcall PutLcd
ldi Aux,26
ldi Temp,','
rcall PutLcd
ldi Aux,27
mov Temp,asc0
rcall PutLcd
ret
;*****
LoadToPc:
lds Aux,Flag1
sbrs Aux,LoadPC
ret
NextLoad:
lds Temp,LoadCount
cpi Temp,0
brne ChkLight
inc Temp
```



# ProgramSolarTest

```
OnView:
  rcall ViewEEPROM
  ret
;-----
display3:
  ldi ZH,high(2*Message3)
  ldi ZL,low(2*Message3)
  rcall LoadMsg
  ret
;-----
display4:
  lds Aux,Flag1
  sbrc Aux,Enter
  rjmp OnTest
  ldi ZH,high(2*Message4)
  ldi ZL,low(2*Message4)
  rcall LoadMsg
  ret
OnTest:
  rcall ShowTest
  ret
;-----
display5:
  ldi ZH,high(2*ViewParam)
  ldi ZL,low(2*ViewParam)
  rcall LoadMsg

  lds r0,Temperature
  lds r1,Temperature+1
  ldi Temp,0x12 ;get rid of offset
  mov r2,Temp
  ldi Temp,0x13
  mov r3,Temp
  rcall Mul16w16 ;convert to Temperature
  ldi Temp,100
  mov r4,Temp
  clr r5
  rcall Div32w16

  mov ZL,r0
  mov ZH,r1
  rcall HTD
  ldi Aux,7
  mov Temp,asc3
  rcall PutLcd
  ldi Aux,8
  mov Temp,asc2
  rcall PutLcd
  ldi Aux,9
  ldi Temp,','
  rcall PutLcd
  ldi Aux,10
  mov Temp,asc1
  rcall PutLcd

  lds ZL,Light
  lds ZH,Light+1
  rcall HTD
  ldi Aux,23
  mov Temp,asc3
  rcall PutLcd
  ldi Aux,24
  mov Temp,asc2
  rcall PutLcd
  ldi Aux,25
  mov Temp,asc1
  rcall PutLcd
```

```

rcall ReadEEPROM
mov r1,Temp
adiw ZL,1
rcall ReadEEPROM
mov r0,Temp
clr r3
ldi Temp,122
mov r2,Temp
rcall Mul16w16
clr r5
ldi Temp,100
mov r4,Temp
rcall Div32w16

mov ZH,r1
mov ZL,r0
rcall HTD
mov Temp,asc3
rcall Send
mov Temp,asc2
rcall Send
ldi Temp','
rcall Send
mov Temp,asc1
rcall Send
mov Temp,asc0
rcall Send
ldi Temp,cr
rcall Send
ldi Temp,lf
rcall Send

lds Temp,LoadCount
inc Temp
sts LoadCount,Temp
cpi Temp,102
brlo exitLoad
lds Aux,Flag1
cbr Aux,_LoadPC
sts Flag1,Aux

exitLoad:
ret
;-----
LoadTemp:
ldi Temp,'T'
rcall Send
ldi ZL,204 ;Load Temperature
ldi ZH,1
rcall ReadEEPROM
mov r1,Temp
adiw ZL,1
rcall ReadEEPROM
mov r0,Temp
ldi Temp,0x13
mov r3,Temp
ldi Temp,0x12
mov r2,Temp
rcall Mul16w16
clr r5
ldi Temp,100
mov r4,Temp
rcall Div32w16

mov ZH,r1
mov ZL,r0
rcall HTD
mov Temp,asc3
rcall Send

```

# ProgramSolarTest

```
mov Temp,asc2
rcall Send
ldi Temp,','
rcall Send
mov Temp,asc1
rcall Send
ldi Temp,','
rcall Send
ret
;-----
LoadLight:
ldi Temp,'I'
rcall Send
ldi ZL,202 ;load Light
ldi ZH,1
rcall ReadEEPROM
mov r1,Temp
adiw ZL,1
rcall ReadEEPROM
mov r0,Temp
;ldi Temp,0x13 ;edit later
;mov r3,Temp
;ldi Temp,0x12
;mov r2,Temp
;rcall Mul16w16
;clr r5
;ldi Temp,100
;mov r4,Temp
;rcall Div32w16

mov ZH,r1
mov ZL,r0
rcall HTD
mov Temp,asc3
rcall Send
mov Temp,asc2
rcall Send
mov Temp,asc1
rcall Send
ldi Temp,','
rcall Send
mov Temp,asc0
rcall Send
ldi Temp,cr
rcall Send
ldi Temp,lf
rcall Send
ret
;*****
ViewEEPROM:
lds Temp,Point
cpi Temp,101
brne NextView
ldi ZH,high(2*ViewParam)
ldi ZL,low(2*ViewParam)
rcall LoadMsg

ldi ZL,204 ;Load Temperature
ldi ZH,1
rcall ReadEEPROM
mov r1,Temp
adiw ZL,1
rcall ReadEEPROM
mov r0,Temp
ldi Temp,0x13
mov r3,Temp
ldi Temp,0x12
mov r2,Temp
```

# ProgramSolarTest

```
ldi Temp,100
mov r4,Temp
rcall Div32w16

mov ZH,r1
mov ZL,r0
rcall HTD
ldi Aux,4
mov Temp,asc4
rcall PutLcd
ldi Aux,5
mov Temp,asc3
rcall PutLcd
ldi Aux,6
mov Temp,asc2
rcall PutLcd
ldi Aux,8
mov Temp,asc1
rcall PutLcd

lds ZL,ViewIadr
lds ZH,ViewIadr+1
rcall ReadEEPROM
mov r1,Temp
adiw ZL,1
rcall ReadEEPROM
mov r0,Temp

clr r3
ldi Temp,122
mov r2,Temp
rcall Mul16w16
clr r5
ldi Temp,100
mov r4,Temp
rcall Div32w16

mov ZH,r1
mov ZL,r0
rcall HTD
ldi Aux,20
mov Temp,asc3
rcall PutLcd
ldi Aux,21
mov Temp,asc2
rcall PutLcd
ldi Aux,23
mov Temp,asc1
rcall PutLcd
ldi Aux,24
mov Temp,asc0
rcall PutLcd

lds ZL,Point
clr ZH
rcall HTD
ldi Aux,29
mov Temp,asc2
rcall PutLcd
ldi Aux,30
mov Temp,asc1
rcall PutLcd
ldi Aux,31
mov Temp,asc0
rcall PutLcd
ret
```

-----  
ReadEEPROM:

# ProgramSolarTest

```
rcall Mul16w16
clr r5
ldi Temp,100
mov r4,Temp
rcall Div32w16

mov ZH,r1
mov ZL,r0
rcall HTD
ldi Aux,7
mov Temp,asc3
rcall PutLcd
ldi Aux,8
mov Temp,asc2
rcall PutLcd
ldi Aux,10
mov Temp,asc1
rcall PutLcd

ldi ZL,202 ;load Light
ldi ZH,1
rcall ReadEEPROM
mov r1,Temp
adiw ZL,1
rcall ReadEEPROM
mov r0,Temp
;ldi Temp,0x13 ;edit
;mov r3,Temp
;ldi Temp,0x12
;mov r2,Temp
;rcall Mul16w16
;clr r5
;ldi Temp,100
;mov r4,Temp
;rcall Div32w16

mov ZH,r1
mov ZL,r0
rcall HTD
ldi Aux,23
mov Temp,asc3
rcall PutLcd
ldi Aux,24
mov Temp,asc2
rcall PutLcd
ldi Aux,25
mov Temp,asc1
rcall PutLcd
ldi Aux,27
mov Temp,asc0
rcall PutLcd
ret

NextView:
ldi ZL,low(2*ViewVI)
ldi ZH,high(2*ViewVI)
rcall LoadMsg

lds ZL,ViewVadr
lds ZH,ViewVadr+1
rcall ReadEEPROM
mov r1,Temp
adiw ZL,1
rcall ReadEEPROM
mov r0,Temp
lds r3,MuIVolt+1
lds r2,MuIVolt
rcall Mul16w16
clr r5
```

# ProgramSolarTest

```
sbrs  Aux,GetI
rjmp  Load1
ldi   Temp,0
out   admux,Temp
rjmp  nextGetadc
Load1:
ldi   Temp,1
out   admux,Temp
nextGetadc:
rcall Getadc
lds   Temp,Daout           ;on gate voltage
rcall Dadrive
rcall Getadc
clr   Temp                 ;off gate voltage
rcall Dadrive

lds   Temp,AdcAcc
lds   Aux,AdcAcc+1
add   accb,Temp
adc   acca,Aux
sts   AdcAcc,accb
sts   AdcAcc+1,acca

lds   Temp,AdcCount
inc   Temp
sts   AdcCount,Temp
cpi   Temp,8
brlo  ExitAdcOp
clr   Temp
sts   AdcCount,Temp
sts   AdcAcc,Temp
sts   AdcAcc+1,Temp
clr   Temp
AdcOp2:
lsr   Acca
ror   Accb
inc   Temp
cpi   Temp,3
brlo  AdcOp2
bypass:
rcall SaveToEE
lds   Aux,Flag1
sbrs  Aux,GetI
rjmp  NextAdcOp

cbr   Aux,_GetI
sts   Flag1,Aux
ret
NextAdcOP:
sbr   Aux,_GetI
sts   Flag1,Aux
lds   Temp,Daout
cpi   Temp,255
breq  NextAdc
inc   Temp
sts   Daout,Temp
NextAdc:
lds   Temp,SaveCount
inc   Temp
sts   SaveCount,Temp
cpi   Temp,100
brlo  ExitAdcOp
cbr   portb,4           ;return to measure high voltage
cbr   Aux,_measure
sts   Flag1,Aux
ldi   Temp,1           ;Sign for keep Light and Temp
sts   SaveMul,Temp
```

# ProgramSolarTest

```
sbic  eecr,eewe
rjmp  ReadEEPROM
out   eearl,ZL
out   eearh,ZH
sbi   eecr,eere
in    Temp,eedr
ret

;*****
BeforeTest:

lds   Temp,Temperature      ;save Temperature to buffer
sts   TempBuf,Temp
lds   Temp,Temperature+1
sts   TempBuf+1,Temp

lds   Temp,Light            ;save Light to Buffer
sts   LightBuf,Temp
lds   Temp,Light+1
sts   LightBuf+1,Temp

ldi   Temp,1
out   admux,Temp
rcall Getadc
rcall Getadc

;mov  ZH,acca
;mov  ZL,accb

;push acca
;push accb
;rcall HTD
;pop  accb
;pop  acca

;mov  Temp,asc3
;rcall Send
;mov  Temp,asc2
;rcall Send
;mov  Temp,asc1
;rcall Send
;mov  Temp,asc0
;rcall Send

cpi   acca,0
brne  quitBefore
cpi   accb,251
brlo  toLowV
ldi   Temp,0xf9
sts   MuIVolt,Temp
ldi   Temp,0x10
sts   MuIVolt+1,Temp
quitBefore:
ret
ToLowV:
ldi   Temp,1
sts   MuIVolt,Temp
ldi   Temp,4
sts   MuIVolt+1,Temp
sbi   portb,4
ret

;*****
AdcOperate:
lds   Aux,Flag1
sbrs  Aux,measure
ret
```

# ProgramSolarTest

```
clr    Temp
sts    countsec,Temp
lds    Temp,Sec
inc    Temp
sts    Sec,Temp
cpi    Temp,60
brne   exitRtc
clr    Temp
sts    Sec,Temp
lds    Temp,Min
inc    Temp
sts    Min,Temp
cpi    Temp,60
brne   exitRtc
exitRtc:
ret
;*****
;input : ZH,ZL (start address of message) Aux (start address of lcd buffer)
LoadMsg:
clr    Aux
LoopMsg:
lpm    Temp,r0 ; Load byte from program memory into r0
mov    Temp,r0
cpi    Temp,eos ; Check if we've reached the end of the message
breq   quit_LoadMsg ; If so, quit
push   ZH
push   ZL
rcall  PutLcd
inc    Aux
pop    ZL
pop    ZH
adiw   ZL,1 ; Increase Z registers
rjmp  LoopMsg
quit_LoadMsg:
ret
;*****
;input : Temp (data) Aux (Address)
;*****
PutLcd:
ldi    ZL,low(LcdMsg)
ldi    ZH,high(LcdMsg)
add    ZL,Aux
push   Aux
clr    Aux
adc    ZH,Aux
pop    Aux
st     Z,Temp
ret
;*****
LcdDrive:
ldi    Aux,5
LLcdDrive:
push   Aux
ldi    ZL,low(LcdMsg)
ldi    ZH,high(LcdMsg)
lds    Temp,LcdAddr
add    ZL,Temp
clr    Temp
adc    ZH,Temp

lds    Temp,LcdAddr
cpi    Temp,16
brlo   LcdDrive2
clc
ldi    Aux,16
sbc    Temp,Aux
ldi    Aux,0xc0
add    Temp,Aux
```



# ProgramSolarTest

