



มาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์
SOLAR-CELL-BASED LUX METER

นายวุฒิชัย เหมันต์ รหัส 51381306
นายสุพจน์ กาวีโล รหัส 51384086

โรงเรียน.....
ปี.....
เลขทะเบียน.....
เลขเรียกหนังสือ.....
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ๖๘๖๕	๖๘๖๕


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ปีการศึกษา ๒๕๕๔

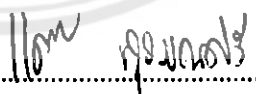


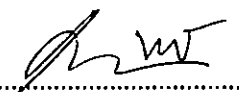
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ	มาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์
ผู้ดำเนินโครงการ	นายวุฒิชัย เหมันต์ รหัส 51381306
	นายสุพจน์ กาวิโล รหัส 51384086
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)


.....กรรมการ
(ดร. แคทริยา สุวรรณศรี)


.....กรรมการ
(ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

ชื่อหัวข้อโครงการ	มาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์	
ผู้ดำเนินโครงการ	นายวุฒิชัย เหมันต์	รหัส 51381306
	นายสุพจน์ กาวิโล	รหัส 51384086
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2554	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงการที่สร้างมาตรวัดความเข้มแสงภายในอาคาร โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นทรานส์ดิวเซอร์และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของมาตรวัด แล้วแสดงค่าเป็นตัวเลขในหน่วยลักซ์ออกจากโมดูลแอลซีดี แรงบันดาลใจในการดำเนินโครงการนี้มาจากความจำเป็นในการวัดความสว่างเพื่อใช้ออกแบบระบบส่องสว่างและราคาของมาตรวัดความเข้มแสงในท้องตลาดยังคงสูง ในโครงการนี้ได้สร้างมาตรวัดความเข้มแสงที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ตามความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์ สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซลล์กับค่าความเข้มแสงถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเซลล์และการเลือกเส้นกราฟให้เหมาะสมกับข้อมูล (Curve fitting) โดยใช้โปรแกรมเมทแลป (MATLAB) แล้วโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega16 เพื่อประมวลผลและแสดงค่าความเข้มแสงเป็นตัวเลขทางโมดูลแอลซีดี

Project title	Solar-Cell-Based Lux Meter	
Name	Mr. Wuttichai Heman	ID. 51381306
	Mr. Supoth Kawilo	ID. 51384086
Project advisor	Mr. Niphat Jantharamin, Ph.D.	
Major	Electrical Engineering	
Department	Electrical and Computer Engineering	
Academic year	2011	

Abstract

This thesis presents a project in which an inexpensive lux meter for indoor luminosity measurement was developed. This lux meter used solar cell as a light transducer and was controlled by a microcontroller. The light intensity value in lux was displayed on an LCD module. This project was inspired by the need of brightness measurement for lighting design and high costs of lux meters in the market. The lux meter built in this project was based on a change in the solar-cell output voltage that corresponds to the incident light. The aforementioned voltage-luminosity relationship was obtained via testing the cell under different brightness levels and, in turn, represented by mathematical equations which were developed by means of curve fitting in MATLAB. The ATMega16 microcontroller was programmed in such a way that the equations were implemented and the corresponding luminous intensity in lux was displayed on the LCD module.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญาานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน
ขอขอบคุณคุณคุณเปวันรัตน์ มั่นนุช ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับอุปกรณ์ในระหว่างดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณกองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษา (กยศ.) ที่สนับสนุนทุนทรัพย์ให้กับคณะผู้ดำเนินโครงการ

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้งาน จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรักความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายวุฒิชัย เหมันต์

นายสุพจน์ กาวีโล

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....ก	
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค	
กิตติกรรมประกาศ.....ง	
สารบัญ.....จ	
สารบัญตาราง.....ช	
สารบัญรูป.....ซ	
บทที่ 1 บทนำ..... 1	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ..... 1	
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... 1	
1.3 ขอบเขตของโครงการ..... 1	
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน..... 2	
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ..... 2	
1.6 งบประมาณ..... 3	
บทที่ 2 หลักการพัฒนามาตรวัดความเข้มแสง โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์..... 4	
2.1 มาตรวัดความเข้มแสง..... 4	
2.1.1 ส่วนประมวลผลของมาตรวัดความเข้มแสง..... 5	
2.1.2 ส่วนแสดงผลของมาตรวัดความเข้มแสง..... 5	
2.1.3 ส่วนตรวจจับของมาตรวัดความเข้มแสง..... 6	
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์..... 6	
2.3 การประมวลผลเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์..... 9	
2.3.1 โครงสร้างและตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega16..... 11	
2.3.2 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล..... 12	
2.3.3 การแสดงผลด้วยโมดูลแอลซีดี..... 14	
บทที่ 3 การสร้างมาตรวัดความเข้มแสง โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์..... 17	
3.1 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์..... 17	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2	วงจรมাত্রวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์	19
3.3	โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	21
3.3.1	การตอบสนองต่อความเข้มแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเซลล์แสงอาทิตย์..	22
3.3.2	การหาสมการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออก ของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรมแมทแล็บ	23
3.3.3	การโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์	36
บทที่ 4	ผลการทดสอบ	37
4.1	การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์	37
4.2	การทดสอบวงจรมাত্রวัดความเข้มแสง	38
4.3	การทดสอบผลตอบสนองของมาตรวัดความเข้มแสงที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ	39
4.3.1	กรณีที่ 1 โปรแกรมด้วยสมการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง กับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการ	41
4.3.2	กรณีที่ 2 โปรแกรมด้วยสมการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง กับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการ	50
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	60
5.1	สรุปผลการดำเนินโครงการ	60
5.2	ปัญหาและแนวทางแก้ไข	61
5.3	แนวทางในการพัฒนาต่อไป	61
เอกสารอ้างอิง		62
ภาคผนวก ก		63
ภาคผนวก ข		82
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ		101

