

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงและ  
การออกแบบระบบทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์  
DYE-SENSITIZER SOLAR CELLS AND  
SOLAR MEASUREMENT SYSTEM**



T119422



นาย ชีรวัดน์ วัชรรัตนพล  
นางสาว สุวรรณา แซ่ฟ่าน  
นาย หิรัญกร สิริมณฑารักษ์  
นางสาว อัจจิภรณ์ เดชบุญ

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **119422**  
วัน,เดือน,ปี..... **- 7 S.ค. 2554**

b. **119422**  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงและ  
การออกแบบระบบทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์  
DYE-SENSITIZER SOLAR CELLS AND  
SOLAR MEASUREMENT SYSTEM

โดย

นาย ชีรวัฒน์ วัชรรัตนพล รหัส 50010711  
นางสาว สุวรรณษา แซ่พ่าน รหัส 50011779  
นาย หิรัญกร สิริมณฑารักษ์ รหัส 50011812  
นางสาว อัจจิภรณ์ เดชบุญ รหัส 50011913

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงและการออกแบบระบบทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

DYE-SENSITIZER SOLAR CELLS AND SOLAR MEASUREMENT SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นาย ชีรวัดน์ วัชรรัตนพล รหัสนักศึกษา 50010711
2. นางสาว สุวรรณฯ แซ่ฟ่าน รหัสนักศึกษา 50011779
3. นาย หิรัญกร สิริมณฑารักษ์ รหัสนักศึกษา 50011812
4. นางสาว อัจจิภรณ์ เฉษฐบุญ รหัสนักศึกษา 50011913



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.เต็มพงษ์ เพ็ชรภูด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงและ การออกแบบระบบทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

นายธีรวัฒน์	วัชรรัตน์พล	50010711
นางสาวสุวรรณา	แซ่พาน	50011779
นายหิรัญกร	สิริมณฑารักษ์	50011812
นางสาวอัจฉิภรณ์	เดชบุญ	50011913
รศ.ดร.เต็มพงษ์	เพ็ชรกุล	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2553

## บทคัดย่อ

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำศึกษา เนื่องจากผลิตได้ง่าย และใช้วัสดุราคาไม่แพง เซลล์แสงอาทิตย์นี้มีองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ต่างกันเป็นชั้นๆจึงสามารถเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าได้ ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ทำได้โดยการใช้เครื่องทดสอบเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ศักดาขณะเปิดวงจร กระแสขณะลัดวงจร และ ศักดาสูงสุด กระแสสูงสุด ณ จุดที่ให้กำลังงานสูงสุด ซึ่งคณะผู้จัดทำได้จัดทำเครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมา โดยการใช้ LabVIEW ร่วมกับวงจร Active load และเครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้ากับ กระแสไฟฟ้า ผ่านทางจอคอมพิวเตอร์ได้

# Dye-sensitizer Solar Cells and Solar Measurement System

Mr. Teerawat Watchrarattanapol 50010711

Miss Suwanna Seapan 50011779

Mr. Hiranyakorn Sirimontarak 50011812

Miss Ajjiporn Dathbun 50011913

Assoc. Prof. Dr. Toempong Petchakul Advisor

Academic Year 2010

## ABSTRACT

We can examine the open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ), short-circuit current ( $I_{sc}$ ), maximum power of the cell ( $P_{max}$ ), voltage at  $P_{max}$  ( $V_{max}$ ) and current at  $P_{max}$  ( $I_{max}$ ) of solar cell by tester. To get the clear and absolute result of the examination, the solar simulator are essential to the accurate measurement results. And can be applied to the other instrumentation. So we perform the project about solar simulator by using LabVIEW with active load circuit. In addition, the solar simulator can connect to the computer to show the graph of relationship between voltage and current through the monitor

# กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ สำเร็จลงได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากหลายท่าน จึงทำให้ปัญหาต่างๆ ที่ประสบสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ดังนั้นแล้วผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและให้คำปรึกษา ตลอดจนความคิดเห็นหรือแม้กระทั่งข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานไม่ว่าจะเป็น รศ.ดร.เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ รุ่นพี่ที่รู้จักทั้งในและนอกสถาบันและเพื่อนๆ ตลอดจนท่านที่แต่งตำราหนังสือทุกท่าน ที่ผู้จัดทำ ได้นำข้อมูลที่ท่านได้เรียบเรียงมาใช้ให้เกิดความรู้และเป็นประโยชน์มากที่สุด

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอกล่าวคำขอบคุณอย่างยิ่งที่ได้รับความช่วยเหลือจากทุกท่านไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ธีรวัฒน์ วัชรรัตนพล

(ธีรวัฒน์ วัชรรัตนพล)

สุวรรณา แซ่ฟ่าน

(สุวรรณา แซ่ฟ่าน)

หิรัญกร สิริมณฑารักษ์

(หิรัญกร สิริมณฑารักษ์)

อััจฉิกรณ์ เชนบุญ

(อััจฉิกรณ์ เชนบุญ)

ผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.5 รายละเอียดของเนื้อหาในรายงาน.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์.....	3
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.2.1 ประวัติความเป็นมาของเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.2.2 การแบ่งประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม.....	10
2.4 องค์ประกอบสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม.....	10
2.4.1 ฟิล์มบางออกไซด์นำไฟฟ้าโปร่งแสง.....	11
2.4.2 สารละลายแพลททินัม.....	11
2.4.3 สารไททานเนียมไดออกไซด์.....	12
2.4.4 ตัวรับแสง.....	13
2.4.5 Eosin-Y.....	15
2.5 หลักการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม.....	16

2.6 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	18
2.6.1 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน.....	18
2.6.2 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร.....	18
2.6.3 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด.....	19
2.6.4 ฟิสิกส์เพกเตอร์.....	19
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	19
2.7.1 รั้งสีดวงอาทิตย์ที่ผิวโลก.....	19
2.7.2 องค์ประกอบของแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	19
2.7.3 Air mass.....	20
2.8 โปรแกรม LabVIEW.....	20
2.8.1 ข้อดีของ LabVIEW สำหรับงานปฏิบัติการ DSP.....	21
2.8.2 หลักการไหลของข้อมูล.....	24
2.8.3 ไลบรารี.....	24
2.8.4 โครงสร้างไคร์ฟเวอร์ของเครื่องมือวัด.....	25
2.8.5 อุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อโดยผ่านคำสั่งของ LabVIEW.....	27
2.8.5.1 DAQ Board.....	27
2.8.5.2 GPIB.....	28
2.8.5.3 Serial Communication.....	29
บทที่ 3 วิธีการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ขั้วโวลต์.....	31
3.1 การทดลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ขั้วโวลต์.....	31
3.1.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ขั้วโวลต์.....	31
3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์.....	31
3.1.3 วิธีการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ขั้วโวลต์.....	31
3.2 การออกแบบระบบทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์.....	32
3.2.1 แนวความคิดพื้นฐาน.....	35
3.2.2 การทำงานของระบบ.....	36
3.2.2.1 Test Circuit.....	37
3.2.2.2 Instrument & Measurement Process.....	40
3.2.2.3 Analysis and Presentation By LabVIEW Program.....	42

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	45
4.1 ผลการวัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ขั้วอมไวแสง.....	46
4.1.1 ผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ขั้วอมไวแสงขนาด 0.5 x 0.5 cm <sup>2</sup> .....	46
4.1.2 ผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ขั้วอมไวแสงขนาด 0.5 x 1 cm <sup>2</sup> .....	47
4.1.3 ผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ขั้วอมไวแสงขนาด 1 x 1 cm <sup>2</sup> .....	48
4.1.4 ผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ขั้วอมไวแสงขนาด 1 x 2 cm <sup>2</sup> .....	49
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	52
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	52
5.2 สรุปผลการทดลอง.....	54

บรรณานุกรม  
ภาคผนวก



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์และคุณสมบัติ.....	9
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของสารละลายแพลทินัม..	11
ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของสารละลายTiO <sub>2</sub> .....	13
ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของ Eosin-Y .....	16
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ข้อมที่พื้นที่ 0.5x0.5 cm <sup>2</sup> ...	46
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ข้อมที่พื้นที่ 0.5x1 cm <sup>2</sup> ...	47
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ข้อมที่พื้นที่ 1x1 cm <sup>2</sup> .....	48
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ข้อมที่พื้นที่ 1x2 cm <sup>2</sup> .....	49
ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่ข้อมไวแสง ที่พื้นที่ต่างๆ.....	51

# สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
รูปที่ 2.1 แผนที่สัคยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย.....	4
รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมการแบ่งกลุ่มเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก.....	7
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างและองค์ประกอบภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง....	7
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างและโครงสร้างภายในของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ.....	8
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของ $TiO_2$ .....	12
รูปที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบระดับพลังงานของDyeและ Conduction Band ของ $TiO_2$ .....	14
รูปที่ 2.8 แสดงสูตร โครงสร้างของ Eosin-Y.....	15
รูปที่ 2.9 แสดงการดูดกลืนพลังงานของ Eosin-Y.....	15
รูปที่ 2.10 แสดงการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	17
รูปที่ 2.11 แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป.....	18
รูปที่ 2.12 แสดงการหาค่า Air mass .....	20
รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่าง โปรแกรม LabVIEW.....	21
รูปที่ 2.14 แสดงหลักการทำงานของเครื่องมือวัด.....	23
รูปที่ 2.15 แสดง โครงสร้างไลบรารีของ LabVIEW แบบเชิงโครงการ.....	24
รูปที่ 2.16 แสดงอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อ โดยผ่านคำสั่งของ LabVIEW .....	26
รูปที่ 2.17 แสดง DAQ Board.....	27
รูปที่ 2.18 แสดง GPIB Board .....	28
รูปที่ 2.19 แสดง โปรโตคอล ของ GPIB.....	29
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
รูปที่ 3.1 แสดงการตรวจสอบกระแสจกด้านที่นำ ไฟฟ้า.....	32
รูปที่ 3.2 แสดงการกำหนดพื้นที่ขนาด $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$ .....	32
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการเคลือบ $TiO_2$ ลงบนกระจกนำไฟฟ้า.....	32
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการเคลือบ Pt ลงบนกระจกนำไฟฟ้า.....	33
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการให้ความร้อนบนเตาไฟฟ้า (Hot plate).....	33

รูปที่ 3.6 แสดงการแซ่กระจกที่เคลือบด้วยTiO <sub>2</sub> ซึ่งผ่านการให้ความร้อนแล้ว ลงในสี่เหลี่ยม.....	33
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งผ่านการเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	34
รูปที่ 3.8 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่เหลี่ยม ไวแสงที่มีขนาดพื้นที่ต่างๆ .....	34
รูปที่ 3.9 ก) วงจรพื้นฐานของการวัดเซลล์แสงอาทิตย์.....	35
ข) วงจรเสมือนภายในของเซลล์แสงอาทิตย์.....	35
รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ.....	36
รูปที่ 3.11 แสดงวงจร Active Load .....	37
รูปที่ 3.12 แสดงวงจร Relay.....	38
รูปที่ 3.13 แสดงวงจรควบคุมการเปิด-ปิดแสง.....	38
รูปที่ 3.14 แสดงวงจร Light Monitor .....	39
รูปที่ 3.15 แสดงยูสเคสไดอะแกรมของเครื่องมือวัด Agilent E3631A.....	40
รูปที่ 3.16 แสดงยูสเคสไดอะแกรมของเครื่องมือวัด Agilent 34401A.....	41
รูปที่ 3.17 Flow chart แสดงการทำงานส่วนหลักของโปรแกรม.....	43
รูปที่ 3.18 Flow chart แสดงการทำงานส่วนย่อยของส่วน Test Measurement.....	44

#### บทที่ 4 ผลการทดลอง

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสี่เหลี่ยม ไวแสงที่มีขนาดพื้นที่ 0.5 x 0.5 cm <sup>2</sup> .....	46
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสี่เหลี่ยม ไวแสงที่มีขนาดพื้นที่ 0.5 x 1 cm <sup>2</sup> .....	47
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสี่เหลี่ยม ไวแสงที่มีขนาดพื้นที่ 1 x 1cm <sup>2</sup> .....	48
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสี่เหลี่ยม ไวแสงที่มีขนาดพื้นที่ 1 x 2 cm <sup>2</sup> .....	49
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ I-V Characteristic curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสี่เหลี่ยม ไวแสงที่พื้นที่ต่างๆ.....	50
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ J-V Characteristic curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสี่เหลี่ยม ไวแสงที่พื้นที่ต่างๆ.....	50
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของพื้นที่ต่อการเปลี่ยนแปลงของ ค่า V <sub>oc</sub> , I <sub>sc</sub> , P <sub>max</sub> , Eff, FF.....	51

บทที่ 5 สรุปลักษณะและวิเคราะห์ผลการทดลอง

รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของ I-V Characteristic ของ เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดต่างๆกัน.....	52
รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ของ J-V Characteristic ของ เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดต่างๆกัน.....	53
รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพื้นที่ต่อการเปลี่ยนแปลง ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....	53



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปริญญานิพนธ์

พลังงานไฟฟ้าถือเป็นปัจจัยที่สำคัญของการพัฒนาประเทศ การผลิตพลังงานไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานอื่นๆ เช่น เชื้อเพลิงซากฟอสซิล พลังงานหมุนเวียนได้แก่ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น จากการคาดการณ์พบว่า แหล่งพลังงานสำรองของประเทศไทย ปริมาณก๊าซธรรมชาติ 33 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต สามารถสำรองใช้ได้อีกประมาณ 30 ปี มีถ่านหิน ปริมาณ 1,330 ล้านตัน สามารถสำรองใช้ได้อีกประมาณ 62 ปี และมีปริมาณน้ำมันดิบ 714 ล้านบาร์เรล สามารถสำรองใช้ได้อีกประมาณ 62 ปี

อย่างไรก็ตาม จากอัตราการเติบโตของประเทศที่เพิ่มขึ้น เพื่อไปสู่ประเทศอุตสาหกรรมใหม่ ทำให้ประเทศไทยยังคงต้องมีการนำเข้าเชื้อเพลิงต่างประเทศเพื่อมาผลิตเป็นพลังงานต่อไป ดังนั้นเพื่อลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศและเพื่อความมั่นคงด้านพลังงาน ประเทศไทยจำเป็นต้องมีการเร่งพัฒนา และหันมาใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ดวงอาทิตย์จัดเป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่สะอาด ไม่ให้มลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด แสงอาทิตย์นอกจากจะใช้เป็น แหล่งพลังงานความร้อน ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยเซลล์ แสงอาทิตย์ (solar cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำผลึกเดี่ยวซิลิคอน ได้ถูก พัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงเป็นครั้งแรกในปี.ศ. 1954 โดย Chapin และคณะ ณ ห้องปฏิบัติการเบลล์ ประเทศสหรัฐอเมริกา หลังจากนั้นได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบันได้มีการ ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำซิลิคอนในเชิงพาณิชย์ แต่เนื่องจาก กระบวนการผลิตที่ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและต้องการซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูง ทำให้เซลล์ แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีราคาแพงเกินไปที่จะใช้ในบ้านเรือนทั่วไป ดังนั้นได้มีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสารอินทรีย์ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (dye-sensitized solar cell, DSSC) ขึ้นมา และ ในปัจจุบันกำลังเป็นที่สนใจเป็นอย่างมากทั้งในเชิงวิชาการและในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากเซลล์ แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ ซิลิคอน แต่มีกระบวนการผลิตที่ง่ายกว่า ทำให้มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ขณะรับแสงและจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงออกมา เมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์มาเป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้า เรา

ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น จึงได้จัดทำเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น เพื่อวัดประสิทธิภาพของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

- 1) เพื่อศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง
- 2) เพื่อทดลองการใช้สียอมไวแสงชนิดสีสังเคราะห์
- 3) เพื่อให้เข้าใจและสามารถเขียน โปรแกรมลงบน Labview ได้

## 1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถผลิตแผงโซลาร์เซลล์ใช้เองได้ในราคาต้นทุนที่ไม่สูงมากนัก
- 2) ฝึกทักษะการเขียน โปรแกรม Labview
- 3) สามารถนำความรู้ที่ได้ไปวางแนวทางในการพัฒนาระบบเครื่องมือวัดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

## 1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของปริญญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำได้วางแผนขอบเขตของปริญญานิพนธ์ไว้ว่า สามารถวัดค่ากระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ แล้วนำมาแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ ผ่านทางจอคอมพิวเตอร์

## 1.5 รายละเอียดของเนื้อหาในรายงาน

ในรายงานฉบับนี้ ได้แสดงถึงรายละเอียดของปริญญานิพนธ์ที่ได้จัดทำขึ้นมา ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อต่างๆ รวมทั้งหมด 5 บท แต่ละบทกล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

**บทที่ 1** บทนำของรายงานได้กล่าวถึงความสำคัญและที่มา วัตถุประสงค์ ขอบเขต ผลที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

**บทที่ 2** กล่าวถึงทฤษฎี และแนวความคิดที่ได้ศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

**บทที่ 3** กล่าวถึงวิธีการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสงและการออกแบบระบบทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

**บทที่ 4** แสดงผลการทดลอง

**บทที่ 5** สรุปผล วิเคราะห์ผลการทดลอง

## บทที่ 2

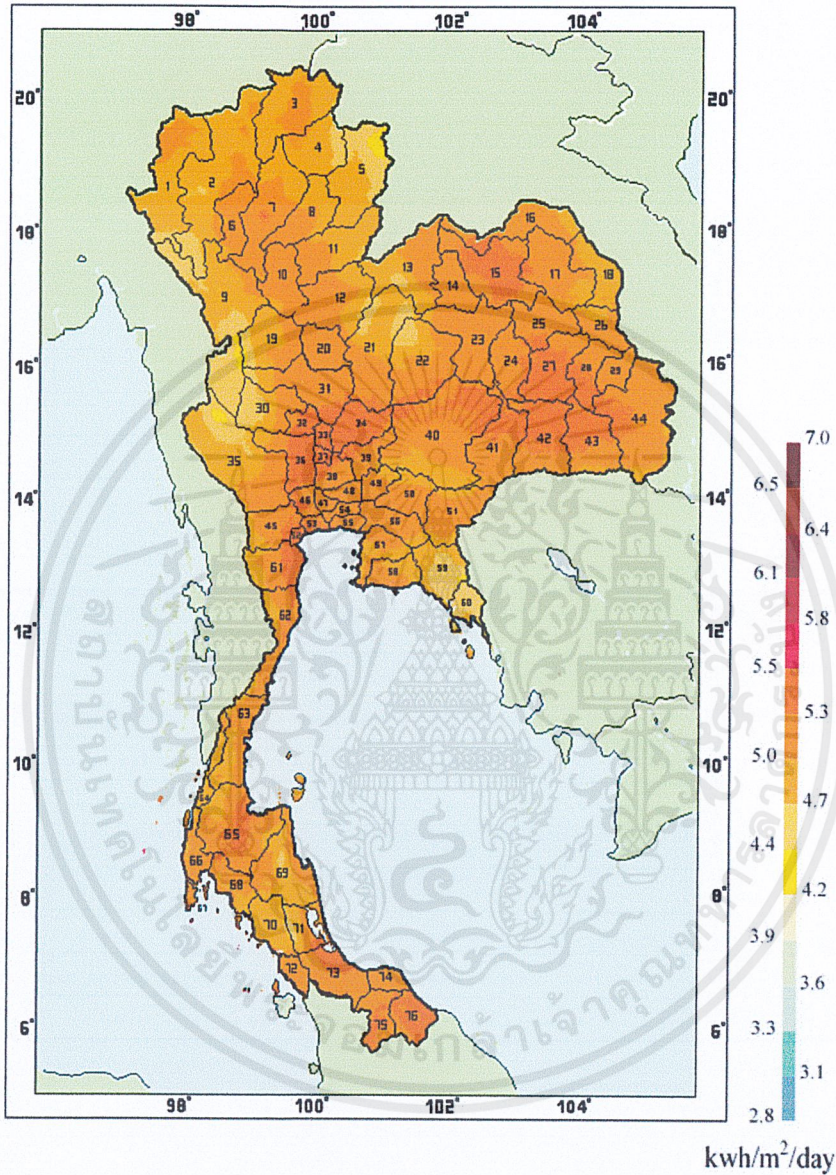
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาฟิวชั่นของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่า รังสีแสงอาทิตย์ (Solar Radiation) รังสีนี้จะแพร่กระจายออกทุกทิศทุกทาง โลกของเราก็ได้รับอิทธิพลจากรังสีนี้ โดยมีความเข้มของรังสีที่ตกลงบนผิวโลกประมาณ 961-1,191 วัตต์ต่อตารางเมตร หรือคิดเป็นพลังงานประมาณ 2,000-2,500 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี การพัฒนาแหล่งพลังงานที่สะอาด เพื่อชดเชยการใช้น้ำมัน เป็นงานที่ทำนายและสำคัญมากของนักวิทยาศาสตร์ ในปัจจุบันในจำนวนโครงการผลิตพลังงานทดแทนทั้งหมด กล่าวได้ว่า โครงการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นโครงการที่เหมาะสมที่สุดอย่างหนึ่งเพราะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นปราศจากมลภาวะเป็นพิษ มีแหล่งพลังงานอยู่ทั่วไปและไม่สิ้นสุด ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานขนาดมหึมา พลังงานที่ดวงอาทิตย์สร้างขึ้นมีประมาณ  $3.8 \times 1,023$  กิโลวัตต์ แต่เนื่องจากระยะทางที่ห่างจากโลกถึง 93 ล้านไมล์ ทำให้พลังงานที่ส่งมายังโลกลดน้อยลง พลังงานแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงโลกประมาณ  $1.8 \times 1,014$  กิโลวัตต์ ถูกดูดซับโดยบรรยากาศและพื้นโลกประมาณ  $1.25 \times 1,014$  กิโลวัตต์ ในขณะที่พลังงานที่มนุษย์ใช้รวมกันทั้งโลกประมาณ  $1 \times 1,014$  กิโลวัตต์ จะเห็นได้ว่า พลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์มีค่ามากกว่าพลังงานที่มนุษย์ใช้รวมกันทั้งโลกประมาณ 10,000 เท่า ในปัจจุบันความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศประมาณวันละ 250 ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมง ถ้าต้องการผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด จำเป็นต้องใช้พื้นที่ประมาณ 1,500 ตารางกิโลเมตรหรือคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 0.3% ของประเทศเท่านั้น ในอดีตการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาแพงมาก แต่เนื่องจากปัจจุบันราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ลดลงอย่างมาก และมีแนวโน้มว่าจะลดลงอีก เพราะประชาชนโดยทั่วไปได้ตระหนักถึงสถานะแวดล้อมเป็นพิษเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงาน จึงได้มีการหันมาใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2542 โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน) และคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร ในแต่ละเดือนนั้นการกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ของประเทศได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่

ของประเทศได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 – 24 เมกะจูลต่อตารางเมตร-วัน เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี



รูปที่ 2.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย จัดทำในปี พ.ศ. 2542

(หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยครอบคลุมบางส่วนของ จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี บางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อัญญา และลพบุรี โดยได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19-20 เมกะจูลต่อตารางเมตร -วัน พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีมีค่าเท่ากับ 18-19 เมกะจูลต่อตารางเมตร -วัน จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตร -วัน จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงาน แสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

## 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน

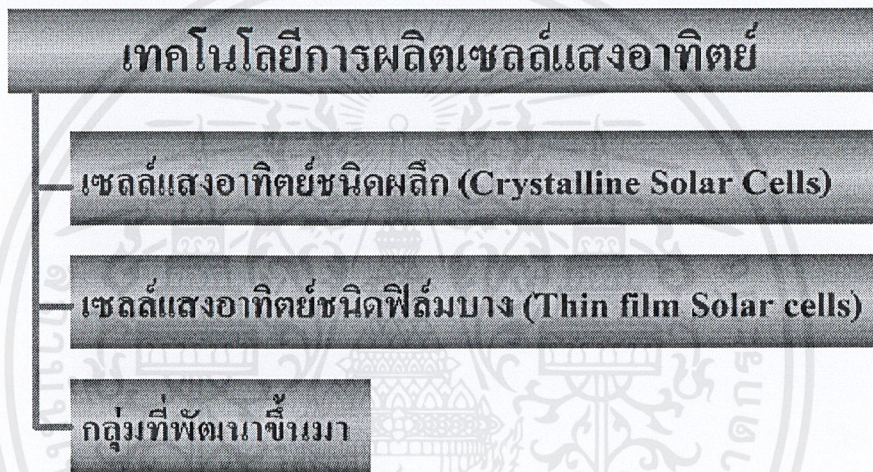
### 2.2.1 ประวัติความเป็นมาของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 (พ.ศ. 2497) โดยแชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียร์สัน (Pearson) แห่ง Bell Telephone โดยทั้งสามท่านนี้ได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อพี-เอ็น (P-N) แบบใหม่ โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอนจนได้เซลล์แสงอาทิตย์อันแรกของโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ซึ่งปัจจุบันนี้เซลล์แสงอาทิตย์ได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงกว่า 15%แล้ว ในระยะแรกส่วนใหญ่เซลล์แสงอาทิตย์จะถูกใช้ในเรือที่เกี่ยวข้องกับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียม ซึ่งจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ต่อมาจึงได้มีการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้บนผิวโลก เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ ส่วนใหญ่จะมีสีดำ แต่

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีสีต่างๆกันไป เช่น แดง น้ำเงิน เขียว ทอง เป็นต้น เพื่อความสวยงาม

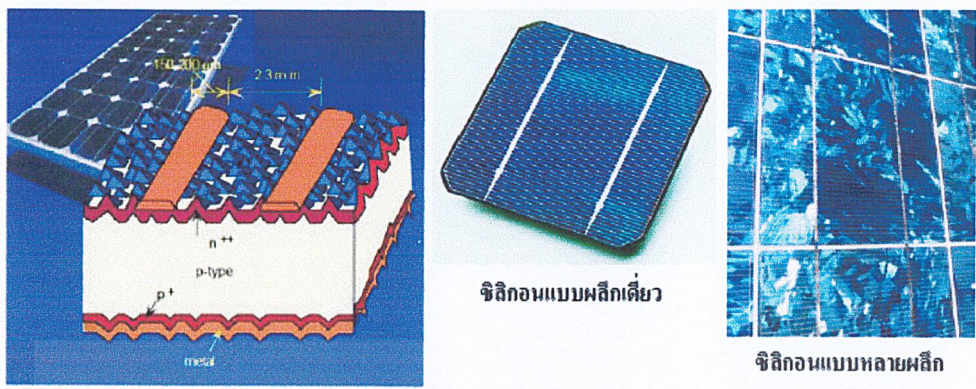
### 2.2.2 การแบ่งประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

การพัฒนาของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดต้นทุนด้านวัสดุในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้ราคาเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงแต่ต้องเพิ่มให้มีประสิทธิภาพสูง การแบ่งประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ตามเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film Solar cells) และกลุ่มที่พัฒนาขึ้นมา



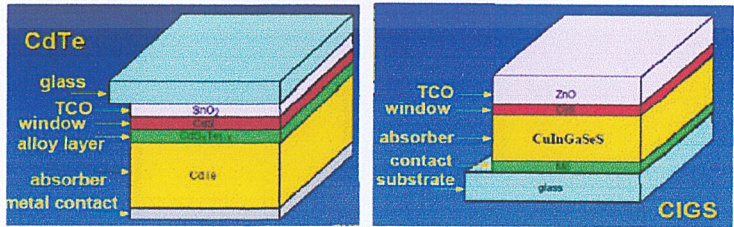
รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมการแบ่งกลุ่มเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells) ในกลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกมีความแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุสารกึ่งตัวนำดั้งเดิม (Semiconductor Material) เช่น ซิลิกอน (Si) และแกเลียม อาร์เซไนด์ (GaAs) เป็นต้น ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์จากผลึกซิลิกอนมีกรรมวิธีในการผลิตอยู่หลายวิธีจึงมีให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม ได้แก่ ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline silicon cells) ซิลิกอนแบบแผ่นฟิล์มบาง (Silicon ribbon cells) ซิลิกอนแบบหลายผลึก (Polycrystalline silicon cells) ซิลิกอนแบบแผ่นบางหลายผลึก (Polycrystalline thin film silicon cells) เป็นต้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของราคาและวัตถุประสงค์การใช้งาน มีการพัฒนาเป็นลำดับ ซึ่งได้รับการยอมรับในเชิงพาณิชย์และมีประสิทธิภาพ 10-15 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังคงมีต้นทุนของวัสดุค่อนข้างสูงในรูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกในเชิงพาณิชย์



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells)

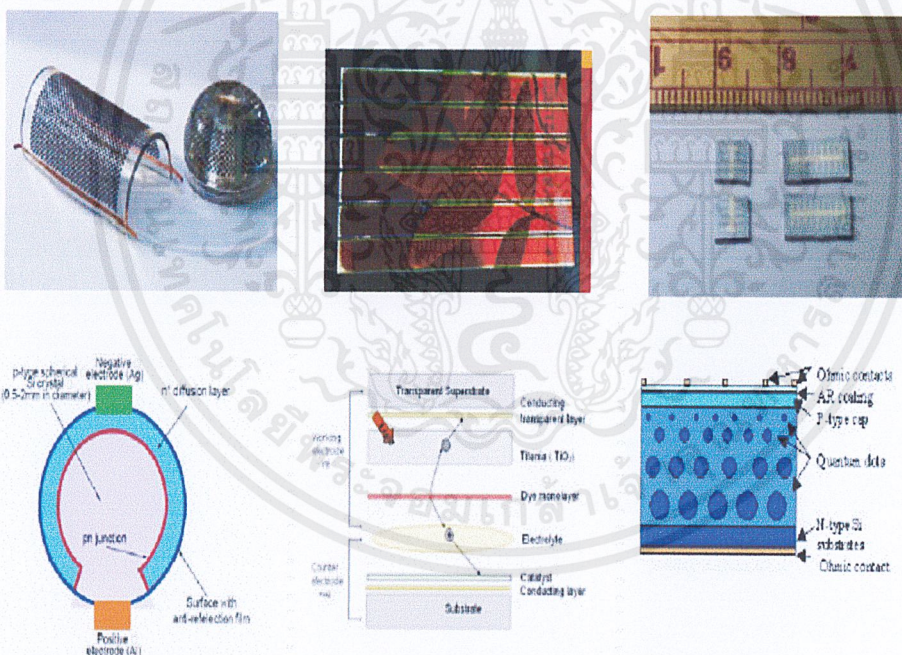
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film Solar cells) ในกลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางสามารถแบ่งออกตามเทคโนโลยีการผลิต ได้แก่ เซลล์ที่ผลิตจากอะมอร์ฟัสซิลิกอน เซลล์ที่ผลิตจากแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และ เซลล์ที่ผลิตจากคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลเนียม (CIGS) การศึกษาวิจัยและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 6 - 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้รับการยอมรับและผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางสำหรับใช้ในเชิงพาณิชย์ ตัวอย่างเซลล์และองค์ประกอบภายในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง แสดงในรูปที่ 2.4 ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของเซลล์แบบนี้จะน้อยกว่าเซลล์ชนิดผลึกซึ่งมี ข้อดีคือช่วยแก้ปัญหาทางด้านราคาได้ แต่ยังคงมีข้อสงสัยด้านการติดตั้งใช้งานในสภาวะจริงอายุการใช้งานและการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์ในระยะยาว



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างเซลล์และองค์ประกอบภายในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องจากชนิดผลึกและชนิดฟิล์มบางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ช่วยลดการสร้างมลพิษและเพิ่มอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ หากแบ่งตามการพัฒนาเทคโนโลยี เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ประเภททรงกลม (Spherical Micro Solar Cells) เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทคายเซนซิไทซ์ (Dye-sensitized Solar Cells) และเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทควอนตัมดอต (Quantum Dot Solar Cells) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 นั่นคือ เซลล์แสงอาทิตย์ประเภททรงกลมแบบทรงกลมจะสามารถรับแสงได้สามมิติ จึงมีเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแสงเพิ่มขึ้นและยังมีข้อดีในเรื่องของน้ำหนักเบากว่าแบบแผ่นราบเมื่อนำไปประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณของซิลิกอนตั้งต้นน้อยกว่ามากทำให้ลดต้นทุนลงได้ เซลล์แสงอาทิตย์แบบทรงกลมดังกล่าว ปัจจุบันมีการผลิตเชิงพาณิชย์แล้ว แต่ยังไม่เป็นการแพร่หลายนัก เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคายเซนซิไทซ์มีจุดเด่นในความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยมีหลักการออกแบบเซลล์จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชซึ่งมีการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์และน้ำเป็นคาร์โบไฮเดรต



(ก) เซลล์แสงอาทิตย์ทรงกลม (ข) เซลล์แสงอาทิตย์คายเซนซิไทซ์ (ค) เซลล์แสงอาทิตย์ควอนตัมดอต

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์และโครงสร้างภายในเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ

และก๊าซออกซิเจนจากแนวความคิดดังกล่าวจึงใช้การเคลือบผิววัสดุกึ่งตัวนำด้วยไทเทเนียมออกไซด์ให้คล้ายกับคลอโรฟิลล์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ได้มีการ

ผลิตขายในเชิงพาณิชย์บ้าง และมีประสิทธิภาพ 3-5 เปอร์เซ็นต์ เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทควอนตัมดอต (Quantum Dot Solar Cells: QD) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนผลทางเทอร์โมไดนามิกส์ของโฟตอนให้มีค่ามากที่สุด นับเป็นการพัฒนาจากข้อจำกัดของเซลล์ชนิดผลึก โดยเพิ่มประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์เป็น 66 เปอร์เซ็นต์ (จากเดิมของวัสดุสารกึ่งตัวนำทั่วไปอยู่ที่ 31-33 เปอร์เซ็นต์) ยังไม่มีการผลิตเชิงพาณิชย์แต่ก็ประกอบด้วยหลายหน่วยงานทั้งในและต่างประเทศที่ให้ความสนใจและดำเนินการศึกษาในเรื่องดังกล่าวซึ่งในประเทศไทยโดย Semiconductor Device Research Laboratory จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ทำการวิจัยพัฒนา Multi-Stacked High Density InAs Quantum Dot Molecule Solar Cells

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของโซลาร์เซลล์และคุณสมบัติ (ต่อเซลล์)