```
    clr    Temp
    sts    Keep,Temp
ExitAdcOp:
    ret
;-----
SaveToEE:
    lds    Aux,Flag1
    sbrc   Aux,GetI
    rjmp   SaveI
    lds    ZL,SaveVadr
    lds    ZH,SaveVadr+1
    push   ZH
    push   ZL
    adiw   ZL,2
    sts    SaveVadr,ZL
    sts    SaveVadr+1,ZH
    pop    ZL
    pop    ZH
    rjmp   SaveBoth
SaveI:
    lds    ZL,SaveIadr
    lds    ZH,SaveIadr+1
    push   ZH
    push   ZL
    adiw   ZL,2
    sts    SaveIadr,ZL
    sts    SaveIadr+1,ZH
    pop    ZL
    pop    ZH
SaveBoth:
    mov    Temp,acca
    rcall  WrEEPROM
    adiw   ZL,1
    mov    Temp,accb
    rcall  WrEEPROM
    ret
;*****
;Timer 2 compare match interrupt routine
;This interrupt occur every 10 mS
;*****
Timer2Int:
    push   Temp

    lds    Temp,Flag1
    sbrs   Temp,measure
    rcall  Getkey

    rcall  GetTempLight

    rcall  FuncKey
    rcall  LoadToPC
    rcall  chgscr
    rcall  KeepPara    ;have to before AdcOperate
    rcall  AdcOperate
    rcall  Rtc
    rcall  LcdDrive
    pop    Temp
    reti
;*****
;Generate real time clock from Timer 2 compare match interrupt
;
;*****
Rtc:
    lds    Temp,countsec
    inc    Temp
    cpi    Temp,100
    sts    countsec,Temp
    brne  exitRtc
```

# ProgramSolarTest

```
    rjmp  LcdDrive3
LcdDrive2:
    ldi  Aux,0x80
    add  Temp,Aux
LcdDrive3:
    rcall LcdWi
    ld   Temp,Z
    rcall LcdWd

    lds  Temp,LcdAddr
    inc  Temp
    cpi  Temp,32
    brlo LcdDrive4
    clr  Temp
LcdDrive4:
    sts  LcdAddr,Temp
    pop  Aux
    dec  Aux
    brne LLcdDrive
    ret

;*****
;Space all Lcd Buffer
;*****
LcdSpace:
    ldi  ZL,low(LcdMsg)
    ldi  ZH,high(LcdMsg)
    ldi  Temp,' '
    ldi  Aux,32
LcdSpace2:
    st  Z,Temp
    adiw ZL,1
    dec  Aux
    brne LcdSpace2
    ret

;*****
;Main Program Start Here
;*****
reset:
    ldi  Temp,high(RAMEND) ;initial stack
    out  SPH,Temp
    ldi  Temp,low(RAMEND)
    out  SPL,Temp

    rcall SysInit
    rcall Delay2m ; delay for reset lcd module
    rcall Delay2m
    rcall Delay2m
    rcall Delay2m
    rcall Delay2m
    rcall InitRS232 ;initial rs232
    rcall DmcSet ;clear lcd screen
    rcall LcdSpace ;space lcd buffer
    rcall initadc ;initial analog to digital converter
    rcall InitTimer2 ;initial compare match interrupt of timer 2
    sei

Main:
    rjmp  Main
;*****
WrEEPROM:
    sbic  eecr,eewe
    rjmp  WrEEPROM
    out  eearl,ZL
    out  eearh,ZH
    out  eedr,Temp
    sbi  eecr,eemwe
    sbi  eecr,eewe
    ret
;*****
```

# ProgramSolarTest

```
KeepPara:
  lds  Temp,SaveMul
  cpi  Temp,0
  brne ToKeep
  ret
ToKeep:
  lds  Temp,Keep
  cpi  Temp,0
  brne Keep2
  inc  Temp
  sts  Keep,Temp
  lds  Temp,MulVolt+1
  ldi  ZH,1
  ldi  ZL,200
  rcall WrEEPROM
  ret
Keep2:
  cpi  Temp,1
  brne Keep3
  inc  Temp
  sts  Keep,Temp
  lds  Temp,MulVolt
  ldi  ZH,1
  ldi  ZL,201
  rcall WrEEPROM
  ret
Keep3:
  cpi  Temp,2
  brne Keep4
  inc  Temp
  sts  Keep,Temp
  lds  Temp,LightBuf+1
  ldi  ZH,1
  ldi  ZL,202
  rcall WrEEPROM
  ret
Keep4:
  cpi  Temp,3
  brne Keep5
  inc  Temp
  sts  Keep,Temp
  lds  Temp,LightBuf
  ldi  ZH,1
  ldi  ZL,203
  rcall WrEEPROM
  ret
Keep5:
  cpi  Temp,4
  brne Keep6
  inc  Temp
  sts  Keep,Temp
  lds  Temp,TempBuf+1
  ldi  ZH,1
  ldi  ZL,204
  rcall WrEEPROM
  ret
Keep6:
  cpi  Temp,5
  brne ClrKeep
  inc  Temp
  sts  Keep,Temp
  lds  Temp,TempBuf
  ldi  ZH,1
  ldi  ZL,205
  rcall WrEEPROM
  ret
ClrKeep:
  clr  Temp
```

# ProgramSolarTest

```
    sts    SaveMul,Temp
    ret
;*****
SysInit:
    clr    Temp
    sts    SaveMul,Temp
    sts    Daout,Temp        ;reset data of DAC
    sts    LcdAddr,Temp      ;reset Lcd address counter
;out    ddra,Temp          ;initial port a
    ldi    Temp,0xff
    out    DDRC,Temp        ;initial port c
    ldi    Temp,0b11111110
    out    DDRD,Temp        ;initial port d
    ldi    Temp,0b00011111
    out    portd,Temp
    ldi    Temp,0xff
    out    portb,Temp        ;initial port b

    sbi    ddrb,4
    cbi    portb,4

    clr    Temp
    sts    AdcNum,Temp
    sts    KeyDel,Temp        ;clear keyboard debounce counter
    sts    Flag1,Temp        ;clear system flag
    sts    Counter,Temp
    sts    KeyCode,Temp      ;clear keyboard code
    sts    screen,Temp       ;first screen = 0

    sts    AdcAcc,Temp
    sts    AdcAcc+1,Temp
    sts    AdcCount,Temp

    sts    ViewIadr,Temp     ;initial current view address
    sts    ViewIadr+1,Temp

    ldi    Temp,1
    sts    Point,Temp        ;view index = 1

    ldi    Temp,200
    sts    ViewVadr,Temp     ;initial voltage view address
    clr    Temp
    sts    ViewVadr+1,Temp

    ldi    Temp,40
    sts    Threshold,Temp

    ldi    ZH,1
    ldi    ZL,200
    rcall ReadEEPROM
    sts    MuVolt+1,Temp
    ldi    ZL,201
    rcall ReadEEPROM
    sts    MuVolt,Temp

    ldi    ZL,202
    rcall ReadEEPROM
    sts    Light+1,Temp
    ldi    ZL,203
    rcall ReadEEPROM
    sts    Light,Temp

    ldi    ZL,204
    rcall ReadEEPROM
    sts    Temperature+1,Temp
    ldi    ZL,205
    rcall ReadEEPROM
    sts    Temperature,Temp
```

# ProgramSolarTest

```
ret
,*****
;initial for A/D Converter
,*****

initadc:
    ldi    Temp,0
    sts    AdcCount,Temp
    sts    AdcAcc,Temp
    sts    AdcAcc+1,Temp
    out    admux,Temp
    ldi    Temp,0b10010110
    out    adcsr,Temp
    ret

,*****
InitTimer2:
    ldi    Temp,78      ;Output compare register = 16
    out    ocr2,Temp
    in     Temp,timsk   ;Enable timer2 interrupt
    ori    Temp,0b10000000
    out    timsk,temp
    ldi    Temp,0b00001111 ;Select counter clock and compare behavior
    out    tccr2,temp  ;counter clock = clock/1024, and clear when
                        ;compare matching
    clr    Temp
    sts    countsec,Temp
    sts    Sec,Temp
    sts    Min,Temp
    sts    Hour,Temp
    ret

,*****
Dadrive:
    out    portc,Temp
    cbi    portd,DAen
    ldi    Temp,25
DlAy:
    dec    Temp
    brne   DLay
    sbi    portd,DAen
    ret

,*****
AdcAverage:
    clr    Temp
    clr    Aux
    clr    Buffer
LoopAvg:
    rcall  Getadc
    add    Buffer,accb
    adc    Aux,acca
    inc    Temp
    cpi    Temp,16
    brlo  LoopAvg

    clr    Temp
LoopAvg2:
    clc
    ror    Aux
    ror    Buffer
    inc    Temp
    cpi    Temp,4
    brlo  LoopAvg2
    mov    accb,Buffer
    mov    acca,Aux
    ret
```

# ProgramSolarTest

```
*****
;output:acca(high byte) accb(low byte)
*****
Getadc:
    sbi    adcsr,adsc
    nop
    nop
getadc2:
    sbic   adcsr,adsc
    rjmp  getadc2
    in    accb,adcl
    in    acca,adch
    ret

receive:
    sbis   usr,rx
    rjmp  receive
    in    Temp,udr
    ret

send:
    sbis   usr,udre
    rjmp  send
    out   udr,Temp
    ret

*****
DmcSet:
    ldi    Temp,0b00111000 ;function set
    rcall  LcdWi
    ldi    Temp,0b00001100 ;on display
    rcall  LcdWi
    ldi    Temp,1
    rcall  LcdWi ;clear screen
    rcall  Delay2m
    ret

*****
Delay2m :
    push  Temp
    push  Aux
    clr   Temp ;Temp = 0

Loop1:
    ldi   Aux,15
Loop2:
    dec  Aux
    brne loop2
    dec  Temp
    brne loop1
    pop  Aux
    pop  Temp
    ret

*****
LcdWi:
    out   portc,Temp ;data to port
    cbi   portd,rs ;rs=0
    cbi   portd,rw ;rw=0
    cbi   portd,enable ;e=0
    rcall DelayLCD
    sbi   portd,enable ;e=1
    rcall DelayLCD
    cbi   portd,enable ;e=0
    ldi   Temp,0 ;delay for execute instruction
LpLcdWi:
    dec  Temp
    cpi  Temp,0
    brne LpLcdWi
```

# ProgramSolarTest

```
ret
;*****
LcdWd:
    out    portc,Temp
    sbi    portd,rs    ;rs=1
    cbi    portd,rw    ;rw=0
    cbi    portd,enable ;e=0
    rcall DelayLCD
    sbi    portd,enable ;e=1
    rcall DelayLCD
    cbi    portd,enable ;e=0
    ldi    Temp,0      ;delay for execute instruction
LpLcdWd:
    dec    Temp
    cpi    Temp,0
    brne  LpLcdWd
    ret
;*****
DelayLCD:
    push  Temp
    ldi   Temp,10
DlayLcd:
    dec  Temp
    cpi  Temp,0
    brne DlayLcd
    pop  Temp
    ret
;*****
;This routine for initial RS232
;Buad rate : 9600
;Receive : Interrupt
;Send : polling
;*****
InitRS232:
    ldi Temp,51
    out ubrr,Temp
    sbi ucr,rxen
    sbi ucr,txen
    ret
;*****
;
;
;    input Devider1,Devider2.div
;    output XL(remainder),ans1(low byte result),ans2(high byte result),Temp
;    used register XH,XL,Temp,a,b,acca,Aux
;
;*****

Devider1:
    ldi XL,0
    cpi div,0
    brne Devider2
    ldi Temp,'F'
    ret
Devider2:
    cpi div,1
    brne mod1
    mov ans2,devide2
    mov ans1,devide1
    ldi Temp,'T'
    ret

mod1:
    ldi acca,4
    clr ans1
```

# ProgramSolarTest

```

    clr  ans2
    clr  XL           ;low Byte Buffer
    clr  XH           ;high byte buffer
    mov  a,devide1
    mov  b,devide2
mod12:
    ldi  Aux,4

loopmod1:
    lsl  a           ;devide1
    rol  b           ;devide2
    rol  XL
    rol  XH
    dec  Aux
    brne loopmod1
    tst  XH
    brne loopmod2
    cp   XL,div
    brlo mod2
    clr  Aux

loopmod2:
    sub  XL,div
    sbci XH,0
    inc  Aux
    tst  XH
    brne loopmod2
    cp   div,XL
    breq loopmod2
    brlo loopmod2
    lsl  Aux
    lsl  Aux
    lsl  Aux
    lsl  Aux
mod2:
    ldi  Temp,4
mod3:
    lsl  Aux
    rol  ans1
    rol  ans2
    dec  Temp
    brne mod3
    dec  acca
    brne mod12

    ldi  Temp,'T'
    ret
;*****
;Convert HextoDec
;input : ZH,ZL
;output : asc4,asc3,asc2,asc1,asc0
;*****
HTD:
    ldi  div,100
    mov  devide1,ZL
    mov  devide2,ZH
    rcall Devider1
    mov  YL,ans1
    mov  YH,ans2
    mov  asc0,XL

    mov  devide1,YL
    mov  devide2,YH
    rcall Devider1
    mov  asc4,ans1
    ldi  Buffer,0x30
    add  asc4,Buffer

    ldi  div,10
```



# ProgramSolarTest

```
mov  devida1,XL
clr  devida2
rcall Devider1
mov  asc3,ans1
add  asc3,Buffer

mov  devida1,YL
mov  devida2,YH
rcall Devider1
mov  asc2,XL
add  asc2,Buffer

mov  devida1,asc0
clr  devida2
rcall Devider1
mov  asc1,ans1
add  asc1,Buffer

mov  devida1,ZL
mov  devida2,ZH
rcall Devider1
mov  asc0,XL
add  asc0,Buffer
ret
;*****
; 8*8bit multiplier
;input :a,b
;output : ans2(high byte),ans1(low byte)
;*****

mul88: clr  ans2      ;clear result High byte
        clr  ans1
        ldi  Temp,8   ;init loop counter
        mov  give,Temp
m8u_1: lsr  a         ;rotate multiplier
        brc  m8u_2    ;carry set
        add  ans2,b   ;add multiplicand to result High byte
m8u_2: ror  ans2     ;rotate right result High byte
        ror  ans1     ;rotate right result L byte and multiplier
        dec  give     ;decrement loop counter
        brne m8u_1   ;if not done, loop more
        ret