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรมาตรวัดความเข้มแสง.....	21
3.2 การเปรียบเทียบค่าที่คำนวณจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน ด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีแบ่งสมการเป็น 2 สมการเทียบกับความเข้มแสง ที่วัดโดยใช้มาตรวัดอ้างอิง.....	27
3.3 ระดับความสัมพันธ์ของค่าสหสัมพันธ์.....	30
3.4 การเปรียบเทียบค่าที่คำนวณจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน ด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีแบ่งสมการเป็น 4 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่ วัดโดยใช้มาตรวัดอ้างอิง.....	33
4.1 การต่อส่วนแสดงผลไมโครแอลซีดี กับวงจรมาตรวัดความเข้มแสง.....	40
4.2 ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการเทียบกับ ความเข้มแสงที่วัด โดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาเดียวกัน.....	41
4.3 ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการเทียบกับ ความเข้มแสงที่วัด โดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาต่างกัน.....	46
4.4 ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการเทียบกับ ความเข้มแสงที่วัด โดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาเดียวกัน.....	50
4.5 ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการเทียบกับ ความเข้มแสงที่วัด โดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาต่างกัน.....	55

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างภายนอกของมาตรวัดความเข้มแสง	4
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน	6
2.3 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.4 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลของเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.5 การเกิดกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.6 โครงสร้างภายนอกเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอนที่เลือกใช้	9
2.7 แผนภาพกรอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega16	10
2.8 รายละเอียดขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์	11
2.9 โมดูลการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	15
2.10 จอแสดงผล โมดูลแอลซีดีขนาด 16×2	15
2.11 การต่อใช้งาน โมดูลแอลซีดี	16
3.1 แผนภาพหลักการออกแบบมาตรวัดความเข้มแสง	17
3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 5 โวลต์	18
3.3 วงจรมาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์	19
3.4 วงจรมาตรวัดความเข้มแสงที่ลงรายการอุปกรณ์แล้ว	20
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์	22
3.6 การหาสมการพหุนามจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน ด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์	23
3.7 การเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ได้จากสมการกับกราฟระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน ด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์	24
3.8 กราฟจากสมการพหุนามกำลังค่าต่างๆเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง กับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์	25
3.9 การเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากสมการกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง กับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งสมการเป็น 2 สมการ	26
3.10 การเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากสมการกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง และแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งสมการเป็น 4 สมการ	32
3.11 การตั้งค่าตัวกำหนดชนิดของออสซิลเลเตอร์ที่ถูกต้อง	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ค่าแรงดันที่วัดได้ก่อนผ่านวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์.....	37
4.2 ค่าแรงดันที่วัดได้หลังผ่านวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์.....	38
4.3 ผลการทดสอบวงจรมาตรวัดความเข้มแสง.....	39
4.4 ตำแหน่งการวางตัวรับแสง.....	40
4.5 การทดสอบมาตรวัดความเข้มแสงที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ.....	41



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในการออกแบบห้องต่างๆภายในอาคารหรือในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น แต่ละห้องจะใช้ระดับของความส่องสว่างที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งถ้าความส่องสว่างไม่เพียงพอต่อพื้นที่ห้องหรือไม่เพียงพอต่อส่วนงานต่างๆในโรงงาน จะมีผลกระทบต่อสายตาและชิ้นงานได้ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือเพื่อนำมาวัดค่าความเข้มแสงในหน่วยของลักซ์ (Lux) เพื่อเปรียบเทียบกับค่าความสว่างตามมาตรฐาน ซึ่งมาตรวัดความเข้มแสงแบบดิจิตอล (Digital lux meter) ปัจจุบันเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงจึงเป็นที่มาของการดำเนินโครงการนี้

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างมาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นเซลล์รับแสงภายในอาคาร เพื่อวัดค่าความเข้มแสง แล้วแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลข นั่นคือวัดความเข้มแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) โดยเปลี่ยนจากแรงดันต้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วแสดงค่าความเข้มแสงออกมาในหน่วยของลักซ์ โดยควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงผลเป็นตัวเลขออกมาทางโมดูลแอลซีดี ขนาด 16×2 (LCD module 16×2) เพื่อให้เกิดความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้ และสะดวกในการอ่านค่ามากกว่าแบบแอนะล็อก (Analog)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อออกแบบและสร้างมาตรวัดความเข้มแสงภายในอาคาร โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวรับแสงและแสดงค่าเป็นตัวเลข โดยควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

สร้างมาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวรับแสงสว่างเฉพาะหลอดฟลูออเรสเซนต์ภายในอาคารและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการแสดงผลออกทางโมดูลแอลซีดี

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2554							ปี 2555		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1) ศึกษาหลักการดำเนินงานของ มาตรวัดความเข้มแสง และการออกแบบระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์										
2) ศึกษาและเลือกอุปกรณ์ เพื่อใช้ในโครงการ										
3) ออกแบบมาตรวัดความ เข้มแสงและสร้างวงจร การทำงาน										
4) ทดสอบการทำงานและ ปรับปรุงระบบ										
5) สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม ปริญญานิพนธ์										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

มาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวรับแสงที่สร้างขึ้น สามารถใช้เป็นเครื่องมือวัดความเข้มแสงภายในอาคารและแสดงค่าเป็นตัวเลขในหน่วยลักซ์ ซึ่งมีความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับมาตรวัดความเข้มแสงที่มีขายตามท้องตลาด จึงสามารถใช้ตรวจสอบค่าความเข้มแสงภายในอาคาร รวมทั้งใช้ประกอบการออกแบบระบบแสงสว่างได้

1.6 งบประมาณ

1) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกรวมขนาด 0.33 W 5.5 V 60 mA	320 บาท
2) โมดูลแอลซีดี ขนาด 16×2	155 บาท
3) วงจรมาตรวัดความเข้มแสง	525 บาท
4) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริณิงานิพนธ์	1,000 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองพันบาทถ้วน)	<u>2,000 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	