Classification	Effic(%)	Voc(V)	Jsc(mA/cm)	FF(%)
Si (crystalline)	24.0	0.709	40.9	82.74
Si (moderate area)	23.7	0.704	41.5	81.00
Si (multicrystalline)	17.8	0.628	36.2	78.50
Si (large multicrystalline)	17.2	0.610	36.4	77.70
Si (thin crystalline)	21.5	0.600	37.9	81.10
Si (supported film)	14.9	0.608	31.4	79.20
Si (large thin film)	14.2	1.022	30.0	78.10
GaAs (crystalline cell)	25.1	1.011	28.2	87.10
GaAs (thin film cell)	23.3	4.040	27.6	79.70
GaAs (submodule)	21.0	0.944	6.6	80.00
GaAs (multicrystalline cell)	18.2	0.878	23.0	79.70
InP (crystalline cell)	21.9	0.843	29.3	85.40
CdTe (cell)	15.8	9.406	25.1	74.50
CdTe (multicrystalline cell)	10.5	9.406	1.7	64.90
CIGS (cell)	16.4	0.678	32.0	75.80
CIGS (submodule)	14.2	6.808	3.1	68.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม (Dry-sensitized solar cell : DSSC)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมนี้ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ สีย้อมไวแสงที่เหมาะสมในการใช้งานควรมีคุณสมบัติเบื้องต้นคือ เป็นโมเลกุลที่ดูดกลืนแสงได้มากเป็นช่วงกว้างในช่วงความยาวคลื่นที่มีแสงตกลงมา มีคุณสมบัติในการถ่ายโอนอิเล็กตรอน มีความคงทน คือ ไม่สลายตัวเมื่อใช้งานไปนานๆ

### 2.4 องค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมมีดังนี้

- 1) กระจกนำไฟฟ้า(Transparent conductive oxide : TCO glass) ทำจากสารทินออกไซด์ที่เจือด้วยสารฟลูออไรด์ ( $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ) ซึ่งมีความเสถียรมากกว่าเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงหรืออาจใช้สารในกลุ่มออกไซด์ที่นำไฟฟ้าได้ (transparent conducting oxide, TCO) 1 ด้าน เพื่อส่งผ่านอิเล็กตรอน
- 2) ชั้นอนุภาคสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor layer) เป็นสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal-oxide semiconductor) ที่มีช่องว่างแถบพลังงานสูง (Wide band gap) และสามารถสร้างพันธะยึดเหนี่ยวกับ โมเลกุลสีย้อม ได้ โดยชั้นสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในที่นี้คือ  $\text{TiO}_2$  เนื่องจาก  $\text{TiO}_2$  แบบอนาเทสมีรูพรุนในรูปผลึกระดับนาโน เป็นวัสดุที่มีความเสถียร ราคาถูก ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ชั้นนี้ยังมีพื้นที่ผิวมากจะยิ่งดีเพราะความพรุนทำให้ยึดเกาะสีย้อมไวแสงได้มาก
- 3) โมเลกุลสีย้อม (Dry) สีย้อมไวแสงที่เหมาะสมในการใช้งานควรมีคุณสมบัติเบื้องต้นคือ เป็นโมเลกุลที่ดูดกลืนแสงได้มากเป็นช่วงกว้าง ในช่วงความยาวคลื่นที่มีแสงตกลงมา (เช่น ถ้ามีพันธะคู่สลับเดี่ยวหรือเป็นอะโรเมติก ก็จะได้เพราะสามารถดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วส่งอิเล็กตรอนผ่านพันธะไพ และยังมีเสถียรเมื่อเกิดประจุบวกในกระบวนการ) มีคุณสมบัติในการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ควรจะยึดเกาะบนผลึก  $\text{TiO}_2$  ได้ดี (เช่นการมีหมู่กรดอินทรีย์เป็นต้น) มีความคงทน คือ ไม่สลายตัวเมื่อใช้งานไปนานๆ สามารถดูดซับพลังงานแสงและปลดปล่อยอิเล็กตรอนสถานะกระตุ้น โดยจะยึดเกาะกับอนุภาคสารกึ่งตัวนำด้วยพันธะ  $-\text{OH}$  หรือ  $=\text{O}$  ซึ่งสีย้อมที่ใช้ในที่นี้คือ Eosin -Y
- 4) สารอิเล็กโทรไลต์ ทำหน้าที่ในการส่งผ่านอิเล็กตรอนที่ทำงานในวงจรภายนอกกลับคืนสู่โมเลกุลสีย้อม โดยในที่นี้ใช้สารไอโอดีนเป็นสารอิเล็กโทรไลต์
- 5) เคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (Counter-electrode) ทำหน้าที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่มาจากภายนอกให้กลับเข้าสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) โดยที่เคาน์เตอร์อิเล็กโทรดต้องมีสมบัติดังนี้คือ มีค่าการนำไฟฟ้าที่ดี มีความเป็นรูพรุนสูงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา

และจะต้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีด้วย วัสดุที่นิยมใช้ทำเป็นแคโทดรีดิวซ์คือ สารละลาย แพลททินัม (Pt)

#### 2.4.1 พิล์มบางออกไซด์นำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent conducting oxide thin film, TCO)

ฟิล์มบางออกไซด์นำไฟฟ้าโปร่งแสงเป็นฟิล์มบางที่นำไปใช้กันมากในอุปกรณ์ Optoelectronic devices เช่น Flat panel display(17), solar cell(18) และอื่นๆ ซึ่งฟิล์มชนิดนี้เป็นฟิล์มที่มีสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงที่ดีควบคู่กัน โดยฟิล์มต้องมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ดีและแสงสามารถทะลุผ่านได้มาก ดังนั้นการเลือกสารตั้งต้นเพื่อนำมาเตรียมฟิล์มต้องพิจารณาคุณสมบัติทั้ง 2 ข้อนี้เป็นสำคัญและโดยทั่วไป สารที่จะนำมาใช้ควรจะเป็นสารที่มีแถบช่องว่างพลังงานสูง สภาพต้านทานต่ำและสามารถในการทะลุผ่านของแสงสูง ซึ่งฟิล์มบางที่นิยมใช้กัน ได้แก่ฟิล์มบางทินออกไซด์ ( $\text{SnO}_2$ ) ฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) อินเดียมทินออกไซด์ (ITO) ฟิล์มบางแคดเมียมสแตนเนส ( $\text{Cd}_2\text{SnO}_4$ ) ฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ ( $\text{ZnO}$ ) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้สามารถปรับปรุงสมบัติทั้งทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงได้ด้วยการเติมสารเจือ

#### 2.4.2 สารละลายแพลททินัม

สารละลายแพลททินัม มีอีกชื่อว่า ทองคำขาว มีเลขอะตอมคือ 78 และสัญลักษณ์คือ Pt เป็นธาตุโลหะทรานซิชัน มีสีเงินเทา มีน้ำหนักมาก สามารถยึดและตีเป็นแผ่นได้ แพลททินัมทนต่อการกัดกร่อนมาก ในธรรมชาติพบอยู่กับสินแร่ของนิกเกิลและทองแดง แพลททินัมใช้ทำเครื่องประดับ อุปกรณ์ในห้องทดลอง ตัวนำไฟฟ้า งานทันตกรรม และเครื่องกรองไอเสียในรถยนต์

#### ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของสารแพลททินัม

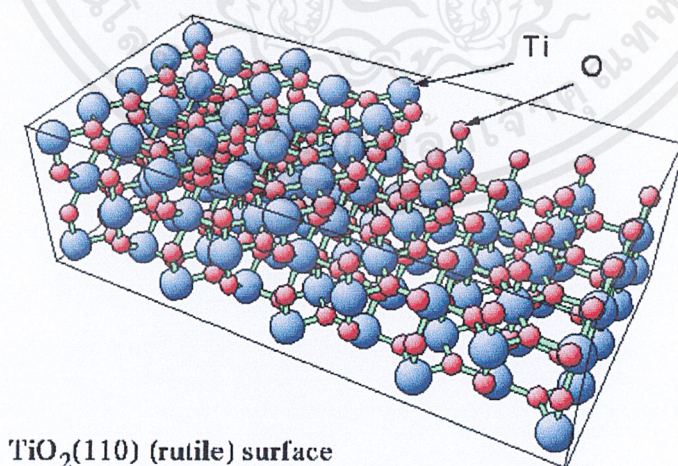
คุณสมบัติทางกายภาพ	
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น	21.45 ก./ซม. <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	2041.4 K (1768.3 °C)
จุดเดือด	4098 K (3825 °C)
ความร้อนของการหลอมเหลว	22.17 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	469 กิโลจูล/โมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 สารไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ )

ไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์สำหรับการใช้งานด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรต่อสารเคมี ราคาไม่แพงมากและมีคุณสมบัติพิเศษที่เป็นประโยชน์หลายอย่าง เช่น การนำสารไททาเนียมไดออกไซด์มาใช้ในด้านการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) และเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม (Photocatalysis) เป็นต้น เนื่องจากไททาเนียมมีค่าดัชนีการหักเหของแสงสูง จึงถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบป้องกันการสะท้อนของแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน (Silicon solar cell) และในอุปกรณ์ทางด้านกรมองเห็นชนิดแผ่นบาง (Thin film optical device) หลายชนิด ไททาเนียมยังถูกนำมาใช้เป็นตัวตรวจสอบก๊าซ (Gas sensor) เนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปได้ตามองค์ประกอบของก๊าซที่สภาวะบรรยากาศ เช่น สามารถใช้ตรวจสอบก๊าซออกซิเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และมีเทน เป็นต้น นอกจากนี้ เนื่องจากไททาเนียมสามารถเข้ากับร่างกายมนุษย์ได้ จึงถูกนำมาใช้เป็นวัสดุทางชีวภาพ เช่น กระดูกเทียม เป็นต้น

สารไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำประเภทหนึ่ง ซึ่งในทางฟิสิกส์จะนิยามสารกึ่งตัวนำว่าเป็นฉนวนไฟฟ้าที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ ( $T = 0 \text{ K}$ ) เนื่องจากประจุทั้งหมดอยู่ในแถบเวเลนซ์ (Valence band) จึงไม่มีอิเล็กตรอนอยู่ในแถบนำ (Conduction band) แต่ที่อุณหภูมิมากกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ ( $T > 0 \text{ K}$ ) อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นจากแถบเวเลนซ์ให้ขึ้นไปอยู่ยังแถบนำ ทำให้เกิดการนำไฟฟ้าขึ้น ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของ  $\text{TiO}_2$

สารไททานเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างแบบเตตระโกนอล (Tetragonal structure) โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพบางประการดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของสารไททานเนียมไดออกไซด์

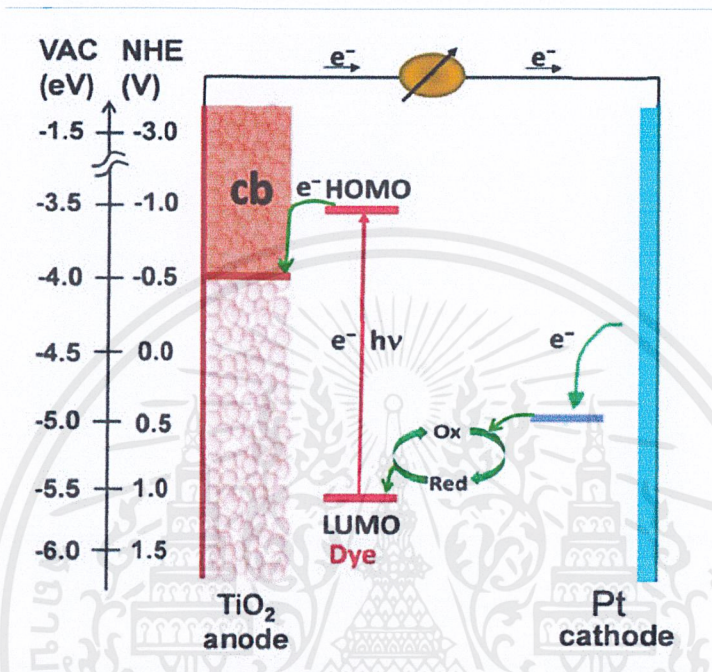
สถานะภาพ สี	ของแข็ง สีขาว
ความหนาแน่น	4.23 g/cm <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	1843 °C
จุดเดือด	2972 °C
ช่องว่างแถบพลังงาน	3.2 eV
ค่าคงที่แลตทิส	a = b = 4.593 c = 2.958
น้ำหนักโมเลกุล	79.866 g/mol
ค่าความต้านทาน (Resistivity, 25°C)	10 <sup>12</sup> ohm.cm
Modulus of Elasticity	230 GPa

#### 2.4.4 ตัวรับแสง (Photosensitizer)

*สีย้อมไวแสง* ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์และส่งผ่านอิเล็กตรอนให้กับอนุภาคโลหะออกไซด์ ดังนั้นจะต้องมีสมบัติที่สำคัญ เช่น มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงกว้างในช่วงที่ตามองเห็นและใกล้อินฟราเรดเพื่อดูดกลืนแสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจับแสง โฟตอนที่ตกกระทบ มีคุณสมบัติของสภาวะพื้นและสภาวะกระตุ้นที่เหมาะสม มีเสถียรภาพสูงในสภาวะถูกออกซิไดส์ และสามารถยึดเกาะบนผิวอนุภาคโลหะออกไซด์ได้ดี เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมจะใช้สีย้อมไวแสงทำหน้าที่เป็นตัวรับแสงจากภายนอก สีย้อมจัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้เนื่องจากสีย้อมมีหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ เมื่อสีย้อมได้รับพลังงานแสงโมเลกุลของสีย้อมที่อยู่ในสถานะพื้น (LUMO) จะถูกกระตุ้นให้ไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (HOMO) อิเล็กตรอนจากสีย้อมจะถูกฉีดเข้าไปในชั้นแถบตัวนำ (conduction band) ของสารกึ่งตัวนำ จึงเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนได้

ในการเลือกสีย้อมนั้นจำเป็นต้องเลือกสีย้อมให้เหมาะสมกับสารกึ่งตัวนำ ต้องเลือกสีย้อมที่มีระดับ HOMO สูงกว่าระดับ conduction band ของสารกึ่งตัวนำนั้น ดังรูปที่ 2.7 หากเลือกสารกึ่งตัวนำ

ที่มีระดับ conduction band สูงกว่าระดับ HOMO ของสีย้อม เมื่อสีย้อมได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้วจะไม่สามารถฉีดเข้าไปใน conduction band ของสารกึ่งตัวนำได้



รูปที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบระดับพลังงานของ Dry และ conduction band ของ TiO<sub>2</sub>

ซึ่งสีย้อมไวแสงนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆได้ดังนี้

1. สีย้อมจากการสังเคราะห์

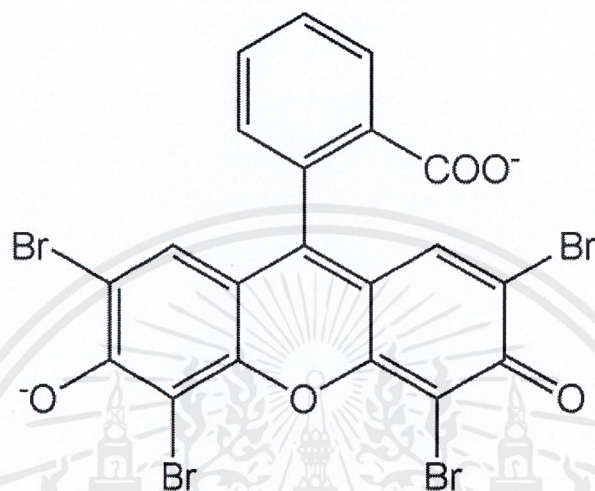
สีย้อมจากการสังเคราะห์เป็นสีย้อมที่ได้จากการนำคุณสมบัติของชาติแต่ละชนิดมารวมกันเพื่อสร้างพันธะในการยึดเกาะกันได้ดี ในปัจจุบันมีการสังเคราะห์สีย้อมหลายกลุ่ม เช่น Porphyrins, Phthalocyanines, Coumarin 343, Carboxylated และที่พัฒนามาจาก Anthracene และ Polymeric film แต่ที่ได้รับความนิยมสูงสุดคือ Transition metal complexes

2. สีย้อมจากพืชธรรมชาติ

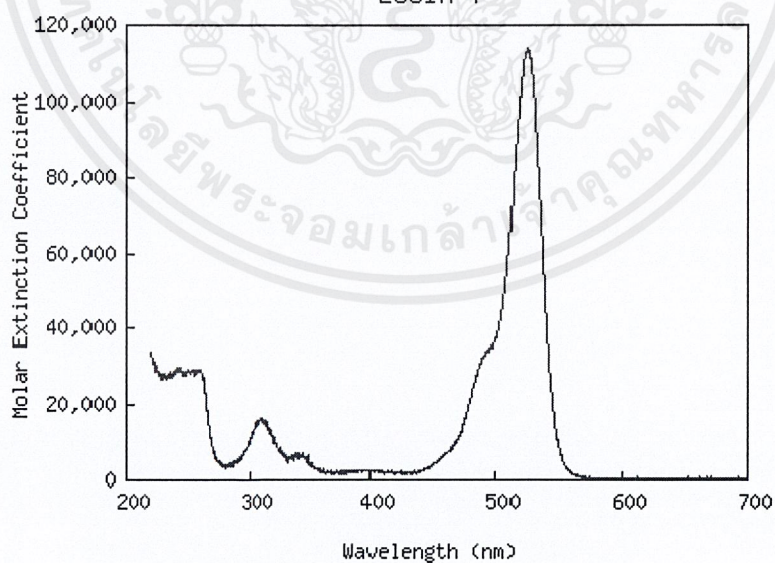
สีย้อมประเภทนี้สามารถสกัดได้จากธรรมชาติ เช่น ผลไม้ ดอกไม้ หรือใบไม้ เป็นต้น สีย้อมประเภทนี้มีข้อดีคือ หาง่าย ราคาถูก ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม หากโรงงานถูกทำลายแล้วเครื่องมือการผลิตสิ่งสำเร็จรูปมีน้อยลง เราก็ยังมีภูมิปัญญาที่จะนำวัตถุดิบในธรรมชาติมาแปรรูปใช้ได้มากขึ้น

### 2.4.5 Eosin-Y

จัดเป็นสีย้อมจำพวก Organic dry ที่มีโครงสร้างของสารไฮโดรคาร์บอนเกาะกับโบรมีน ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.8 และมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.8 แสดงสูตรโครงสร้างของ Eosin-Y



รูปที่ 2.9 แสดงการดูดกลืนพลังงานของ Eosin-Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

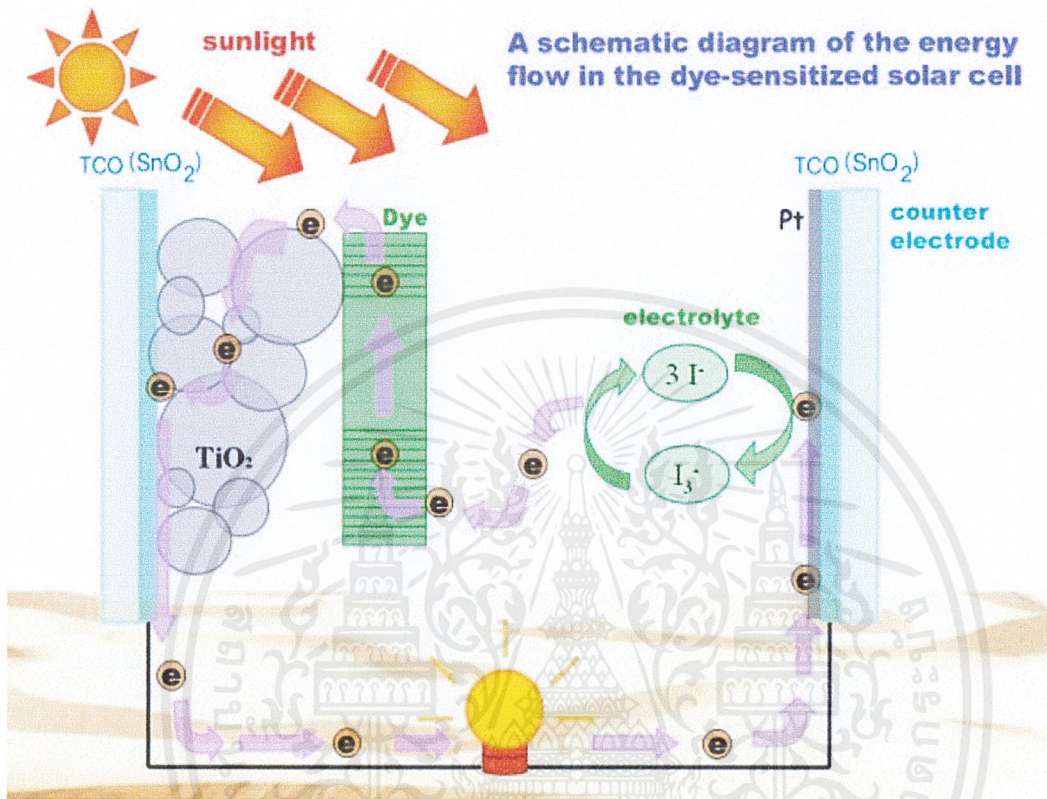
## ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของ Eosin-Y

Common name	Eosin Y
Suggested name	Eosin Y ws
Other names	Eosin Yellowish Bromoeosine Tetrabromofluorescein
C.I. number	45380
C.I. name	Acid red 87
Class	Fluorone
Ionization	Acid
Solubility aqueous	40%
Solubility ethanol	2%
Absorption maximum	514
Color	Red
Empirical formula	$C_{20}H_6O_5Br_4Na_2$
Formula weight	691.9

## 2.5 หลักการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม

เมื่อแสงอาทิตย์หรือพลังงานโฟตอน ทะลุผ่านกระจกนำไฟฟ้ามากระทบกับ โมเลกุลของสีย้อมที่เกาะที่ผิวของสารไททาเนียมไดออกไซด์ โฟตอนที่ม่พลังงานมากพอจะกระตุ้นอิเล็กตรอนของสีย้อมจากสถานะพื้น(Highest occupied molecular orbital (HOMO))ไปสถานะกระตุ้น(Lowest unoccupied molecular orbital (LUMO)) อิเล็กตรอนในสถานะกระตุ้นจะถูกฉีดหรือเคลื่อนที่ไปยังแถบนำของสารไททาเนียมไดออกไซด์ แล้วเคลื่อนที่ต่อไปผ่านไปยังกระจกนำไฟฟ้าออกไปวงจรภายนอก แล้วเคลื่อนที่ไปยังอีกขั้วหนึ่งของเซลล์ ในขณะที่สีย้อมสูญเสียอิเล็กตรอนไปนั้น จะดึงอิเล็กตรอนจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับการฉีดอิเล็กตรอนจากสีย้อมไปยังแถบนำของสารไททาเนียมไดออกไซด์ เพื่อป้องกันการไหลกลับของอิเล็กตรอน หลังจากนั้นอิเล็กโทรไลต์ที่สูญเสียอิเล็กตรอนจะแพร่ผ่านมายังอีกขั้วหนึ่ง (counter electrode) เพื่อรับอิเล็กตรอน

แล้วกลับมาอยู่ในสถานะผู้ให้อิเล็กตรอนต่อไป ดังรูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง



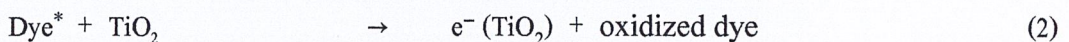
รูปที่ 2.10 แสดงการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม

หลักการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม เป็นขั้นตอนดังนี้

1) เมื่อโมเลกุล dye ถูกแสง จะถูกพลังงานแสงกระตุ้นให้ไปอยู่ในสถานะกระตุ้น(Excited state)



2) อิเล็กตรอนสถานะกระตุ้นของ dye มีพลังงานที่สูงกว่าระดับพลังงานต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ (Conduction band) จะย้ายไปอยู่บนแถบนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ

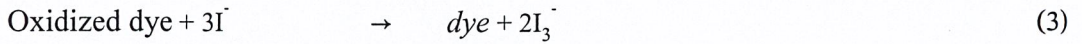


3) อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำออกไฟสู่วงจรภายนอก ผ่าน photo electrode

4) อิเล็กตรอนที่สูญเสียพลังงานจากวงจรภายนอก กลับคืนสู่เซลล์ผ่านทาง counter electrode

5) อิเล็กตรอนกลับคืนสู่โมเลกุลสีย้อม ผ่านปฏิกิริยา redox ของ electrolyte

119422



## 2.6 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

### 2.6.1 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Energy Conversion Efficiency)

คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดต่อพลังงานของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจเรียกสั้นๆว่า ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เขียนเป็นสูตรได้คือ

$$Eff = \frac{P_{max}/Area}{P_{in}/Area} \times 100\%$$

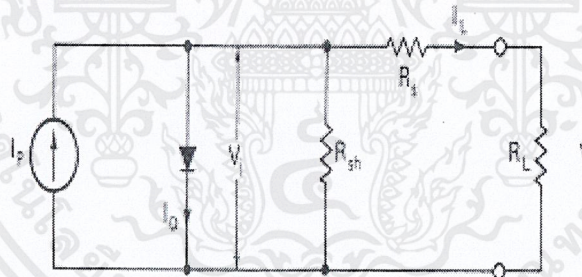
$P_{max}$  (W) คือ กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุด

$Area$  ( $\text{cm}^2$ ) คือ พื้นที่รับแสง

$P_{in}$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) คือ กำลังของแสงที่ตกกระทบเซลล์ต่อตารางเซนติเมตร ( $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$ )

### 2.6.2 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current)

ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาวะลัดวงจร จะเรียกกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรว่า กระแสไฟฟ้าลัดวงจร สัญลักษณ์คือ  $I_{sc}$



รูปที่ 2.11 แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

จากรูป ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ถูกต่อด้วยแสง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ามีด  $I$  และแรงดัน  $V$  ของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะมีด จะมีรูปแบบเหมือนกับสมการกระแสไฟฟ้าของไดโอด กล่าวคือ

$$I = I_0 [\exp(qV/nkt) - 1]$$

โดยที่  $I_0$  เรียกว่ากระแสไฟฟ้าย้อนอิมิตัวและ  $n$  คือค่าแฟกเตอร์อุดมคติของไดโอด

ดังนั้นกระแสไฟฟ้า  $I_{out}$  ที่ไหลออกสู่วงจรภายนอกจะเท่ากับผลต่างระหว่างกระแสไฟฟ้ามีด  $I$  และกระแสไฟฟ้าแสง  $I_{ph}$  ดังนี้

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

ถ้าพิจารณาความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้แก่ ความต้านทานอนุกรม( $R_s$ ) และความต้านทานขนาน ( $R_{sh}$ ) ประกอบไปด้วย จะทำให้กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต  $I_{out}$  มีค่าดังนี้

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

### 2.6.3 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open Circuit Voltage)

ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาพวงจรเปิด (Open Circuit) แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open Circuit Voltage :  $V_{oc}$ ) ค่า  $V_{oc}$  คำนวณได้จากสมการที่โดยแทนค่า  $I_{out} = 0$  ดังนั้นจึงได้ว่า

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

### 2.6.4 ฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor)

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

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

## 2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

### 2.7.1 รังสีดวงอาทิตย์ที่ผิวโลก

ปริมาณแสงอาทิตย์ที่วัดได้ในอากาศมีค่าคงที่ เรียกว่า Solar Constant มีค่าเท่ากับ  $1,365 \text{ W/m}^2$  เมื่อแสงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศโลกความเข้มแสงจะลดลงประมาณ 30% เนื่องจากปัจจัยหลักๆ คือ

1. การกระเจิง (Scattering) ของรังสีโดยโมเลกุลในชั้นบรรยากาศ ซึ่งเกิดขึ้นกับทุกความยาวคลื่น โดยเฉพาะกับรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้น (กล่าวคือ แสงสีน้ำเงินจะกระเจิงง่ายกว่าแสงสีแดง) การกระเจิงของแสงทำให้มีความเข้มของรังสีลดลงประมาณ 10 %
2. การดูดกลืนแสง (Absorption) ของรังสี จะถูกดูดกลืนด้วยแสงเมฆ ฝุ่น ก๊าซเรือนกระจกและชั้นโอโซน การสูญเสียที่เกิดจากการดูดกลืนรังสีอยู่ที่ประมาณ 18 %

### 2.7.2 องค์ประกอบของแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์

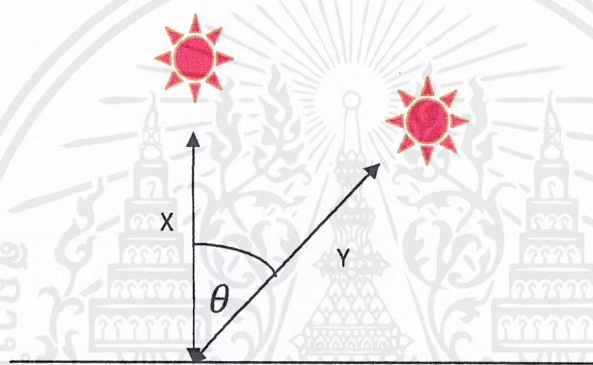
1. สเปกตรัมของแสงอาทิตย์

2. ความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์
3. องศาของแสงที่ตกกระทบแผง โซลาร์เซลล์
4. พลังงานรังสีต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรือ Insolation

### 2.7.3 Air mass

ความหมายของ Air mass คือปริมาณที่แสดงถึงการสูญเสียพลังงานของแสงจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศโลก

นิยามของ Air mass คือ ระยะทางที่แสงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศเทียบกับระยะทางที่สั้นที่สุด โดย  $AM = \frac{1}{\cos\theta} = \frac{Y}{X}$  โดยที่  $\theta$  คือมุมที่ดวงอาทิตย์กางออกจากแนวตั้งฉากกับผิวโลก



รูปที่ 2.12 แสดงการหาค่า Air mass

เนื่องจากทั่วโลกมีค่าความเข้มแสงต่างกัน จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานของแสงอาทิตย์ดังนี้

AM 0 : แสงอาทิตย์เหนือชั้นบรรยากาศ มีความเข้มแสง  $1,353 \text{ W/m}^2$

AM 1 : แสงอาทิตย์ขณะที่ดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะพอดี

AM 1.5 : แสงอาทิตย์มาตรฐานสากลบนผิวโลก โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- G (Global) : รังสีตรง+รังสีกระจาย (ใช้ทดสอบโซลาร์เซลล์แผ่นเรียบ) มีความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$
- D (Direct) : รังสีตรงเท่านั้น (ใช้ทดสอบโซลาร์เซลล์รวมแสง) มีความเข้มแสง  $900 \text{ W/m}^2$

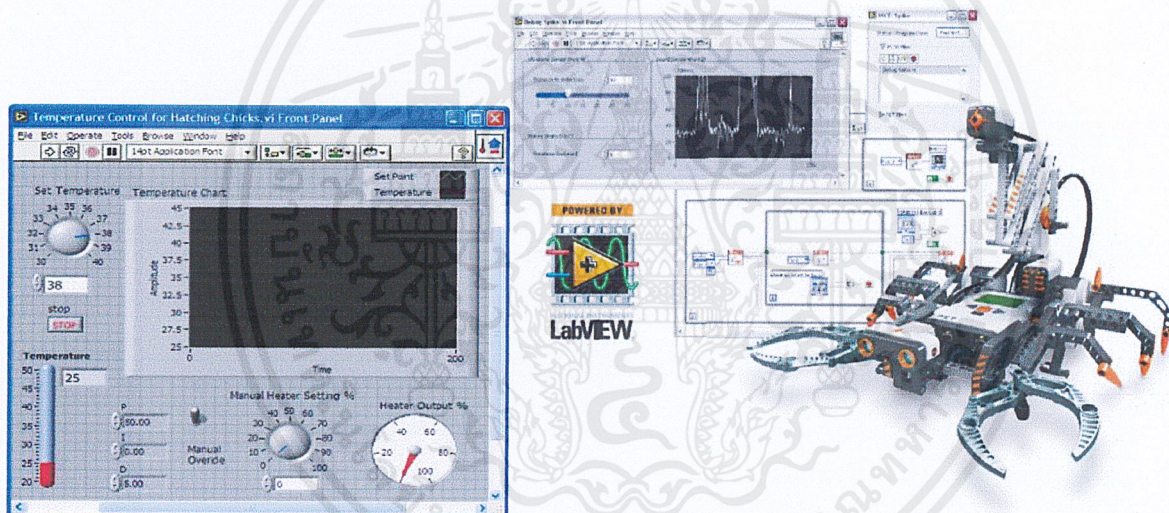
## 2.8 โปรแกรม LabVIEW

แลปวิว (LabVIEW) เป็นเครื่องมือพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม คำว่า LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายถึง โปรแกรมที่สร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดประสงค์หลักของการทำงานของแลปวิว คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัดอย่างมีประสิทธิภาพนั่นเอง

LabVIEW เป็นซอฟต์แวร์จากบริษัท National Instruments ที่แรกเริ่มนั้น วางตัวเป็นซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาโปรแกรมควบคุมเครื่องมือและอุปกรณ์ทดลองในห้องปฏิบัติการหรือในโรงงานอุตสาหกรรม โดยจุดเด่นของ LabVIEW คือ เป็นภาษาโปรแกรมมิ่งแบบกราฟฟิก (Graphic programming language) ที่สมบูรณ์แบบ คือ ทุกๆ ฟังก์ชันทดแทนด้วยกราฟฟิกทั้งหมด ไม่เหมือนกับชุดพัฒนาแอปพลิเคชันอื่นๆที่ต้องมีภาษาโปรแกรมมิ่งแบบ text มารองรับ เช่น Visual Studio จะเป็น BASIC, C++ หรือ Delphi ที่เป็น Pascal แต่ในปัจจุบันด้วยความสามารถที่มากขึ้น LabVIEW จึงถูกมองว่าไม่ใช่เป็นเพียงแค่ภาษาโปรแกรมมิ่งแบบกราฟฟิกที่โดดเด่นสำหรับเครื่องมือต่างๆ เท่านั้น แต่กลับเป็น “ชุดพัฒนาแอปพลิเคชัน” หรือ Application Tool ที่ช่วยทำให้การพัฒนางานซอฟต์แวร์สำหรับการใช้งานจริงเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างโปรแกรมแลปวิว

### 2.8.1 โดยข้อดีของ LabVIEW สำหรับงานปฏิบัติการ DSP สามารถแบ่งได้ดังนี้

#### 1.) มีหน้าจอ User Interface ที่ง่ายต่อการพัฒนา โปรแกรม

LabVIEW นั้น จะมีหน้าจอที่ทำหน้าที่สื่อสารกับผู้ใช้งาน โดยเฉพาะ หน้าจอนี้เรียกว่า Front panel โดยมีกลุ่มอุปกรณ์ที่เรียกว่า “Control” ให้เลือกใช้มากมาย ซึ่งจะช่วยให้งานออกมาดูเป็นซอฟต์แวร์มาตรฐาน เช่น ปุ่มกดหลากหลายประเภท กราฟและชาร์ต Ring text ที่สำคัญก็คือ การเลือก Control ใน