;*****

;input : acca(high byte multiplicand),accb (low byte multiplicand)
;       : Aux(multiplier)
;output : ans1(low byte result),ans2(high byte result)
;used register : Buffer,Temp
;*****
Mul16vs8:

        mov  a,Aux
        mov  b,accb
        rcall mul88
        mov  Buffer,ans2
        mov  a,Aux
        mov  b,acca

        mov  Temp,ans1
        push Temp
        rcall mul88
        pop  Temp

        add  ans1,Buffer
        mov  ans2,ans1
        mov  ans1,Temp
```

# ProgramSolarTest

```
ret
;*****
; multiple 16 bit with 8 bit
;input :r0(Multiplicant low),r1(multiplicant high),r2(multiplier low),r3(high multiplier)
;output:r0(lowest byte),r1,r2,r3(highest byte)
;used register : Temp,Aux
;*****
Mul16w16:
    ldi Temp,16 ;checking counter
    mov r4,r0 ;save Multiplicant low
    mov r5,r1 ;save Multiplicant high
    mov r6,r2 ;Save Multiplier low
    mov r7,r3 ;Save Multiplier high
    clr r0 ;clear for accumulate
    clr r1
    clr r2
    clr r3
L_Mul16w16:
    lsl r0
    rol r1
    rol r2
    rol r3

    lsl r6 ;check each bit in r2
    rol r7
    brcc M_Mul16w16
    add r0,r4 ;add multiplicand to accumulator
    adc r1,r5
    clr Aux
    adc r2,Aux
    adc r3,Aux
M_Mul16w16:
    dec Temp ;sixteen cycle only
    brne L_Mul16w16
    ret
;*****
; dividing 16 bit with 16 bit
;input :r0(lowest byte dividend),r1,r2,r3(highest dividend)
; r4(low byte divider),r5(high byte divider)
;output:r1(high byte result),r0,r2,r3(highest byte result)
; r4(low byte remainder),r5,(high byte remainder)
;used register : Temp,Aux
;*****
Div32w16:
    ldi Temp,32 ;checking counter
    mov r6,r0 ;save low dividend
    mov r7,r1 ;save high dividend
    mov r8,r2
    mov r9,r3
    clr r0 ;clear for accumulate
    clr r1
    clr r2
    clr r3

    clr r10 ;clear buffer
    clr r11
    clr r12
L_Div32w16:
    lsl r6 ;shift dividend
    rol r7
    rol r8
    rol r9