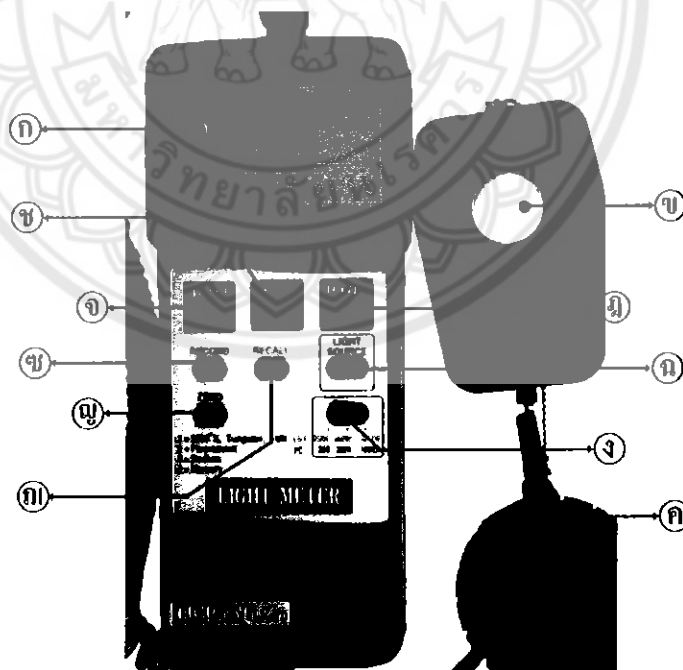
บทที่ 2

หลักการพัฒนามาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการที่ใช้ในการพัฒนามาตรวัดความเข้มแสง ซึ่งจะต้องศึกษา
มาตรวัดความเข้มแสงในห้องทดลองก่อนเพื่อใช้ในการพัฒนามาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์
แสงอาทิตย์

2.1 มาตรการวัดความเข้มแสง

มาตรวัดความเข้มแสง (Lux meter) คือเครื่องมือที่สามารถแปลงความสว่างออกมาให้อยู่ในรูปความเข้มแสงที่มีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux: lx) หรือฟุตแคนเดิล (Footcandle: fc) ซึ่งมาตรวัดความเข้มแสงที่มีจำหน่ายและใช้งานในปัจจุบันมีอยู่ 2 ประเภทคือ มาตรวัดความเข้มแสงชนิดเข็มชี้ (Analog) และชนิดแสดงผลออกเป็นตัวเลข (Digital) โดยมีส่วนประกอบหลักๆอยู่ 3 ส่วนคือ ส่วนประมวลผล ส่วนแสดงผล และส่วนตรวจจับ ซึ่งโครงสร้างภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายนอกของมาตรวัดความเข้มแสง

- ก. จอแสดงผล คืออุปกรณ์สำหรับแสดงค่าความเข้มแสงออกมาในหน่วยของลักซ์หรือฟุตแคนเดิล
- ข. ตัวรับแสง คือส่วนที่ใช้รับแสงสว่างบนพื้นที่ที่ต้องการวัดจากแหล่งกำเนิดแสง
- ค. สายสัญญาณ ใช้เชื่อมต่อระหว่างตัวรับแสงกับมาตรวัดความเข้มแสง
- ง. ปุ่มปรับช่วงรับแสง (Range) เป็นปุ่มที่ใช้สำหรับปรับช่วงในการวัด
- จ. ปุ่มเปิดและปิดมาตรวัดความเข้มแสง
- ฉ. ปุ่มเลือกชนิดของแหล่งกำเนิดแสง (Light source)
- ช. ปุ่มหยุดค่าที่กำลังแสดง (Hold)
- ซ. ปุ่มบันทึกค่าที่แสดง (Record)
- ณ. ปุ่มเรียกดูค่าที่บันทึกไว้ (Recall) โดยแสดงเป็นค่าสูงสุด (Max) ค่าต่ำสุด (Min) และค่าเฉลี่ย (AVG)
- ญ. ปุ่มปรับค่าศูนย์ (Zero)
- ฎ. ปุ่มปรับหน่วยการวัดให้เป็นลักซ์หรือฟุตแคนเดิล (LUX/FC)

2.1.1 ส่วนประมวลผลของมาตรวัดความเข้มแสง

มาตรวัดความเข้มแสงส่วนใหญ่จะประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำงานที่ไฟเลี้ยงวงจร 5 โวลต์กระแสตรง โดยรับเอาที่วัดจากตัวรับแสง และประมวลผลตามคำสั่งที่ป้อนให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนนี้จะติดตั้งอยู่ภายในมาตรวัดความเข้มแสง

2.1.2 ส่วนแสดงผลของมาตรวัดความเข้มแสง

ส่วนแสดงผลของมาตรวัดความเข้มแสงนั้นมักจะแสดงผลด้วยจอแอลซีดี โดยการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ อาจแสดงในหน่วยของลักซ์หรือฟุตแคนเดิล โดยปกติจอแอลซีดีมีราคาสูง ส่งผลให้มาตรวัดความเข้มแสงในท้องตลาดมีราคาสูงไปด้วย โครงการนี้จึงเลือกใช้โมดูลแอลซีดีขนาด 16×2 เป็นส่วนแสดงผล เพราะมีราคาถูกกว่าจอแอลซีดีที่ใช้ในมาตรวัดความเข้มแสงทั่วไป ส่วนของรายละเอียดของการใช้งานโมดูลแอลซีดีนั้นจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.1.3 ส่วนตรวจจับของมาตรวัดความเข้มแสง

ส่วนตรวจจับหรือตัวรับแสงของมาตรวัดความเข้มแสงนั้นถือว่าเป็นส่วนสำคัญ เนื่องจากเป็นส่วนที่รับแสงมาโดยตรง แล้วส่งเป็นอินพุตให้กับส่วนประมวลผล โดยทั่วไปแล้ว ตัวรับแสงมักจะเป็น โฟโตไดโอด (Photodiode) ตัวต้านทานไวแสง (light sensitive resistor: LSR) หรือเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ซึ่งตัวรับแสงแต่ละชนิดมีคุณลักษณะข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป โครงการนี้เลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวรับแสง ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์