หน้าจอ Front panel จะปรากฏบล็อก Function ใน หน้าจอ Block Diagram เพื่อการเขียนโปรแกรมในทันที

## 2.) การเขียนโปรแกรมเป็นกราฟฟิกสมบูรณ์แบบและดีบักง่าย

การเขียนโปรแกรมใน LabVIEW จะเป็นแบบกราฟฟิก ทำให้เข้าใจง่ายโดยเฉพาะผู้ที่คุ้นเคยกับงานทางวิศวกรรมที่จะอธิบายระบบต่างๆ ในรูปของบล็อกโคอะแกรมและสัญลักษณ์อยู่เสมอ ข้อดีที่สำคัญคือ LabVIEW จะมีฟังก์ชันบล็อกเฉพาะอย่างที่จะช่วยร่นระยะเวลาการพัฒนางานลงไปได้มาก โดยฟังก์ชันบล็อกจะทำงานบนหน้าจอ Block Diagram ซึ่งหน้าจอนี้จะทำงานร่วมกับหน้าจอ Front panel อยู่ตลอดเวลา การทำงานของโปรแกรมใน LabVIEW นั้นใช้หลักการที่เรียกว่า การไหลของข้อมูลหรือ “Data Flow Programming” ทำให้การดีบักโปรแกรมทำได้ง่ายเพราะแต่ละขั้นตอนการทำงานจะแสดงเป็นเส้นทางเดินของลูกบอลสีแดงวิ่งไปตามเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างบล็อกเพื่อแสดงการไหลของข้อมูลในขณะนั้น

## 3.) การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ได้หลากหลาย

LabVIEW สามารถ “คุย” กับอุปกรณ์หลายชนิดหลายยี่ห้อได้อย่างมากมาย ซึ่งนับเป็นจุดดีที่สำคัญอีกจุดหนึ่งของ LabVIEW ฟังก์ชันบล็อกที่ให้เลือกใช้งานกับ โปรโตคอลและมาตรฐานต่างๆ มีอยู่มากมาย เช่น Serial, Parallel, GPIB, TCP/IP และ VISA กับ VXI รวมถึงการใช้สภาพแวดล้อมที่เป็น .NET, และ ระบบฐานข้อมูล (Database) ด้วย

## 4.) มีเครื่องมือช่วยด้าน DSP

ใน LabVIEW มี Toolset เกี่ยวข้องกับ DSP อย่างครบครันไม่ว่าจะเป็น บล็อกการสร้างสัญญาณ บล็อกการทำ Convolution, FFT, Digital Filter Design, Linear Algebra, Wavelet Analysis, Joint Time-Frequency Analysis ทำให้งานที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์สัญญาณนั้นเป็นไปได้อย่างสะดวกรวดเร็วมาก

ปัจจุบันระบบควบคุมอัตโนมัติมีบทบาทมากขึ้นกับวงการอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับอุตสาหกรรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่นิยมนำเอาเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม เช่น ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multi-meter), ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เป็นต้น มาเชื่อมต่อกัน เพื่อทำงานร่วมกันเป็นระบบเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติขนาดใหญ่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและขยายขีดความสามารถของเครื่องมือต่าง ๆ เหล่านั้นให้มากขึ้น เพียงพอต่อความต้องการที่จะใช้งาน การควบคุมเครื่องมือวัดย่อมต้องการใช้ซอฟต์แวร์เพื่อควบคุม จัดการกับข้อมูลต่างๆ เช่น การตั้งค่าฟังก์ชัน การดึงข้อมูลสัญญาณมาเก็บบนคอมพิวเตอร์และแสดงผลให้ผู้ใช้ทราบ เป็นต้น

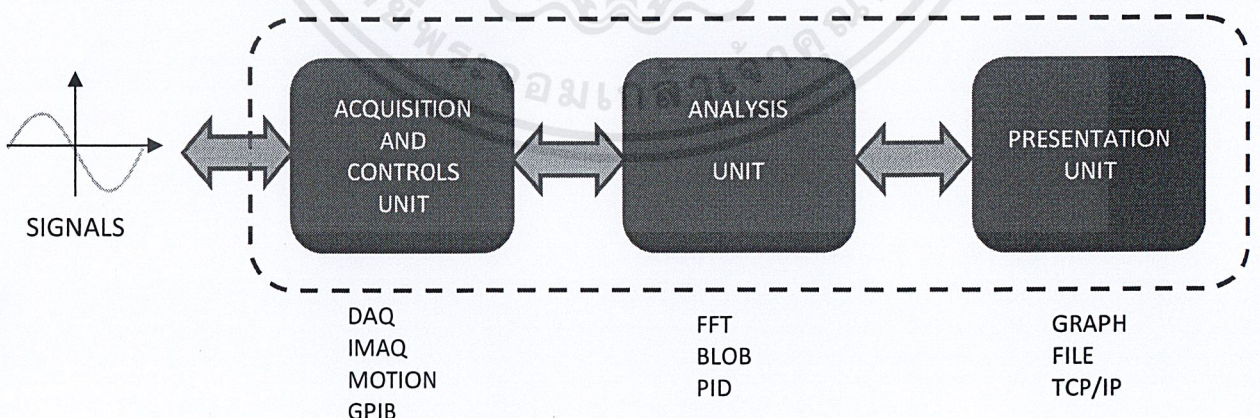
สำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อการควบคุมเครื่องมือวัดโดยทั่วไป ส่วนมากจะใช้วิธีการเขียนโดยใช้ภาษาโปรแกรมเชิงโครงสร้าง เช่น ภาษาเบสิก(Basic) , ภาษาซี(C), ภาษาวิซวลเบสิก (Visual Basic)

เป็นต้น ปัญหาหลักที่พบคือ ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ต้องศึกษาการทำงานของตัวเครื่องมือวัดทุกชนิดอย่างละเอียดก่อนที่จะเขียน โปรแกรมติดต่อกับ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลานานเนื่องจากเกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะด้าน อีกทั้งยังต้องศึกษาไวยากรณ์คำสั่งที่จะส่งให้เครื่องมือวัดทำงาน ซึ่งมีความแตกต่างกันไปแล้วแต่รุ่นและยี่ห้อของตัวเครื่องมือวัดนั้น ๆ ซึ่งต้องใช้เวลาอีกระยะหนึ่ง ทั้งหมดดังกล่าวนี้ ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ต้องทำงานร่วมกันกับวิศวกรทางด้านเครื่องมือวัดอย่างใกล้ชิดอีกด้วย และด้วยระบบการทำงานภายในเครื่องมือวัด ซึ่งเป็นไมโครคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ การเขียนโปรแกรมรับส่งคำสั่งและข้อมูลต่างๆตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องด้วยภาษาโปรแกรมเชิงโครงสร้างยังมีความยุ่งยากขึ้นไปอีก แลปฏิวิจจะอาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุม ทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ใช้ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ ดังรูปที่ 2.14

1) ส่วนรับข้อมูลและควบคุมอินพุต (Acquisitions and Controls Unit) ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่นำข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ โดยที่ข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจมาจากการ์ดดีเอคิว (DAQ Card) สำหรับรับข้อมูลที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า, การ์ดไอเอ็มเอคิว (IMAQ Card) สำหรับข้อมูลประเภทรูป หรือจากเครื่องมือวัดทั่วไปทางจีพีไอบีบัส (GPIB Bus)

2) ส่วนวิเคราะห์ข้อมูล (Analysis Unit) เมื่อได้รับข้อมูลมาแล้ว จะต้องผ่านส่วนนี้ เพื่อจะทำการข้อมูลไปแสดงผลในรูปแบบที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดและใช้งานได้

3) ส่วนแสดงผล (Presentation) เป็นการแสดงผลในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน เช่น ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้ โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลาที่ได้มาจากส่วนวิเคราะห์ข้อมูล เป็นต้น



รูป 2.14 แสดงหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุม

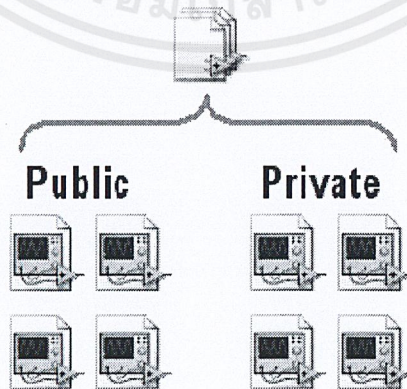
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.2 หลักการการไหลของข้อมูล (Dataflow Programming Fundamental)

หลักการการไหลของข้อมูล เป็นรูปแบบการทำงานที่ขึ้นอยู่กับการไหลของข้อมูลระหว่างบล็อกฟังก์ชันต่างๆ ในลักษณะที่ทำงานพร้อมกัน ทิศทางของการไหลนั้นจะถูกกำหนดด้วยเส้นเชื่อมต่าง ๆว่าจะไปที่ส่วนใด ผ่านการประเมินผลและคำนวณในส่วนใดบ้าง และจะให้เห็นแสดงผลอย่างไร ซึ่งลักษณะของการไหลของข้อมูลของภาษาโปรแกรมของรูปภาพนี้จะมีลักษณะเหมือนกับการเขียนบล็อกไดอะแกรม ซึ่งทำให้ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ให้ความสนใจกับการเคลื่อนที่และเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้อย่างชัดเจนเสมือนมองเห็นจากข้างในของเครื่องมือวัดจริง ๆ

### 2.8.3 ไลบรารี (Library)

โดยทั่วไปแล้วไลบรารีเป็นการบริหารจัดการจัดเก็บฟังก์ชันย่อย ๆ แล้วจัดเก็บรวมไว้เป็นโมดูลใหญ่ ๆ เพื่อความสะดวกในการเลือกใช้และง่ายในการใช้งาน เคลื่อนย้าย และสามารถใช้งานร่วมกันได้ในส่วนของเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม การสร้างไลบรารีจะช่วยให้การจัดการกับการติดต่อสื่อสารหรือส่งผ่านข้อมูลรวมถึงการจัดการกับหน่วยความจำของเครื่องมือวัดเพื่อจะสามารถรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการคำนวณและเก็บข้อมูลให้ได้ประโยชน์สูงสุดนั้น โดยอาศัยความสามารถของการไหลของข้อมูลที่เรียกว่า การสร้างสัญญาณ (Signal Generator), ขบวนการจัดการสัญญาณ (Signal Processing) มาช่วยในการสร้างไลบรารีให้ง่ายขึ้น โดยทั่วไปไลบรารีของแลปวิวจะเป็นแบบเชิงโครงการ (Project-Style Library) ซึ่งภายในไลบรารีจะมีวีไอรวมอยู่ด้วยกันเป็น 2 ส่วนคือ แบบสาธารณะ (Public) และแบบส่วนตัว (Private) โดยวีไอแบบสาธารณะ (Public VI) สามารถเรียกใช้งานได้จากวีไอตัวอื่นโดยตรงได้ แต่วีไอแบบส่วนตัวไม่สามารถเรียกได้จากวีไอตัวอื่น สามารถเรียกใช้งานได้แค่เพียงวีไอที่อยู่ในไลบรารีเดียวกันเท่านั้น โดยทั่วไปจะถูกสร้างขึ้นมาเพื่อสนับสนุนการทำงานของวีไอแบบสาธารณะมากกว่าไลบรารีของแลปวิวจะเป็นแบบเชิงโครงการ (Project-Style Library) แสดงดังรูป 2.15 ดังนี้



รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างไลบรารีของแลปวิวแบบเชิงโครงการ (Project-Style Library)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8.4 โครงสร้างไครฟ์เวอร์ของเครื่องมือวัด (Instrument Driver Organization)

โครงสร้างของไครฟ์เวอร์ของเครื่องมือวัด โดยปกติแล้วการสร้างไลบรารีเพื่อทำงานเป็นไครฟ์เวอร์ของเครื่องมือวัดนั้น จะเป็นแบบโครงการ (Project-Style Instrument Driver) ซึ่งตามหลักการออกแบบแบบนี้ จะต้องสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ที่เป็นเมนูหลักดังต่อไปนี้

1) วิโอเตรียมการเริ่มต้น (The Initialize VI) เป็นวิโอตัวแรกสุดที่จะต้องใช้ วิโอตัวนี้จะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ประสานงานติดต่อกับตัวเครื่องมือวัด และเตรียมพร้อมการปฏิบัติงานที่สำคัญ ในการเตรียมเครื่องมือวัดให้อยู่ในสภาพเริ่มต้นหรือสภาพใดๆที่พร้อมที่จะปฏิบัติตามคำสั่งอื่นๆ ต่อไป โดยปกติแล้ววิโอตัวนี้ จะต้องเรียกขึ้นมาทำงานในขณะที่เริ่มต้นของโปรแกรมที่พัฒนาทุกครั้ง

2) วิโอจัดการโครงแบบ (The Configuration VI) เป็นกลุ่มของโปรแกรมย่อย ๆ ที่จัดการกับโครงแบบของเครื่องมือวัดสำหรับเตรียมการปฏิบัติงานตามที่ต้องการ วิโอจัดการโครงแบบจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับฟังก์ชันของเครื่องมือวัดนั้น ๆ หลังจากที่โปรแกรมที่สร้างได้เรียกใช้วิโอตัวนี้แล้ว เครื่องมือวัดนั้น จะมีความพร้อมที่จะวัดสัญญาณหรือจำลองการทำงานของระบบการวัดได้ทันที

3) วิโอปฏิบัติการ (The Action VI) เป็นการสั่งเครื่องมือวัดทำการวัดสัญญาณหรือจำลองการทำงานของระบบการวัด สามารถสั่งให้เริ่มหรือหยุดการปฏิบัติงานได้ สิ่งที่วิโอปฏิบัติการแตกต่างจากวิโอจัดการโครงแบบ คือมันจะไม่สามารถเปลี่ยนการปรับตั้ง (Setting) เพียงแต่สามารถสั่งเครื่องมือวัดให้กระทำการใดๆ บนโครงแบบปัจจุบันที่ถูกปรับมาจากวิโอจัดการโครงแบบได้เท่านั้น

4) วิโอสถานะ (The Status VI) จะประกอบด้วยสถานะปัจจุบันของเครื่องมือวัดหรือสถานะของการปฏิบัติการที่กำลังทำอยู่ เป็นต้น

5) วิโอข้อมูล (The Data VI) มีไว้สำหรับโอนย้ายข้อมูลระหว่างเครื่องมือวัดกับโปรแกรมที่พัฒนา เช่น วิโอข้อมูลที่อ่านข้อมูลจากค่า/รูปคลื่นที่กำลังวัด หรือวิโอข้อมูลที่บรรจุข้อมูลจากค่า/รูปคลื่นลงสู่เครื่องมือวัด เป็นต้น

6) วิโออรรถประโยชน์ (The Utility VI) มีไว้สำหรับเก็บฟังก์ชันต่าง ๆ ที่ใช้บ่อย ๆ ในไครฟ์เวอร์ เช่น การตั้งใหม่ (Reset) , การทดสอบตัวเอง (Self Test) , การตรวจสอบรุ่น (Revision) , การสอบถามความผิดพลาด (Error Query) , การตรวจสอบข้อความแสดงความผิดพลาด (ErrorMessage) เป็นต้น วิโออรรถประโยชน์นี้ อาจรวมทั้งการเตรียมการปฏิบัติต่างๆ เหล่านี้ เช่น การสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration), การจัดเก็บข้อมูลต่าง (Storage) รวมถึงการเรียกคืนการปรับตั้ง (Recall of Setups) อีกด้วย

7) วิโอปิด (The Close VI) จะเป็นการหยุดการติดต่อระหว่างตัวซอฟต์แวร์กับตัวเครื่องมือวัด และคืนค่าหน่วยความจำให้แก่ทรัพยากรระบบ โดยปกติแล้ว จะใช้วิโอปิดนี้เมื่อต้องการจะปิด

เรียกวีโอเตรียมการเริ่มต้น จะต้องเรียกวีโอปิดควบคู่กันไปด้วย เพื่อรักษาหน่วยความจำของทรัพยากรระบบไม่ให้เสียไปโดยเปล่าประโยชน์

ในงานด้านการวัดและเครื่องมือวัดทางวิศวกรรม ประกอบด้วยกระบวนการวัดดังนี้

1. Sensor - Transducer ทำหน้าที่เปลี่ยนปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือปริมาณต่างๆ ทางฟิสิกส์ให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้าที่สามารถตรวจจับได้ ไม่ว่าจะเป็น กระแส ความต่างศักย์ แรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือความดันทาน ไฟฟ้า

2. Signal Conditioner ทำหน้าที่ปรับแต่งปริมาณสัญญาณที่ได้จากขั้นที่ 1 ให้มีขนาดปริมาณหรือลักษณะที่เหมาะสม เพราะสัญญาณที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 นั้น อาจมีขนาดไม่เหมาะสมหรือมีสัญญาณรบกวนมากเกินไปที่จะนำไปวิเคราะห์ในทันทีได้

3. Data Acquisition ทำหน้าที่ประมวลผล แปลความหมายหรือเปลี่ยนสัญญาณในลักษณะ Analog ให้มาอยู่ในรูปของ digital signal เพื่อประโยชน์ในการตีความหมายและใช้ในการควบคุม หน้าที่ของ DAQ boards อาจจะเป็นการอ่านสัญญาณ analog (A/D Conversion) การสร้างสัญญาณอนาล็อก (D/A conversion) เขียนและอ่านสัญญาณ เพื่อเชื่อมต่อกับ Transducer

บางครั้งอาจเรียกขั้นตอนที่ 2 และ 3 รวมกันว่า Signal Processing และในบางกรณีที่สัญญาณที่ได้มาจากการวัดนั้น หากมีขนาดที่เหมาะสมเราอาจจะไม่ต้องการขั้นตอนการปรับสภาพสัญญาณ หรือ Signal Conditioner ก็เป็นไปได้

การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และ transducer จึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับคอมพิวเตอร์โดยปกติแล้วสามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกได้โดยการผ่าน Input/Output Board (I/O Board) ซึ่ง I/O board นี้จะมีหลายแบบแต่แบบที่สำคัญและสามารถเชื่อมต่อ โดยผ่านคำสั่งของ LabVIEW ได้ทันทีจะประกอบด้วยอุปกรณ์ดังรูปที่ 2.16



1. DAQ Board



2. GPIB Board



3. Serial Interface (RS232)

รูปที่ 2.16 แสดงอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อโดยผ่านคำสั่งของ LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8.5 อุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อโดยผ่านคำสั่งของLabVIEW

### 2.8.5.1 DAQ Board

โดยปกติแล้ว DAQ Board เป็นอุปกรณ์พิเศษ คือ ไม่ได้เป็นมาตรฐานที่ติดตั้งมากับคอมพิวเตอร์ สำหรับบอร์ดประเภทนี้จะมีผู้ผลิตหลายบริษัท ซึ่งลักษณะการทำงานก็อาจจะแตกต่างกันบ้างตามแต่ผู้ผลิตแต่ละแห่งออกแบบมา ข้อสำคัญที่เราต้องเข้าใจในเบื้องต้นนี้ก็คือไม่ว่า DAQ Board ทุกแบบ จะเหมาะสมกับการทำงานร่วมกับ LabVIEW ทั้งหมด



รูปที่ 2.17 แสดง DAQ Board

สำหรับ DAQ Board ที่ผลิตโดยผู้ผลิตไม่ว่าจะไม่สามารถทำงานร่วมกับ LabVIEW ได้ แต่ว่าการที่ DAQ Board ที่ผลิตโดยผู้ผลิตรายอื่นนั้นจะสามารถทำงานร่วมกับ LabVIEW ได้ ก็ต่อเมื่อมี Driver ของอุปกรณ์นั้น เพื่อให้ใช้งานร่วมกับ LabVIEW ได้เท่านั้น ดังนั้นหากว่าทางบริษัทผู้ผลิต DAQ Board นั้น ไม่มี Driver ที่ใช้งานร่วมกับ LabVIEW มาให้เราอาจจำเป็นที่จะต้องเขียน Driver ขึ้นมาเอง ซึ่งวิธีการนี้ค่อนข้างจะยุ่งยากและเสียเวลามาก

การเลือกใช้ DAQ Board ที่เหมาะสมกับคนที่จะใช้ถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมากประการหนึ่ง เพราะราคาของเครื่องมือนี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากหากเรากำหนดข้อกำหนดแตกต่างกันออกไป เช่น อัตราการเรียกสุ่มตัวอย่าง (sampling rate) จำนวนช่องรับ-ส่งสัญญาณ (I/O channel) หรืออื่นๆ โดยปกติราคาของ DAQ Board ที่ผลิตโดยบริษัท National Instrument จะมีราคาอยู่ระหว่าง \$700-2000 ขึ้นอยู่กับความต้องการ ซึ่งเป็นราคาที่นับว่าสูงมาก เราอาจจะได้ board ที่ราคาถูกกว่านี้จากผู้ผลิตรายอื่น แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องการใช้งานร่วมกับ LabVIEW

หน้าที่ของ DAQ Board นี้จะทำการติดต่อโดยตรงกับ Transducer ซึ่งอาจจะผ่านอุปกรณ์ Signal Conditioner หรือ ไม่ก็ได้ตามความจำเป็น นอกเหนือจากนั้นแล้วเราไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์อื่นเข้ามาช่วยในการสร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริง ซึ่งจุดนี้เป็นจุดได้เปรียบของ DAQ Board นั่นคือแม้ว่าจะมีราคาแพง แต่สามารถจะทดแทนการซื้อเครื่องมือวัดอื่นๆ ได้มากมาย เราจะกล่าวถึง DAQ board

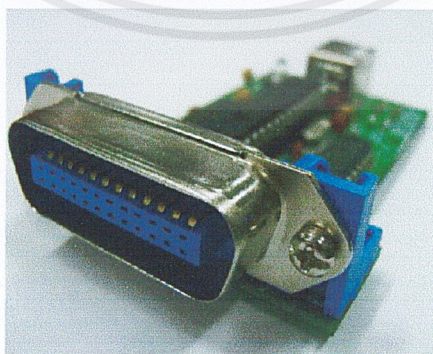
### 2.8.5.2 GPIB

*General Purpose Interface Bus* เป็นการขนถ่ายข้อมูลระบบใหม่ที่เพิ่งได้รับความนิยม แม้ว่าจะได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Hewlett-Packard ตั้งแต่ปลายทศวรรษ 1960 และได้พัฒนาจนกระทั่งได้รับมาตรฐานจาก Institute of Electrical and Electronic Engineer (IEEE) ในปี 1975 ซึ่งต่อมารู้จักกันในชื่อ IEEE 488 standard

จุดประสงค์แรกของ GPIB คือใช้ในการควบคุมเครื่องมือวัดโดยคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตามจุดประสงค์ได้เปลี่ยนแปลงไปบ้างแล้ว โดยการนำ GPIB มาใช้ควบคุมและติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วยกันหรือระหว่างคอมพิวเตอร์ กับ scanner หรือเครื่องมือวัดอื่นๆ ในระยะ 1-2 ปี ที่ผ่านมาระยะพบว่าเครื่องคอมพิวเตอร์บางรุ่นเริ่มมี GPIB ติดมาเป็นอุปกรณ์มาตรฐานของเครื่องแล้ว

จีพีไอบีเป็นการติดต่อแบบใหม่ที่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายชิ้นเข้ากับจีพีไอบีพอร์ตตัวเดียวได้ โดยสามารถต่ออุปกรณ์ได้สูงถึง 15 ชิ้น โดยใช้บัสเพียงตัวเดียว ทำให้ประหยัดและขจัดปัญหาในการปรับตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ต่ออยู่ทั้งหมดได้ ลักษณะโดยทั่วไปของการติดต่อแบบจีพีไอบีมีดังนี้

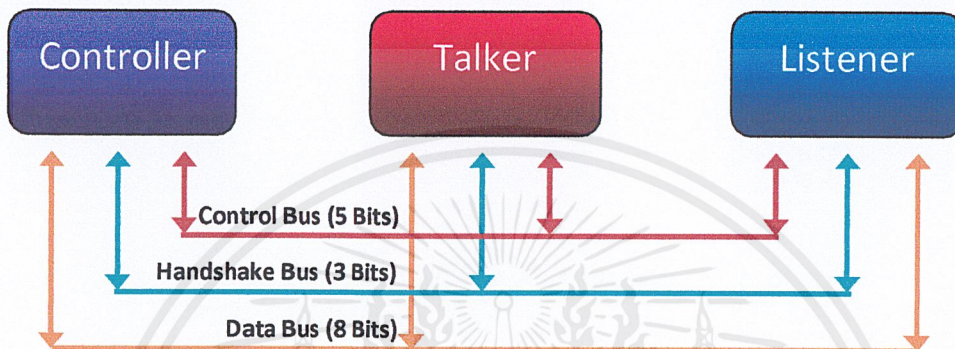
- ส่งผ่านข้อมูลด้วยวิธีแบบขนาน ครั้งละ 1 ไบต์ (8-บิต)
- ระยะทางความยาวของสายในการส่งสัญญาณประมาณ 2 เมตร - 20 เมตร
- อัตราการส่งผ่านข้อมูล 20,000 กิโลไบต์ต่อวินาที หรือมากกว่า ซึ่งนับว่าเร็วมากเมื่อเทียบกับพอร์ตแบบเก่า



รูปที่ 2.18 แสดง GPIB Board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพรโทคอลของจีพีไอบีเอส ใช้เส้นทางสัญญาณ 16 เส้นสำหรับการเชื่อมต่อ ซึ่งได้จำกัดความเร็วโดยเครื่องมือวัดที่เชื่อมต่อและคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยเส้น 16 เส้นถูกแบ่ง คือบัสข้อมูล (Data Bus) มีจำนวน 8 เส้นสำหรับติดต่อข้อมูล และบัสจัดการการสื่อสาร การถ่ายโอนข้อมูลที่เป็นจังหวะเดียวกัน (Hand Check Bus) จำนวน 3 เส้น และบัสควบคุม (Control Bus) 5 เส้นสำหรับการจัดการหน่วยเพื่อควบคุมการใช้เส้นทางดังแสดงในรูป 2.19



รูป 2.19 แสดงโพรโทคอลของจีพีไอบีเอส

อย่างไรก็ตามการที่ LabVIEW ติดต่อกับอุปกรณ์อื่นโดยผ่านทาง GPIB Port ได้สามารถทำให้เราสามารถเพิ่มศักยภาพของเครื่องมือจริง และสามารถนำค่าที่ได้จากเครื่องมือไปใช้ควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย

### 2.8.5.3 Serial Communication

ข้อดีของ serial communication ผ่านทาง Serial Port หรือพอร์ตอนุกรม คือราคาถูก และเครื่องมือมากมายได้ใช้อุปกรณ์นี้เป็นมาตรฐาน ลักษณะการทำงานของพอร์ตจะคล้ายกับ GPIB Port เพียงแต่ส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม และมีอัตราการส่งข้อมูลที่ช้ากว่า ซึ่งพอร์ตนี้จะใช้มาตรฐาน RS-232 หรือ RS-485 และการติดต่อข้อมูลจะต้องทำระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ที่มีพอร์ตนี้อยู่ด้วย

RS-232 เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่าง Hardware และ Software สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานตรวจวัดต่างๆ เช่น Data-Logger โดยที่ Software จะมีหลายตัวที่นำมาเขียน เช่น Labview ni เราใช้ ni เพื่อเป็นตัวรับค่าจาก Hardware เพราะสามารถเขียนได้ง่ายไม่ยุ่งยากมากเพราะเป็นโปรแกรมแบบ graphic Language และ Hardware ใช้ Micro controller ตระกูล PIC โดยการเขียนโปรแกรมลงใน PIC เพื่อรับส่งข้อมูลระหว่าง Hw/Sw และนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงเป็นกราฟหรือเก็บใน Lab tops

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวโดยรวมแล้วการทำงานของ LabVIEW จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเราใช้เพื่อการติดต่อกับเครื่องมือวัดโดยตรง แม้ว่าการเขียนโปรแกรมขั้นพื้นฐานเราจะได้กล่าวถึงการใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ก็ตาม การเขียน VI ในเบื้องต้น ผู้ใช้อาจมีความรู้สึกว่ายุ่งยาก ต้องจดจำ icon และระบบควบคุมต่างๆ มากมายแต่ก็จะเหมือนกับโปรแกรมหลายๆแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## วิธีการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และการออกแบบระบบทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

### 3.1 การทดลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

#### 3.1.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

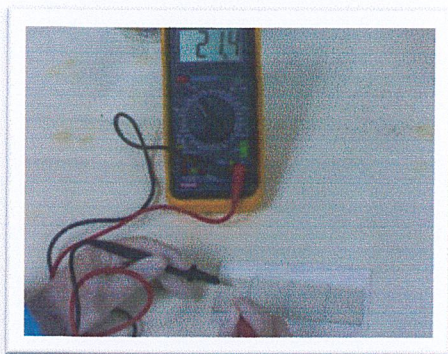
เมื่อแสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ อนุภาคของสีย้อมที่เกาะอยู่ภายในรูพรุนของชั้นไททานเนียมไดออกไซด์ จะทำหน้าที่รับพลังงานแสงทำให้อิเล็กตรอนภายในโมเลกุลของสีย้อมถูกกระตุ้นและเคลื่อนที่ออกจากโมเลกุลไปสะสมที่ขั้วไฟฟ้าลบผ่านไปทางโมเลกุลของไททานเนียมไดออกไซด์ เมื่อมีการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ อิเล็กตรอนดังกล่าวจะเคลื่อนที่ไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าและเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์ทางขั้วไฟฟ้าบวกไปยังแผ่นแพลททินัม จากนั้นอิเล็กตรอนจะกลับเข้าสู่อนุภาคของสีย้อม โดยผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์และฟิล์มแพลททินัมที่มีอิเล็กตรอนสะสมอยู่ เกิดเป็นกระแสไหลครบวงจรในทิศทางตรงกันข้ามกับการเดินทางของอิเล็กตรอน

#### 3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์

1. กระจกนำไฟฟ้า
2. ไททานเนียมไดออกไซด์
3. สารละลายแพลททินัม
4. แผ่นโพลีเมอร์หรือพลาสติกฟิล์ม
5. สารละลายอิเล็กโทรไลต์
6. สีย้อมไวแสง
7. คลิปหนีบกระดาษ
8. เข็มฉีดยา

#### 3.1.3 วิธีการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1. นำมัลติมิเตอร์ไปวัดที่ผิวกระจก เพื่อตรวจสอบด้านที่นำไฟฟ้า โดยปรับไปที่โหมดวัดความต้านทาน ถ้าด้านนำไฟฟ้าจะมีค่าความต้านทานต่ำเกิดขึ้น



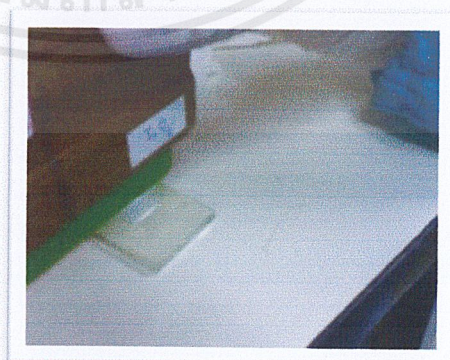
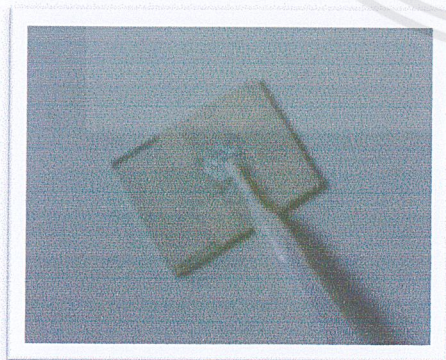
รูปที่ 3.1 แสดงการตรวจสอบกระแสจกด้านที่นำไฟฟ้า

2. นำเทปกาวติดบนกระจกด้านที่นำไฟฟ้าให้เป็นช่องสี่เหลี่ยมขนาด  $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$  จำนวน 2 แผ่น



รูปที่ 3.2 แสดงการกำหนดพื้นที่ขนาด  $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$

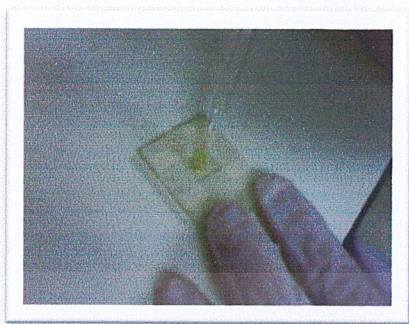
3. นำกระจกนำไฟฟ้า ไปเคลือบไททานเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) ให้เป็นฟิล์มบางในช่องสี่เหลี่ยม สำหรับทำเป็นขั้วลบ



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการเคลือบ  $\text{TiO}_2$  ลงบนกระจกนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำกระจกนำไฟฟ้า ไปเคลือบแพททินัม (Pt) ให้เป็นฟิล์มบางในช่องสี่เหลี่ยมสำหรับทำเป็นขั้วบวก



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการเคลือบ Pt ลงบนกระจกนำไฟฟ้า

5. นำกระจกนำไฟฟ้าทั้ง 2 แผ่น ไปให้ความร้อนบนเตาไฟฟ้า (Hot plate) ที่อุณหภูมิ 120 องศา เพื่อไล่ความชื้นเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเพิ่มความร้อนให้มีอุณหภูมิเป็น 450 องศา เป็นเวลา 45 นาที



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการให้ความร้อนบนเตาไฟฟ้า (Hot plate)

6. รองกระจกเย็นลงจึงนำกระจกด้านที่เป็นขั้วลบ (ด้านที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์) ไปแช่สีย้อมไวแสงที่เตรียมไว้ในบีกเกอร์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเป็นเวลา 30 นาที และแช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องต่อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในที่นี้สีย้อมไวแสงที่ใช้คือ Eosin-Y (ด้านขวามือของรูปที่ 3.6)

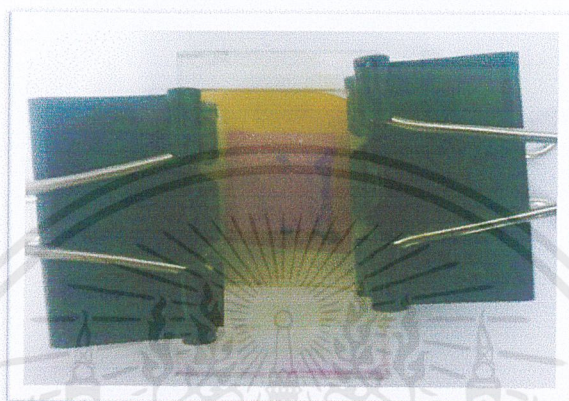


รูปที่ 3.6 แสดงการแช่กระจกที่เคลือบด้วย  $\text{TiO}_2$  ซึ่งผ่านการให้ความร้อนแล้ว ลงในสีย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