    rol r10 ;shift into 24-bit buffer
    rol r11
    rol r12

    tst r12
```

# ProgramSolarTest

```
brne J_Div32w16
cp r11,r5
brlo M_Div32w16
brne J_Div32w16
cp r10,r4
brlo M_Div32w16
J_Div32w16:
clr Aux
clc
sbc r10,r4 ;sub dividant with divider
sbc r11,r5
sbc r12,Aux
sec
rol r0
rjmp N_Div32w16
M_Div32w16:
lsl r0
N_Div32w16:
rol r1
rol r2
rol r3
dec Temp ;sixteen cycle only
brne L_Div32w16
mov r4,r10 ;get remainder
mov r5,r11
ret
;*****
Message1:
.db " Solar Tester "
.db " By KMITL Team ",eos
;*****
Message2:
.db " VIEW DATA ",eos
;*****
Message3:
.db " SET THRESHOLD "
.db " VOLTAGE ",eos
;*****
Message4:
.db " START TESTING ",eos
;*****
Message5:
.db " Now = V "
.db " Set = V",eos
;*****
ViewVI:
.db "V= . V P"
.db "I= . A ",eos
;*****
ViewStor:
.db " Data Storing "
.db " Point ",eos
;*****
ViewParam:
.db "Temp : . deg"
.db "Light: . W",eos
;*****
;c:\avrtools\solar1.hex
```



# ภาคผนวก ก

## ข้อมูลของตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

### General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at  $+10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$ . With less than  $1\Omega$  dynamic impedance the device operates over a current range of  $400 \mu\text{A}$  to  $5 \text{ mA}$  with virtually no change in performance. When calibrated at  $25^\circ\text{C}$  the LM135 has typically less than  $1^\circ\text{C}$  error over a  $100^\circ\text{C}$  temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a  $-55^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

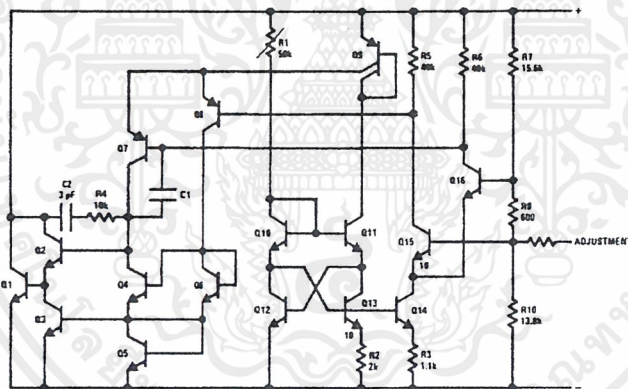
The LM135 operates over a  $-55^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range while the LM235 operates over a  $-40^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$

temperature range. The LM335 operates from  $-40^\circ\text{C}$  to  $+100^\circ\text{C}$ . The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

### Features

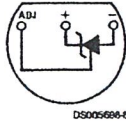
- Directly calibrated in Kelvin
- $1^\circ\text{C}$  initial accuracy available
- Operates from  $400 \mu\text{A}$  to  $5 \text{ mA}$
- Less than  $1\Omega$  dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- $200^\circ\text{C}$  overrange
- Low cost

### Schematic Diagram



## Connection Diagrams

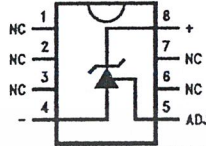
**TO-92**  
Plastic Package



D5005696-4

**Bottom View**  
Order Number LM335Z  
or LM335AZ  
See NS Package  
Number Z03A

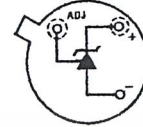
**SO-8**  
Surface Mount Package



D5005696-25

**Order Number LM335M**  
See NS Package  
Number M08A

**TO-46**  
Metal Can Package\*



D5005696-26

\*Case is connected to negative pin

**Bottom View**  
Order Number LM135H,  
LM135H-MIL, LM235H,  
LM335H, LM135AH,  
LM235AH or LM335AH  
See NS Package  
Number H03H

### Absolute Maximum Ratings (Note 4)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	-60°C to +180°C
TO-92 Package	-60°C to +150°C
SO-8 Package	-65°C to +150°C

### Specified Operating Temp. Range

	Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C	150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C	125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C	100°C to 125°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)		
TO-92 Package:		260°C
TO-46 Package:		300°C
SO-8 Package:		300°C
Vapor Phase (60 seconds):		215°C
Infrared (15 seconds):		220°C

### Temperature Accuracy (Note 1)

LM135/LM235, LM135A/LM235A

Parameter	Conditions	LM135A/LM235A			LM135/LM235			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

### Temperature Accuracy (Note 1)

LM335, LM335A

Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

### Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 5\text{ mA}$		2.5	10		3	14	mV
Change with Current	At Constant Temperature							
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		$\Omega$
Output Voltage Temperature Coefficient			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/khr

## Electrical Characteristics (Note 1) (Continued)

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

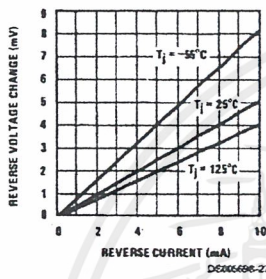
Note 3:

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
$\theta_{JA}$ (junction to ambient)	202°C/W	400°C/W	165°C/W
$\theta_{JC}$ (junction to case)	170°C/W	N/A	N/A

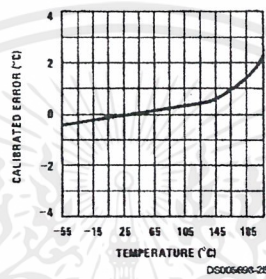
Note 4: Refer to RETS135H for military specifications.

## Typical Performance Characteristics

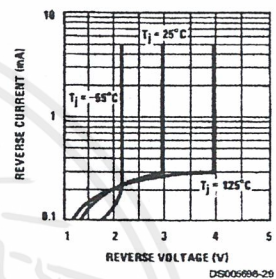
Reverse Voltage Change



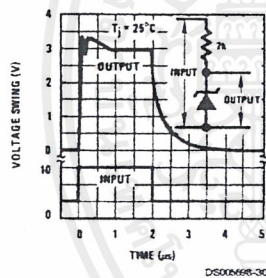
Calibrated Error



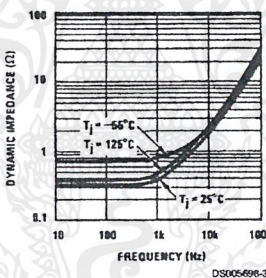
Reverse Characteristics



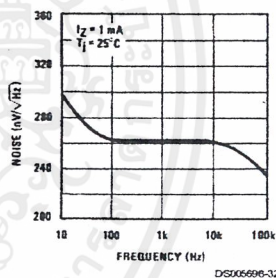
Response Time



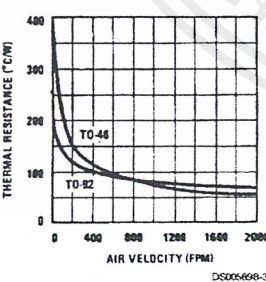
Dynamic Impedance



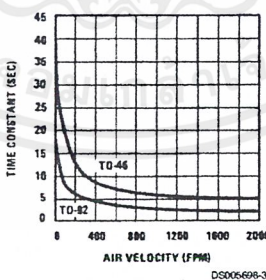
Noise Voltage



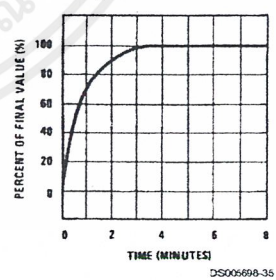
Thermal Resistance Junction to Air



Thermal Time Constant



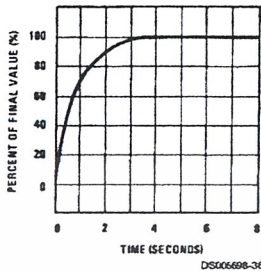
Thermal Response in Still Air



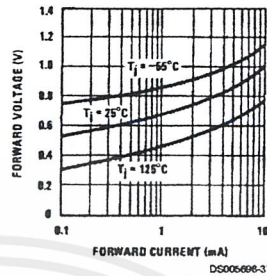


## Typical Performance Characteristics (Continued)

Thermal Response in Stirred Oil Bath



Forward Characteristics



## Application Hints

### CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) errors so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

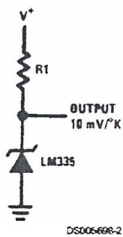
The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUT_T} = V_{OUT_{T_0}} \times \frac{T}{T_0}$$

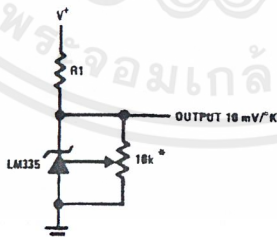
where T is the unknown temperature and  $T_0$  is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/K.

## Typical Applications

Basic Temperature Sensor

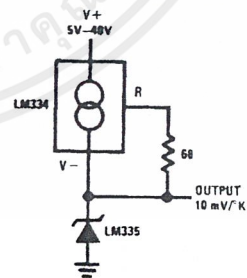


Calibrated Sensor



\*Calibrate for 2.982V at 25°C

Wide Operating Supply



To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM135 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature as well as any external loads.

If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

### WATERPROOFING SENSORS

Melttable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM335 is inserted into the tubing about 1/2" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled 1/2" end melts and provides a seal over the device.

## DAC0830/DAC0832 8-Bit $\mu$ P Compatible, Double-Buffered D to A Converters

### General Description

The DAC0830 is an advanced CMOS/Si-Cr 8-bit multiplying DAC designed to interface directly with the 8080, 8048, 8085, Z80<sup>®</sup>, and other popular microprocessors. A deposited silicon-chromium R-2R resistor ladder network divides the reference current and provides the circuit with excellent temperature tracking characteristics (0.05% of Full Scale Range maximum linearity error over temperature). The circuit uses CMOS current switches and control logic to achieve low power consumption and low output leakage current errors. Special circuitry provides TTL logic input voltage level compatibility.

Double buffering allows these DACs to output a voltage corresponding to one digital word while holding the next digital word. This permits the simultaneous updating of any number of DACs.

The DAC0830 series are the 8-bit members of a family of microprocessor-compatible DACs (MICRO-DAC<sup>™</sup>).

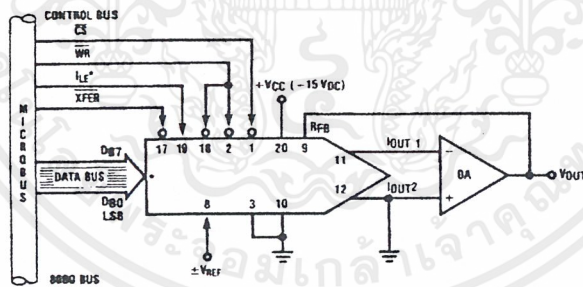
### Features

- Double-buffered, single-buffered or flow-through digital data inputs
- Easy interchange and pin-compatible with 12-bit DAC1230 series
- Direct interface to all popular microprocessors
- Linearity specified with zero and full scale adjust only — NOT BEST STRAIGHT LINE FIT.
- Works with  $\pm 10$ V reference-full 4-quadrant multiplication
- Can be used in the voltage switching mode
- Logic inputs which meet TTL voltage level specs (1.4V logic threshold)
- Operates "STAND ALONE" (without  $\mu$ P) if desired
- Available in 20-pin small-outline or molded chip carrier package

### Key Specifications

- Current settling time: 1  $\mu$ s
- Resolution: 8 bits
- Linearity: 8, 9, or 10 bits (guaranteed over temp.)
- Gain Tempco: 0.0002% FS/°C
- Low power dissipation: 20 mW
- Single power supply: 5 to 15 V<sub>DC</sub>

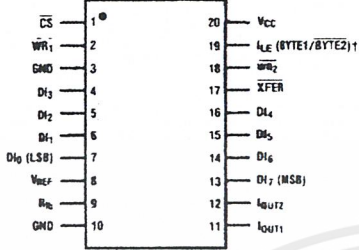
### Typical Application



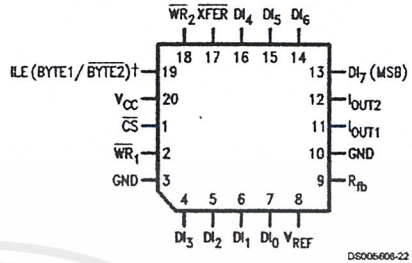
BI-FET<sup>™</sup> and MICRO-DAC<sup>™</sup> are trademarks of National Semiconductor Corporation.  
Z80<sup>®</sup> is a registered trademark of Zilog Corporation.

## Connection Diagrams (Top Views)

Dual-In-Line and Small-Outline Packages



Molded Chip Carrier Package



DS000608-21

DS000608-22

## Absolute Maximum Ratings (Notes 1, 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage ( $V_{CC}$ )	17 $V_{DC}$
Voltage at Any Digital Input	$V_{CC}$ to GND
Voltage at $V_{REF}$ Input	$\pm 25V$
Storage Temperature Range	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Package Dissipation at $T_A=25^{\circ}C$ (Note 3)	500 mW
DC Voltage Applied to $I_{OUT1}$ or $I_{OUT2}$ (Note 4)	$-100$ mV to $V_{CC}$
ESD Susceptibility (Note 4)	800V

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

## Operating Conditions

Temperature Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
Part numbers with "LCN" suffix	$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$
Part numbers with "LCWM" suffix	$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$
Part numbers with "LCV" suffix	$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$
Part numbers with "LCJ" suffix	$-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$
Part numbers with "LJ" suffix	$-55^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$
Voltage at Any Digital Input	$V_{CC}$ to GND

## Electrical Characteristics

$V_{REF}=10.000 V_{DC}$  unless otherwise noted. Boldface limits apply over temperature,  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ . For all other limits  $T_A=25^{\circ}C$ .

Parameter	Conditions	See Note	$V_{CC} = 4.75 V_{DC}$ $V_{CC} = 15.75 V_{DC}$		$V_{CC} = 5 V_{DC} \pm 5\%$ $V_{CC} = 12 V_{DC} \pm 5\%$ to $15 V_{DC} \pm 5\%$		Limit Units
			Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)		
<b>CONVERTER CHARACTERISTICS</b>							
Resolution			8	8	8		bits
Linearity Error Max	Zero and full scale adjusted $-10V \leq V_{REF} \leq +10V$	4, 8					
DAC0830LJ & LCJ				0.05	0.05		% FSR
DAC0832LJ & LCJ				0.2	0.2		% FSR
DAC0830LCN, LCWM & LCV				0.05	0.05		% FSR
DAC0831LCN				0.1	0.1		% FSR
DAC0832LCN, LCWM & LCV				0.2	0.2		% FSR
Differential Nonlinearity Max	Zero and full scale adjusted $-10V \leq V_{REF} \leq +10V$	4, 8					
DAC0830LJ & LCJ				0.1	0.1		% FSR
DAC0832LJ & LCJ				0.4	0.4		% FSR
DAC0830LCN, LCWM & LCV				0.1	0.1		% FSR
DAC0831LCN				0.2	0.2		% FSR
DAC0832LCN, LCWM & LCV				0.4	0.4		% FSR
Monotonicity	$-10V \leq V_{REF} \leq +10V$ LJ & LCJ LCN, LCWM & LCV	4		8	8		bits