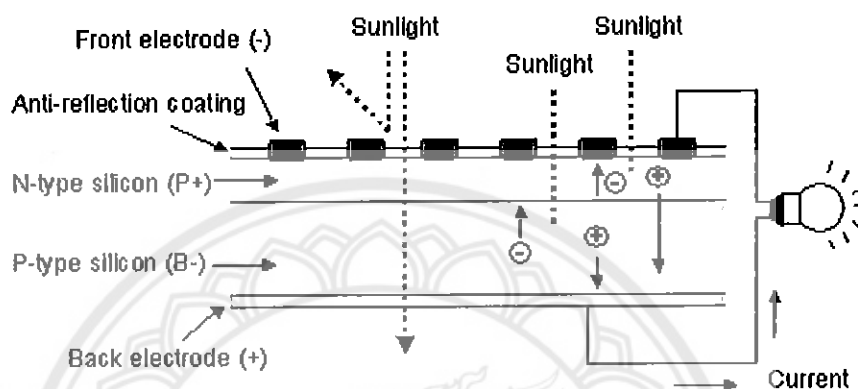
เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น เพื่อเปลี่ยน พลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ด้วยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon) มาผ่าน กระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ เมื่อแสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับ อิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำ เมื่อพลังงานมากพอที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) อิเล็กตรอนจะสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ครบ วงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น [1]

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่ง ออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยว (Singlecrystalline silicon solar cell) และชนิดซิลิคอน ผลึกรวม (Polycrystalline silicon solar cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดซิลิคอนอะมอร์ฟัส (Amorphous silicon solar cell) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน [3]

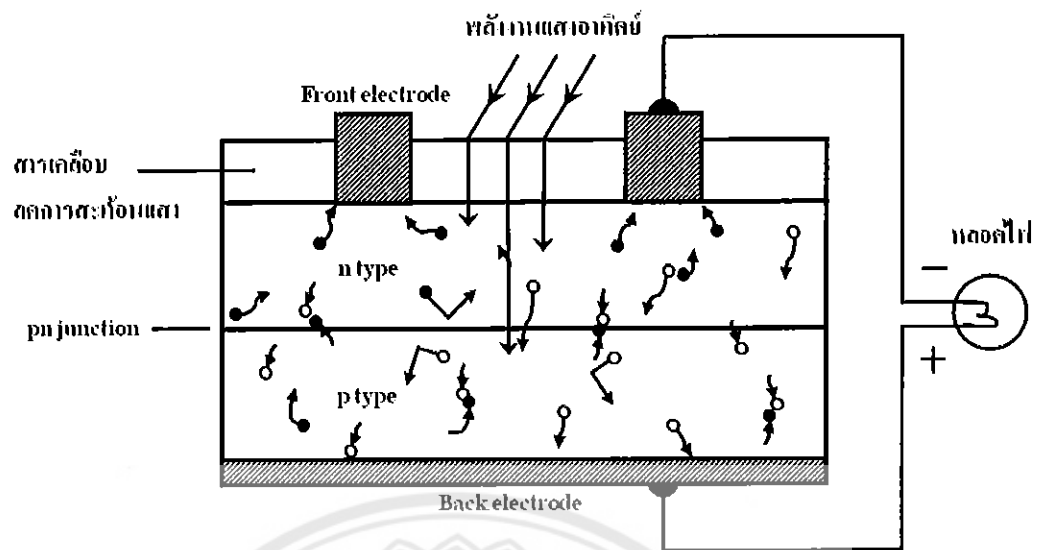
หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง เมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานตกกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนขึ้นในสารกึ่งตัวนำจึงสามารถนำกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์ [3]

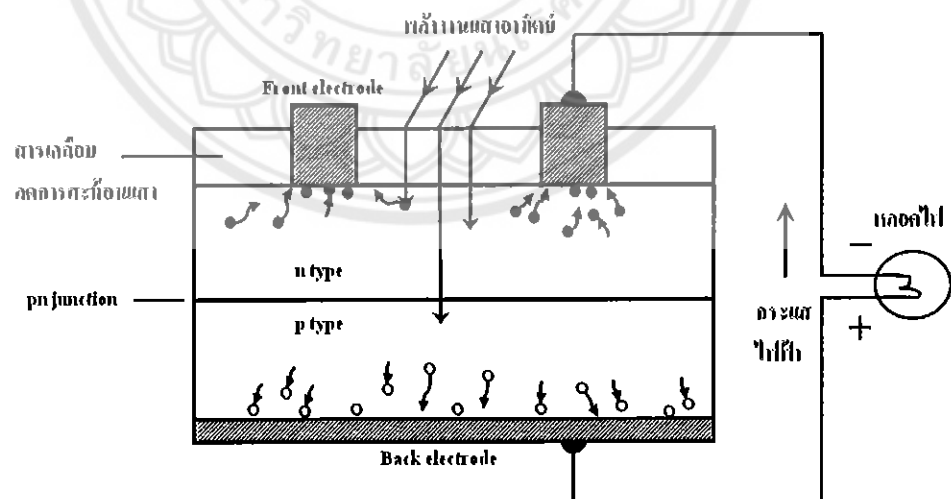
สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type silicon) ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการเจือ (Doping) ด้วยสารฟอสฟอรัส (Phosphorus) มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type silicon) คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการเจือด้วยสารโบรอน (Boron) ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอนเราเรียกว่าโฮล (Hole) เมื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์โฮลทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาประกบต่อกันจะเกิดรอยต่อพีเอ็น (P-N junction) จึงเกิดเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาวะยังไม่มีแสง สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะมีแถบโลหะด้านหน้า (Front electrode) ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดพีซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังมีอิเล็กตรอนปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ซึ่งด้านหลังของสารกึ่งตัวนำชนิดพีจะมีแถบโลหะด้านหลัง (Back electrode) ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล [1]

เมื่อแสงตกกระทบจะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้นของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและโฮลจะวิ่งไปยังชั้นของสารกึ่งตัวนำชนิดพีดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลของเซลล์แสงอาทิตย์ [3]

อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่แถบโลหะด้านหน้าและโฮลวิ่งไปรวมกันที่แถบโลหะด้านหลัง เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจากแถบโลหะด้านหน้าและแถบโลหะด้านหลังให้ครบวงจรจะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กันดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเกิดกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ [3]

โครงการนี้เลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกรวมเป็นตัวรับแสง โดยมี โครงสร้างภายนอกดังรูปที่ 2.6 ซึ่งสามารถให้กำลังสูงสุด 0.33 วัตต์ แรงดันสูงสุด 5.5 โวลต์ และ กระแสสูงสุด 60 มิลลิแอมป์