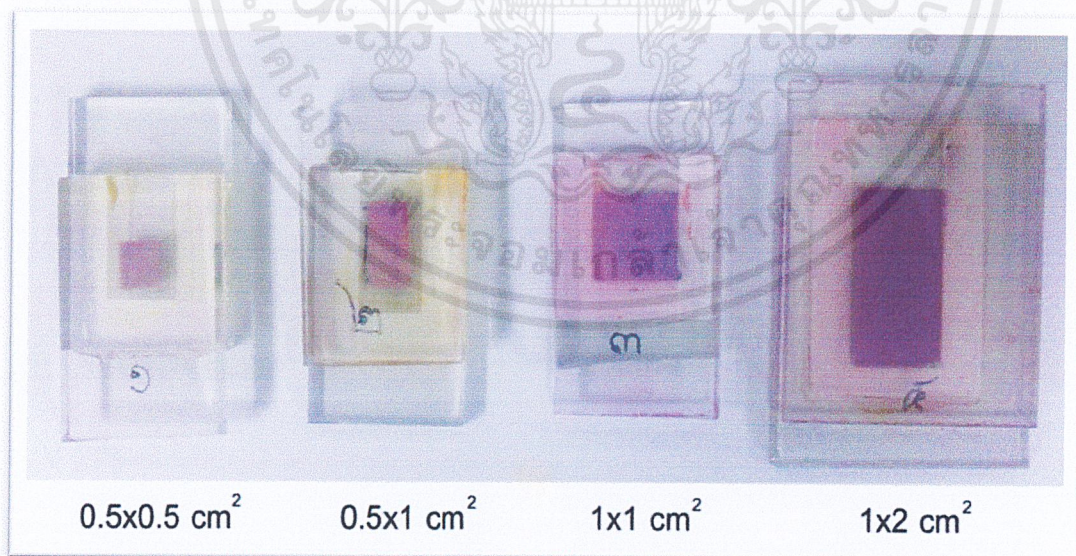
7. เมื่อแช่สีข้อมเสร็จแล้ว นำไปเป่าให้แห้งแล้วจึงนำกระจกด้านที่เป็นขี้ววก (แพลททินัม) และด้านที่เป็นขี้วลบ (ไททาเนียมไดออกไซด์) มาประกบกัน โดยชั้นกลางด้วยพอลิเมอร์เป็นช่องไว้สำหรับเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

8. เติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วนำไปวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยใช้ Solar simulation



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งผ่านการเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนแรกแต่เปลี่ยนขนาดเป็น  $0.5 \times 1$ ,  $1 \times 1$ ,  $1 \times 2$   $\text{cm}^2$  ตามลำดับ



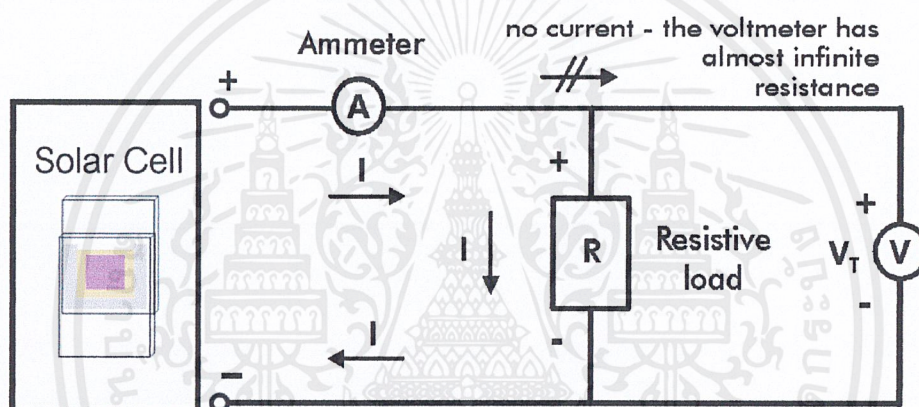
รูปที่ 3.8 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงที่ขนาดพื้นที่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

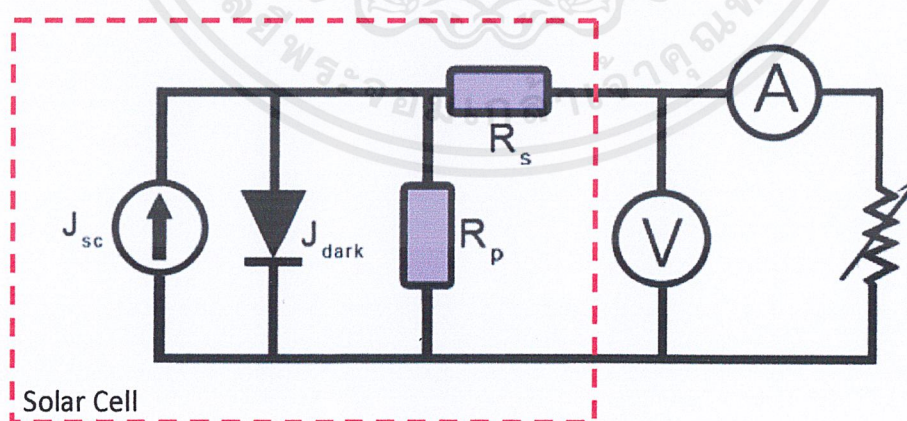
## 3.2 การออกแบบระบบทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

### 3.2.1 แนวความคิดพื้นฐาน

ฮาร์ดแวร์ที่เป็นพื้นฐานการทำโครงการชิ้นนี้ เป็นการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ โดยการปรับค่าความต้านทานของ Active Load และในการปรับค่าความต้านทานแต่ละครั้ง จะมีการวัดและบันทึกค่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อม โซลาร์เซลล์ และค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร ซึ่งตามกฎของโอห์ม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในวงจร จะส่งผลให้ค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามไป ซึ่งคุณสมบัติของแหล่งจ่ายที่ดีนั้น จะต้องสามารถรักษาค่าศักดาให้คงที่ เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงไป ดังรูป 3.9 ก) และ 3.9 ข)



รูปที่ 3.9 ก) วงจรพื้นฐานของการวัดโซลาร์เซลล์

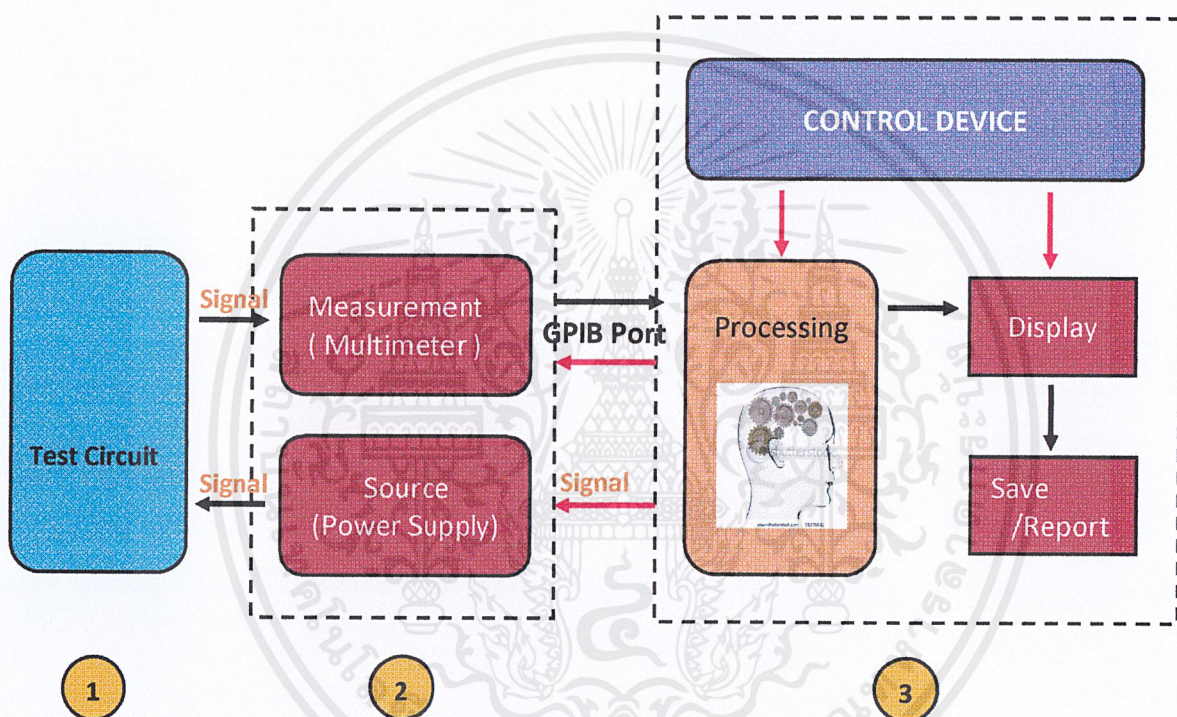


รูปที่ 3.9 ข) วงจรเสมือนภายในของโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 การทำงานของระบบ

จากวงจรพื้นฐาน ได้มีการพัฒนาระบบการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.10 โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการประมวลผลคุณสมบัติเบื้องต้นของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ Voc, Isc, Pmax, FF และ Eff พร้อมทั้งสามารถนำค่าศักดาและกระแสที่วัดได้ไปพล็อตกราฟแล้วแสดงผลผ่านจอคอมพิวเตอร์ และจัดเก็บข้อมูลลงใน Microsoft Excel เพื่อสะดวกในการใช้งานและวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนได้แก่

1. Test Circuit
2. Instrument & Measurement Process
3. Analysis and Presentation By LabVIEW Program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

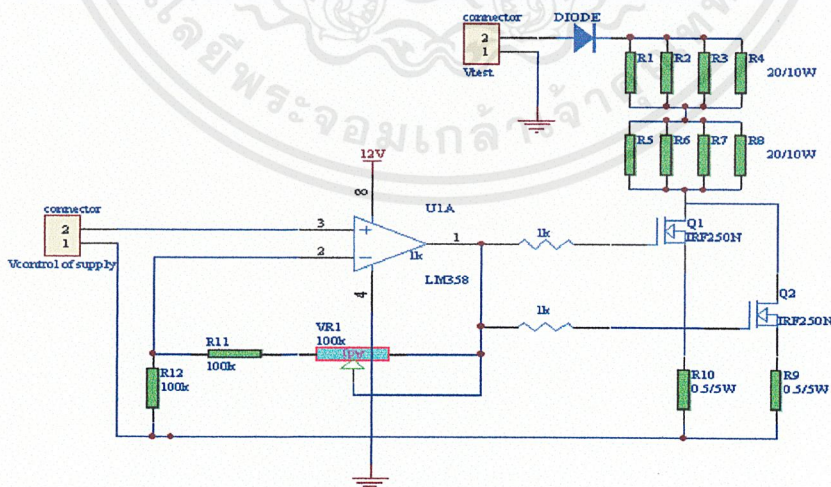
### 3.2.2.1 Test Circuit

เป็นส่วนของวงจรที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณที่เข้ามาจากอุปกรณ์ที่เราต้องการวัด เพื่อให้ได้สัญญาณตรงกับสิ่งที่เราต้องการนำมาวิเคราะห์ เพราะในบางอุปกรณ์อาจให้ค่ากระแสที่ต่ำเกินไป จนไม่อาจวัดได้ หรือบางวงจรอาจมีความเสี่ยงต่อการเสียหาย อาจต้องเพิ่มวงจรบางส่วนเข้าไปเพื่อปรับเปลี่ยนให้เหมาะกับความต้องการ หากนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่ให้กระแสต่ำๆ ในโครงการนี้เราใช้วงจร Active Load เป็นวงจร Test Circuit

Active Load มีคุณสมบัติสามารถเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในตัวได้เป็นโพลดให้กับโซลล่าเซลล์เพื่อใช้ในการคิงกระแสจากตัวอุปกรณ์ แล้ววัดค่ากระแสและแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป โดยในการวัดและบันทึกค่าดังกล่าวจะใช้โปรแกรมแลปวิว(LabVIEW) ซึ่งแบ่งการทำงานของระบบได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนควบคุมแรงดันให้ได้ระดับตามที่ต้องการ
2. ส่วนวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าของโซลล่าเซลล์

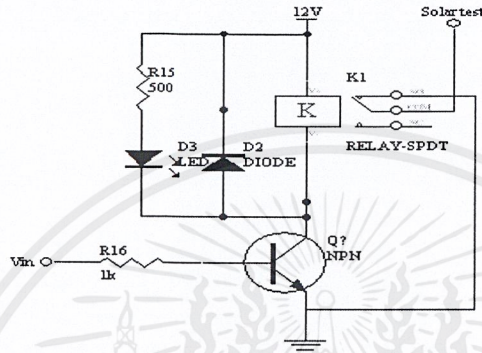
รูปวงจร Active Load แสดงในรูปที่ 3.3 ด้านล่าง ในส่วนของ  $V_{test}$  เราจะต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการวัด โดยมีคิตจิลดมัลติมิเตอร์ทำหน้าที่ในการวัดค่ากระแสและศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ภายในวงจร Active Load สามารถปรับค่าความต้านทานภายในได้ซึ่งเปรียบเทียบได้กับตัวต้านทานปรับค่าได้ แต่ Active Load จะปรับค่าความต้านทานจากการไปอัสหากทของมอสเฟตกำลัง และมีอัตราการทนความร้อนที่สูงกว่าตัวต้านทานปรับค่าได้ และมีตัวต้านทานปรับค่าได้(VR 100k) ใช้สำหรับเป็นส่วนควบคุมการป้อนกลับเพื่อใช้ปรับค่า Gain ของวงจร



รูปที่ 3.11 แสดงวงจร Active Load

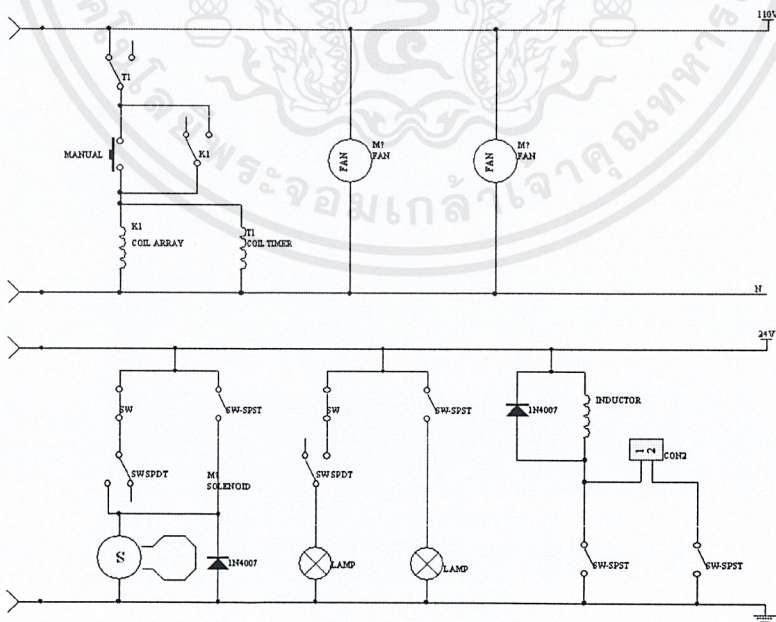
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยคณะผู้จัดทำได้เพิ่มส่วนของวงจร Relay ขึ้นมา ไว้สำหรับช้อตวงจรเพื่อวัดค่ากระแสลัดวงจร ( $I_{SC}$ ) ของเซลล์แสงอาทิตย์ กล่าวคือ หากขาเบสของทรานซิสเตอร์ได้รับแรงดันไบอัสที่มากพอ จนทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในโหมด Saturation แล้ว จะทำให้ Relay ทำงาน ไฟ LED จะติด จากนั้นจะเกิดการเหนี่ยวนำจากกระแสที่ไหลผ่านขดลวด ทำให้สวิตช์ตัดมาอีกทางจากขา NC เปลี่ยนมาทางขา NO วงจรจะดึงกระแสทั้งหมดลงยัง GND มีลักษณะวงจรวงจรดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 วงจร Relay

วงจรสำหรับระบบจ่ายไฟ แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนควบคุมการเปิด-ปิดแสง ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.13 และส่วนจ่ายแสง แสดงได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 วงจรควบคุมการเปิด-ปิดแสง

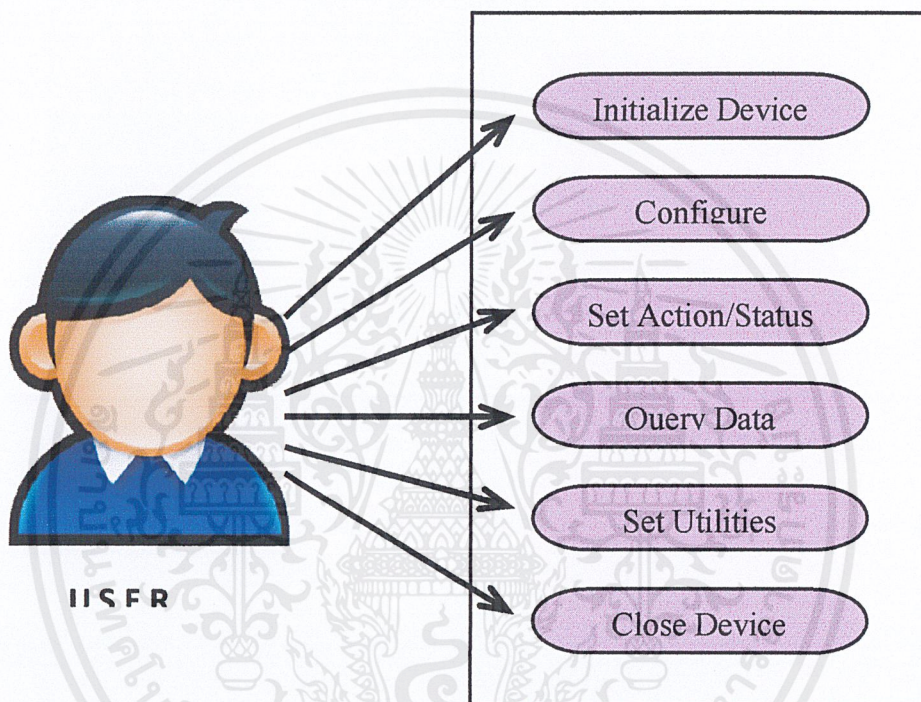
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.2.2.2 Instrument & Measurement Process

ในส่วนนี้จะประกอบด้วย Multimeter ซึ่งนำมาใช้วัดค่ากระแสและแรงดันที่ได้จากการทดสอบด้วยวงจร Active load และมี Power Supply ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่วงจร Active load ในวิทยานิพนธ์นี้เราจะใช้ Power Supply และ Multimeter ควบคู่กัน คือ

1.) เครื่องจ่ายกำลังงานไฟฟ้า 3 ช่องออก (Triple Output Power Supply) ยี่ห้อ Agilent(HP รุ่น E3631A) ไบรารีของ Agilent E3631A ทั้งหมด 19 ฟังก์ชันประกอบด้วย



รูปที่ 3.15 แสดงยูสเคสไดอะแกรมของเครื่องมือวัด Agilent E3631A

#### 2.1.1) Initialize (1 ฟังก์ชัน)

- Initialize

#### 2.1.2) Configure (6 ฟังก์ชัน)

- Configure Output
- Configure Output Range
- Configure Tracking
- Configure OVP
- Configure Current Limit 37
- Configure Coupling

#### 2.1.3) Low Level Configure (1 ฟังก์ชัน)

- Configure Trigger

#### 2.1.4) Action/ Status (2 ฟังก์ชัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Output Protection Status
- Reset Output Protection

#### 2.1.5) Low Level Action/Status (2 ฟังก์ชัน)

- Initiate
- Send Software Trigger

#### 2.1.6) Data (1 ฟังก์ชัน)

- Read Output

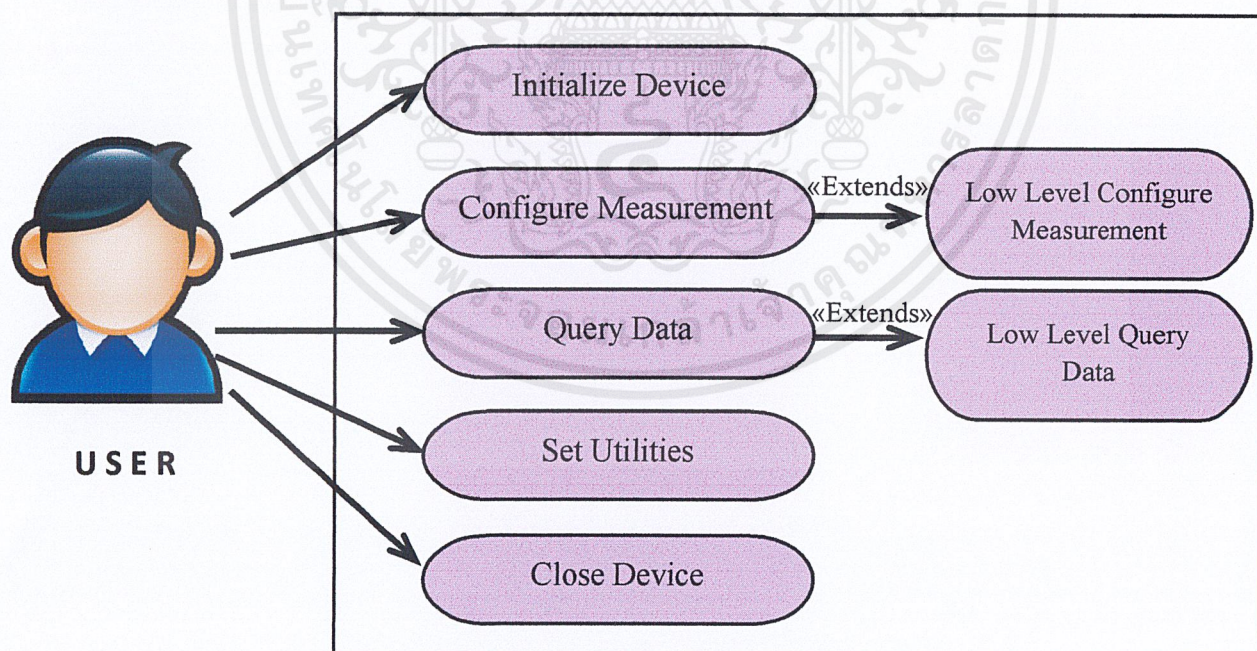
#### 2.1.7) Utility (5 ฟังก์ชัน)

- Reset
- Error Query
- Save-Recall Setup
- Self-Test
- Revision Query

#### 2.1.8) Close (1 ฟังก์ชัน)

- Close

2.) เครื่องมือวัดหลายย่านวัด 6½ หลัก (Digital Multimeter 6½ Digit) ยี่ห้อ Agilent\HP รุ่น 34401A  
 โดเมนชื่อของ Agilent 34401A ทั้งหมด 28 ฟังก์ชันประกอบด้วย



รูปที่ 3.16 แสดงยูสเคสไคอะแกรมของเครื่องมือวัด Agilent 34401A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.1 Initialize (1 ฟังก์ชัน)

- Initialize

### 1.2 Configure (9 ฟังก์ชัน)

- Configure Measurement
- Configure Aperture
- Configure AC Filter
- Configure Offset Compensation
- Configure Temperature (RTD)
- Configure Auto Zero
- Configure Integration
- Configure DC Input Resistance 30
- Configure Math

### 1.3 Low Level Configure (2 ฟังก์ชัน)

- Configure Trigger
- Configure Multipoint

### 1.4 Data (4 ฟังก์ชัน)

- Read Single-Point
- Read Transient
- Read Multi-Points
- Read Math

### 1.5 Low Level Data (4 ฟังก์ชัน)

- Initiate Measurement
- Fetch Measurement
- Send Software Trigger
- Query Questionable Data Register

### 1.6 Utility (7 ฟังก์ชัน)

- Error Query
- Self-Test
- Device Clear
- Recall Instrument Settings
- Revision Query
- Reset
- System Option

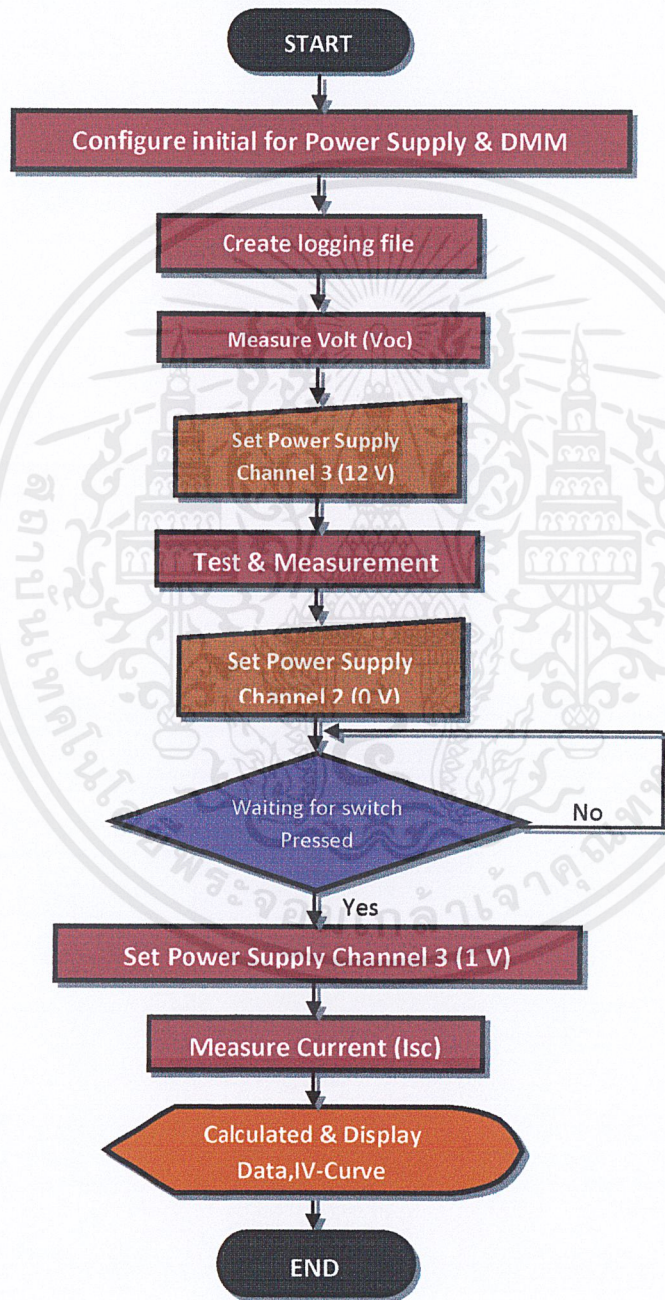
### 1.7 Close (1 ฟังก์ชัน)

- Close

#### 3.2.2.3 Analysis and Presentation By LabVIEW Program

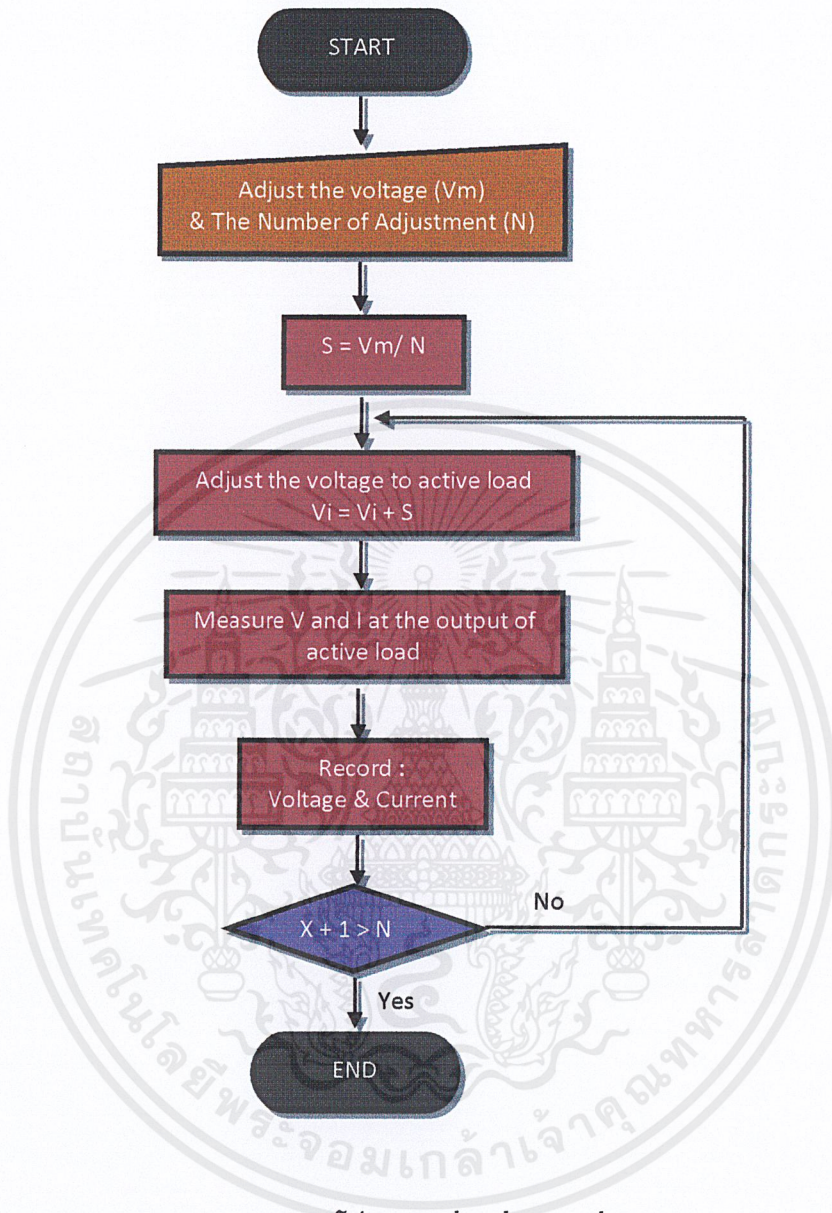
ส่วนนี้จะใช้ LabVIEW เขียนควบคุมสั่งงานและรับผลของ Multimeter และ Power Supply สำหรับ Multimeter จะควบคุมผ่านทาง GPIB Port และ Power Supply จะควบคุมผ่านทาง RS232 Port เมื่อเริ่มทำงานจะเริ่มป้อนคำสั่งให้กับ Power Supply และจะรับค่าที่ได้จาก Multimeter นำไปแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้นั้นจะถูกบันทึกไว้ที่ Excel ไปพร้อมๆกันอีกด้วย

ในส่วนของการออกแบบโปรแกรมนั้น จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นส่วนของการทำงานหลัก คือการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ DMM และ Power Supply จากนั้นวัดและบันทึกค่าของ  $V_{oc}$  และ  $I_{sc}$  เพื่อนำมาหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในตอนสุดท้าย ส่วนที่ 2 จะเป็นส่วนย่อยซึ่งเป็นการวัดค่าของแรงดันและกระแส โดยใช้วงจร Active load เสมือนกับว่ามีการปรับค่าความต้านทานให้มีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถแสดงกระบวนการทำงานได้ดังรูปที่ 3.17 และ 3.18



รูปที่ 3.17 Flow chart แสดงการทำงานส่วนหลักของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรมส่วนย่อยของส่วน Test Measurement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกสร้างขึ้นตามเงื่อนไขต่าง ๆ ตามวิธีการทดลองในบทที่ 3 จากนั้นนำมาทำการวัดและบันทึกค่าของแรงดันที่ตกคร่อม และกระแสที่ไหลผ่าน เพื่อหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สำคัญ 5 อย่าง คือ

- 1.) ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current :  $I_{sc}$ ) คือค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ เมื่อภาระทางไฟฟ้ามีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของเซลล์แสงอาทิตย์
- 2.) ค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (Open Circuit Voltage :  $V_{oc}$ ) คือค่าแรงดันที่วัดได้ เมื่อภาระทางไฟฟ้ามีค่ามาก เมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของเซลล์แสงอาทิตย์
- 3.) ค่ากำลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power :  $P_{max}$ ) เมื่อนำภาระทางไฟฟ้าที่เหมาะสมมาต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งทำงานที่ภายใต้ความเข้มแสงที่อุณหภูมิค่าหนึ่ง กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมา จะมีค่าสูงที่สุด
- 4.) ค่าฟิลแฟคเตอร์ (Fill Factor: F.F.) เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $V_{max} \times I_{max}$ ) และผลคูณของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดกับกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ( $V_{oc} \times I_{sc}$ )

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

- 5.) ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (Efficiency) หาได้จากค่ากำลังงานไฟฟ้าสูงสุด  $P_{max}$  ต่อพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังของแสงที่ตกกระทบแผงต่อตารางเมตร

$$Eff = \frac{P_{max}/Area}{P_{in}/Area} \times 100\%$$

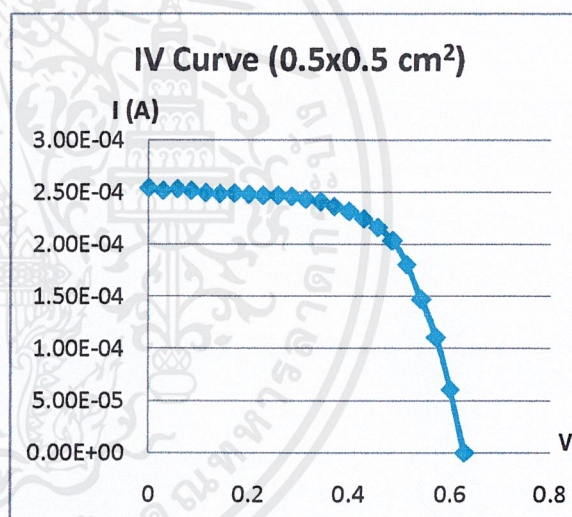
#### 4.1 ผลการวัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งมีพื้นที่ $0.5 \times 0.5$ , $0.5 \times 1$ , $1 \times 1$ และ $1 \times 2 \text{ cm}^2$ ให้ผลการทดลองดังนี้

##### 4.1.1 ผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ขนาด $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด  $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$