Gain Error Max	Using Internal $R_{\Omega}$ $-10V \leq V_{REF} \leq +10V$	7	$\pm 0.2$	$\pm 1$	$\pm 1$		% FS
Gain Error Tempco Max	Using internal $R_{\Omega}$		0.0002		0.0006		% FS/ $^{\circ}C$
Power Supply Rejection	All digital inputs latched high $V_{CC}=14.5V$ to $15.5V$ $11.5V$ to $12.5V$ $4.5V$ to $5.5V$		0.0002 0.0006 0.013	0.0025			% FSR/V
Reference Input	Max		15	20	20		k $\Omega$
	Min		15	10	10		k $\Omega$
Output Feedthrough Error	$V_{REF}=20$ Vp-p, $f=100$ kHz All data inputs latched low		3				mVp-p

### Electrical Characteristics (Continued)

$V_{REF}=10.000 V_{DC}$  unless otherwise noted. **Boldface limits apply over temperature,  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ .** For all other limits  $T_A=25^\circ C$ .

Parameter	Conditions	See Note	$V_{CC} = 4.75 V_{DC}$ $V_{CC} = 15.75 V_{DC}$		$V_{CC} = 5 V_{DC} \pm 5\%$ $V_{CC} = 12 V_{DC} \pm 5\%$ to $15 V_{DC} \pm 5\%$		Limit Units	
			Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)	Design Limit (Note 6)		
<b>CONVERTER CHARACTERISTICS</b>								
Output Leakage Current Max	$I_{OUT1}$	All data inputs latched low	LJ & LCJ LCN, LCWM & LCV	10	<b>100</b> 50	<b>100</b> 100	nA	
	$I_{OUT2}$	All data inputs latched high	LJ & LCJ LCN, LCWM & LCV		<b>100</b> 50	<b>100</b> 100	nA	
Output Capacitance	$I_{OUT1}$	All data inputs latched low			45		pF	
	$I_{OUT2}$	All data inputs latched low			115		pF	
	$I_{OUT1}$	All data inputs latched high			130		pF	
	$I_{OUT2}$	All data inputs latched high			30		pF	
<b>DIGITAL AND DC CHARACTERISTICS</b>								
Digital Input Voltages	Max	Logic Low	LJ: 4.75V LJ: 15.75V LCJ: 4.75V LCJ: 15.75V LCN, LCWM, LCV		0.6 0.8 0.7 0.8 0.95		$V_{DC}$	
	Min	Logic High	LJ & LCJ LCN, LCWM, LCV		2.0 1.9	2.0 2.0	$V_{DC}$	
Digital Input Currents	Max	Digital inputs <0.8V	LJ & LCJ LCN, LCWM, LCV		-50	-200 -160	-200 -200	$\mu A$ $\mu A$
		Digital inputs >2.0V	LJ & LCJ LCN, LCWM, LCV		0.1	+10 +8	+10 +10	$\mu A$
Supply Current Drain	Max		LJ & LCJ LCN, LCWM, LCV		1.2	3.5 1.7	3.5 2.0	mA

### Electrical Characteristics

$V_{REF}=10.000 V_{DC}$  unless otherwise noted. **Boldface limits apply over temperature,  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ .** For all other limits  $T_A=25^\circ C$ .

Symbol	Parameter	Conditions	See Note	$V_{CC}=15.75 V_{DC}$		$V_{CC}=12 V_{DC} \pm 5\%$ to $15 V_{DC} \pm 5\%$	$V_{CC}=4.75 V_{DC}$		$V_{CC}=5 V_{DC} \pm 5\%$	Limit Units
				Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)	Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)	
<b>AC CHARACTERISTICS</b>										
$t_s$	Current Settling Time	$V_{IL}=0V, V_{IH}=5V$		1.0			1.0			$\mu s$
$t_w$	Write and XFER Pulse Width Min	$V_{IL}=0V, V_{IH}=5V$	11 9	100	250		375	600	900	ns
				320	320			900	900	
$t_{DS}$	Data Setup Time Min	$V_{IL}=0V, V_{IH}=5V$	9	100	250		375	600	900	ns
				320	320			900	900	
$t_{DH}$	Data Hold Time Min	$V_{IL}=0V, V_{IH}=5V$	9		30			50		ns
					30			50		
$t_{CS}$	Control Setup Time Min	$V_{IL}=0V, V_{IH}=5V$	9	110	250		600	900	1100	ns
				320	320			1100	1100	
$t_{CH}$	Control Hold Time Min	$V_{IL}=0V, V_{IH}=5V$	9	0	0	10	0	0	0	ns
				0	0			0	0	

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

**40A, 600V, UFS Series N-Channel IGBT with Anti-Parallel Hyperfast Diode**

The HGTG20N60B3D is a MOS gated high voltage switching device combining the best features of MOSFETs and bipolar transistors. The device has the high input impedance of a MOSFET and the low on-state conduction loss of a bipolar transistor. The much lower on-state voltage drop varies only moderately between 25°C and 150°C. The diode used in anti-parallel with the IGBT is the RHRP3060.

The IGBT is ideal for many high voltage switching applications operating at moderate frequencies where low conduction losses are essential.

Formerly developmental type TA49016.

**Ordering Information**

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
HGTG20N60B3D	TO-247	G20N60B3D

NOTE: When ordering, use the entire part number.

**Symbol**

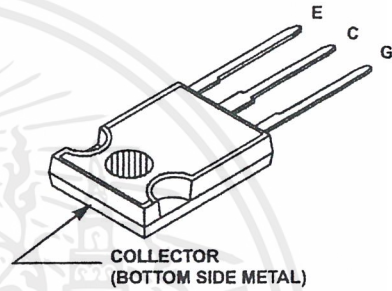


**Features**

- 40A, 600V at  $T_C = 25^\circ\text{C}$
- Typical Fall Time . . . . . 140ns at 150°C
- Short Circuit Rated
- Low Conduction Loss
- Hyperfast Anti-Parallel Diode

**Packaging**

JEDEC STYLE TO-247



**INTERSIL CORPORATION IGBT PRODUCT IS COVERED BY ONE OR MORE OF THE FOLLOWING U.S. PATENTS**

4,364,073	4,417,385	4,430,792	4,443,931	4,466,176	4,516,143	4,532,534	4,587,713
4,598,461	4,605,948	4,620,211	4,631,564	4,639,754	4,639,762	4,641,162	4,644,637
4,682,195	4,684,413	4,694,313	4,717,679	4,743,952	4,783,690	4,794,432	4,801,986
4,803,533	4,809,045	4,809,047	4,810,665	4,823,176	4,837,606	4,860,080	4,883,767
4,888,627	4,890,143	4,901,127	4,904,609	4,933,740	4,963,951	4,969,027	

## HGTG20N60B3D

### Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

	HGTG20N60B3D	UNITS
Collector to Emitter Voltage	600	V
Collector to Gate Voltage, $R_{GE} = 1\text{M}\Omega$	600	V
Collector Current Continuous	40	A
At $T_C = 110^\circ\text{C}$	20	A
Average Diode Forward Current at $110^\circ\text{C}$	20	A
Collector Current Pulsed (Note 1)	160	A
Gate to Emitter Voltage Continuous	$\pm 20$	V
Gate to Emitter Voltage Pulsed	$\pm 30$	V
Switching Safe Operating Area at $T_C = 150^\circ\text{C}$	30A at 600V	
Power Dissipation Total at $T_C = 25^\circ\text{C}$	165	W
Power Dissipation Derating $T_C > 25^\circ\text{C}$	1.32	W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	-40 to 150	$^\circ\text{C}$
Maximum Lead Temperature for Soldering	260	$^\circ\text{C}$
Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 15\text{V}$	4	$\mu\text{s}$
Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 10\text{V}$	10	$\mu\text{s}$

**CAUTION:** Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

#### NOTES:

1. Repetitive Rating: Pulse width limited by maximum junction temperature.
2.  $V_{CE} = 360\text{V}$ ,  $T_C = 125^\circ\text{C}$ ,  $R_G = 25\Omega$ .

### Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Collector to Emitter Breakdown Voltage	$BV_{CES}$	$I_C = 250\mu\text{A}$ , $V_{GE} = 0\text{V}$	600	-	-	V	
Collector to Emitter Leakage Current	$I_{CES}$	$V_{CE} = BV_{CES}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	-	-	250	$\mu\text{A}$
			$T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	2.0	mA
Collector to Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	$I_C = I_{C110}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	-	1.8	2.0	V
			$T_C = 150^\circ\text{C}$	-	2.1	2.5	V
Gate to Emitter Threshold Voltage	$V_{GE(TH)}$	$I_C = 250\mu\text{A}$ , $V_{CE} = V_{GE}$	3.0	5.0	6.0	V	
Gate to Emitter Leakage Current	$I_{GES}$	$V_{GE} = \pm 20\text{V}$	-	-	$\pm 100$	nA	
Switching SOA	SSOA	$T_C = 150^\circ\text{C}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$ , $R_G = 10\Omega$ , $L = 45\mu\text{H}$	$V_{CE} = 480\text{V}$	100	-	-	A
			$V_{CE} = 600\text{V}$	30	-	-	A
Gate to Emitter Plateau Voltage	$V_{GEP}$	$I_C = I_{C110}$ , $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$	-	8.0	-	V	
On-State Gate Charge	$Q_{G(ON)}$	$I_C = I_{C110}$ , $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$	$V_{GE} = 15\text{V}$	-	80	105	nC
			$V_{GE} = 20\text{V}$	-	105	135	nC
Current Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$T_C = 150^\circ\text{C}$ , $I_{CE} = I_{C110}$ , $V_{CE} = 0.8 BV_{CES}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$ , $R_G = 10\Omega$ , $L = 100\mu\text{H}$	-	25	-	ns	
Current Rise Time	$t_r$		-	20	-	ns	
Current Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	220	275	ns	
Current Fall Time	$t_f$		-	140	175	ns	
Turn-On Energy	$E_{ON}$		-	475	-	$\mu\text{J}$	
Turn-Off Energy (Note 3)	$E_{OFF}$		-	1050	-	$\mu\text{J}$	
Diode Forward Voltage	$V_{EC}$	$I_{EC} = 20\text{A}$	-	1.5	1.9	V	
Diode Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$I_{EC} = 20\text{A}$ , $di_{EC}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	55	ns	
		$I_{EC} = 1\text{A}$ , $di_{EC}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	45	ns	
Thermal Resistance	$R_{\theta JC}$	IGBT	-	-	0.76	$^\circ\text{C}/\text{W}$	
		Diode	-	-	1.2	$^\circ\text{C}/\text{W}$	

#### NOTE:

3. Turn-Off Energy Loss ( $E_{OFF}$ ) is defined as the integral of the instantaneous power loss starting at the trailing edge of the input pulse and ending at the point where the collector current equals zero ( $I_{CE} = 0\text{A}$ ). The HGTG20N60B3D was tested per JEDEC standard No. 24-1 Method for Measurement of Power Device Turn-Off Switching Loss. This test method produces the true total Turn-Off Energy Loss. Turn-On losses include diode losses.

Typical Performance Curves (Continued)

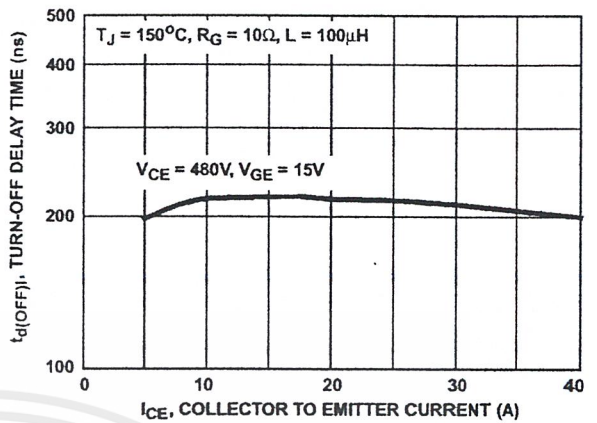
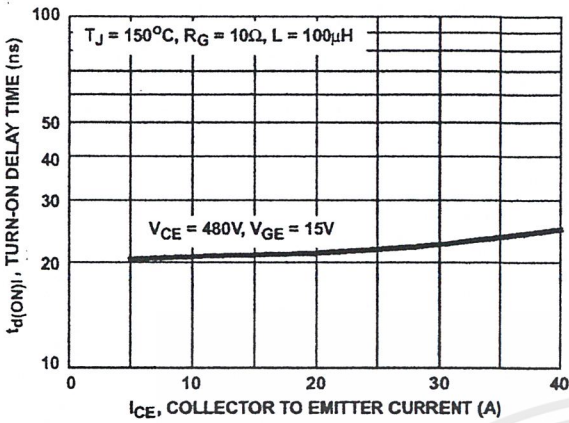


FIGURE 7. TURN-ON DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

FIGURE 8. TURN-OFF DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

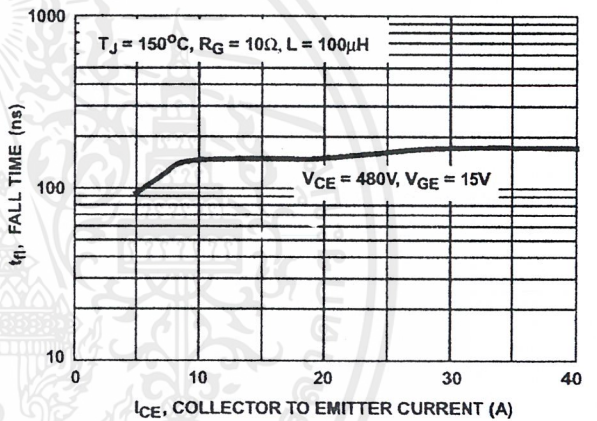
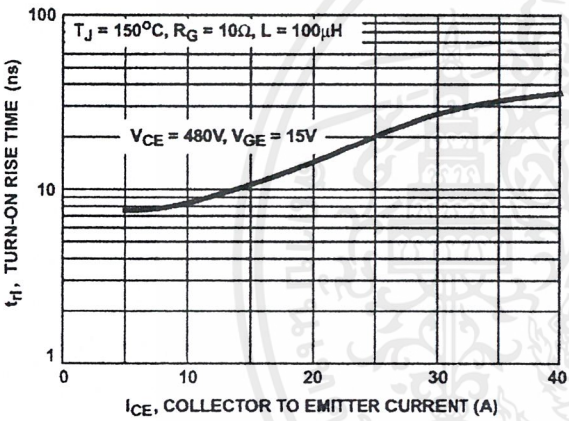


FIGURE 9. TURN-ON RISE TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

FIGURE 10. TURN-OFF FALL TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

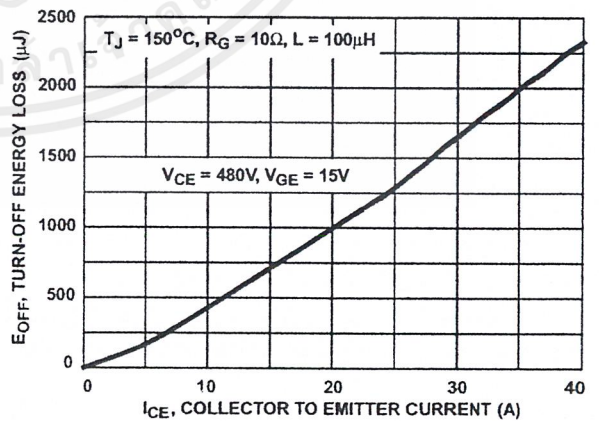
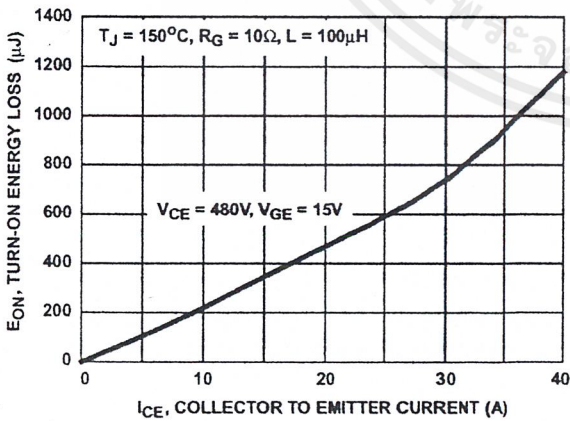


FIGURE 11. TURN-ON ENERGY LOSS vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

FIGURE 12. TURN-OFF ENERGY LOSS vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT



Typical Performance Curves (Continued)

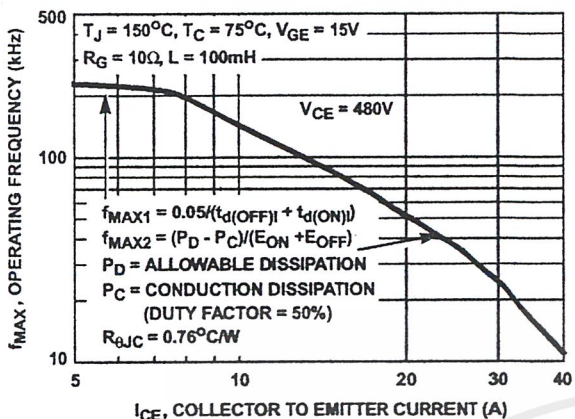


FIGURE 13. OPERATING FREQUENCY vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

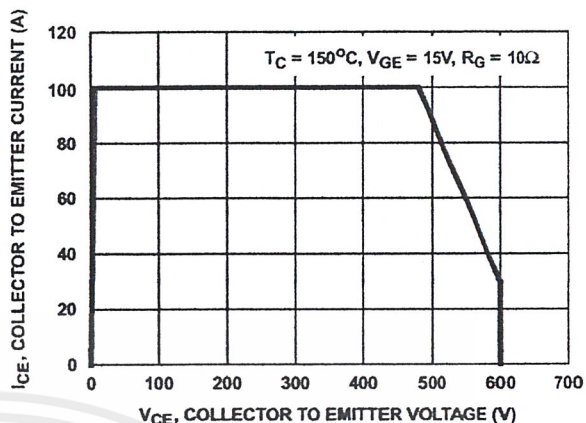


FIGURE 14. SWITCHING SAFE OPERATING AREA

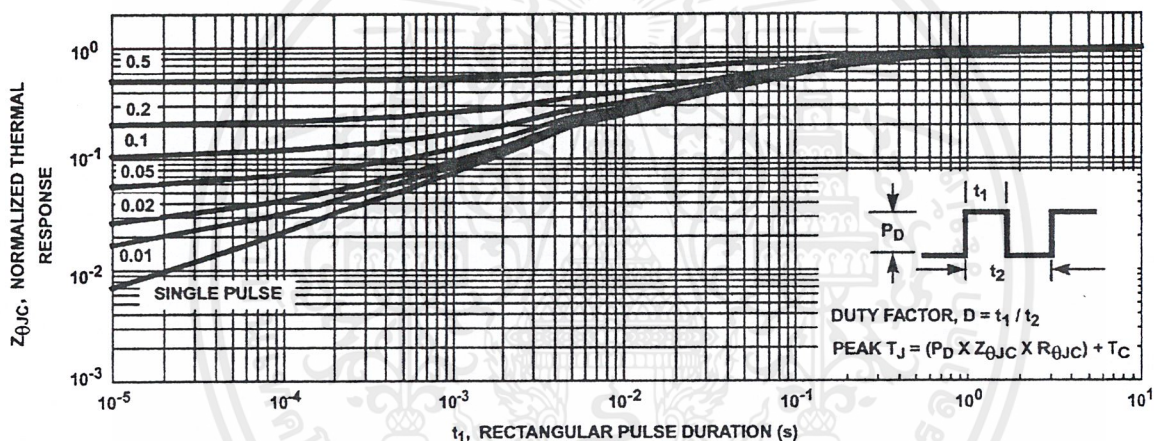


FIGURE 15. IGBT NORMALIZED TRANSIENT THERMAL RESPONSE, JUNCTION TO CASE

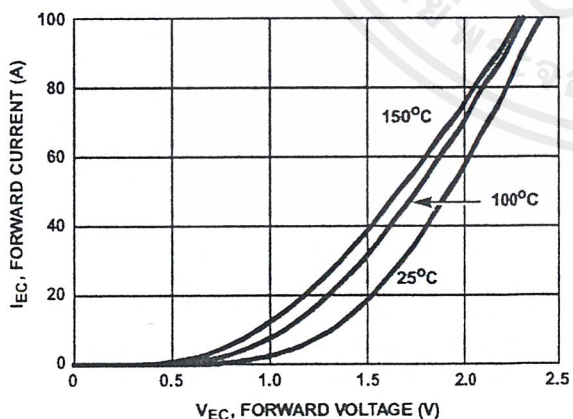


FIGURE 16. DIODE FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE DROP

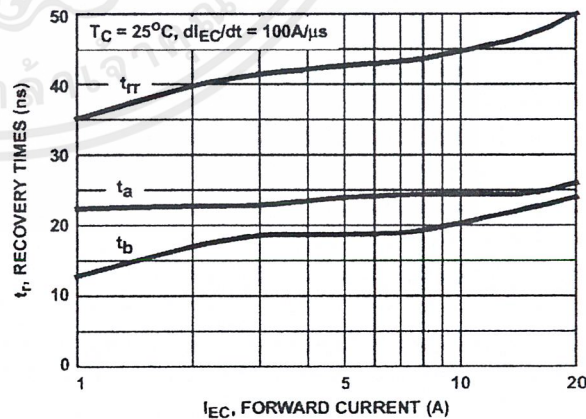


FIGURE 17. RECOVERY TIMES vs FORWARD CURRENT

Test Circuit and Waveform

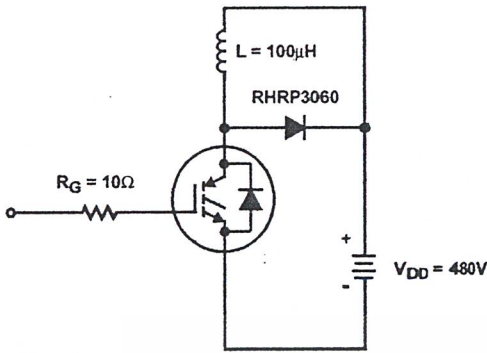


FIGURE 18. INDUCTIVE SWITCHING TEST CIRCUIT

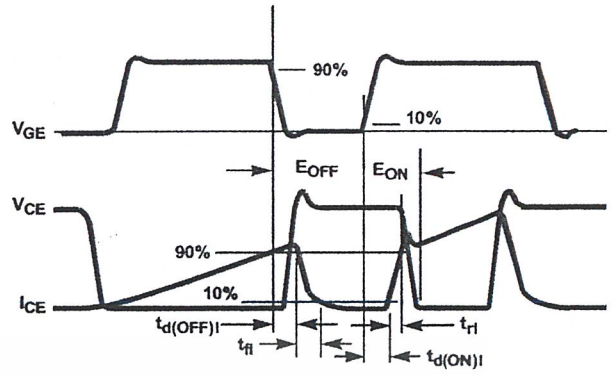


FIGURE 19. SWITCHING TEST WAVEFORMS

Handling Precautions for IGBTs

Insulated Gate Bipolar Transistors are susceptible to gate-insulation damage by the electrostatic discharge of energy through the devices. When handling these devices, care should be exercised to assure that the static charge built in the handler's body capacitance is not discharged through the device. With proper handling and discharge procedures, however, IGBTs are currently being extensively used in production by numerous equipment manufacturers in military, industrial and consumer applications, with virtually no damage problems due to electrostatic discharge. IGBTs can be handled safely if the following basic precautions are taken:

1. Prior to assembly into a circuit, all leads should be kept shorted together either by the use of metal shorting springs or by the insertion into conductive material such as "ECCOSORBD™ LD26" or equivalent.
2. When devices are removed by hand from their carriers, the hand being used should be grounded by any suitable means - for example, with a metallic wristband.
3. Tips of soldering irons should be grounded.
4. Devices should never be inserted into or removed from circuits with power on.
5. **Gate Voltage Rating** - Never exceed the gate-voltage rating of  $V_{GEM}$ . Exceeding the rated  $V_{GE}$  can result in permanent damage to the oxide layer in the gate region.
6. **Gate Termination** - The gates of these devices are essentially capacitors. Circuits that leave the gate open-circuited or floating should be avoided. These conditions can result in turn-on of the device due to voltage buildup on the input capacitor due to leakage currents or pickup.
7. **Gate Protection** - These devices do not have an internal monolithic zener diode from gate to emitter. If gate protection is required an external zener is recommended.

Operating Frequency Information

Operating frequency information for a typical device (Figure 13) is presented as a guide for estimating device performance for a specific application. Other typical frequency vs collector current ( $I_{CE}$ ) plots are possible using the information shown for a typical unit in Figures 4, 7, 8, 11 and 12. The operating frequency plot (Figure 13) of a typical device shows  $f_{MAX1}$  or  $f_{MAX2}$  whichever is smaller at each point. The information is based on measurements of a typical device and is bounded by the maximum rated junction temperature.

$f_{MAX1}$  is defined by  $f_{MAX1} = 0.05 / (t_{d(OFF)I} t_{d(ON)I})$ . Deadtime (the denominator) has been arbitrarily held to 10% of the on-state time for a 50% duty factor. Other definitions are possible.  $t_{d(OFF)I}$  and  $t_{d(ON)I}$  are defined in Figure 19.

Device turn-off delay can establish an additional frequency limiting condition for an application other than  $T_{JM}$ .  $t_{d(OFF)I}$  is important when controlling output ripple under a lightly loaded condition.

$f_{MAX2}$  is defined by  $f_{MAX2} = (P_D - P_C) / (E_{OFF} + E_{ON})$ . The allowable dissipation ( $P_D$ ) is defined by  $P_D = (T_{JM} - T_C) / R_{\theta JC}$ . The sum of device switching and conduction losses must not exceed  $P_D$ . A 50% duty factor was used (Figure 13) and the conduction losses ( $P_C$ ) are approximated by  $P_C = (V_{CE} \times I_{CE}) / 2$ .

$E_{ON}$  and  $E_{OFF}$  are defined in the switching waveforms shown in Figure 19.  $E_{ON}$  is the integral of the instantaneous power loss ( $I_{CE} \times V_{CE}$ ) during turn-on and  $E_{OFF}$  is the integral of the instantaneous power loss during turn-off. All tail losses are included in the calculation for  $E_{OFF}$ ; i.e. the collector current equals zero ( $I_{CE} = 0$ ).

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

*Intersil semiconductor products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.*

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site [www.intersil.com](http://www.intersil.com)

**CMOS Voltage Converters**

The Intersil ICL7660 and ICL7660A are monolithic CMOS power supply circuits which offer unique performance advantages over previously available devices. The ICL7660 performs supply voltage conversions from positive to negative for an input range of +1.5V to +10.0V resulting in complementary output voltages of -1.5V to -10.0V and the ICL7660A does the same conversions with an input range of +1.5V to +12.0V resulting in complementary output voltages of -1.5V to -12.0V. Only 2 noncritical external capacitors are needed for the charge pump and charge reservoir functions. The ICL7660 and ICL7660A can also be connected to function as voltage doublers and will generate output voltages up to +18.6V with a +10V input.

Contained on the chip are a series DC supply regulator, RC oscillator, voltage level translator, and four output power MOS switches. A unique logic element senses the most negative voltage in the device and ensures that the output N-Channel switch source-substrate junctions are not forward biased. This assures latchup free operation.

The oscillator, when unloaded, oscillates at a nominal frequency of 10kHz for an input supply voltage of 5.0V. This frequency can be lowered by the addition of an external capacitor to the "OSC" terminal, or the oscillator may be overdriven by an external clock.

The "LV" terminal may be tied to GROUND to bypass the internal series regulator and improve low voltage (LV) operation. At medium to high voltages (+3.5V to +10.0V for the ICL7660 and +3.5V to +12.0V for the ICL7660A), the LV pin is left floating to prevent device latchup.

**Ordering Information**

PART NO.	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
ICL7660CBA	0 to 70	8 Ld SOIC (N)	M8.15
ICL7660CBA-T	0 to 70	8 Ld SOIC (N) Tape and Reel	M8.15
ICL7660CPA	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3
ICL7660MTV†	0 to 70	8 Pin Metal Can	T8.C
ICL7660ACBA	0 to 70	8 Ld SOIC (N)	M8.15
ICL7660ACBA-T	0 to 70	8 Ld SOIC (N) Tape and Reel	M8.15
ICL7660ACPA	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3
ICL7660AIBA	-40 to 85	8 Ld SOIC (N)	M8.15
ICL7660AIBA-T	-40 to 85	8 Ld SOIC (N) Tape and Reel	M8.15
ICL7660AIPA	-40 to 85	8 Ld PDIP	E8.3

† Add /883B to part number if 883B processing is required.

**Features**

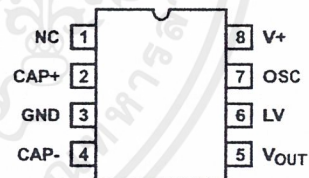
- Simple Conversion of +5V Logic Supply to ±5V Supplies
- Simple Voltage Multiplication ( $V_{OUT} = (-) nV_{IN}$ )
- Typical Open Circuit Voltage Conversion Efficiency 99.9%
- Typical Power Efficiency 98%
- Wide Operating Voltage Range
  - ICL7660 ..... 1.5V to 10.0V
  - ICL7660A ..... 1.5V to 12.0V
- ICL7660A 100% Tested at 3V
- Easy to Use - Requires Only 2 External Non-Critical Passive Components
- No External Diode Over Full Temp. and Voltage Range

**Applications**

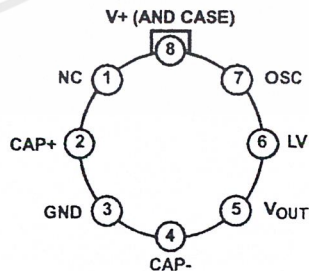
- On Board Negative Supply for Dynamic RAMs
- Localized  $\mu$ Processor (8080 Type) Negative Supplies
- Inexpensive Negative Supplies
- Data Acquisition Systems

**Pinouts**

ICL7660, ICL7660A (PDIP, SOIC)  
TOP VIEW



ICL7660 (METAL CAN)  
TOP VIEW



## ICL7660, ICL7660A

### Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	
ICL7660	+10.5V
ICL7660A	+13.0V
LV and OSC Input Voltage	-0.3V to (V+ +0.3V) for V+ < 5.5V
(Note 2)	(V+ -5.5V) to (V+ +0.3V) for V+ > 5.5V
Current into LV (Note 2)	20µA for V+ > 3.5V
Output Short Duration (V <sub>SUPPLY</sub> ≤ 5.5V)	Continuous

### Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	$\theta_{JA}$ (°C/W)	$\theta_{JC}$ (°C/W)
PDIP Package	150	N/A
SOIC Package	165	N/A
Metal Can Package (ICL7660 Only)	160	70
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C	
Maximum Lead Temperature (Soldering, 10s)	300°C (SOIC - Lead Tips Only)	

### Operating Conditions

Temperature Range	
ICL7660M	-55°C to 125°C
ICL7660C, ICL7660AC	0°C to 70°C
ICL7660AI	-40°C to 85°C

**CAUTION:** Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

#### NOTE:

- $\theta_{JA}$  is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

### Electrical Specifications ICL7660 and ICL7660A, V+ = 5V, T<sub>A</sub> = 25°C, C<sub>OSC</sub> = 0, Test Circuit Figure 11 Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL7660			ICL7660A			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Supply Current	I+	R <sub>L</sub> = ∞	-	170	500	-	80	165	µA
Supply Voltage Range - Lo	V <sub>L</sub> +	MIN ≤ T <sub>A</sub> ≤ MAX, R <sub>L</sub> = 10kΩ, LV to GND	1.5	-	3.5	1.5	-	3.5	V
Supply Voltage Range - Hi	V <sub>H</sub> +	MIN ≤ T <sub>A</sub> ≤ MAX, R <sub>L</sub> = 10kΩ, LV to Open	3.0	-	10.0	3	-	12	V
Output Source Resistance	R <sub>OUT</sub>	I <sub>OUT</sub> = 20mA, T <sub>A</sub> = 25°C	-	55	100	-	60	100	Ω
		I <sub>OUT</sub> = 20mA, 0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ 70°C	-	-	120	-	-	120	Ω
		I <sub>OUT</sub> = 20mA, -55°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ 125°C	-	-	150	-	-	-	Ω
		I <sub>OUT</sub> = 20mA, -40°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ 85°C	-	-	-	-	-	120	Ω
		V <sup>+</sup> = 2V, I <sub>OUT</sub> = 3mA, LV to GND 0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ 70°C	-	-	300	-	-	300	Ω
V <sup>+</sup> = 2V, I <sub>OUT</sub> = 3mA, LV to GND, -55°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ 125°C	-	-	400	-	-	-	Ω		
Oscillator Frequency	f <sub>OSC</sub>		-	10	-	-	10	-	kHz
Power Efficiency	P <sub>EF</sub>	R <sub>L</sub> = 5kΩ	95	98	-	96	98	-	%
Voltage Conversion Efficiency	V <sub>OUT EF</sub>	R <sub>L</sub> = ∞	97	99.9	-	99	99.9	-	%
Oscillator Impedance	Z <sub>OSC</sub>	V <sup>+</sup> = 2V	-	1.0	-	-	1	-	MΩ
		V = 5V	-	100	-	-	-	-	kΩ

### ICL7660A, V+ = 3V, T<sub>A</sub> = 25°C, OSC = Free running, Test Circuit Figure 11, Unless Otherwise Specified

Supply Current (Note 3)	I+	V+ = 3V, R <sub>L</sub> = ∞, 25°C	-	-	-	-	26	100	µA
		0°C < T <sub>A</sub> < 70°C	-	-	-	-	-	125	µA
		-40°C < T <sub>A</sub> < 85°C	-	-	-	-	-	125	µA
Output Source Resistance	R <sub>OUT</sub>	V+ = 3V, I <sub>OUT</sub> = 10mA	-	-	-	-	97	150	Ω
		0°C < T <sub>A</sub> < 70°C	-	-	-	-	-	200	Ω
		-40°C < T <sub>A</sub> < 85°C	-	-	-	-	-	200	Ω
Oscillator Frequency (Note 3)	f <sub>OSC</sub>	V+ = 3V (same as 5V conditions)	-	-	-	5.0	8	-	kHz
		0°C < T <sub>A</sub> < 70°C	-	-	-	3.0	-	-	kHz
		-40°C < T <sub>A</sub> < 85°C	-	-	-	3.0	-	-	kHz

## ICL7660, ICL7660A

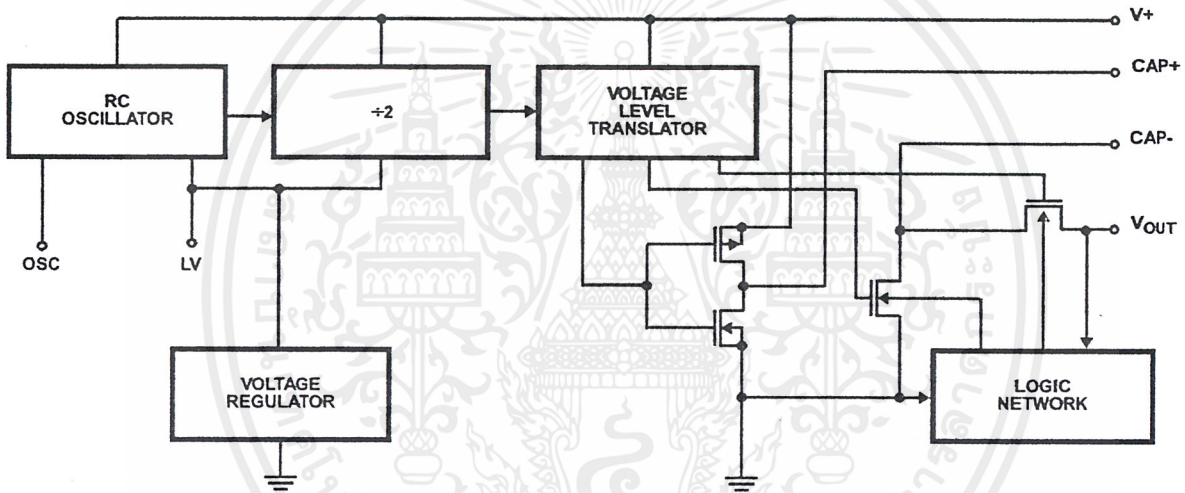
**Electrical Specifications** ICL7660 and ICL7660A,  $V_+ = 5V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ ,  $C_{OSC} = 0$ , Test Circuit Figure 11  
Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL7660			ICL7660A			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Voltage Conversion Efficiency	$V_{OUTEFF}$	$V_+ = 3V, R_L = \infty$	-	-	-	99	-	-	%
		$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	-	-	-	99	-	-	%
Power Efficiency	$P_{EFF}$	$V_+ = 3V, R_L = 5k\Omega$	-	-	-	96	-	-	%
		$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	-	-	-	95	-	-	%

**NOTES:**

- Connecting any input terminal to voltages greater than  $V_+$  or less than GND may cause destructive latchup. It is recommended that no inputs from sources operating from external supplies be applied prior to "power up" of the ICL7660, ICL7660A.
- Derate linearly above  $50^\circ C$  by  $5.5mW/^\circ C$ .
- In the test circuit, there is no external capacitor applied to pin 7. However, when the device is plugged into a test socket, there is usually a very small but finite stray capacitance present, of the order of 5pF.