รูปที่ 2.6 โครงสร้างภายนอกเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกรวมที่เลือกใช้

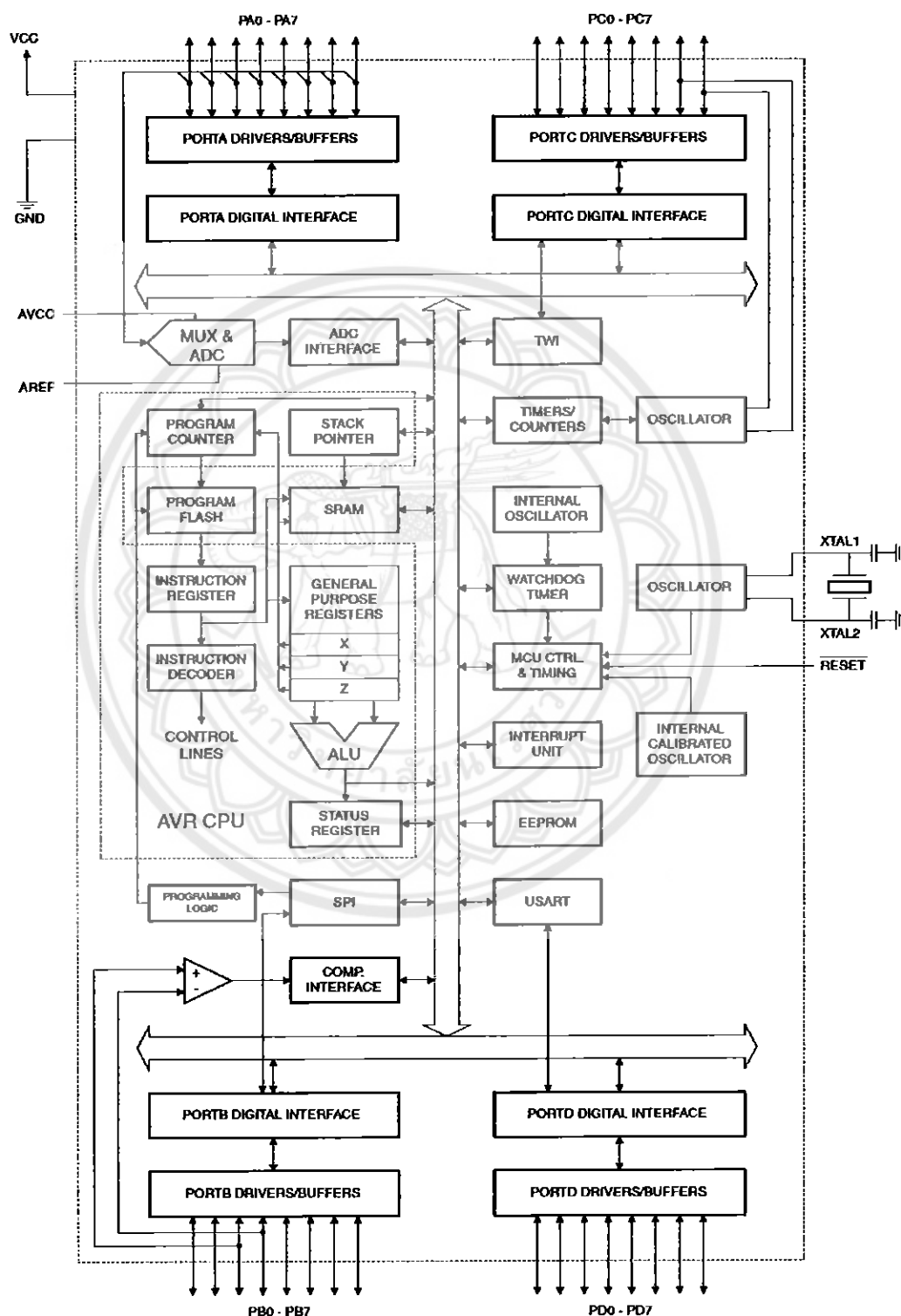
- ก. พื้นที่ได้รับแสง ขนาด 69.5×39.5 ตารางมิลลิเมตร
- ข. ไฟแอลอีดี แสดงสถานะการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
- ค. ไคโอดสำหรับเชื่อมต่อกับวงจรภายนอก
- ง. ขั้วต่อเอาต์พุตเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์แล้วพบว่า เซลล์แสงอาทิตย์ให้เอาต์พุตที่ต่างกัน ที่ค่า ความเข้มแสงต่างๆ ผู้ดำเนินโครงการจึงใช้เอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอินพุตให้ส่วน ประมวลผล ในที่นี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3 การประมวลผลเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นวงจรรวมหรือไอซี (Integrated circuit: IC) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปแบบสัญญาณแอนะล็อกเข้าไป ประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์เป็นข้อมูลดิจิทัลออกมา เพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เหมาะสมสำหรับเป็นตัวควบคุมของมาตรวัดความเข้มแสงนั้นต้องรองรับการ โปรแกรมด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เช่น สมการพหุนาม เป็นต้น เพื่อการประมวลผลที่แม่นยำ มากขึ้น

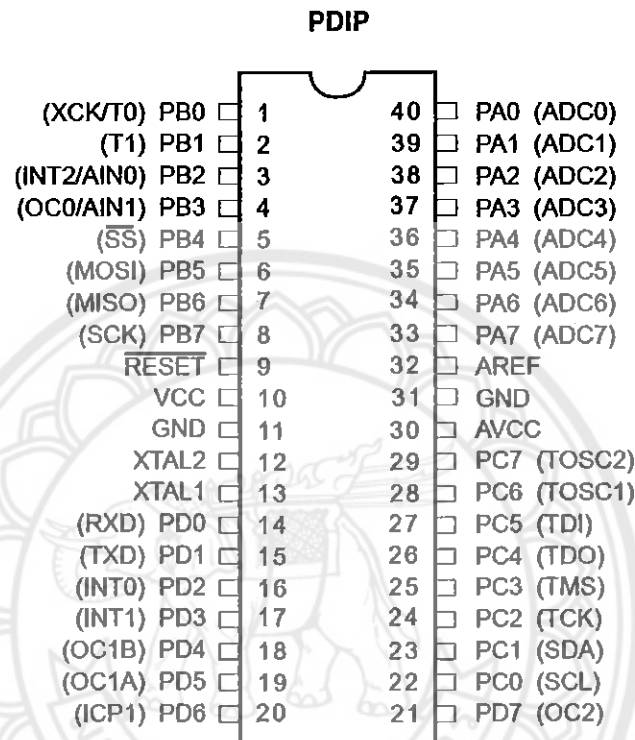
โครงงานนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega16 ซึ่งมีความสามารถสูง สามารถรองรับการโปรแกรมด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เช่น สมการพหุนาม สมการลอการิทึม เป็นต้น โดยมีรายละเอียดและคุณสมบัติภายในของ ATmega16 แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega16 [4]