V (Volt)	I (Ampere)	P(watt)
0.60010200 E-3	2.53915600E-04	1.43E-05
1.26338000E-3	2.51535300E-04	6.91E-06
2.97753800E-2	2.52714700E-04	3.21E-07
5.83200500E-2	2.51468600E-04	7.49E-06
8.68625600E-2	2.49180000E-04	1.47E-05
1.15439900E-1	2.48281800E-04	2.18E-05
1.43981700E-1	2.48816500E-04	2.88E-05
1.72491100E-1	2.47823000E-04	3.57E-05
2.01026700E-1	2.46621000E-04	4.17E-05
2.29598500E-1	2.45023000E-04	4.29E-05
2.58137500E-1	2.43957100E-04	4.98E-05
2.86684300E-1	2.43675700E-04	5.63E-05
3.15259900E-1	2.39294800E-04	6.30E-05
3.43771000E-1	2.36934500E-04	6.99E-05
3.72316100E-1	2.31000800E-04	7.54E-05
4.00860500E-1	2.26446000E-04	8.15E-05
4.29431000E-1	2.21573100E-04	8.60E-05
4.57969900E-1	2.13329100E-04	9.08E-05
4.86470200E-1	2.03376800E-04	9.52E-05
5.15007500E-1	1.78262300E-04	9.77E-05
5.43553600E-1	1.47374200E-04	9.89E-05
5.72125800E-1	1.10442070E-04	9.18E-05
6.00669300E-1	6.07222200E-05	8.01E-05
6.29250000E-1	8.39104600E-06	6.32E-05

Isc	0.254	mA
Voc	0.629	V
Area	0.25	$\text{cm}^2$
Jsc	8.16E-04	$\text{A/cm}^2$
Pmax	0.099	mW
Efficiency	0.396	%
Fillfactor	0.619	W/W



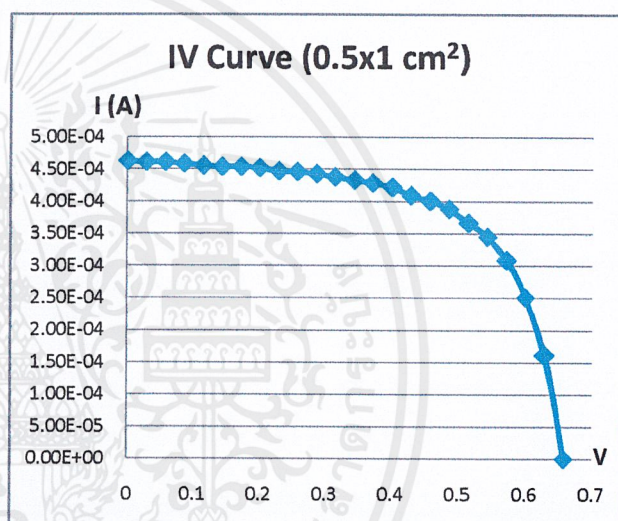
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดพื้นที่  $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$

#### 4.1.2 ผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ขนาด $0.5 \times 1 \text{ cm}^2$

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด  $0.5 \times 1 \text{ cm}^2$

V (Volts)	I (Ampares)	P(Watt)
1.07010400E-3	4.62806000E-4	5.90E-07
2.97873000E-2	4.60849300E-4	1.37E-05
5.83334000E-2	4.60739100E-4	2.69E-05
8.68775800E-2	4.58732200E-4	3.99E-05
1.15456100E-1	4.55546900E-4	5.26E-05
1.43997700E-1	4.53698900E-4	6.53E-05
1.72505100E-1	4.53695100E-4	7.83E-05
2.01038100E-1	4.51969700E-4	9.09E-05
2.29608300E-1	4.46832300E-4	1.03E-04
2.58145800E-1	4.45798000E-4	1.15E-04
2.86694000E-1	4.43194800E-4	1.27E-04
3.15271100E-1	4.37910600E-4	1.38E-04
3.43782900E-1	4.33277000E-4	1.49E-04
3.72330200E-1	4.28928200E-4	1.60E-04
4.00875600E-1	4.22030500E-4	1.69E-04
4.29444300E-1	4.09268100E-4	1.76E-04
4.57980900E-1	4.00957700E-4	1.84E-04
4.86479000E-1	3.88376800E-4	1.89E-04
5.15014600E-1	3.66494500E-4	1.89E-04
5.43561700E-1	3.45082000E-4	1.88E-04
5.72142400E-1	3.08699400E-4	1.77E-04
6.00685800E-1	2.50971400E-4	1.51E-04
6.29201500E-1	1.61453600E-4	1.02E-04
6.57745200E-1	3.21682600E-5	2.12E-05

Isc	-0.465	mA
Voc	0.658	V
Area	0.5	$\text{cm}^2$
Jsc	9.30E-04	A/ $\text{cm}^2$
Pmax	0.189	mW
Efficiency	0.378	%
Fillfactor	0.617	W/W



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดพื้นที่  $0.5 \times 1 \text{ cm}^2$

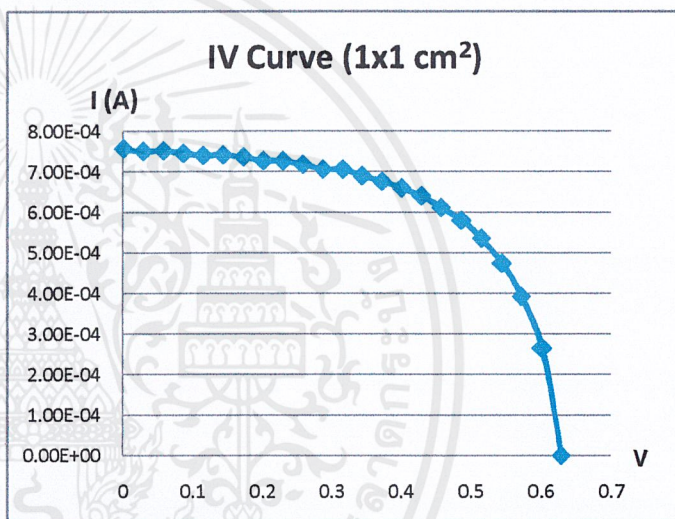
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ขนาด 1x1 cm<sup>2</sup>

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 1x1 cm<sup>2</sup>

V (Volts)	I(Ampares)	P (Watt)
0.70258100E-3	7.57200600E-4	9.66E-07
1.27577800E-3	7.50565200E-4	2.24E-05
2.97915900E-2	7.52607100E-4	4.39E-05
5.83403100E-2	7.46416600E-4	6.49E-05
8.68856900E-2	7.41136300E-4	8.56E-05
1.15467100E-1	7.41758200E-4	1.07E-04
1.44007900E-1	7.36863400E-4	1.27E-04
1.72514200E-1	7.27699600E-4	1.46E-04
2.01045500E-1	7.26777600E-4	1.67E-04
2.29613100E-1	7.18583800E-4	1.86E-04
2.58148700E-1	7.06375100E-4	2.03E-04
2.86698300E-1	7.05860300E-4	2.23E-04
3.15277300E-1	6.90025000E-4	2.37E-04
3.43792400E-1	6.76629100E-4	2.52E-04
3.72341600E-1	6.76629100E-4	2.52E-04
4.00887500E-1	6.59868900E-4	2.65E-04
4.29454800E-1	6.40767900E-4	2.75E-04
4.57989000E-1	6.11649500E-4	2.80E-04
4.86485700E-1	5.80439200E-4	2.82E-04
5.15019400E-1	5.36004400E-4	2.76E-04
5.43566200E-1	4.74266200E-4	2.58E-04
5.72150100E-1	3.92679100E-4	2.25E-04
6.00696200E-1	2.65601200E-4	1.60E-04
6.29206500E-1	9.23294100E-5	5.81E-05

Isc	0.760	mA
Voc	0.629	V
Area	1	cm <sup>2</sup>
Jsc	7.60E-04	A/ cm <sup>2</sup>
Pmax	0.282	mW
Efficiency	0.282%	%
Fillfactor	0.591	W/W



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดพื้นที่ 1x1 cm<sup>2</sup>

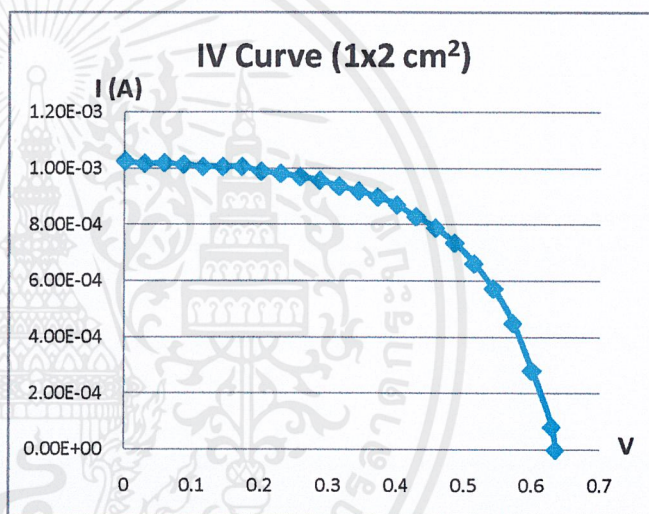
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 ผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ขนาด $1 \times 2 \text{ cm}^2$

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด  $1 \times 2 \text{ cm}^2$

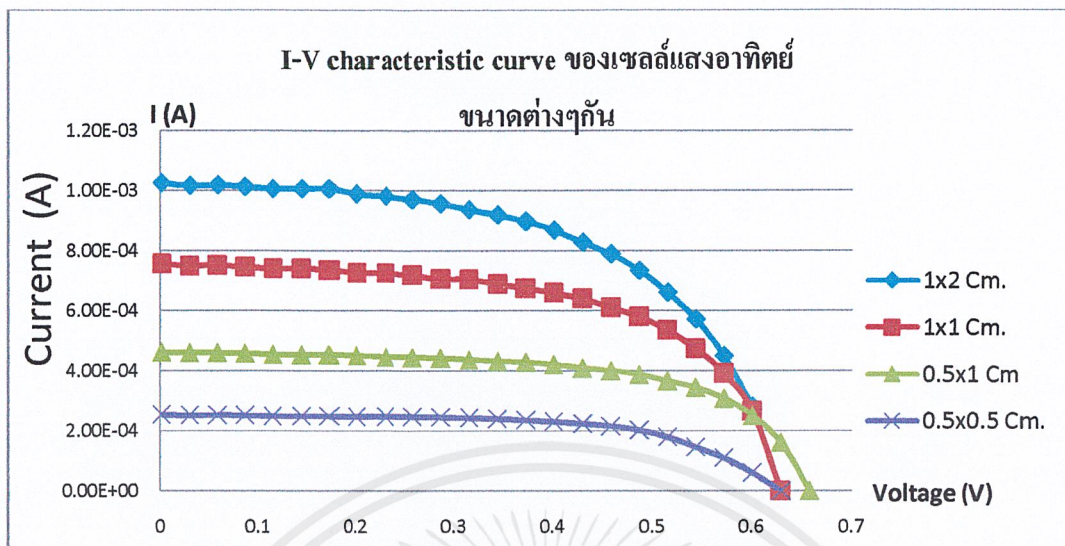
V (Volts)	I (Ampares)	P (Watt)
0.99822100E-3	1.02661000E-3	1.32E-06
1.28197700E-3	1.01749800E-3	3.03E-05
2.97982700E-2	1.01923700E-3	5.95E-05
5.83472300E-2	1.01436300E-3	8.81E-05
8.68938000E-2	1.00714800E-3	1.16E-04
1.15475700E-1	1.00652100E-3	1.45E-04
1.44016700E-1	1.01307100E-3	1.75E-04
1.72516300E-1	9.89979500E-4	1.99E-04
2.01047400E-1	9.81515200E-4	2.25E-04
2.29613300E-1	9.71285000E-4	2.41E-04
2.58148900E-1	9.71285000E-4	2.51E-04
2.86698800E-1	9.57337600E-4	2.74E-04
3.15278100E-1	9.37484100E-4	2.96E-04
3.43795100E-1	9.19643000E-4	3.16E-04
3.72344500E-1	8.98414900E-4	3.35E-04
4.00892300E-1	8.70100800E-4	3.49E-04
4.29456700E-1	8.28661800E-4	3.56E-04
4.57991400E-1	7.89551400E-4	3.62E-04
4.86486700E-1	7.35626700E-4	3.58E-04
5.15020100E-1	6.62026300E-4	3.41E-04
5.43566900E-1	5.73732000E-4	3.12E-04
5.72151200E-1	4.50268900E-4	2.58E-04
6.00699800E-1	2.82287800E-4	1.70E-04
6.29214400E-1	0.00010100E-5	5.15E-05

Isc	1.026	mA
Voc	0.629	V
Area	2	$\text{cm}^2$
Jsc	7.60E-04	A/ $\text{cm}^2$
Pmax	0.362	mW
Efficiency	0.181%	%
Fillfactor	0.560	W/W

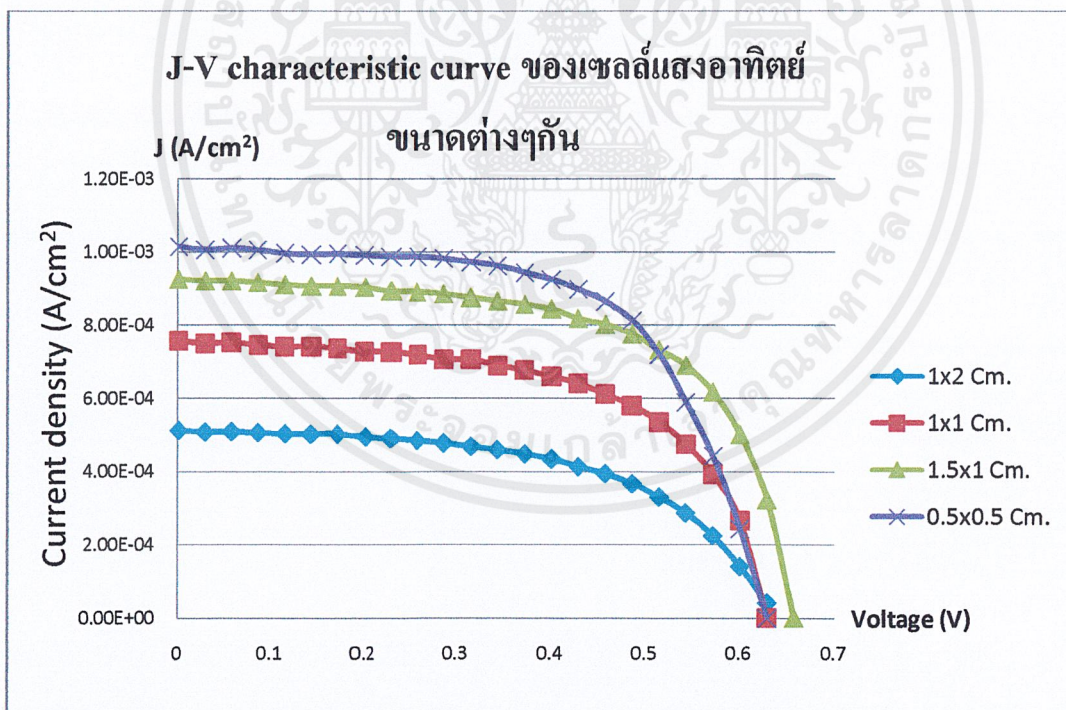


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดพื้นที่  $1 \times 2 \text{ cm}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ I-V ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่เหลี่ยมแสงที่พื้นที่ต่างๆ

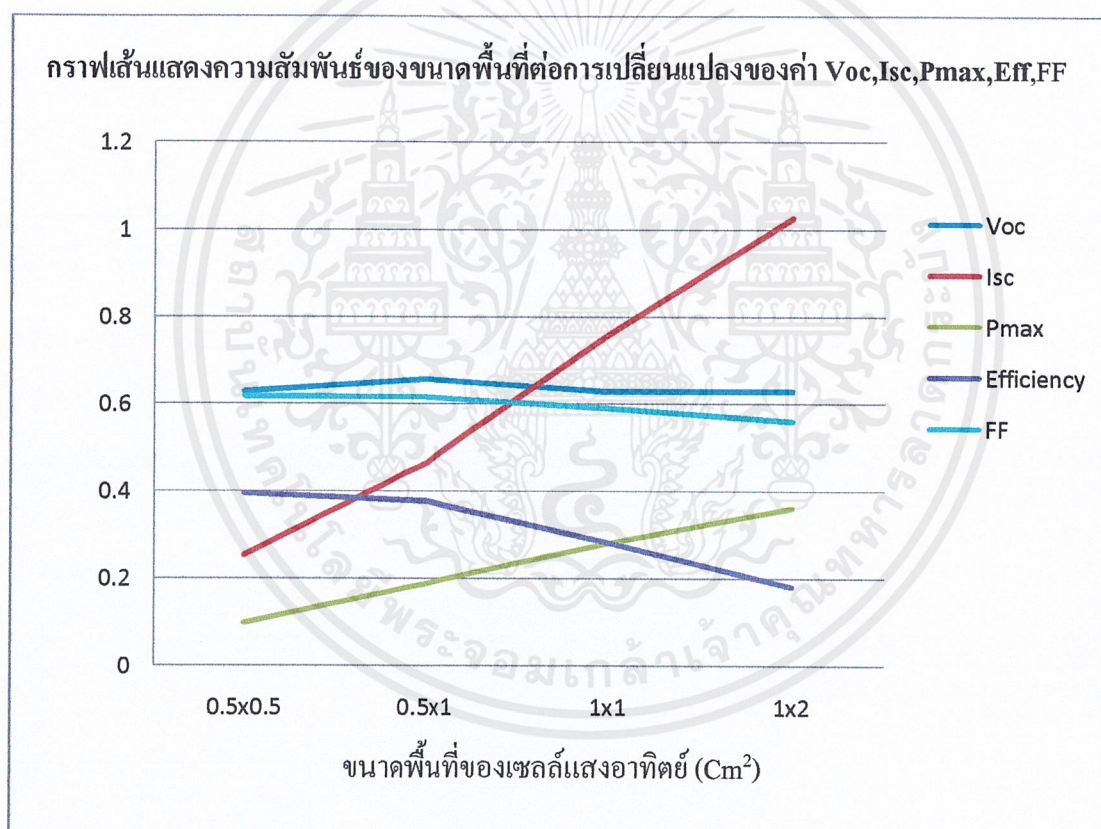


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ J-V ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสี่เหลี่ยมแสงที่พื้นที่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่พื้นที่ต่างๆ

ข้อมูล	0.5x0.5 (cm <sup>2</sup> )	0.5x1 (cm <sup>2</sup> )	1x1 (cm <sup>2</sup> )	1x2 (cm <sup>2</sup> )
1. ค่า Voc (V)	0.629	0.658	0.629	0.629
2. ค่า Isc (mA)	0.254	0.465	0.760	1.026
3. ค่า Pmax (mW)	0.099	0.189	0.282	0.362
4. ค่า Efficiency (%)	0.396	0.378	0.282	0.181
5. ค่า FF (W/W)	0.619	0.617	0.591	0.560



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพื้นที่ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า Voc, Isc, Pmax, Eff และ FF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

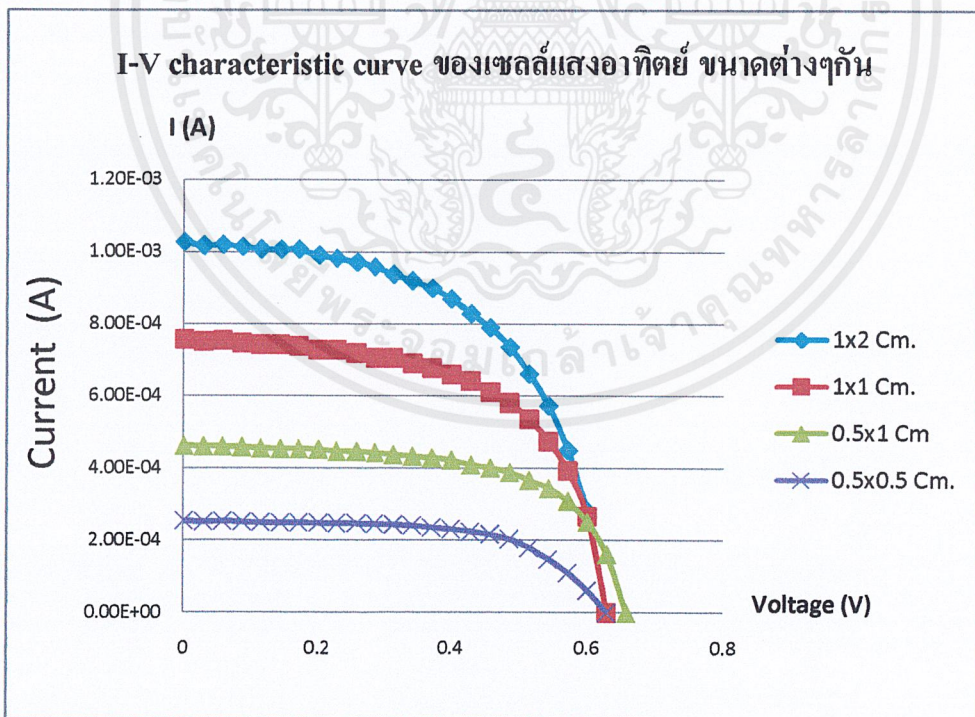
## บทที่ 5

### สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

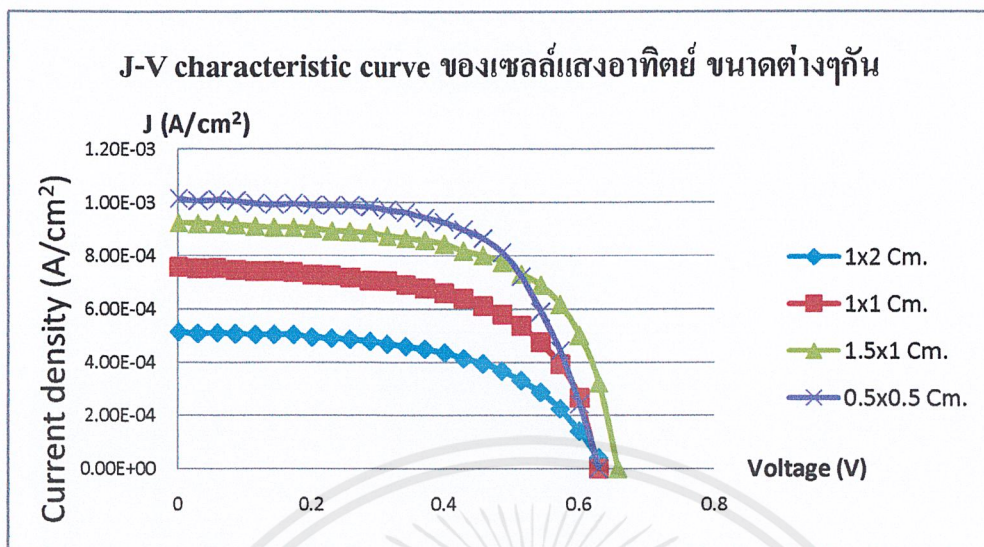
#### 5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีพื้นที่  $0.5 \times 0.5$ ,  $0.5 \times 1$ ,  $1 \times 1$  และ  $1 \times 2$  cm<sup>2</sup> มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  และที่อุณหภูมิ  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องนี้คือ สามารถวัดแรงดันได้สูงสุด 30 โวลต์ และวัดกระแสได้สูงสุด 3 แอมป์

การทำงานของเครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ คือ สามารถปรับค่าความต้านทานที่เป็นโหลดให้กับแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์แล้ววัดค่าแรงดันและกระแสที่ค่าความต้านทานต่างๆ จากนั้นจึงนำมาหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญทางไฟฟ้าและแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้า และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดัน เป็นดังรูป

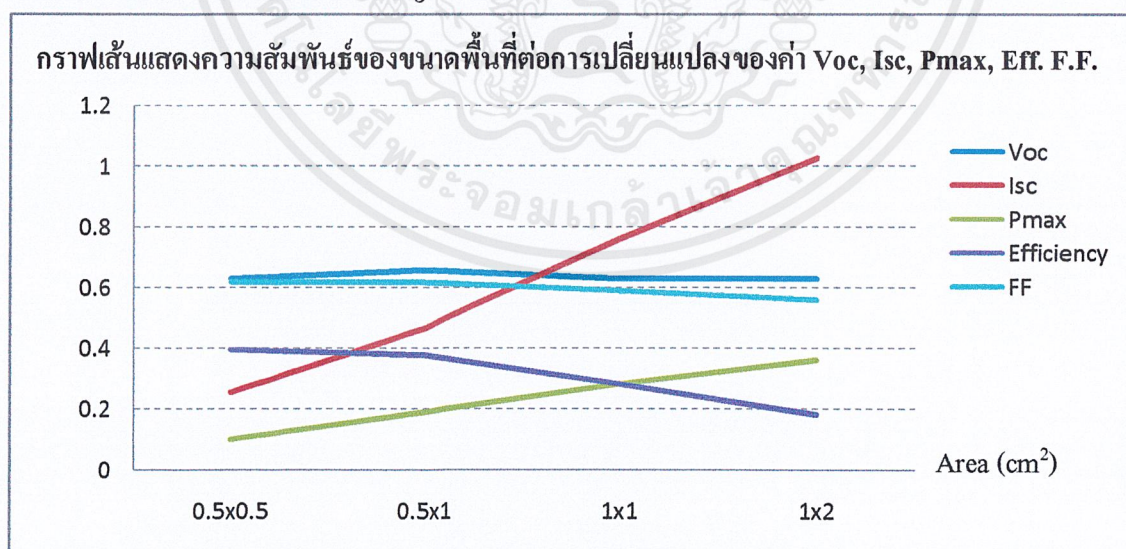


รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของ I-V characteristic ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดต่างๆกัน



รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ของ J-V characteristic ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดต่างๆกัน

กราฟของ IV Characteristic Curve เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์จะเห็นว่าเมื่อพื้นที่มากขึ้น กระแสที่วัดได้จะมีค่ามากขึ้นตาม แต่หากเปรียบเทียบกับกราฟค่าความหนาแน่นของกระแส JV Characteristic Curve ซึ่งเป็นค่าของกระแสที่วัดได้ต่อพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่รับแสงน้อย กลับมีค่าความหนาแน่นของกระแสมากกว่าพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งปัจจัยนี้เองที่ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ของพื้นที่ขนาดเล็กมีประสิทธิภาพดีกว่าพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่



รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพื้นที่ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ ,  $P_{max}$ , Eff และ FF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่าค่ากระแสลัดวงจร ( $I_{sc}$ ) ที่ได้และค่ากำลังงานสูงสุด ( $P_{max}$ ) ที่คำนวณได้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ในการรับแสงมาก จะให้กระแสไฟฟ้าและกำลังงานได้มากขึ้นตามไปด้วย

แต่ค่าของแรงดันเปิดวงจร ( $V_{oc}$ ) และค่าฟิลแฟกเตอร์ (FF) มีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าของแรงดันเปิดวงจรนั้น ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ใช้ ซึ่งในที่นี้จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ  $0.63V$  และ FF มีค่าประมาณ  $0.6 W/W$  ส่วนค่าประสิทธิภาพที่ลดลงของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นแสดงให้เห็นว่า ถึงแม้กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่จะมีค่ามากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ขนาดเล็ก แต่ค่าประสิทธิภาพก็ไม่จำเป็นต้องมากขึ้นตามกระแสไฟฟ้าด้วย ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงนั้น เนื่องมาจากความต้านทานรวมภายในของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพื้นที่มากขึ้น

## 5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อทำการกำหนดพื้นที่ค่าต่างๆ คือ  $0.5 \times 0.5$ ,  $0.5 \times 1$ ,  $1 \times 1$  และ  $1 \times 2 \text{ cm}^2$  แล้วทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้แสงที่มีสเปกตรัมมาตรฐานที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  และที่อุณหภูมิ  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ในการทดลองพบว่า เมื่อพื้นที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะทำให้กระแสลัดวงจร ( $I_{sc}$ ) และค่ากำลังงานสูงสุด ( $P_{max}$ ) ที่ได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ค่าแรงดันเปิดวงจร ( $V_{oc}$ ) และค่าฟิลแฟกเตอร์ (FF) มีค่าค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตาม เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สร้างขึ้นนี้ ยังมีค่าประสิทธิภาพที่ค่อนข้างต่ำมาก หากจะนำมาใช้งานจริง ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาและพัฒนาอีกมาก เพื่อให้ได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูง

โปรแกรมแลปวิวนั้นมีความเหมาะสมในการนำไปใช้สำหรับควบคุมอุปกรณ์ที่เป็นเครื่องมือวัดหลายๆรูปแบบ เนื่องจากเป็น โปรแกรมที่ง่ายต่อการใช้ ซึ่งสามารถจำลองการทำงานของระบบได้ในทันทีที่ต้องการ สามารถมองเห็นการทำงานในแต่ละขั้นตอนได้กว้างและชัดเจนมากกว่า เนื่องจากการเขียนโปรแกรมโดยการใช้สัญลักษณ์แทนคำสั่ง จึงสะดวกกับการออกแบบ และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการออกแบบโปรแกรมขั้นสูงๆต่อไป

## บรรณานุกรม

- O'Regan, B., Graetzel, M. 1991. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dyesensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films. *Nature* 353 (6346), p. 737
- K. Tennakonea, P.K.M. Bandaranayakea, P.V.V. Jayaweera, A. Konnob, G.R.R.A. Kumarab, "Dye-sensitized composite semiconductor nanostructures", *Physica E*, 2002, p. 7
- J.M. KROON, Nanomax Final Technical Report "Nanocrystalline Dye-Sensitized Solar Cells Having Maximum Performance" 2005, p. 41
- "Solar Energy Utilization Technology", New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), Solar Energy Department , p.31
- N. Meng, K.H.L. Michael, Y.C.L. Dennis, and K. Sumathy, "An analytical study of the porosity effect on dye-sensitized solar cell performance", *Sol. Energy. Mater.*, 2006, p. 14
- " Charge transport versus recombination in dye sensitized solar cells employing nanocrystalline TiO<sub>2</sub> and SnO<sub>2</sub> films ", A. Green, E. Palomares, S.A. Haque, J.M. Kroon, J.R. Durrant , submitted to *J.Phys.Chem.B* 2005
- " Acid versus base peptization of mesoporous nc-TiO<sub>2</sub> films: functional studies in dye-sensitized solar cells ", S.Hore, E.Palomares, H.J.P. Smit, N.J. Bakker, P. Comte, P.Liska, K.R. Thampi, J.M. Kroon, A. Hinsch, J.R. Durrant, *J. Mater.Chem*, 15 (2005), 412-418

วินิจ พรหมอารักษ์ และคณะ, "เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง", ปรินูญานิพนธ์ คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Dye-Sensitized Solar Cells at KKU [Online].

**Available** <http://dyesolarcells-kku.blogspot.com> .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keith Emery “Reference Solar Spectral Irradiance:Air Mass 1.5” [Online].

**Available** <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5>

Scott Prahl “Eosin Y” [Online].

**Available** <http://omlc.ogi.edu/spectra/Photochemcad/html/EosinY-JZL.html>

The Photochemistry Portal “Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC)”,2009 [Online].