- The Intersil ICL7660A can operate without an external diode over the full temperature and voltage range. This device will function in existing designs which incorporate an external diode with no degradation in overall circuit performance.

### Functional Block Diagram



### Typical Performance Curves (Test Circuit of Figure 11)

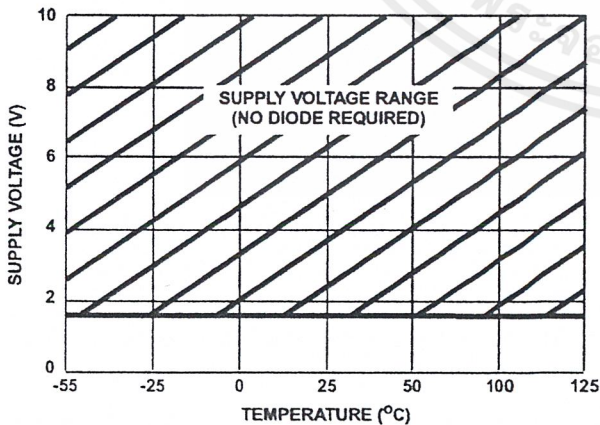


FIGURE 1. OPERATING VOLTAGE AS A FUNCTION OF TEMPERATURE

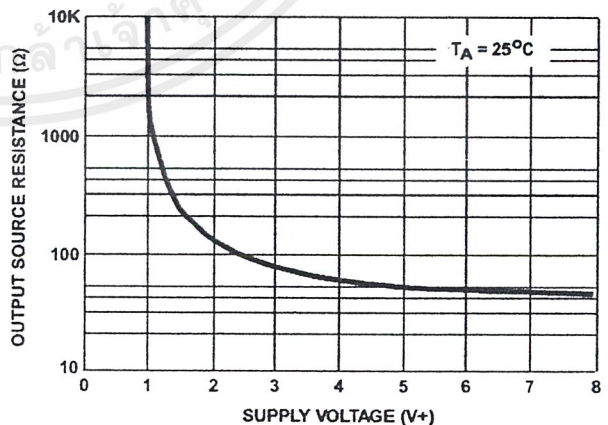


FIGURE 2. OUTPUT SOURCE RESISTANCE AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE

Typical Performance Curves (Test Circuit of Figure 11) (Continued)

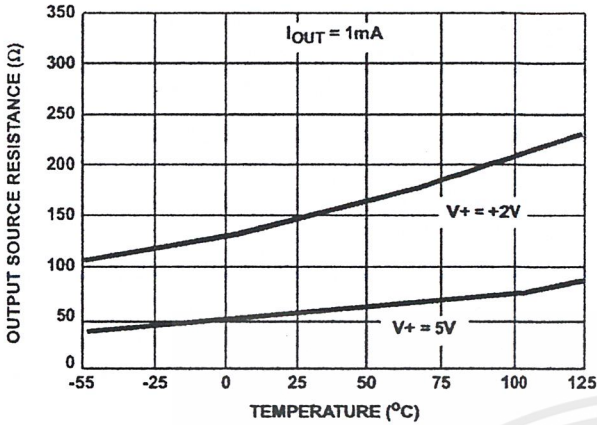


FIGURE 3. OUTPUT SOURCE RESISTANCE AS A FUNCTION OF TEMPERATURE

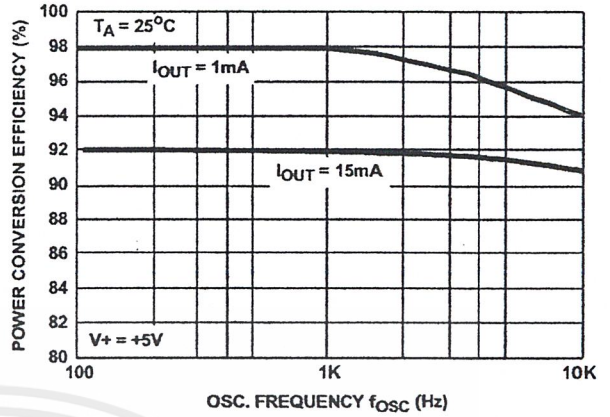


FIGURE 4. POWER CONVERSION EFFICIENCY AS A FUNCTION OF OSC. FREQUENCY

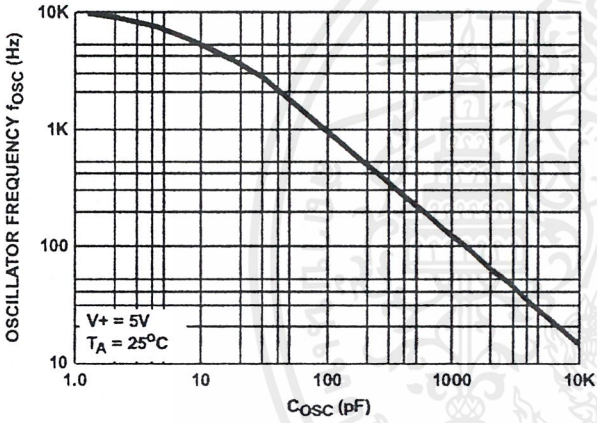


FIGURE 5. FREQUENCY OF OSCILLATION AS A FUNCTION OF EXTERNAL OSC. CAPACITANCE

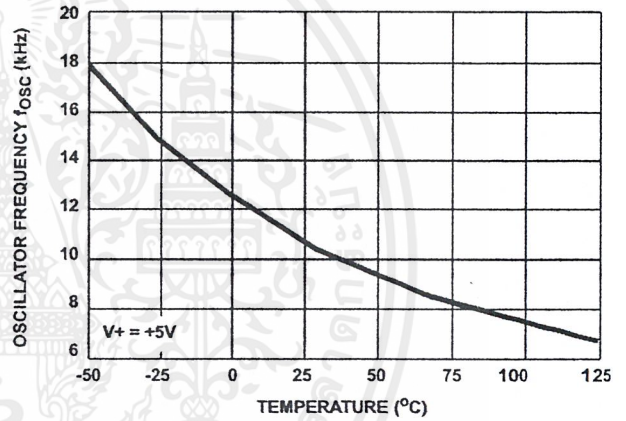


FIGURE 6. UNLOADED OSCILLATOR FREQUENCY AS A FUNCTION OF TEMPERATURE

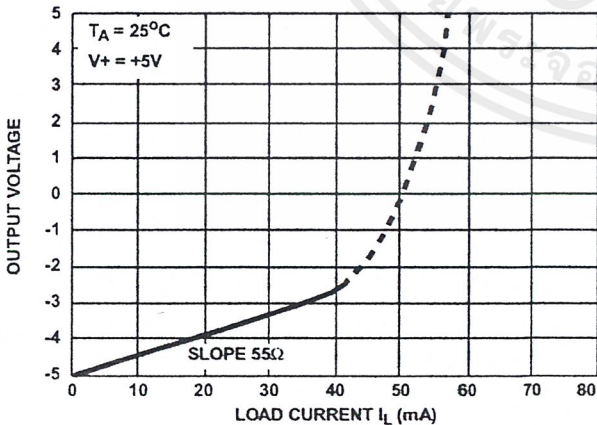


FIGURE 7. OUTPUT VOLTAGE AS A FUNCTION OF OUTPUT CURRENT

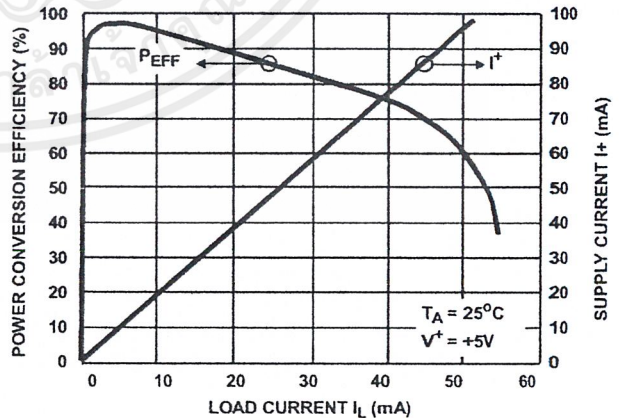


FIGURE 8. SUPPLY CURRENT AND POWER CONVERSION EFFICIENCY AS A FUNCTION OF LOAD CURRENT

Typical Performance Curves (Test Circuit of Figure 11) (Continued)

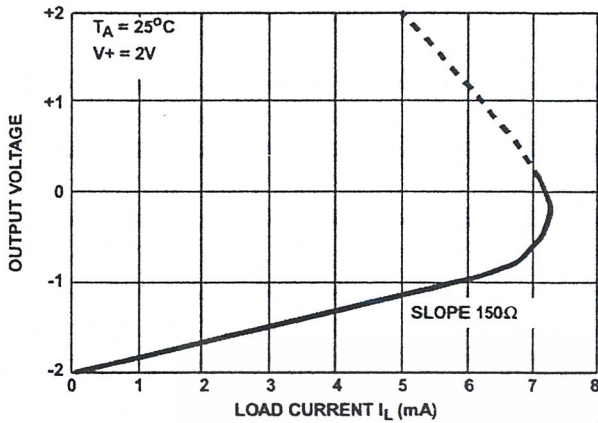


FIGURE 9. OUTPUT VOLTAGE AS A FUNCTION OF OUTPUT CURRENT

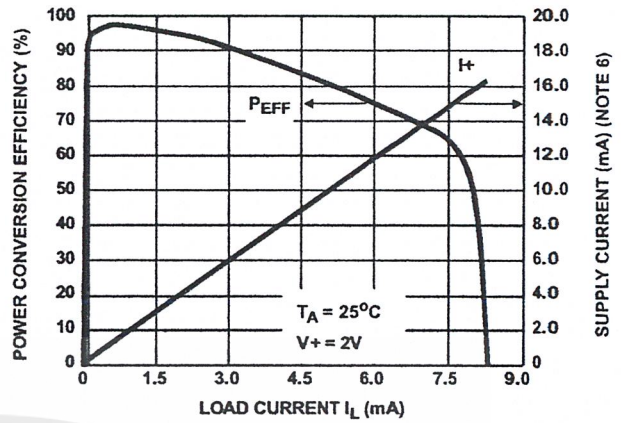
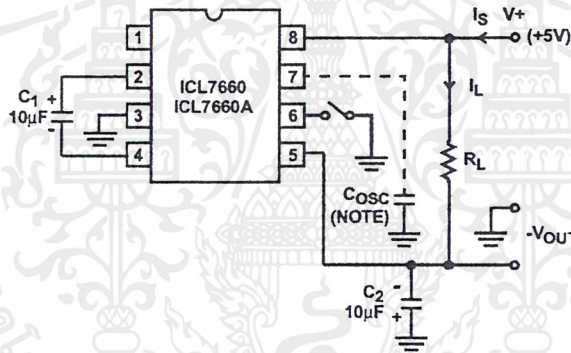


FIGURE 10. SUPPLY CURRENT AND POWER CONVERSION EFFICIENCY AS A FUNCTION OF LOAD CURRENT

NOTE:

- 6. These curves include in the supply current that current fed directly into the load  $R_L$  from the  $V+$  (See Figure 11). Thus, approximately half the supply current goes directly to the positive side of the load, and the other half, through the ICL7660/ICL7660A, to the negative side of the load. Ideally,  $V_{OUT} \approx 2V_{IN}$ ,  $I_S \approx 2I_L$ , so  $V_{IN} \times I_S \approx V_{OUT} \times I_L$ .



NOTE: For large values of  $C_{OSC}$  ( $>1000pF$ ) the values of  $C_1$  and  $C_2$  should be increased to  $100\mu F$ .

FIGURE 11. ICL7660, ICL7660A TEST CIRCUIT

Detailed Description

The ICL7660 and ICL7660A contain all the necessary circuitry to complete a negative voltage converter, with the exception of 2 external capacitors which may be inexpensive  $10\mu F$  polarized electrolytic types. The mode of operation of the device may be best understood by considering Figure 12, which shows an idealized negative voltage converter. Capacitor  $C_1$  is charged to a voltage,  $V+$ , for the half cycle when switches  $S_1$  and  $S_3$  are closed. (Note: Switches  $S_2$  and  $S_4$  are open during this half cycle.) During the second half cycle of operation, switches  $S_2$  and  $S_4$  are closed, with  $S_1$  and  $S_3$  open, thereby shifting capacitor  $C_1$  negatively by  $V+$  volts. Charge is then transferred from  $C_1$  to  $C_2$  such that the voltage on  $C_2$  is exactly  $V+$ , assuming ideal switches and no load on  $C_2$ . The ICL7660 approaches this ideal situation more closely than existing non-mechanical circuits.

In the ICL7660 and ICL7660A, the 4 switches of Figure 12 are MOS power switches;  $S_1$  is a P-Channel device and  $S_2$ ,  $S_3$  and  $S_4$  are N-Channel devices. The main difficulty with this approach is that in integrating the switches, the substrates of  $S_3$  and  $S_4$  must always remain reverse biased with respect to their sources, but not so much as to degrade their "ON" resistances. In addition, at circuit start-up, and under output short circuit conditions ( $V_{OUT} = V+$ ), the output voltage must be sensed and the substrate bias adjusted accordingly. Failure to accomplish this would result in high power losses and probable device latchup.

This problem is eliminated in the ICL7660 and ICL7660A by a logic network which senses the output voltage ( $V_{OUT}$ ) together with the level translators, and switches the substrates of  $S_3$  and  $S_4$  to the correct level to maintain necessary reverse bias.

## LM741 Operational Amplifier

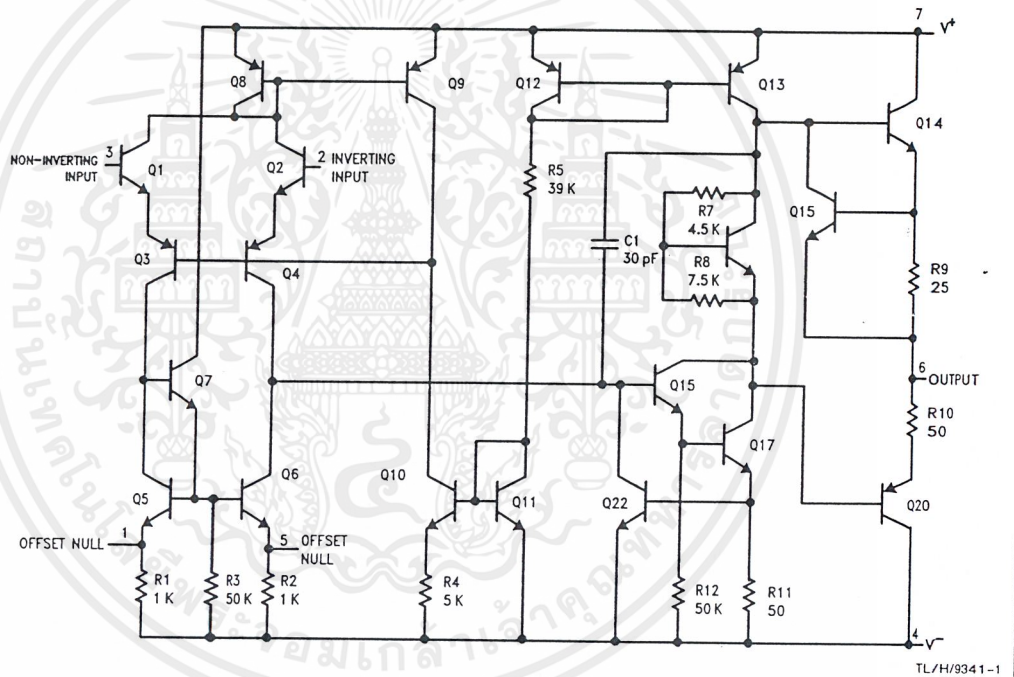
### General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

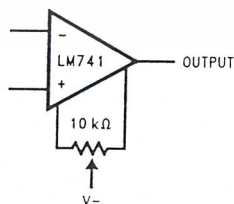
output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

### Schematic Diagram



Offset Nulling Circuit





## Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(Note 5)

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 2)	±15V	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	100°C	150°C	100°C
Soldering Information				
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C
M-Package				
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.				
ESD Tolerance (Note 6)	400V	400V	400V	400V

## Electrical Characteristics (Note 3)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	$\mu\text{A}$
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		$\text{M}\Omega$
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}, V_S = \pm 20\text{V}$		0.5								$\text{M}\Omega$
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13		V
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				±12	±13					V
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}, V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}$	50			50	200		20	200		V/mV V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}, R_L \geq 2\text{ k}\Omega,$ $V_S = \pm 20\text{V}, V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}$	32			25			15			V/mV V/mV V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}, V_O = \pm 2\text{V}$	10									V/mV

### Electrical Characteristics (Note 3) (Continued)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V$ $R_L \geq 10 k\Omega$ $R_L \geq 2 k\Omega$	$\pm 16$ $\pm 15$									V V
	$V_S = \pm 15V$ $R_L \geq 10 k\Omega$ $R_L \geq 2 k\Omega$				$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$		$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$		V V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ C$ $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10 10	25	35 40		25			25		mA mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10 k\Omega, V_{CM} = \pm 12V$ $R_S \leq 50\Omega, V_{CM} = \pm 12V$	80	95		70	90		70	90		dB dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20V$ to $V_S = \pm 5V$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10 k\Omega$	86	96		77	96		77	96		dB dB
Transient Response Rise Time Overshoot	$T_A = 25^\circ C$ , Unity Gain		0.25 6.0	0.8 20		0.3 5			0.3 5		$\mu s$ %
Bandwidth (Note 4)	$T_A = 25^\circ C$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ C$ , Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/ $\mu s$
Supply Current	$T_A = 25^\circ C$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ C$ $V_S = \pm 20V$ $V_S = \pm 15V$		80	150		50	85		50	85	mW mW
	LM741A $V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			165 135							mW mW
LM741E	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			150 150							mW mW
LM741	$V_S = \pm 15V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$					60 45	100 75				mW mW

**Note 1:** For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and  $T_J$  max. (listed under "Absolute Maximum Ratings").  $T_J = T_A + (\theta_{JA} P_D)$ .

Thermal Resistance	CerDip (J)	DIP (N)	HO8 (H)	SO-8 (M)
$\theta_{JA}$ (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
$\theta_{JC}$ (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

**Note 2:** For supply voltages less than  $\pm 15V$ , the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

**Note 3:** Unless otherwise specified, these specifications apply for  $V_S = \pm 15V$ ,  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$  (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ .

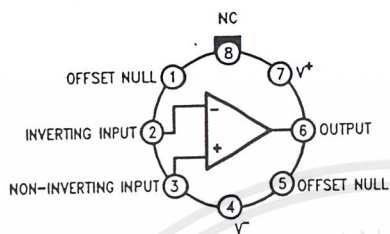
**Note 4:** Calculated value from:  $BW$  (MHz) =  $0.35/\text{Rise Time}(\mu s)$ .

**Note 5:** For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

**Note 6:** Human body model, 1.5 k $\Omega$  in series with 100 pF.

### Connection Diagrams

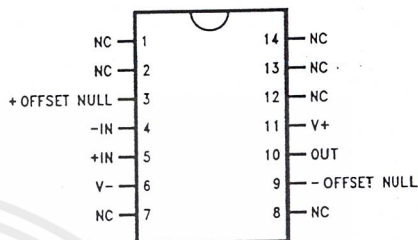
#### Metal Can Package



TL/H/9341-2

Order Number LM741H, LM741H/883\*, LM741AH/883 or LM741CH  
See NS Package Number H08C

#### Ceramic Dual-In-Line Package



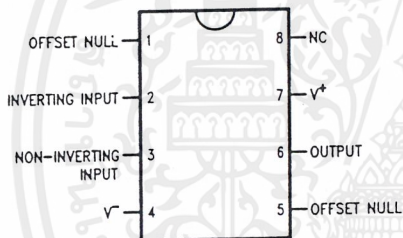
TL/H/9341-5

Order Number LM741J-14/883\*, LM741AJ-14/883\*\*  
See NS Package Number J14A

\*also available per JM38510/10101

\*\*also available per JM38510/10102

#### Dual-In-Line or S.O. Package



TL/H/9341-3

Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CM, LM741CN or LM741EN  
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

#### Ceramic Flatpak



TL/H/9341-6

Order Number LM741W/883  
See NS Package Number W10A

\*LM741H is available per JM38510/10101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

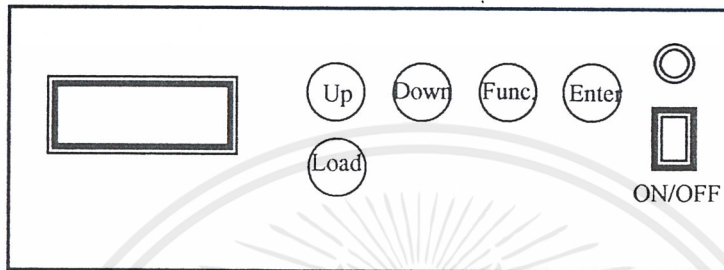


**ภาคผนวก ง**  
**วิธีการใช้งานเครื่องทดสอบคุณสมบัติ**  
**กระแสน้ำและแรงดัน**


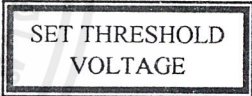
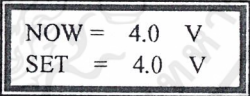
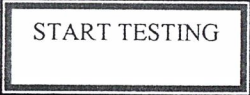
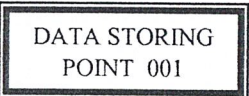
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้งานเครื่องทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

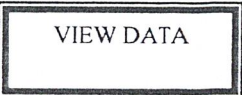
เครื่องทดสอบนี้มีฟังก์ชันการใช้งานประกอบด้วยจอ LCD สำหรับการแสดงผล 1 ชุด, ปุ่มกด 5 ปุ่ม, สวิตช์เปิด/ปิด และ LED แสดงสถานะสวิตช์



รูปที่ 1 แสดงฟังก์ชันต่างๆในการใช้งานเครื่องทดสอบคุณสมบัติกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์  
ขั้นตอนการใช้งาน

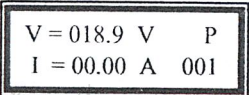
1. กดสวิตช์ ON/OFF จะปรากฏหน้าจอ 
2. กดปุ่ม Func. เลื่อนหน้าจอไปยังหน้าจอสำหรับการกำหนดแรงดันเริ่มต้น 
3. กดปุ่ม Enter เพื่อเข้าสู่การกำหนดค่าแรงดันในข้อ 2. 
4. กดปุ่ม Up หรือ Down เพื่อเพิ่มหรือลดค่าระดับแรงดันในข้อ 2.
5. กดปุ่ม Enter เพื่อยืนยันค่าที่ตั้งไว้(ค่า SET)
6. กดปุ่ม Func. เลื่อนหน้าจอไปยังหน้าจอสำหรับการเริ่มทดสอบ 
7. กดปุ่ม Enter เพื่อเริ่มการทดสอบ 
8. เมื่อเครื่องทำการทดสอบเสร็จ(PPOINT 100) กดปุ่ม Func. เลื่อนหน้าจอไปยังหน้าจอสำหรับ

การดูข้อมูล



VIEW DATA

9. กดปุ่ม Enter เพื่อดูข้อมูลที่ได้



V = 018.9 V P  
I = 00.00 A 001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. กดปุ่ม Up หรือ Down เพื่อดูข้อมูลลำดับถัดไปหรือลำดับก่อนหน้า

11. ต่อเครื่องทดสอบนี้เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ กดปุ่ม Load เพื่อนำข้อมูลที่เก็บได้

ไปพล็อตกราฟและวิเคราะห์หาค่าถึงสูงสุดที่จ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ภาคผนวก จ

## โปรแกรม MATLAB ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