2.3.1 โครงสร้างและตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega16

โครงสร้างภายนอกและตำแหน่งขาพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega16 แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 รายละเอียดขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega16 [4]

โดยมีรายละเอียดของขาสัญญาณและการใช้งานดังนี้

VCC คือ ขาแรงดันไฟตรงจ่ายให้กับหน่วยประมวลผลกลาง

GND คือ ขากราวด์

Port A (PA7-PA0) เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทางคือขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถพูลอัพ (Pullup) ภายในแยกจากกันโดยพอร์ต A ยังใช้เป็นขาอินพุตเพื่อรับสัญญาณแอนะล็อกในส่วนของการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

Port B (PB7-PB0) เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทางคือขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถพูลอัพภายในแยกจากกัน และเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษ เช่น ขาสำหรับการ โปรแกรมชิพ ขาป้อนสัญญาณนาฬิกาภายนอก เป็นต้น

Port C (PC7-PC0) เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทางคือขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถพูลอัพภายในแยกจากกัน และเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษเช่น ขาเชื่อมต่อกับคีย์บอร์ดและ โปรแกรมด้วยการเชื่อมต่อแบบ JTAG เป็นต้น

Port D (PD7-PD0) เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทางคือขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถพูลอัพภายในแยกจากกัน และเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษเช่น ขาเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม ขาอินเตอร์รัพต์เนื่องจากสัญญาณภายนอก เป็นต้น

Reset	รีเซ็ต
XTAL 1	เป็นขาต่อคริสตัลลออสซิลเลเตอร์ ช่องที่ 1 ด้านอินพุต
XTAL 2	เป็นขาต่อคริสตัลลออสซิลเลเตอร์ ช่องที่ 1 ด้านเอาต์พุต
AVCC	ใช้จ่ายไฟให้กับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล
AREF	เป็นขาแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในงานในส่วนวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล [4]

ในที่นี้เลือกใช้ขาพอร์ต PA2 เป็นขาพอร์ตรับสัญญาณแอนะล็อกเพื่อเข้าสู่การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และเลือกใช้พอร์ต C เป็นขาพอร์ตเอาต์พุตเพื่อส่งข้อมูลไปแสดงผลต่อไป

2.3.2 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

การแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to digital converter: ADC) มีความจำเป็นมากเพราะไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถประมวลผลแบบแอนะล็อกได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลแบบดิจิทัลเท่านั้น ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีการแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

ปกติหน่วยประมวลผลกลางของ AVR-ATMega16 นั้นจะมีฟังก์ชันการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลอยู่ภายในตัวไอซี ดังนั้นจึงไม่ต้องใช้ไอซีต่อภายนอกเพื่อแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล สำหรับฟังก์ชันนี้สามารถรับสัญญาณแอนะล็อกได้สูงสุด 8 ช่องโดยรับสัญญาณเข้ามาทางพอร์ต A ดังนั้นเราสามารถเลือกใช้ฟังก์ชันนี้ทำการแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่ละช่องอย่างต่อเนื่องหรือทำการแปลงสัญญาณเฉพาะช่องที่เราต้องการได้เช่นกัน โดยสัญญาณดิจิทัลที่แปลงได้มีความละเอียด 10 บิต โดยการรับสัญญาณแต่ละขาของพอร์ต A ซึ่งมีวงจรชักรตัวอย่างและคงค่า (Sample and hold) เพื่อช่วยให้สัญญาณแอนะล็อกที่รับเข้ามาเพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีระดับสัญญาณคงที่โดยปกติการใช้งานฟังก์ชันนี้จำเป็นต้องจัดแรงดัน AVCC AREF และ GND ให้กับฟังก์ชันด้วย ส่วนคุณสมบัติและการทำงานของฟังก์ชันการแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลมีดังนี้

คุณสมบัติของฟังก์ชันการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

- สามารถแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีความละเอียดถึง 10 บิต
- ความผิดพลาดเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นอินทิกรัลไม่เกิน 0.5 LSB (Integral non-linearity)
- มีความละเอียดถูกต้องสัมบูรณ์ ± 2 LSB (Absolute accuracy)
- ความเร็วในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล 13-260 ไมโครวินาที
- สามารถเพิ่มความละเอียดในการแปลงสูงถึง 15 kSPS
- สามารถรับสัญญาณแอนะล็อกได้สูงสุด 8 ช่อง
- มี 7 ช่องอินพุตที่แตกต่างกัน
- มี 2 ช่องอินพุตที่มีอัตราขยาย 10x และ 200x
- มีตัวเลือกเสริมสำหรับปรับปรุ้งแก้ไขค่าที่ได้จากการแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล
- แรงดันอินพุตสำหรับฟังก์ชันการแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลใช้ได้ตั้งแต่ 0-Vcc โวลต์
- แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงอยู่ที่ 2.56 โวลต์
- มีโหมดการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลอยู่ 2 โหมด ได้แก่ การแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่ละช่องอย่างต่อเนื่อง (Free running mode) และการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเฉพาะช่องที่ต้องการ (Single conversion mode)
- สามารถเริ่มแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยอัตโนมัติ และสามารถแปลงสัญญาณอินเทอร์รัปต์ในฟังก์ชันการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลได้อย่างสมบูรณ์