**Available** <http://photochemistry.wordpress.com/2009/08/17/dye-sensitised-solar-cells-dssc/>

ผศ.อนุตร จำลองกุล “พลังงานทางเลือกจากเซลล์แสงอาทิตย์”

**Available**[http://www.thailandindustry.com/home/FeatureStory\\_preview.php?id=9966&section=9&rcount=Y](http://www.thailandindustry.com/home/FeatureStory_preview.php?id=9966&section=9&rcount=Y)

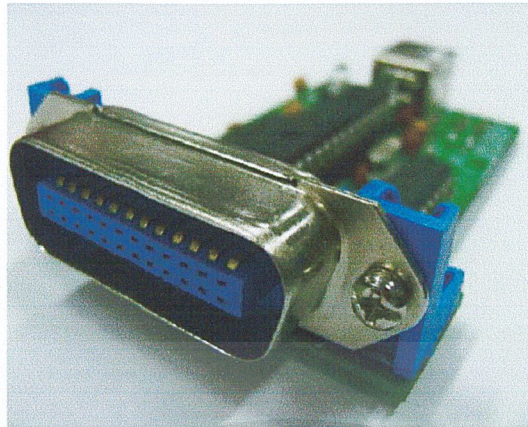


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

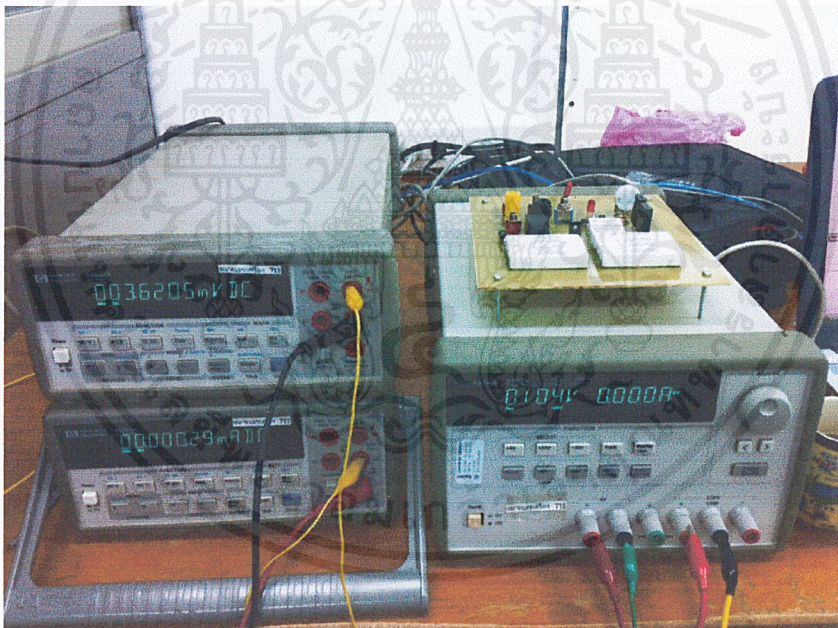


ภาคผนวก ก  
อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

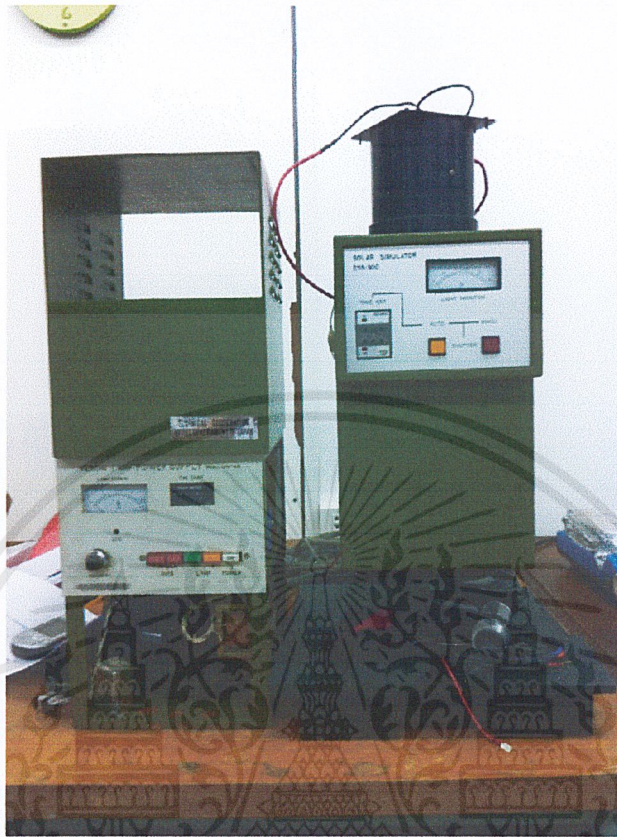


รูป ก.1 GPIB port



รูป ก.2 Power Supply & Digital Multimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

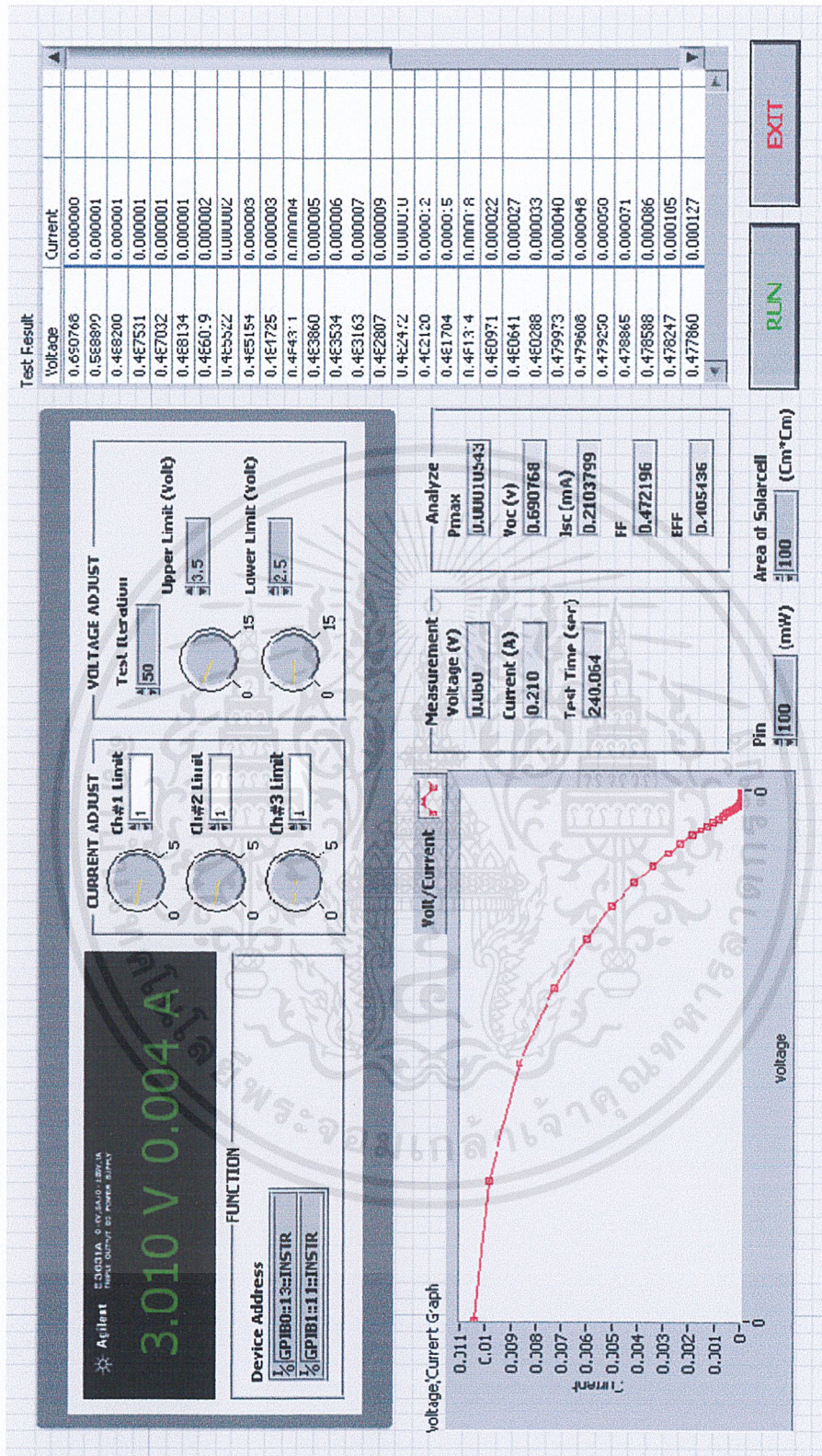


รูป ก.3 เครื่อง Solar Simulate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

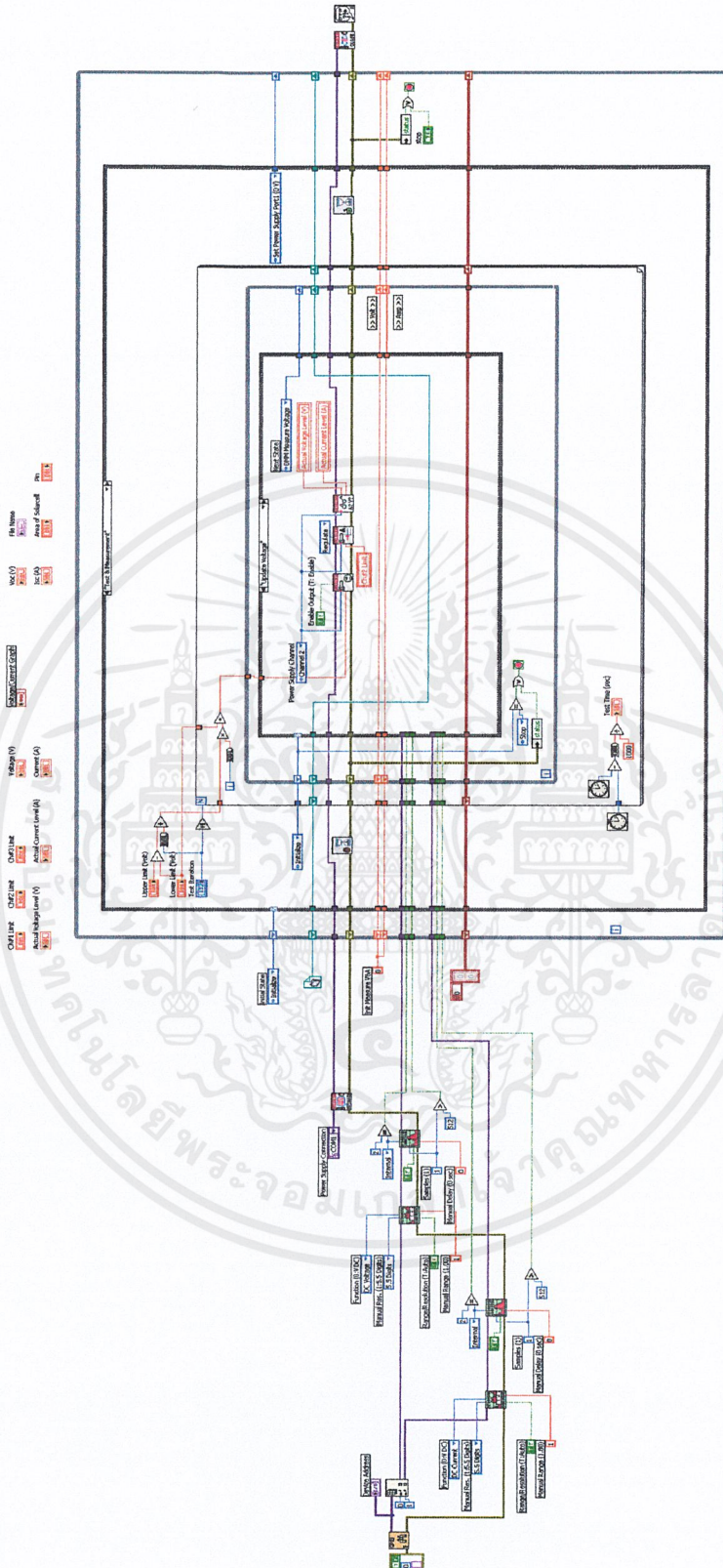


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.1 Front Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.2 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**NPN power transistors**

**BD135; BD137; BD139**

**FEATURES**

- High current (max. 1.5 A)
- Low voltage (max. 80 V).

**APPLICATIONS**

- Driver stages in hi-fi amplifiers and television circuits.

**DESCRIPTION**

NPN power transistor in a TO-126; SOT32 plastic package. PNP complements: BD136, BD138 and BD140.

**PINNING**

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	collector, connected to metal part of mounting surface
3	base

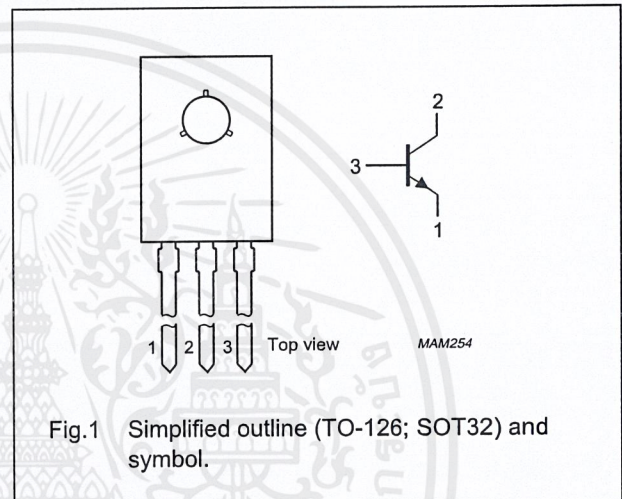


Fig.1 Simplified outline (TO-126; SOT32) and symbol.

**LIMITING VALUES**

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V <sub>CBO</sub>	collector-base voltage	open emitter			
	BD135		–	45	V
	BD137		–	60	V
	BD139		–	100	V
V <sub>CEO</sub>	collector-emitter voltage	open base			
	BD135		–	45	V
	BD137		–	60	V
	BD139		–	80	V
V <sub>EBO</sub>	emitter-base voltage	open collector	–	5	V
I <sub>C</sub>	collector current (DC)		–	1.5	A
I <sub>CM</sub>	peak collector current		–	2	A
I <sub>BM</sub>	peak base current		–	1	A
P <sub>tot</sub>	total power dissipation	T <sub>mb</sub> ≤ 70 °C	–	8	W
T <sub>stg</sub>	storage temperature		–65	+150	°C
T <sub>j</sub>	junction temperature		–	150	°C
T <sub>amb</sub>	operating ambient temperature		–65	+150	°C

## NPN power transistors

## BD135; BD137; BD139

## THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-a}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	100	K/W
$R_{th\ j-mb}$	thermal resistance from junction to mounting base		10	K/W

## Note

1. Refer to TO-126; SOT32 standard mounting conditions.

## CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ °C}$  unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$I_{CBO}$	collector cut-off current	$I_E = 0; V_{CB} = 30\text{ V}$	–	–	100	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 30\text{ V}; T_j = 125\text{ °C}$	–	–	10	$\mu\text{A}$
$I_{EBO}$	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 5\text{ V}$	–	–	100	nA
$h_{FE}$	DC current gain	$V_{CE} = 2\text{ V}$ ; (see Fig.2)				
		$I_C = 5\text{ mA}$	40	–	–	
		$I_C = 150\text{ mA}$	63	–	250	
	$I_C = 500\text{ mA}$	25	–	–		
	DC current gain	$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 2\text{ V}$ ; (see Fig.2)	63	–	160	
	BD135-10; BD137-10; BD139-10		100	–	250	
	BD135-16; BD137-16; BD139-16					
$V_{CEsat}$	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}$	–	–	0.5	V
$V_{BE}$	base-emitter voltage	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 2\text{ V}$	–	–	1	V
$f_T$	transition frequency	$I_C = 50\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}$ ; $f = 100\text{ MHz}$	–	190	–	MHz
$\frac{h_{FE1}}{h_{FE2}}$	DC current gain ratio of the complementary pairs	$ I_C  = 150\text{ mA};  V_{CE}  = 2\text{ V}$	–	1.3	1.6	

NPN power transistors

BD135; BD137; BD139

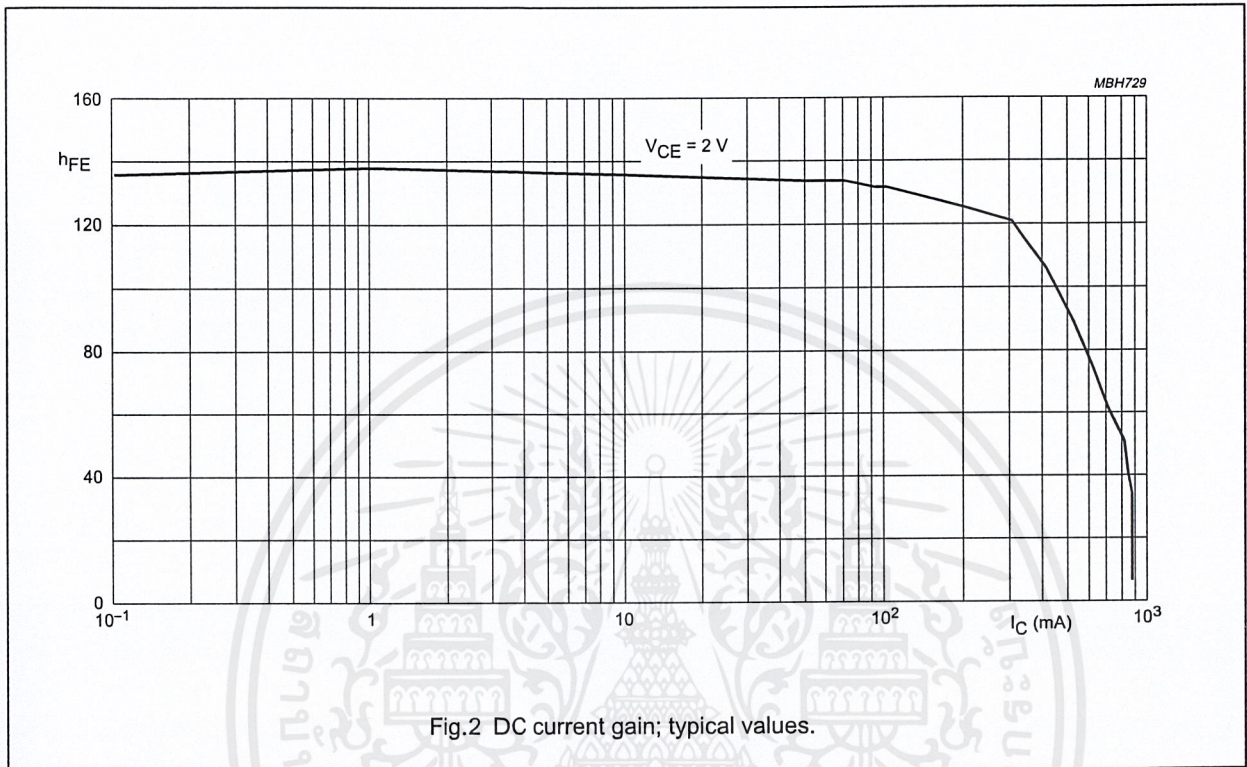


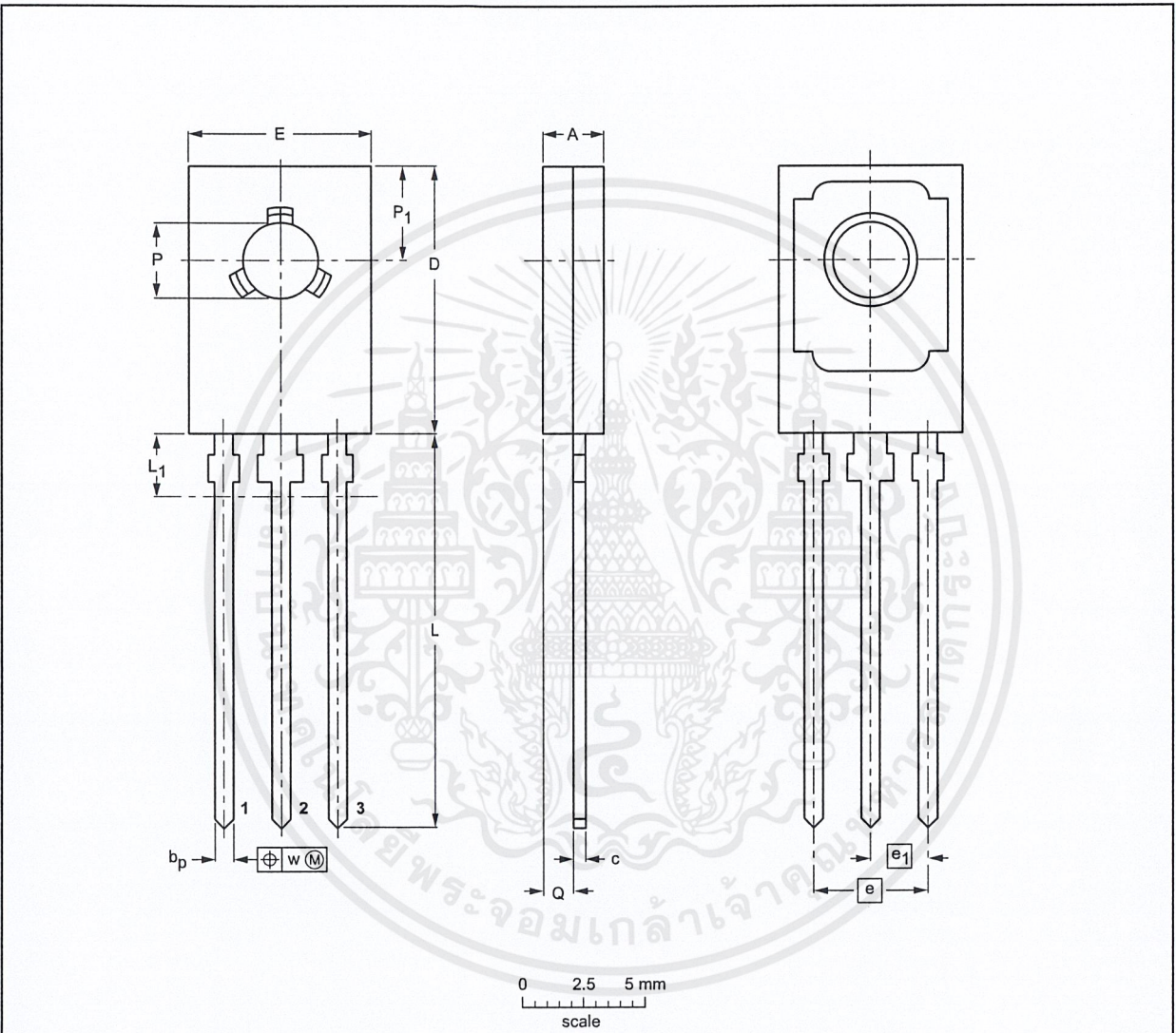
Fig.2 DC current gain; typical values.

NPN power transistors

BD135; BD137; BD139

PACKAGE OUTLINE

Plastic single-ended leaded (through hole) package; mountable to heatsink, 1 mounting hole; 3 leads SOT32



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	$b_p$	c	D	E	e	$e_1$	L	$L_1^{(1)}$ max	Q	P	$P_1$	w
mm	2.7 2.3	0.88 0.65	0.60 0.45	11.1 10.5	7.8 7.2	4.58	2.29	16.5 15.3	2.54	1.5 0.9	3.2 3.0	3.9 3.6	0.254

Note

1. Terminal dimensions within this zone are uncontrolled to allow for flow of plastic and terminal irregularities.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT32		TO-126				97-03-04



# 1N5400 THRU 1N5408

## 3.0 AMPS. Silicon Rectifiers

Voltage Range  
50 to 1000 Volts  
Current  
3.0Amperes

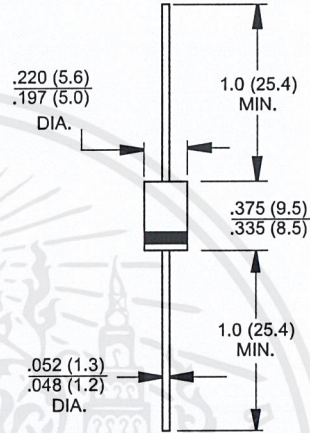
**DO-201AD**

### Features

- ✧ Low forward voltage drop
- ✧ High current capability
- ✧ High reliability
- ✧ High surge current capability

### Mechanical Data

- ✧ Cases: Molded plastic
- ✧ Epoxy: UL 94V-O rate flame retardant
- ✧ Lead: Axial leads, solderable per MIL-STD-202, Method 208 guaranteed
- ✧ Polarity: Color band denotes cathode end
- ✧ High temperature soldering guaranteed: 250°C/10 seconds/.375", (9.5mm) lead lengths at 5 lbs., (2.3kg) tension
- ✧ Weight: 1.2 grams



Dimensions in inches and (millimeters)

### Maximum Ratings and Electrical Characteristics

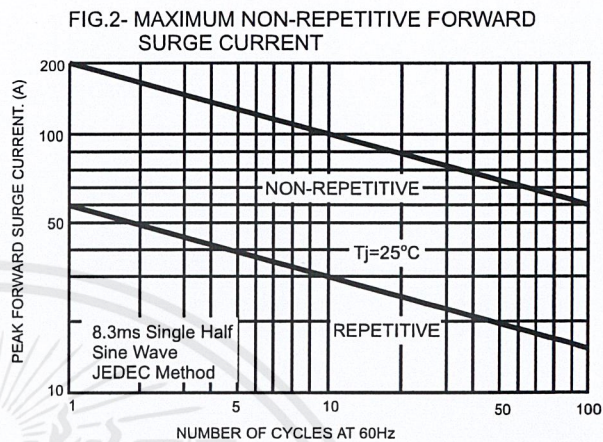
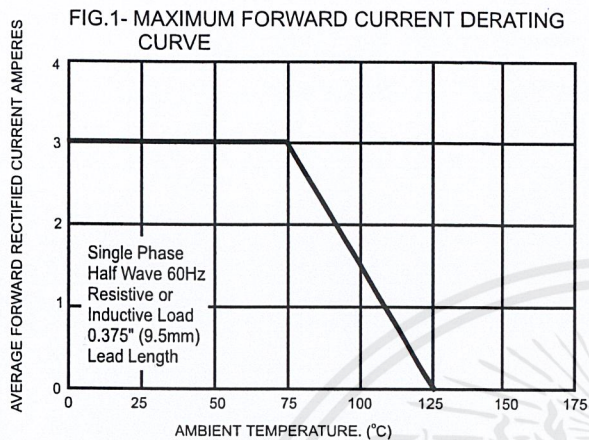
Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.  
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.  
For capacitive load, derate current by 20%

Type Number	1N5400	1N5401	1N5402	1N5404	1N5406	1N5407	1N5408	Units
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current .375 (9.5mm) Lead Length @ $T_A = 75^\circ\text{C}$	3.0							A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms Single Half Sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC method )	200							A
Maximum Instantaneous Forward Voltage @ 3.0A	1.0							V
Maximum DC Reverse Current @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ at Rated DC Blocking Voltage @ $T_A = 100^\circ\text{C}$	5.0 100							$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle Average .375"(9.5mm) Lead Length @ $T_L = 75^\circ\text{C}$	30							$\mu\text{A}$
Typical Junction Capacitance ( Note 1 )	50							pF
Typical Thermal Resistance $R_{\theta JA}$ ( Note 2 )	18							$^\circ\text{C}/\text{W}$
Operating Temperature Range $T_J$	-65 to +125							$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range $T_{STG}$	-65 to +150							$^\circ\text{C}$

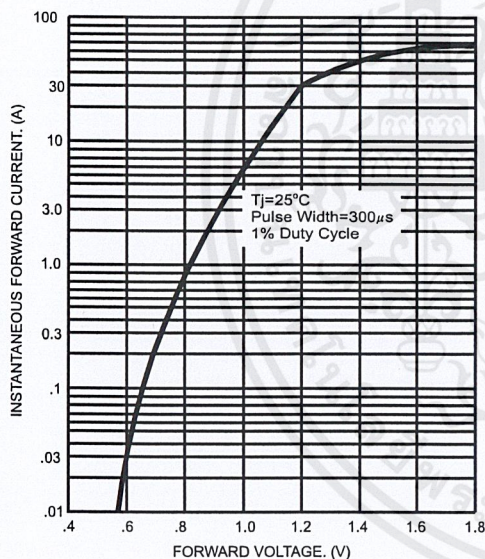
Notes: 1. Measured at 1 MHz and Applied Reverse Voltage of 4.0 V D.C.

2. Thermal Resistance from Junction to Ambient .375" (9.5mm) Lead Length.

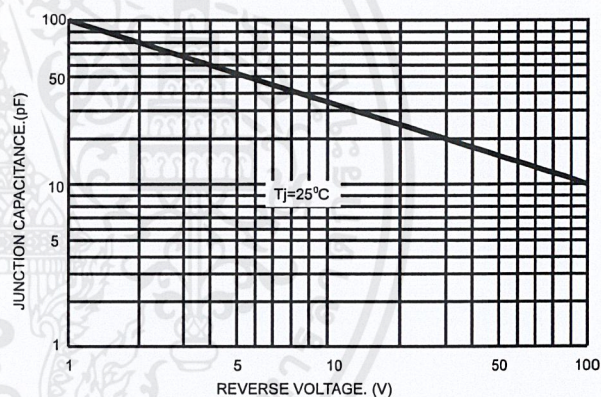
## RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES (1N5400 THRU 1N5408)



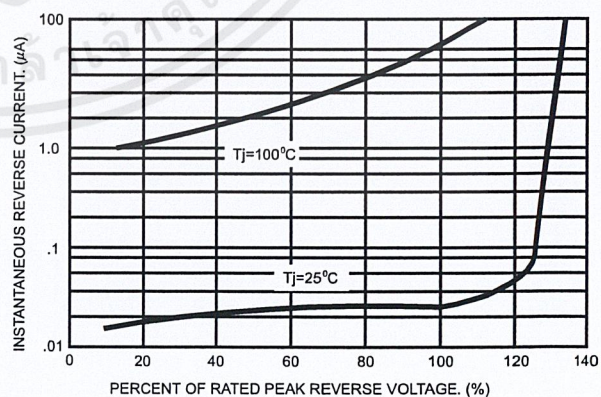
**FIG.3- TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS**



**FIG.4- TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE**



**FIG.5- TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS**



## LM78XX Series Voltage Regulators

### General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expanded to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the out-

put, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

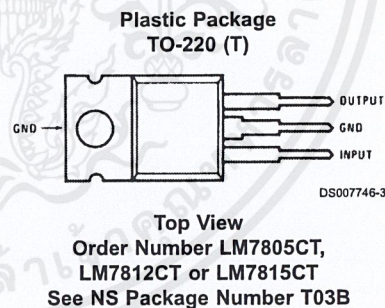
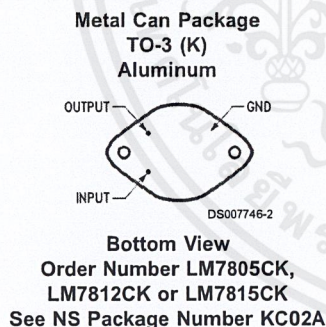
### Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

### Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

### Connection Diagrams



**Absolute Maximum Ratings** (Note 3)

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

Input Voltage

 $(V_O = 5V, 12V \text{ and } 15V)$  35V

Internal Power Dissipation (Note 1) Internally Limited

Operating Temperature Range ( $T_A$ ) 0°C to +70°C

Maximum Junction Temperature

(K Package) 150°C

(T Package) 150°C

Storage Temperature Range -65°C to +150°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

TO-3 Package K 300°C

TO-220 Package T 230°C

**Electrical Characteristics LM78XXC** (Note 2)0°C ≤  $T_J$  ≤ 125°C unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units	
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V				
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, 5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V	
		$P_D \leq 15W, 5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$	4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V	
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			(7.5 ≤ $V_{IN}$ ≤ 20)			(14.5 ≤ $V_{IN}$ ≤ 27)			(17.5 ≤ $V_{IN}$ ≤ 30)	V	
$\Delta V_O$	Line Regulation	$I_O = 500 \text{ mA}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$		3	50		4	120		4	150	mV
			$\Delta V_{IN}$			(7 ≤ $V_{IN}$ ≤ 25)			(14.5 ≤ $V_{IN}$ ≤ 30)			(17.5 ≤ $V_{IN}$ ≤ 30)	V
		$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	$\Delta V_{IN}$			50			120			150	mV
			$\Delta V_{IN}$			(8 ≤ $V_{IN}$ ≤ 20)			(15 ≤ $V_{IN}$ ≤ 27)			(18.5 ≤ $V_{IN}$ ≤ 30)	V
		$I_O \leq 1 \text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$			50			120			150	mV
			$\Delta V_{IN}$			(7.5 ≤ $V_{IN}$ ≤ 20)			(14.6 ≤ $V_{IN}$ ≤ 27)			(17.7 ≤ $V_{IN}$ ≤ 30)	V
$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	$\Delta V_{IN}$			25			60			75	mV		
	$\Delta V_{IN}$			(8 ≤ $V_{IN}$ ≤ 12)			(16 ≤ $V_{IN}$ ≤ 22)			(20 ≤ $V_{IN}$ ≤ 26)	V		
$\Delta V_O$	Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1.5 \text{ A}$		10	50		12	120		12	150	mV
			$250 \text{ mA} \leq I_O \leq 750 \text{ mA}$			25			60			75	mV
		$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			50			120			150	mV	
$I_Q$	Quiescent Current	$I_O \leq 1 \text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$		8			8			8	mA	
			$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			8.5			8.5			8.5	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_O \leq 1 \text{ A}$		0.5			0.5			0.5	mA	
			$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			(7.5 ≤ $V_{IN}$ ≤ 20)			(14.8 ≤ $V_{IN}$ ≤ 27)			(17.9 ≤ $V_{IN}$ ≤ 30)	V
			$I_O \leq 500 \text{ mA}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			1.0			1.0			1.0	mA
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			(7 ≤ $V_{IN}$ ≤ 25)			(14.5 ≤ $V_{IN}$ ≤ 30)			(17.5 ≤ $V_{IN}$ ≤ 30)	V	
$V_N$	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, 10 \text{ Hz} \leq f \leq 100 \text{ kHz}$		40			75			90	$\mu\text{V}$		
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$f = 120 \text{ Hz}$	$I_O \leq 1 \text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$ or $I_O \leq 500 \text{ mA}$	62	80		55	72		54	70	dB	
			$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			62			55			54	dB
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			(8 ≤ $V_{IN}$ ≤ 18)			(15 ≤ $V_{IN}$ ≤ 25)			(18.5 ≤ $V_{IN}$ ≤ 28.5)	V	
$R_O$	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_{OUT} = 1 \text{ A}$		2.0			2.0			2.0	V		
	Output Resistance	$f = 1 \text{ kHz}$		8			18			19	m $\Omega$		

## Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) (Continued)

$0^{\circ}\text{C} \leq T_j \leq 125^{\circ}\text{C}$  unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Short-Circuit Current	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		2.1			1.5			1.2		A
	Peak Output Current	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		2.4			2.4			2.4		A
	Average TC of $V_{\text{OUT}}$	$0^{\circ}\text{C} \leq T_j \leq +125^{\circ}\text{C}$ , $I_o = 5\text{ mA}$		0.6			1.5			1.8		mV/ $^{\circ}\text{C}$
$V_{\text{IN}}$	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$ , $I_o \leq 1\text{A}$		7.5		14.6			17.7			V

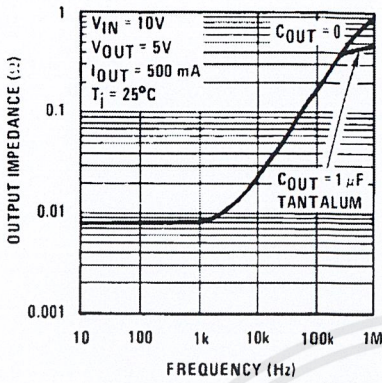
**Note 1:** Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically  $4^{\circ}\text{C}/\text{W}$  junction to case and  $35^{\circ}\text{C}/\text{W}$  case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically  $4^{\circ}\text{C}/\text{W}$  junction to case and  $50^{\circ}\text{C}/\text{W}$  case to ambient.

**Note 2:** All characteristics are measured with capacitor across the input of  $0.22\ \mu\text{F}$ , and a capacitor across the output of  $0.1\ \mu\text{F}$ . All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ( $t_w \leq 10\text{ ms}$ , duty cycle  $\leq 5\%$ ). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

**Note 3:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. For guaranteed specifications and the test conditions, see Electrical Characteristics.

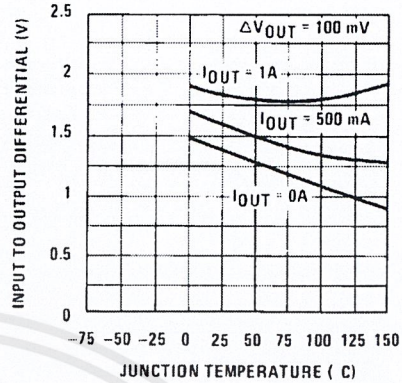
# Typical Performance Characteristics (Continued)

Output Impedance



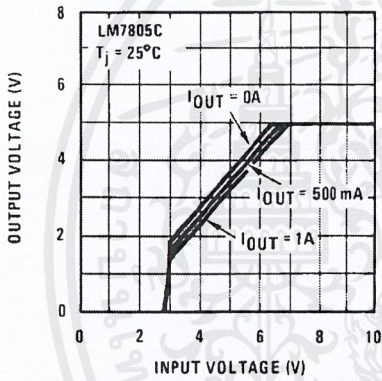
DS007746-11

Dropout Voltage



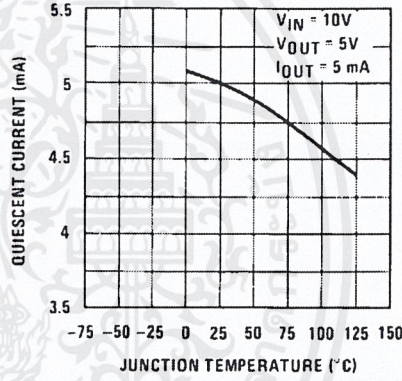
DS007746-12

Dropout Characteristics



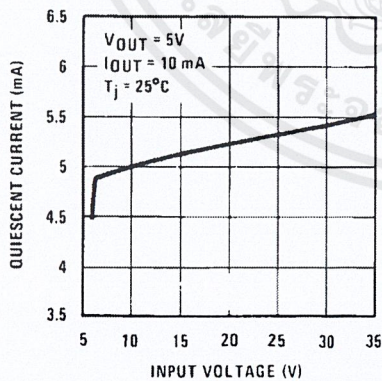
DS007746-13

Quiescent Current



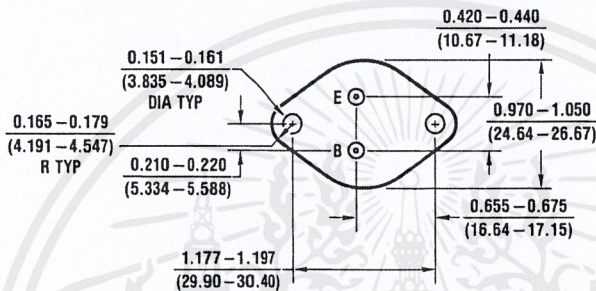
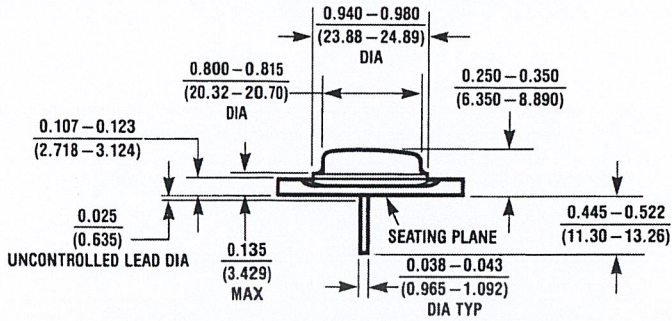
DS007746-14

Quiescent Current



DS007746-15

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted



KC02A (REV C)

**Aluminum Metal Can Package (KC)**  
**Order Number LM7805CK, LM7812CK or LM7815CK**  
**NS Package Number KC02A**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LF155/LF156/LF256/LF257/LF355/LF356/LF357

## JFET Input Operational Amplifiers

### General Description

These are the first monolithic JFET input operational amplifiers to incorporate well matched, high voltage JFETs on the same chip with standard bipolar transistors (BI-FET™ Technology). These amplifiers feature low input bias and offset currents/low offset voltage and offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common-mode rejection. The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time, low voltage and current noise and a low 1/f noise corner.