```
x=[Voltage Data]
y=[Current Data]

coef=polyfit(x,y,4)
V=[19.5:-0.01:0]
I=polyval(coef,V)
P=V.*I
M=max(P)
Q=find(P==M)
subplot(2,1,1)
plot(V,I,'m-')
hold on
plot([0,V(Q)],[I(Q),I(Q)],':k')
plot([V(Q),V(Q)],[0,I(Q)],':k')
Is=coef(5)
xlabel('Voltage(V)')
ylabel('Current(A)')
hold off
text(V(Q),I(Q),['\bullet      (' ,num2str(V
(Q)) ,',' ,num2str(I(Q)) ,') '],...
    'VerticalAlignment','middle',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'FontSize',10)

Im=I(Q)
Vm=V(Q)
subplot(2,1,2)
plot(V,P)
xlabel('Voltage(V)')
ylabel('Power(W)')
text(V(Q),M,['\bullet      Pmax=',' ,num2str(M) ,'
W'] ,...
    'VerticalAlignment','middle',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'FontSize',10)
```



## บรรณานุกรม

สมยศ จุณณะปิยะ. การประยุกต์การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์,  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, นวัตกรรมสารพิมพ์, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2542  
ไชยันต์ สุวรรณวีระ. รวมบทความและทฤษฎีการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ,  
กรุงเทพมหานคร, บริษัท ซีอีดียูเคชั่น จำกัด, 2542  
**AVR ENHANCED RISC MICROCONTROLLER DATA BOOK, EET CO; LTD**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้