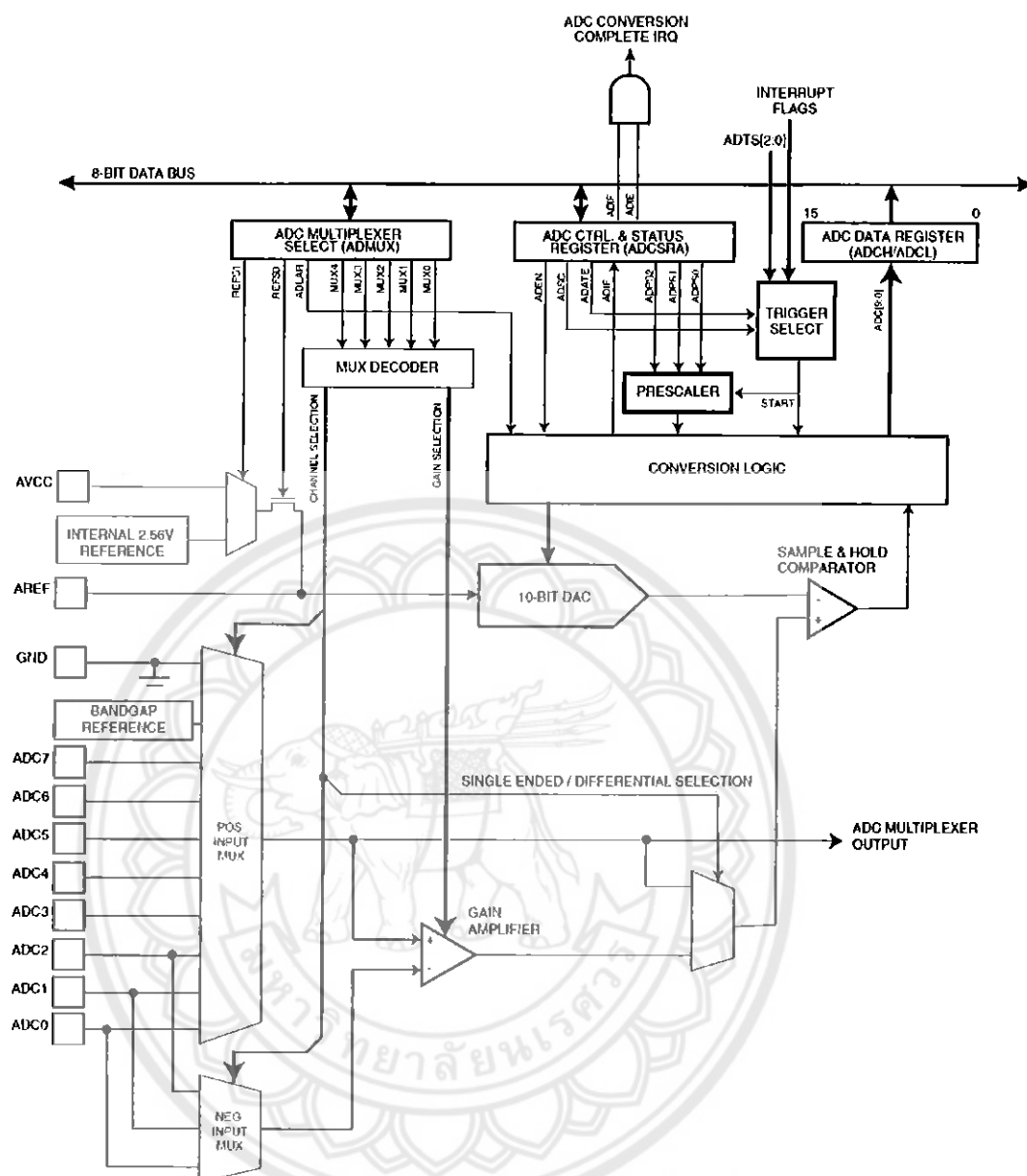
การทำงานในส่วนของการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล มี 2 โหมดคือ การแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่ละช่องอย่างต่อเนื่องและการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเฉพาะช่องที่ต้องการ

ในโหมดการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเฉพาะช่องที่ต้องการ ผู้ใช้ต้องเป็นผู้กำหนดการใช้งานขึ้นเอง แต่ในส่วนของการแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่ละช่องอย่างต่อเนื่องจะแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะอ่านข้อมูลและเก็บในเรจิสเตอร์ข้อมูล ADC ซึ่งบิต ADFR ในเรจิสเตอร์ ADCSR เป็นบิตที่ใช้เลือกโหมดการใช้งานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล สำหรับการกำหนดให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลทำงานนั้นสามารถทำได้โดยการกำหนดบิต ADEN ในเรจิสเตอร์ ADCHRA ให้เป็น 1 โดยบิตนี้จะ เป็น 1 ไปตลอดจนกระทั่งการแปลงของสัญญาณเสร็จสิ้นแล้วจึงทำให้บิตนี้เป็น 0 โดยอัตโนมัติ แต่ถ้าเป็นการเปลี่ยนช่องของการแปลงสัญญาณขณะที่ช่องเดิมยังแปลงอยู่ วงจรที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะแปลงสัญญาณช่องเดิมให้เสร็จก่อนแล้วจึงแปลงสัญญาณช่องถัดไป โดยข้อมูลที่ได้จากการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะเก็บไว้ในเรจิสเตอร์ ADCH และ ADCL วงจรโมดูลการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแสดงดังรูปที่ 2.9 [4]

โครงงานนี้เลือกการทำงานโหมดการแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่ละช่องอย่างต่อเนื่อง และเลือกใช้พอร์ต PA2 เป็นขารับสัญญาณอินพุต เพื่อนำไปประมวลผลและแสดงผลทางพอร์ตเอาต์พุต โดยที่เลือกพอร์ต C (Port C) เป็นพอร์ตเอาต์พุต ซึ่งจะเห็นได้ในการเขียนโปรแกรมต่อไป