### Features

#### Advantages

- Replace expensive hybrid and module FET op amps
- Rugged JFETs allow blow-out free handling compared with MOSFET input devices
- Excellent for low noise applications using either high or low source impedance—very low 1/f corner
- Offset adjust does not degrade drift or common-mode rejection as in most monolithic amplifiers
- New output stage allows use of large capacitive loads (5,000 pF) without stability problems
- Internal compensation and large differential input voltage capability

### Applications

- Precision high speed integrators
- Fast D/A and A/D converters
- High impedance buffers
- Wideband, low noise, low drift amplifiers

- Logarithmic amplifiers
- Photocell amplifiers
- Sample and Hold circuits

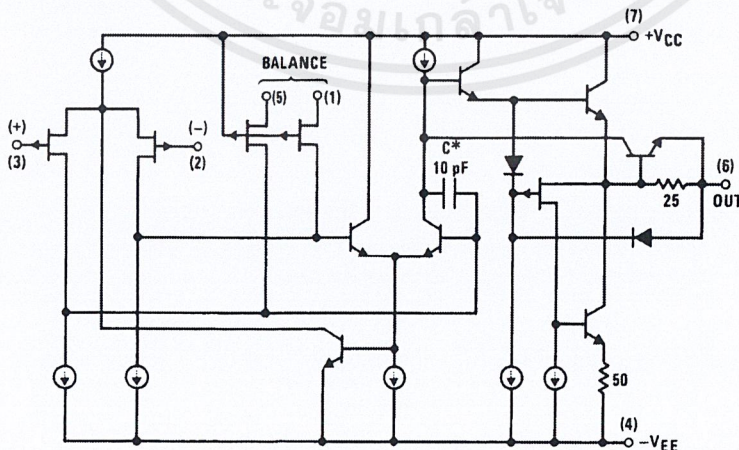
#### Common Features

- Low input bias current: 30pA
- Low Input Offset Current: 3pA
- High input impedance:  $10^{12}\Omega$
- Low input noise current:  $0.01 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- High common-mode rejection ratio: 100 dB
- Large dc voltage gain: 106 dB

### Uncommon Features

	LF155/ LF355	LF156/ LF256/ LF356	LF257/ LF357 ( $A_V=5$ )	Units
■ Extremely fast settling time to 0.01%	4	1.5	1.5	$\mu\text{s}$
■ Fast slew rate	5	12	50	V/ $\mu\text{s}$
■ Wide gain bandwidth	2.5	5	20	MHz
■ Low input noise voltage	20	12	12	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$

### Simplified Schematic



\*3pF in LF357 series.

00564601

BI-FET™, BI-FET II™ are trademarks of National Semiconductor Corporation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

	LF155/6	LF256/7/LF356B	LF355/6/7
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Differential Input Voltage	±40V	±40V	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±20V	±20V	±16V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
$T_{JMAX}$			
H-Package	150°C	115°C	115°C
N-Package		100°C	100°C
M-Package		100°C	100°C
Power Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Notes 1, 8)			
H-Package (Still Air)	560 mW	400 mW	400 mW
H-Package (400 LF/Min Air Flow)	1200 mW	1000 mW	1000 mW
N-Package		670 mW	670 mW
M-Package		380 mW	380 mW
Thermal Resistance (Typical) $\theta_{JA}$			
H-Package (Still Air)	160°C/W	160°C/W	160°C/W
H-Package (400 LF/Min Air Flow)	65°C/W	65°C/W	65°C/W
N-Package		130°C/W	130°C/W
M-Package		195°C/W	195°C/W
(Typical) $\theta_{JC}$			
H-Package	23°C/W	23°C/W	23°C/W
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Soldering Information (Lead Temp.)			
Metal Can Package			
Soldering (10 sec.)	300°C	300°C	300°C
Dual-In-Line Package			
Soldering (10 sec.)	260°C	260°C	260°C
Small Outline Package			
Vapor Phase (60 sec.)		215°C	215°C
Infrared (15 sec.)		220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD tolerance			
(100 pF discharged through 1.5k $\Omega$ )	1000V	1000V	1000V

## DC Electrical Characteristics

(Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/6			LF256/7 LF356B			LF355/6/7			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{OS}$	Input Offset Voltage	$R_S=50\Omega$ , $T_A=25^\circ\text{C}$ Over Temperature		3	5 7		3	5 6.5		3	10 13	mV mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S=50\Omega$		5			5			5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$\Delta\text{TC}/\Delta V_{OS}$	Change in Average TC with $V_{OS}$ Adjust	$R_S=50\Omega$ , (Note 4)		0.5			0.5			0.5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per mV
$I_{OS}$	Input Offset Current	$T_J=25^\circ\text{C}$ , (Notes 3, 5) $T_J \leq T_{HIGH}$		3	20 20		3	20 1		3	50 2	pA nA

## DC Electrical Characteristics (Continued)

(Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/6			LF256/7 LF356B			LF355/6/7			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$I_B$	Input Bias Current	$T_J=25^\circ\text{C}$ , (Notes 3, 5) $T_J \leq T_{HIGH}$		30	100		30	100		30	200	pA nA
$R_{IN}$	Input Resistance	$T_J=25^\circ\text{C}$		$10^{12}$			$10^{12}$			$10^{12}$		$\Omega$
$A_{VOL}$	Large Signal Voltage Gain	$V_S=\pm 15\text{V}$ , $T_A=25^\circ\text{C}$ $V_O=\pm 10\text{V}$ , $R_L=2\text{k}$ Over Temperature	50	200		50	200		25	200		V/mV V/mV
$V_O$	Output Voltage Swing	$V_S=\pm 15\text{V}$ , $R_L=10\text{k}$ $V_S=\pm 15\text{V}$ , $R_L=2\text{k}$	$\pm 12$	$\pm 13$		$\pm 12$	$\pm 13$		$\pm 12$	$\pm 13$		V V
$V_{CM}$	Input Common-Mode Voltage Range	$V_S=\pm 15\text{V}$	$\pm 11$	+15.1 -12		$\pm 11$	$\pm 15.1$ -12		+10	+15.1 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio		85	100		85	100		80	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 6)	85	100		85	100		80	100		dB

## DC Electrical Characteristics

$T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$

Parameter	LF155		LF355		LF156/256/257/356B		LF356		LF357		Units
	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	
Supply Current	2	4	2	4	5	7	5	10	5	10	mA

## AC Electrical Characteristics

$T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/355	LF156/256/ 356B	LF156/256/356/ LF356B	LF257/357	Units
			Typ	Min	Typ	Typ	
SR	Slew Rate	LF155/6: $A_V=1$ , LF357: $A_V=5$	5	7.5	12	50	V/ $\mu\text{s}$ V/ $\mu\text{s}$
GBW	Gain Bandwidth Product		2.5		5	20	MHz
$t_s$	Settling Time to 0.01%	(Note 7)	4		1.5	1.5	$\mu\text{s}$
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage	$R_S=100\Omega$ $f=100\text{ Hz}$ $f=1000\text{ Hz}$	25 20		15 12	15 12	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$i_n$	Equivalent Input Current Noise	$f=100\text{ Hz}$ $f=1000\text{ Hz}$	0.01 0.01		0.01 0.01	0.01 0.01	pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$C_{IN}$	Input Capacitance		3		3	3	pF

## Notes for Electrical Characteristics

**Note 1:** The maximum power dissipation for these devices must be derated at elevated temperatures and is dictated by  $T_{JMAX}$ ,  $\theta_{JA}$ , and the ambient temperature,  $T_A$ . The maximum available power dissipation at any temperature is  $P_D=(T_{JMAX}-T_A)/\theta_{JA}$  or the  $25^\circ\text{C } P_{dMAX}$ , whichever is less.

**Note 2:** Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

**Note 3:** Unless otherwise stated, these test conditions apply:

## Notes for Electrical Characteristics (Continued)

	LF155/156	LF256/257	LF356B	LF355/6/7
Supply Voltage, $V_S$	$\pm 15V \leq V_S \leq \pm 20V$	$\pm 15V \leq V_S \leq \pm 20V$	$\pm 15V \leq V_S \leq \pm 20V$	$V_S = \pm 15V$
$T_A$	$-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$	$-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$
$T_{HIGH}$	$+125^\circ C$	$+85^\circ C$	$+70^\circ C$	$+70^\circ C$

and  $V_{OS}$ ,  $I_B$  and  $I_{OS}$  are measured at  $V_{CM} = 0$ .

**Note 4:** The Temperature Coefficient of the adjusted input offset voltage changes only a small amount ( $0.5\mu V/^\circ C$  typically) for each mV of adjustment from its original unadjusted value. Common-mode rejection and open loop voltage gain are also unaffected by offset adjustment.

**Note 5:** The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every  $10^\circ C$  increase in the junction temperature,  $T_J$ . Due to limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation,  $P_d$ .  $T_J = T_A + \theta_{JA} P_d$  where  $\theta_{JA}$  is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

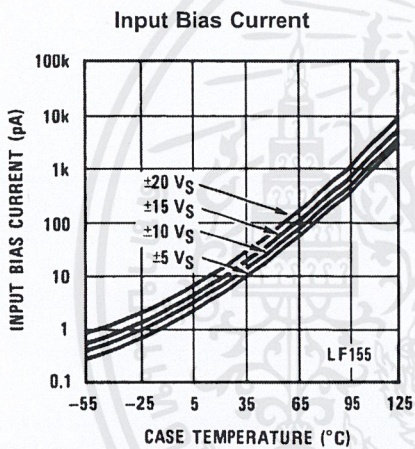
**Note 6:** Supply Voltage Rejection is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously, in accordance with common practice.

**Note 7:** Settling time is defined here, for a unity gain inverter connection using  $2k\Omega$  resistors for the LF155/6. It is the time required for the error voltage (the voltage at the inverting input pin on the amplifier) to settle to within 0.01% of its final value from the time a 10V step input is applied to the inverter. For the LF357,  $A_V = -5$ , the feedback resistor from output to input is  $2k\Omega$  and the output step is 10V (See Settling Time Test Circuit).

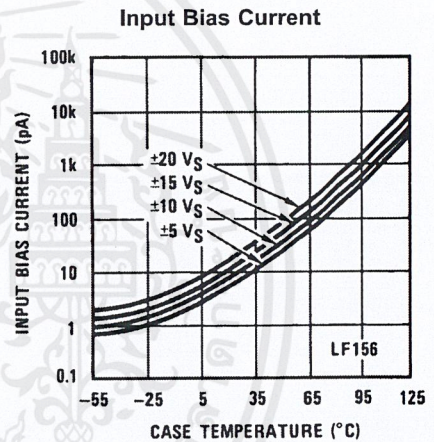
**Note 8:** Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

## Typical DC Performance Characteristics

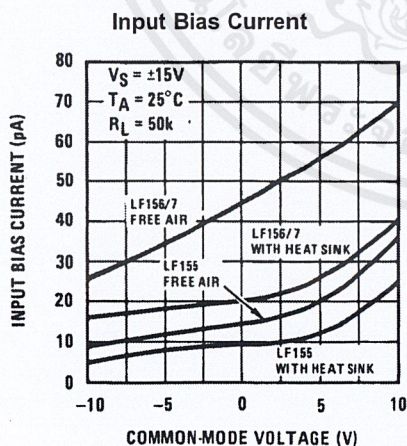
Curves are for LF155 and LF156 unless otherwise specified.



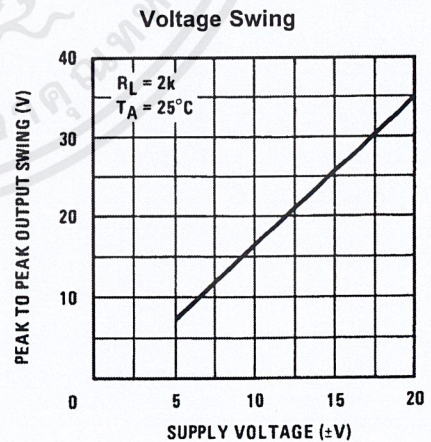
00564637



00564638



00564639

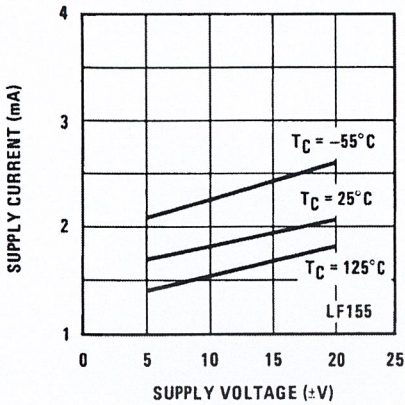


00564640

**Typical DC Performance Characteristics**

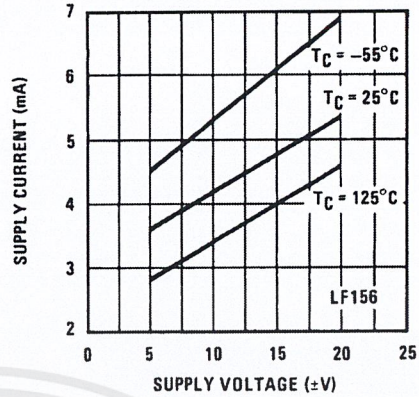
Curves are for LF155 and LF156 unless otherwise specified. (Continued)

**Supply Current**



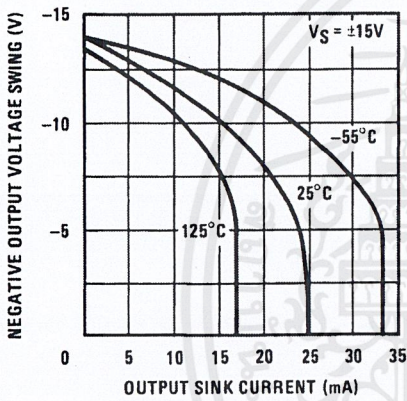
00564641

**Supply Current**



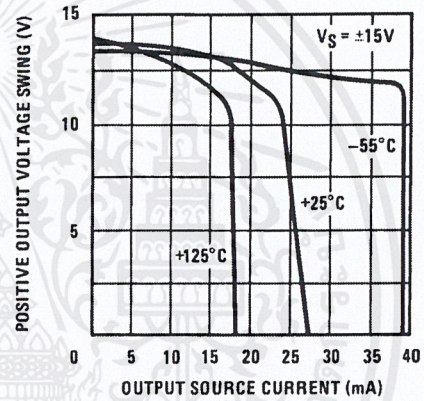
00564642

**Negative Current Limit**



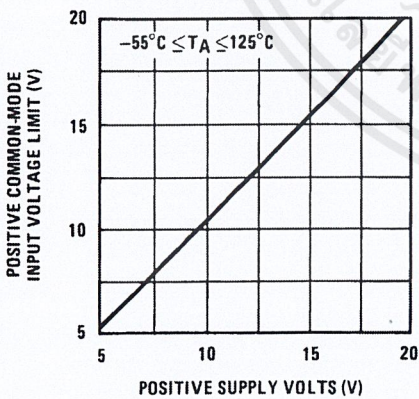
00564643

**Positive Current Limit**



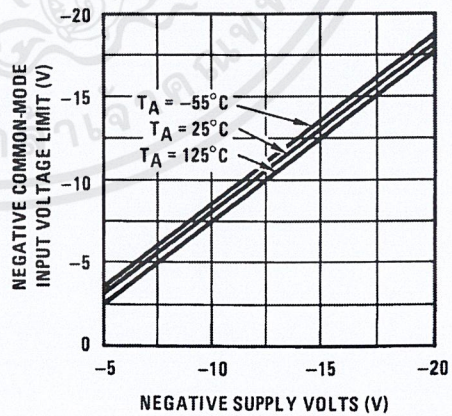
00564644

**Positive Common-Mode Input Voltage Limit**



00564645

**Negative Common-Mode Input Voltage Limit**

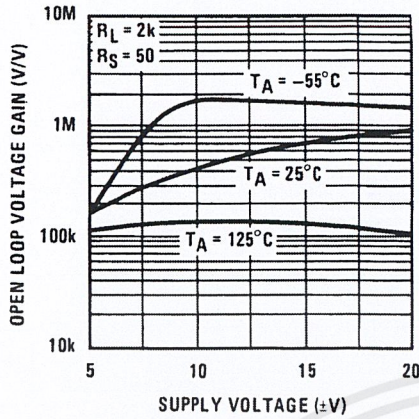


00564646

## Typical DC Performance Characteristics

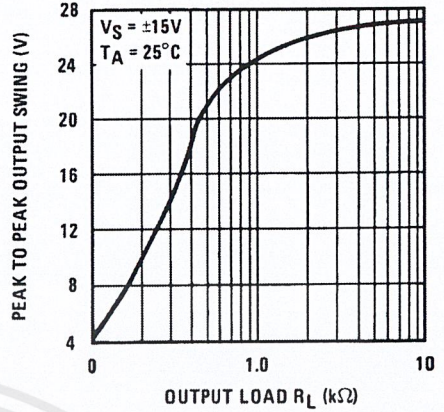
Curves are for LF155 and LF156 unless otherwise specified. (Continued)

Open Loop Voltage Gain



00564647

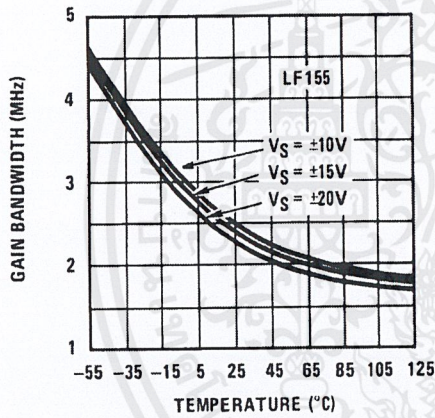
Output Voltage Swing



00564648

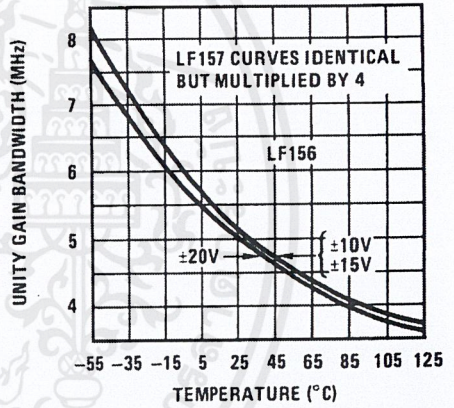
## Typical AC Performance Characteristics

Gain Bandwidth



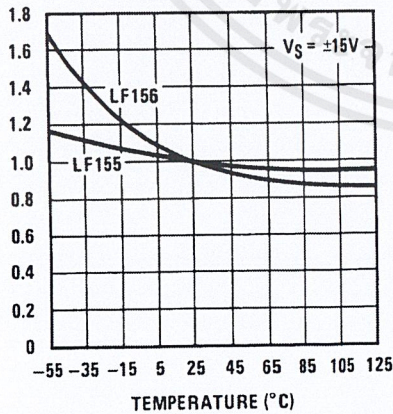
00564649

Gain Bandwidth



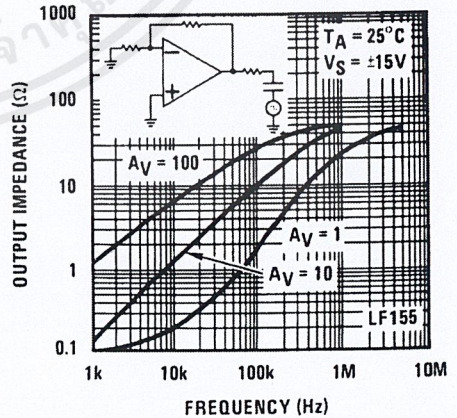
00564650

Normalized Slew Rate



00564651

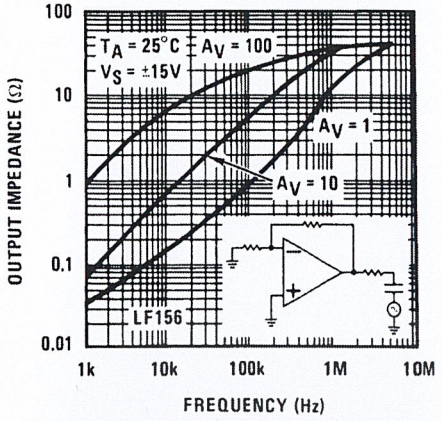
Output Impedance



00564652

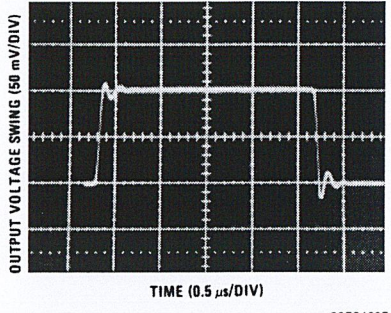
Typical AC Performance Characteristics (Continued)

Output Impedance



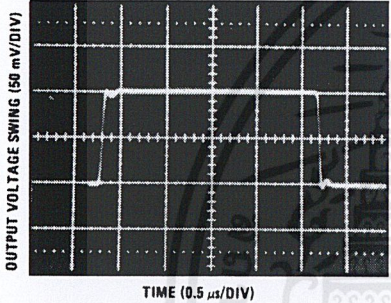
00564653

LF155 Small Signal Pulse Response,  $A_V = +1$



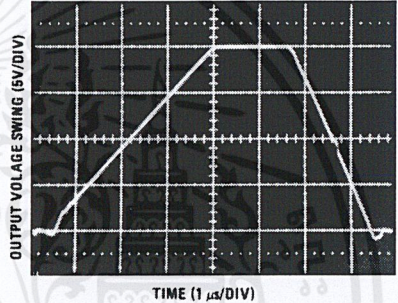
00564605

LF156 Small Signal Pulse Response,  $A_V = +1$



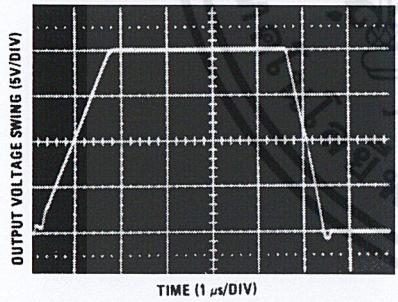
00564606

LF155 Large Signal Pulse Response,  $A_V = +1$



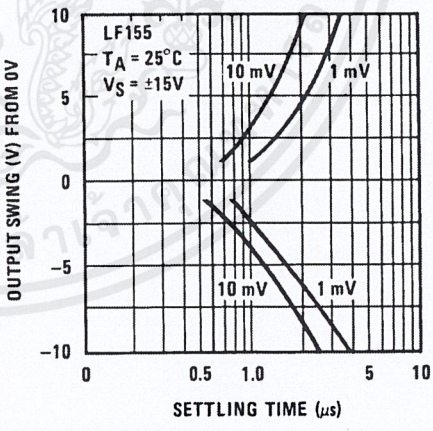
00564608

LF156 Large Signal Puls Response,  $A_V = +1$



00564609

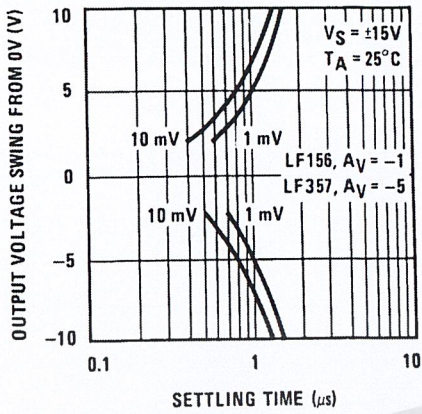
Inverter Settling Time



00564655

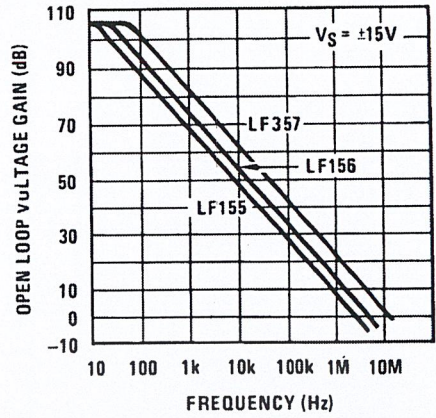
# Typical AC Performance Characteristics (Continued)

**Inverter Settling Time**



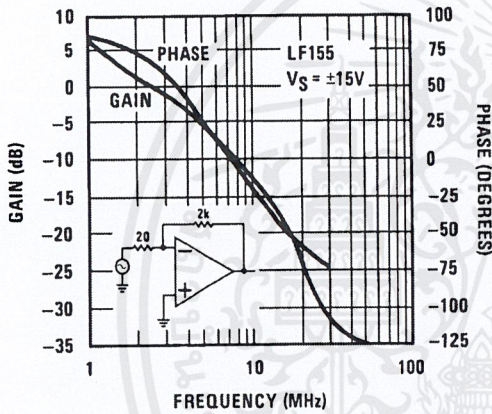
00564656

**Open Loop Frequency Response**



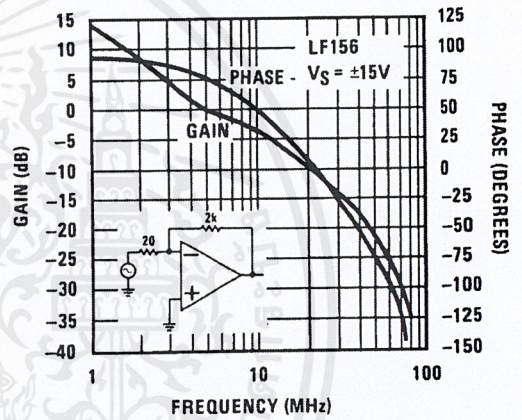
00564657

**Bode Plot**



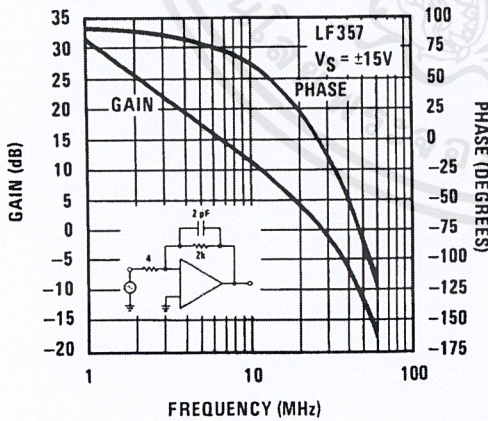
00564658

**Bode Plot**



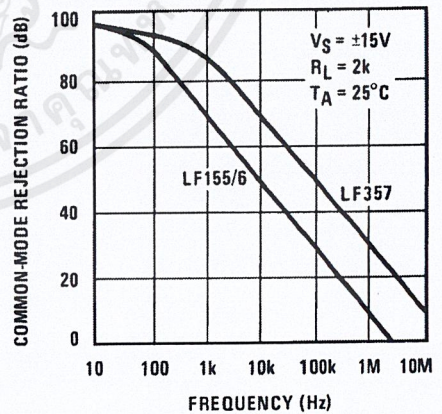
00564659

**Bode Plot**



00564660

**Common-Mode Rejection Ratio**



00564661



# LM158,A-LM258,A LM358,A

## LOW POWER DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

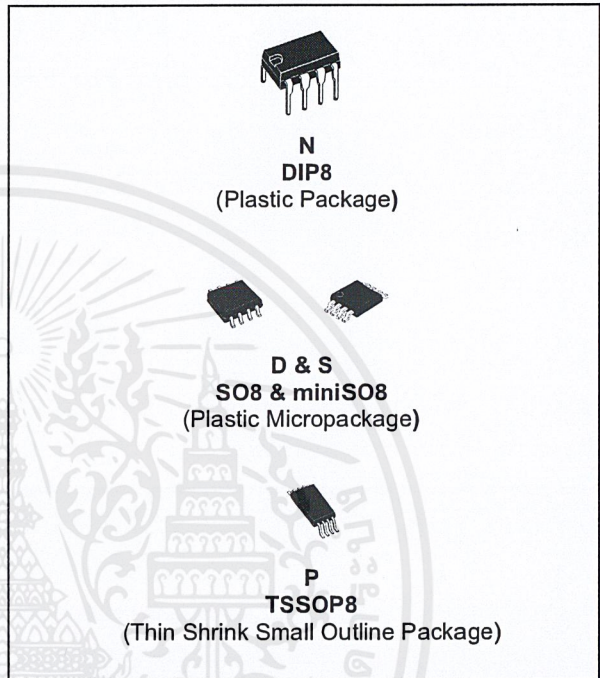
- INTERNALLY FREQUENCY COMPENSATED
- LARGE DC VOLTAGE GAIN: 100dB
- WIDE BANDWIDTH (unity gain): 1.1MHz (temperature compensated)
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/OP (500µA) ESSENTIALLY INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 20nA (temperature compensated)
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE: 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT: 2nA
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE RANGE EQUAL TO THE POWER SUPPLY VOLTAGE
- LARGE OUTPUT VOLTAGE SWING 0V TO (V<sub>cc</sub> - 1.5V)

### DESCRIPTION

These circuits consist of two independent, high gain, internally frequency compensated which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. The low power supply drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, these circuits can be directly supplied with the standard +5V which is used in logic systems and will easily provide the required interface electronics without requiring any additional power supply.

In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.



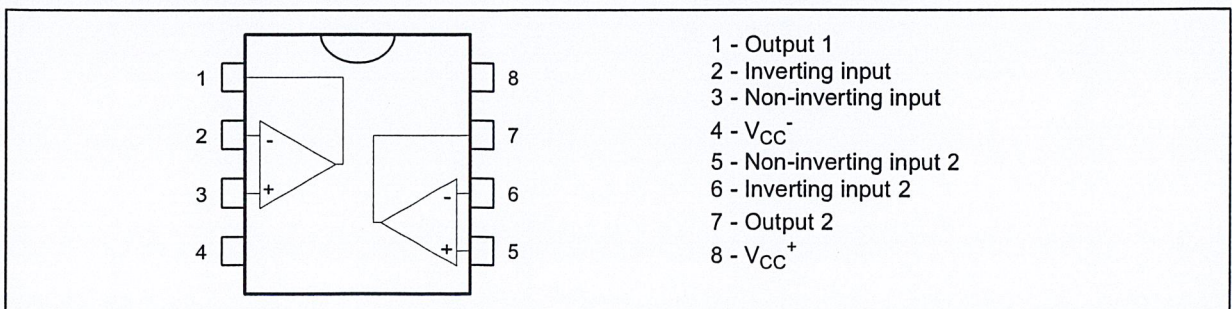
### ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package			
		N	S	D	P
LM158,A	-55°C, +125°C	•		•	•
LM258,A	-40°C, +105°C	•		•	•
LM358,A	0°C, +70°C	•	•	•	•

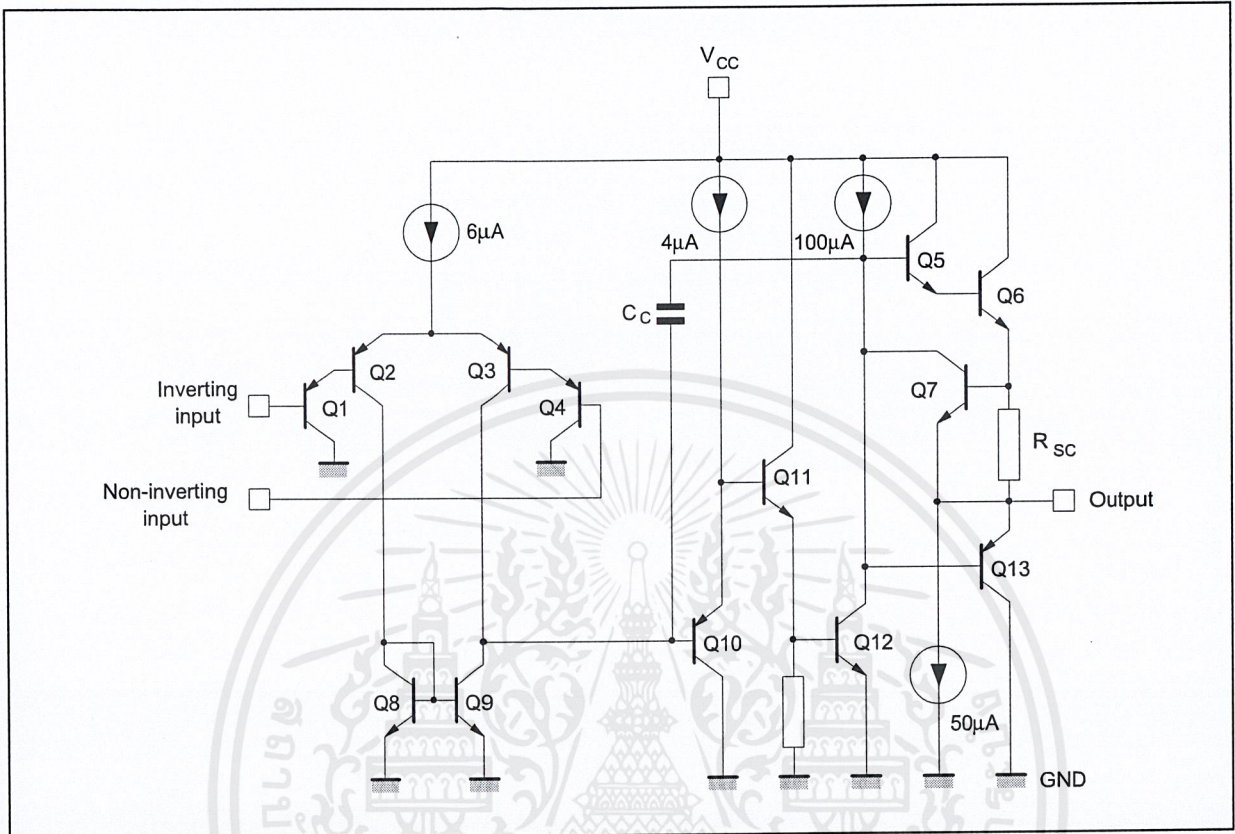
Example : LM258N

N = Dual in Line Package (DIP)  
 D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)  
 S = Small Outline Package (miniSO) only available in Tape & Reel (DT)  
 P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

### PIN CONNECTIONS (top view)



SCHMATIC DIAGRAM (1/2 LM158)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM158,A	LM258,A	LM358,A	Unit
$V_{CC}$	Supply voltage	+32			V
$V_i$	Input Voltage	-0.3 to +32			V
$V_{id}$	Differential Input Voltage	+32			V
$P_{tot}$	Power Dissipation <sup>1)</sup>	500			mW
	Output Short-circuit Duration <sup>2)</sup>	Infinite			
$I_{in}$	Input Current <sup>3)</sup>	50			mA
$T_{oper}$	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature ( $T_j$ ) is not exceeded.
2. Short-circuits from the output to  $V_{CC}$  can cause excessive heating if  $V_{CC} > 15V$ . The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of  $V_{CC}$ . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diodes clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. this transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the  $V_{CC}$  voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative. This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

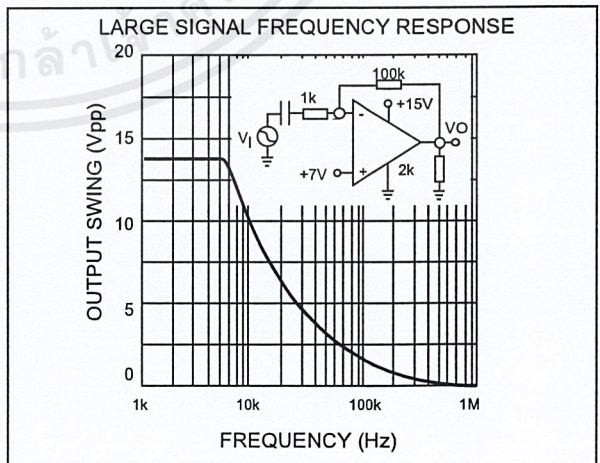
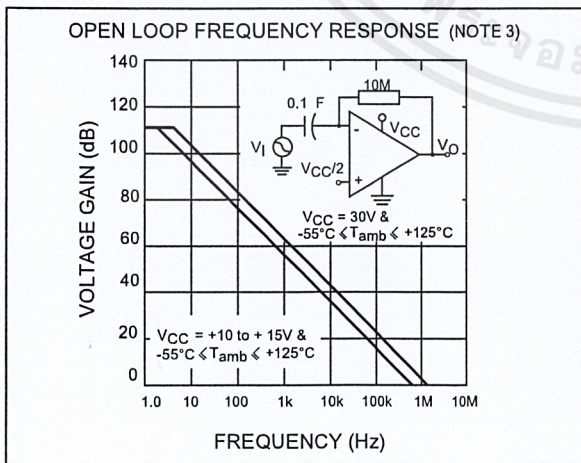
$V_{CC^+} = +5V$ ,  $V_{CC^-} = \text{Ground}$ ,  $V_o = 1.4V$ ,  $T_{amb} = +25^\circ C$  (unless otherwise specified)

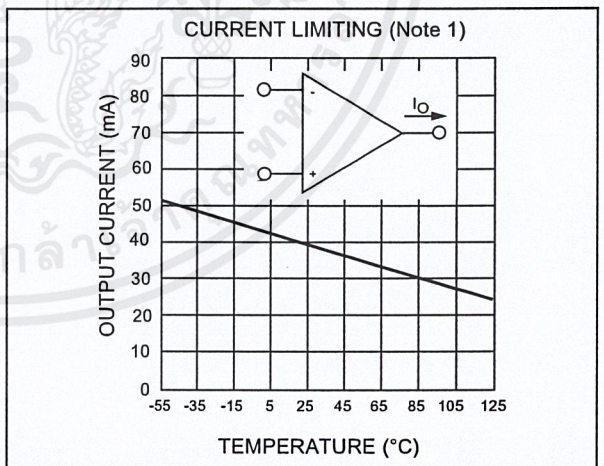
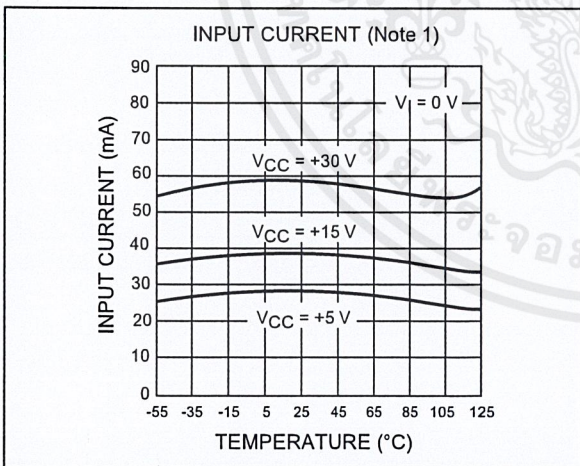
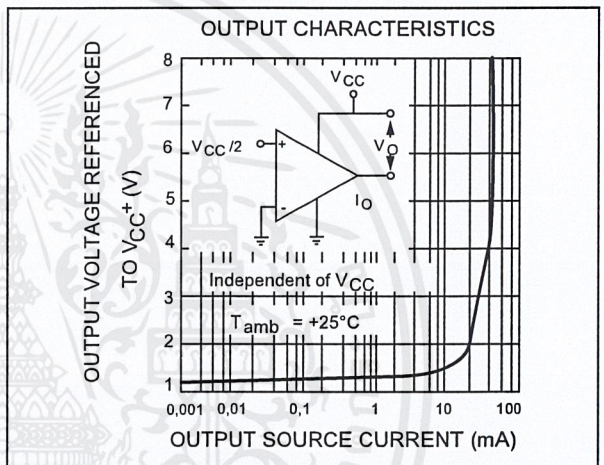
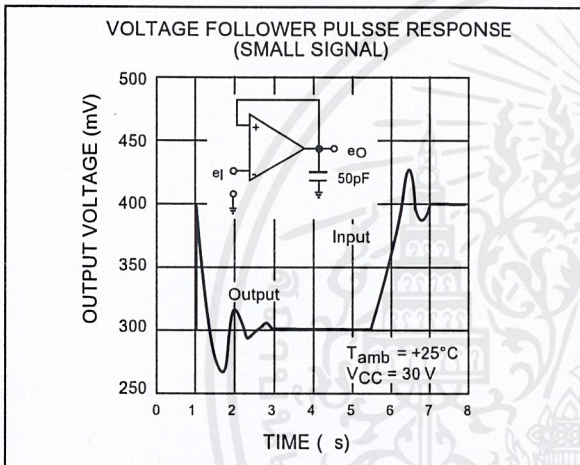
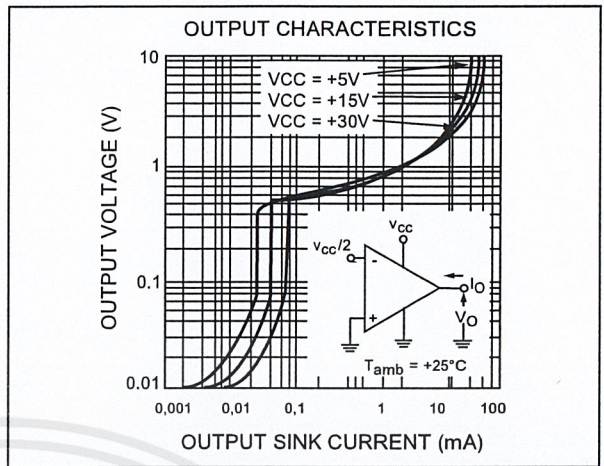
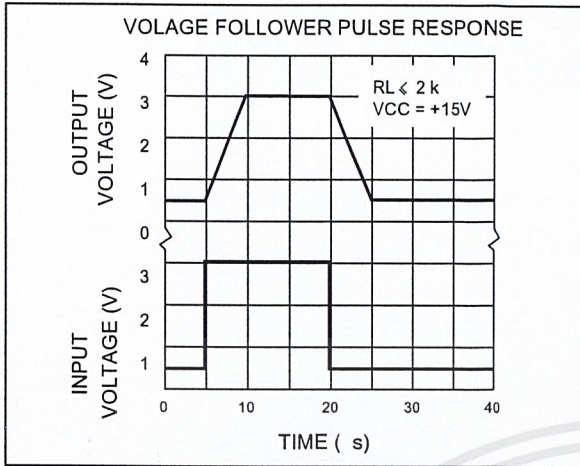
Symbol	Parameter	LM158A-LM258A LM358A			LM158-LM258 LM358			Unit	
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
$V_{io}$	Input Offset Voltage - note <sup>1)</sup> $T_{amb} = +25^\circ C$  LM158, LM258 LM158A  $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$  LM158, LM258		1	3  2 4		2	7 5  9 7	mV	
$I_{io}$	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	10 30		2	30 40	nA	
$I_{ib}$	Input Bias Current - note <sup>2)</sup> $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	50 100		20	150 200	nA	
$A_{vd}$	Large Signal Voltage Gain $V_{CC} = +15V$ , $R_L = 2k\Omega$ , $V_o = 1.4V$ to $11.4V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	100		50 25	100		V/mV	
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ( $R_s \leq 10k\Omega$ ) $V_{CC^+} = 5V$ to $30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	65 65	100		65 65	100		dB	
$I_{CC}$	Supply Current, all Amp, no load $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $V_{CC} = +5V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $V_{CC} = +30V$		0.7	1.2 1		0.7	1.2 2	mA	
$V_{icm}$	Input Common Mode Voltage Range $V_{CC} = +30V$ - note <sup>3)</sup> $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC^+} - 1.5$ $V_{CC^+} - 2$	0 0		$V_{CC^+} - 1.5$ $V_{CC^+} - 2$	V	
CMR	Common Mode Rejection Ratio ( $R_s \leq 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 60	85		70 60	85		dB	
$I_{source}$	Output Current Source $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +2V$ , $V_{id} = +1V$		20	40		20	40	60	mA
$I_{sink}$	Output Sink Current ( $V_{id} = -1V$ ) $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +2V$ $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +0.2V$		10 12	20 50		10 12	20 50	mA $\mu A$	
$V_{OPP}$	Output Voltage Swing ( $R_L = 2k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		0 0		$V_{CC^+} - 1.5$ $V_{CC^+} - 2$	0 0		$V_{CC^+} - 1.5$ $V_{CC^+} - 2$	

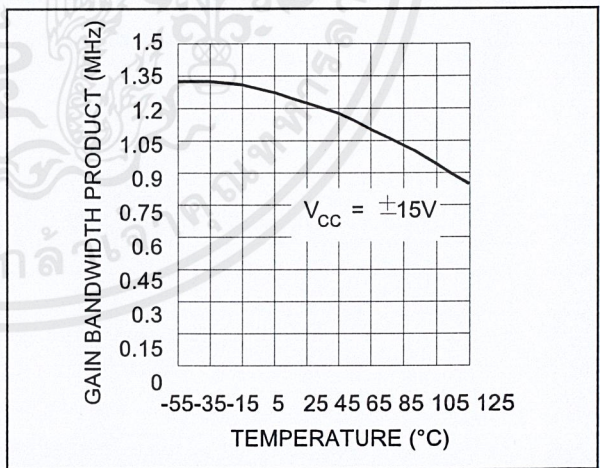
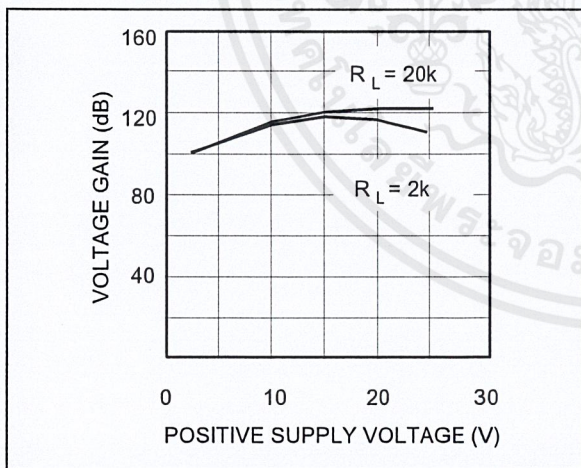
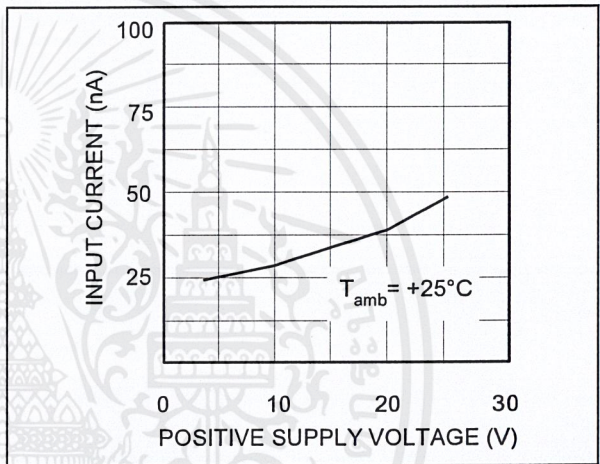
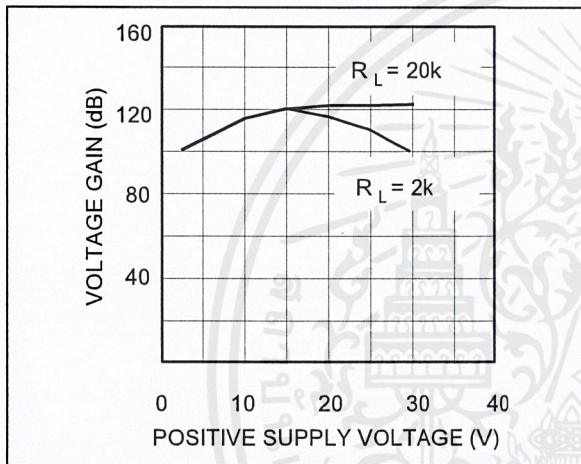
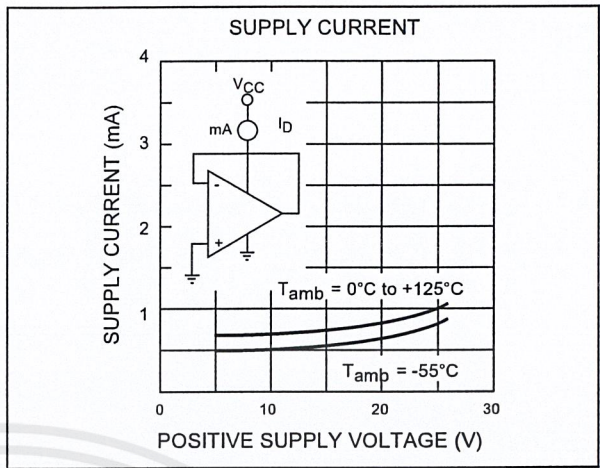
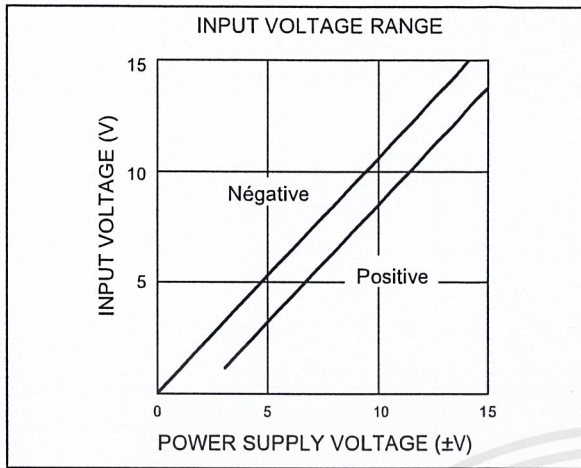
LM158,A-LM258,A-LM358,A

Symbol	Parameter	LM158A-LM258A LM358A			LM158-LM258 LM358			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$V_{OH}$	High Level Output Voltage ( $V_{CC}^+ = 30V$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $R_L = 2k\Omega$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $R_L = 10k\Omega$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	26 26 27 27	27  28		26 26 27 27	27  28		V
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage ( $R_L = 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5  20 20			5  20 20		mV
SR	Slew Rate $V_{CC} = 15V$ , $V_i = 0.5$ to $3V$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , unity Gain	0.3	0.6		0.3	0.6		V/ $\mu s$
GBP	Gain Bandwidth Product $V_{CC} = 30V$ , $f = 100kHz$ , $V_{in} = 10mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$	0.7	1.1		0.7	1.1		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz$ , $A_v = 20dB$ , $R_L = 2k\Omega$ , $V_o = 2V_{pp}$ , $C_L = 100pF$ , $V_o = 2V_{pp}$		0.02			0.02		%
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz$ , $R_s = 100\Omega$ , $V_{CC} = 30V$		55			55		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
$DV_{io}$	Input Offset Voltage Drift		7	15		7	30	$\mu V/^\circ C$
$DI_{io}$	Input Offset Current Drift		10	200		10	300	$pA/^\circ C$
$V_{o1}/V_{o2}$	Channel Separation - note 4) $1kHz \leq f \leq 20kHz$		120			120		dB

- $V_o = 1.4V$ ,  $R_s = 0\Omega$ ,  $5V < V_{CC}^+ < 30V$ ,  $0 < V_{ic} < V_{CC}^+ - 1.5V$
- The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
- The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is  $V_{CC}^+ - 1.5V$ , but either or both inputs can go to +32V without damage.
- Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

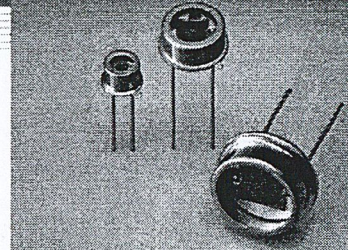






# Si photodiode S1226 series

For UV to visible, precision photometry; suppressed IR sensitivity



## Features

- High UV sensitivity: QE 75 % ( $\lambda=200$  nm)
- Suppressed IR sensitivity
- Low dark current
- High reliability

## Applications

- Analytical equipment
- Optical measurement equipment, etc.

### General ratings / absolute maximum ratings

Type No.	Dimensional outline/ Window material *	Package (mm)	Active area size (mm)	Effective active area (mm <sup>2</sup> )	Absolute maximum ratings		
					Reverse voltage VR Max. (V)	Operating temperature T <sub>opr</sub> (°C)	Storage temperature T <sub>stg</sub> (°C)
S1226-18BQ	①/Q	TO-18	1.1 × 1.1	1.2	5	-20 to +60	-55 to +80
S1226-18BK	①/K					-40 to +100	-55 to +125
S1226-5BQ	②/Q	TO-5	2.4 × 2.4	5.7		-20 to +60	-55 to +80
S1226-5BK	②/K					-40 to +100	-55 to +125
S1226-44BQ	②/Q					3.6 × 3.6	13
S1226-44BK	②/K	-40 to +100	-55 to +125				
S1226-8BQ	③/Q	TO-8	5.8 × 5.8	33		-20 to +60	-55 to +80
S1226-8BK	③/K					-40 to +100	-55 to +125

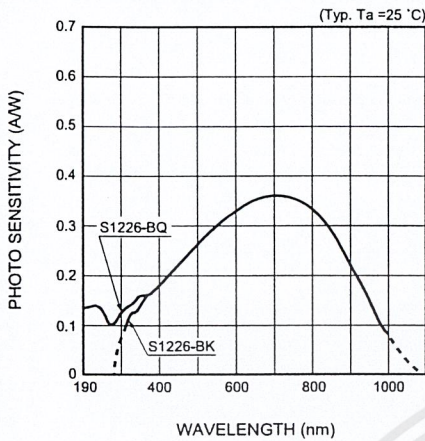
### Electrical and optical characteristics (Typ. T<sub>a</sub>=25 °C, unless otherwise noted)

Type No.	Spectral response range $\lambda$ (nm)	Peak sensitivity wavelength $\lambda_p$ (nm)	Photo sensitivity S (A/W)			Short circuit current I <sub>sc</sub> 100 lx		Dark current I <sub>D</sub> V <sub>R</sub> =10 mV Max. (pA)	Temp. coefficient of I <sub>D</sub> T <sub>cid</sub> (times/°C)	Rise time t <sub>r</sub> V <sub>R</sub> =0 V R <sub>L</sub> =1 kΩ (μs)	Terminal capacitance C <sub>t</sub> V <sub>R</sub> =0 V f=10 kHz (pF)	Shunt resistance R <sub>sh</sub> V <sub>R</sub> =10 mV		NEP (W/Hz <sup>1/2</sup> )											
			$\lambda_p$	200 nm		He-Ne laser 633 nm	Min. (μA)					Typ. (μA)	Min. (GΩ)		Typ. (GΩ)										
				Min.	Typ.																				
S1226-18BQ	190 to 1000	720	0.36	0.10	0.12	0.34	0.5	0.66	2	1.12	0.15	35	5	50	1.6 × 10 <sup>-15</sup>										
S1226-18BK	320 to 1000															-	-								
S1226-5BQ	190 to 1000															0.10	0.12	2.2	2.9	5	0.5	160	2	20	2.5 × 10 <sup>-15</sup>
S1226-5BK	320 to 1000															-	-	4.4	5.9	10	1	380	1	10	3.6 × 10 <sup>-15</sup>
S1226-44BQ	190 to 1000															0.10	0.12								
S1226-44BK	320 to 1000															-	-	12	16	20	2	950	0.5	5	5.0 × 10 <sup>-15</sup>
S1226-8BQ	190 to 1000															0.10	0.12								
S1226-8BK	320 to 1000															-	-								

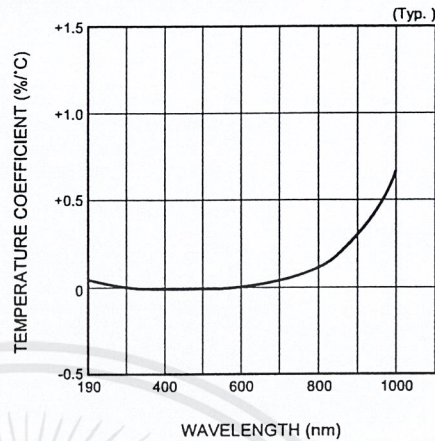
\* Window material, K: borosilicate glass, Q: quartz glass

**SOLID STATE DIVISION**

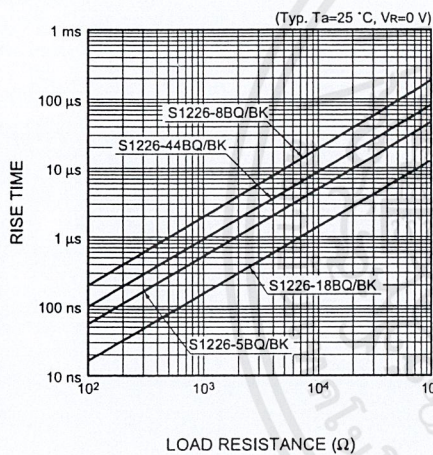
## ■ Spectral response



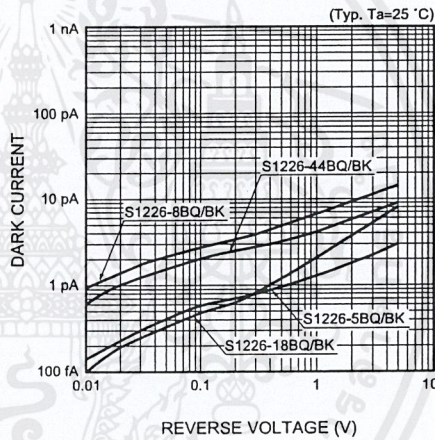
## ■ Photo sensitivity temperature characteristic



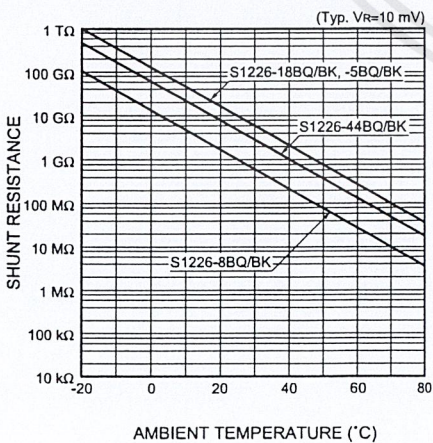
## ■ Rise time vs. load resistance



## ■ Dark current vs. reverse voltage



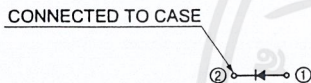
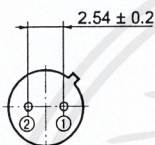
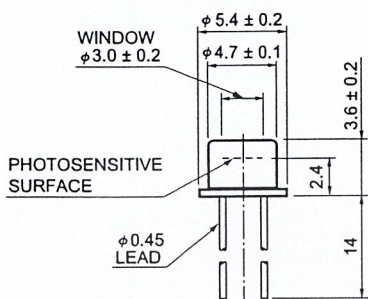
## ■ Shunt resistance vs. ambient temperature



# Si photodiode S1226 series

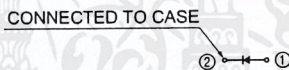
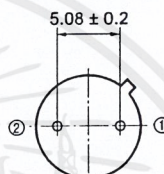
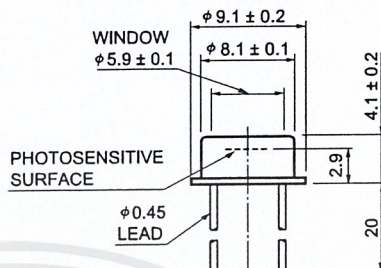
■ Dimensional outlines (unit: mm)

① S1226-18BQ/-18BK



KSPDA0113EB

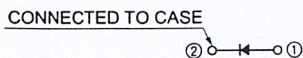
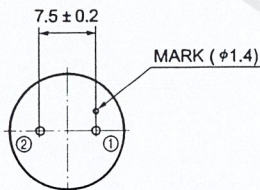
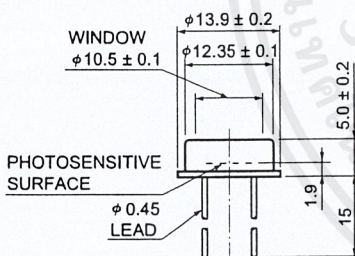
② S1226-5BQ/K, S1226-44BQ/K



The K type borosilicate glass window may extend a maximum of 0.2 mm above the upper surface of the cap.

KSPDA0114EA

③ S1226-8BQ/-8BK



The K type borosilicate glass window may extend a maximum of 0.2 mm above the upper surface of the cap.

KSPDA0115EA

## HAMAMATSU

Information furnished by HAMAMATSU is believed to be reliable. However, no responsibility is assumed for possible inaccuracies or omissions. Specifications are subject to change without notice. No patent rights are granted to any of the circuits described herein. Type numbers of products listed in the specification sheets or supplied as samples may have a suffix "(X)" which means tentative specifications or a suffix "(Z)" which means developmental specifications. ©2009 Hamamatsu Photonics K.K.

HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Solid State Division

1126-1 Ichino-cho, Higashi-ku, Hamamatsu City, 435-8558 Japan, Telephone: (81) 53-434-3311, Fax: (81) 53-434-5184, www.hamamatsu.com

U.S.A.: Hamamatsu Corporation: 360 Foothill Road, P.O.Box 6910, Bridgewater, N.J. 08807-0910, U.S.A., Telephone: (1) 908-231-0960, Fax: (1) 908-231-1218

Germany: Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH: Arzbergerstr. 10, D-82211 Herrsching am Ammersee, Germany, Telephone: (49) 8152-375-0, Fax: (49) 8152-265-8

France: Hamamatsu Photonics France S.A.R.L.: 19, Rue du Saule Trapu, Parc du Moulin de Massy, 91882 Massy Cedex, France, Telephone: 33-(1) 69 53 71 00, Fax: 33-(1) 69 53 71 10

United Kingdom: Hamamatsu Photonics UK Limited: 2 Howard Court, 10 Tewin Road, Welwyn Garden City, Hertfordshire AL7 1BW, United Kingdom, Telephone: (44) 1707-294888, Fax: (44) 1707-325777

North Europe: Hamamatsu Photonics Norden AB: Smidesvägen 12, SE-171 41 Solna, Sweden, Telephone: (46) 8-509-031-00, Fax: (46) 8-509-031-01

Italy: Hamamatsu Photonics Italia S.R.L.: Strada della Moia, 1/E, 20020 Arese, (Milano), Italy, Telephone: (39) 02-935-81-733, Fax: (39) 02-935-81-741

Cat. No. KSPD1034E06  
Jul. 2009 DN

3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LF155/LF156/LF256/LF257/LF355/LF356/LF357 JFET Input Operational Amplifiers

### General Description

These are the first monolithic JFET input operational amplifiers to incorporate well matched, high voltage JFETs on the same chip with standard bipolar transistors (BI-FET™ Technology). These amplifiers feature low input bias and offset currents/low offset voltage and offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common-mode rejection. The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time, low voltage and current noise and a low 1/f noise corner.

### Features

#### Advantages

- Replace expensive hybrid and module FET op amps
- Rugged JFETs allow blow-out free handling compared with MOSFET input devices
- Excellent for low noise applications using either high or low source impedance—very low 1/f corner
- Offset adjust does not degrade drift or common-mode rejection as in most monolithic amplifiers
- New output stage allows use of large capacitive loads (5,000 pF) without stability problems
- Internal compensation and large differential input voltage capability

### Applications

- Precision high speed integrators
- Fast D/A and A/D converters
- High impedance buffers
- Wideband, low noise, low drift amplifiers

- Logarithmic amplifiers
- Photocell amplifiers
- Sample and Hold circuits

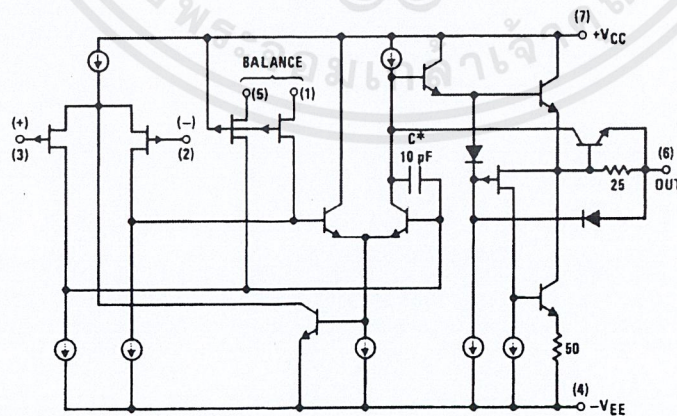
#### Common Features

- Low input bias current: 30pA
- Low Input Offset Current: 3pA
- High input impedance:  $10^{12}\Omega$
- Low input noise current:  $0.01 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- High common-mode rejection ratio: 100 dB
- Large dc voltage gain: 106 dB

### Uncommon Features

	LF155/ LF355	LF156/ LF256/ LF356	LF257/ LF357 ( $A_v=5$ )	Units
■ Extremely fast settling time to 0.01%	4	1.5	1.5	$\mu\text{s}$
■ Fast slew rate	5	12	50	$\text{V}/\mu\text{s}$
■ Wide gain bandwidth	2.5	5	20	MHz
■ Low input noise voltage	20	12	12	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

### Simplified Schematic



\*3pF in LF357 series.

00564601

BI-FET™, BI-FET II™ are trademarks of National Semiconductor Corporation.

# LF155/LF156/LF256/LF257/LF355/LF356/LF357 JFET Input Operational Amplifiers

## General Description

These are the first monolithic JFET input operational amplifiers to incorporate well matched, high voltage JFETs on the same chip with standard bipolar transistors (BI-FET™ Technology). These amplifiers feature low input bias and offset currents/low offset voltage and offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common-mode rejection. The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time, low voltage and current noise and a low 1/f noise corner.

- Logarithmic amplifiers
- Photocell amplifiers
- Sample and Hold circuits

### Common Features

- Low input bias current: 30pA
- Low Input Offset Current: 3pA
- High input impedance:  $10^{12}\Omega$
- Low input noise current:  $0.01 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- High common-mode rejection ratio: 100 dB
- Large dc voltage gain: 106 dB

## Features

### Advantages

- Replace expensive hybrid and module FET op amps
- Rugged JFETs allow blow-out free handling compared with MOSFET input devices
- Excellent for low noise applications using either high or low source impedance—very low 1/f corner
- Offset adjust does not degrade drift or common-mode rejection as in most monolithic amplifiers
- New output stage allows use of large capacitive loads (5,000 pF) without stability problems
- Internal compensation and large differential input voltage capability

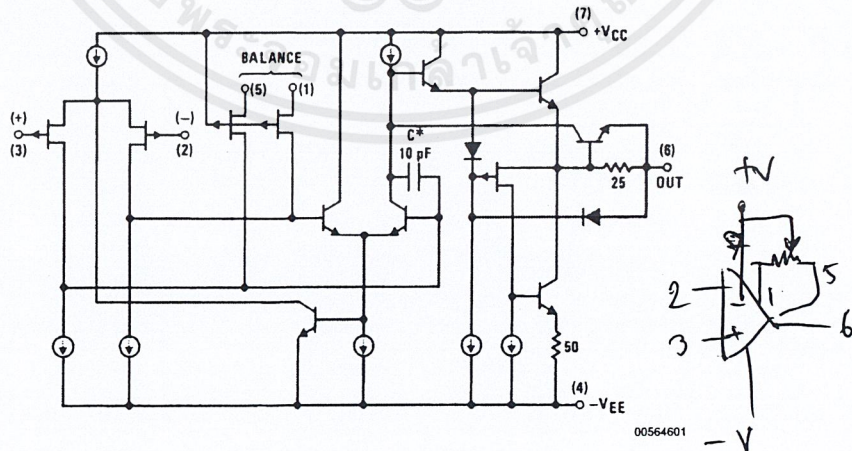
## Applications

- Precision high speed integrators
- Fast D/A and A/D converters
- High impedance buffers
- Wideband, low noise, low drift amplifiers

## Uncommon Features

	LF155/ LF355	LF156/ LF256/ LF356	LF257/ LF357 ( $A_V=5$ )	Units
■ Extremely fast settling time to 0.01%	4	1.5	1.5	$\mu\text{s}$
■ Fast slew rate	5	12	50	$\text{V}/\mu\text{s}$
■ Wide gain bandwidth	2.5	5	20	MHz
■ Low input noise voltage	20	12	12	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

## Simplified Schematic



\*3pF in LF357 series.

BI-FET™, BI-FET II™ are trademarks of National Semiconductor Corporation.