2.3.3 การแสดงผลด้วยโมดูลแอลซีดี

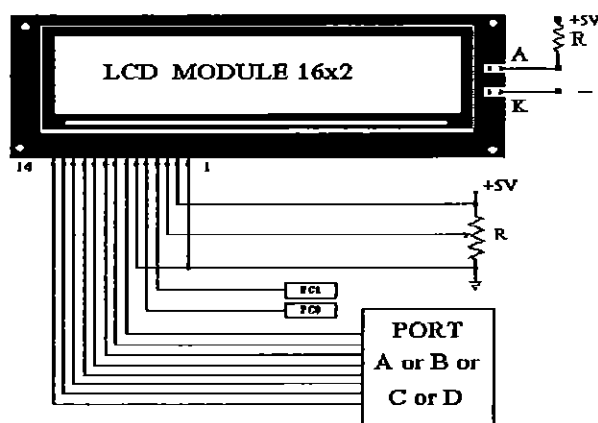
หน่วยแสดงผลโมดูลแอลซีดี (Liquid crystal display module: LCD) หรือหน่วยแสดงผลแบบผลึกเหลว ซึ่งมีอยู่สองชนิดด้วยกัน คือแบบตัวอักษรและแบบกราฟิก โครงสร้างพื้นฐานของโมดูลแอลซีดีแบบอักษรแสดงดังรูปที่ 2.10 และวงจรการต่อใช้งานแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.9 โมดูลการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล [4]



รูปที่ 2.10 จอแสดงผลโมดูลแอลซีดีขนาด 16×2 [5]



รูปที่ 2.11 การต่อใช้งาน โมดูลแอลซีดี

รายละเอียดขาสัญญาณของโมดูลแอลซีดี มีดังนี้

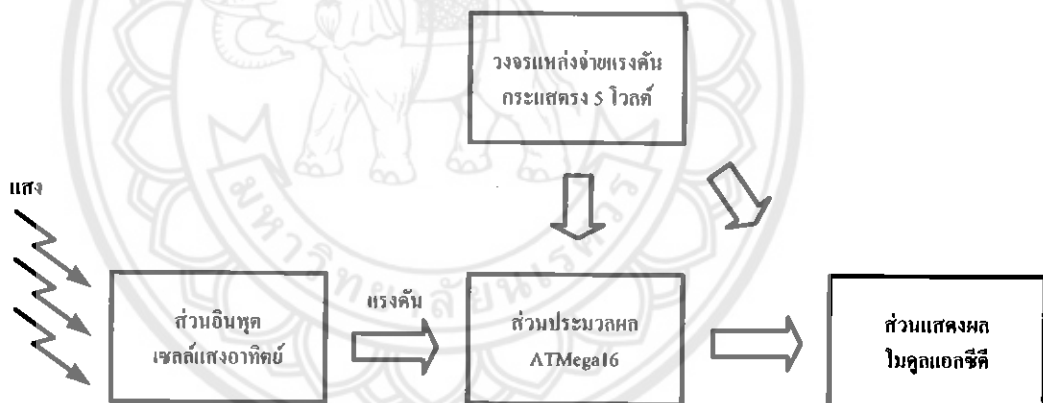
- ขาที่ 1: GND สำหรับต่อขาราวด์ของวงจร
- ขาที่ 2: +Vcc ต่อกับไฟเลี้ยง +5 โวลต์
- ขาที่ 3: Vo สำหรับปรับความสว่างของหน้าจอโมดูลแอลซีดี
- ขาที่ 4: RS (Register select) ขาเลือกต่อกับเรจิสเตอร์คำสั่งหรือข้อมูล โดย "0" จะติดต่อคำสั่ง และ "1" จะติดต่อข้อมูล
- ขาที่ 5: R/W (Read/Write control) ขาอ่านหรือเขียนข้อมูลกับโมดูลแอลซีดี
- ขาที่ 6: E (Enable) ขาป้อนสัญญาณพัลส์ Enable ให้โมดูลแอลซีดี เริ่มทำงาน
- ขาที่ 7 ถึงขาที่ 14: D0-D7 (Data) เป็นขาข้อมูล [5]

ในโครงงานนี้ผู้ดำเนินโครงงานเลือกใช้โมดูลแอลซีดีรุ่น ABC016002A07-GHY-R ซึ่งรายละเอียดของโมดูลแอลซีดีนั้นจะกล่าวในภาคผนวก ข

บทที่ 3

การสร้างมาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์

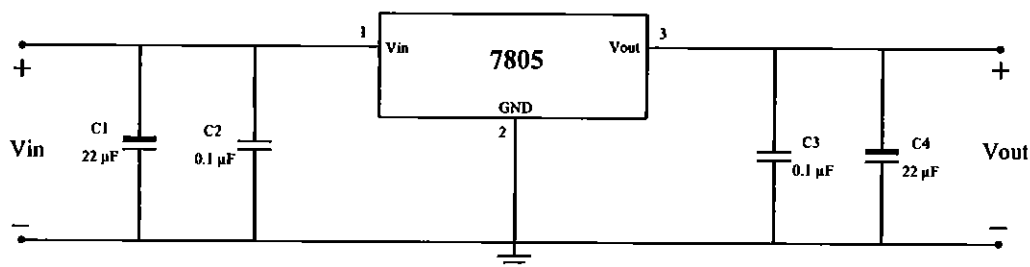
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างมาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการหลักๆอยู่ 3 กระบวนการคือการสร้างวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน กระแสตรง 5 โวลต์ วงจรมาตรวัดความเข้มแสงและโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสามารถอธิบายด้วยแผนภาพกรอบในรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าเมื่อแสงตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์จะสร้างกระแสพร้อมกับแรงดันขึ้นมาซึ่งค่าแรงดันจะเป็นแรงดันเปิดวงจร (Open circuit voltage) ที่แปรผันตามความเข้มแสงที่ตกกระทบบน ถ้าความเข้มแสงมีค่ามาก ค่าแรงดันที่วัดได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเพิ่มขึ้น จากนั้นใช้แรงดันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอินพุต ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลตามคำสั่งที่โปรแกรมเข้าไป โดยใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ กระแสตรง จากนั้นจึงแสดงผลออกเป็นตัวเลขในหน่วยของลักซ์ทางโมดูลแอลซีดี



รูปที่ 3.1 แผนภาพหลักการออกแบบมาตรวัดความเข้มแสง

3.1 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์

การสร้างวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง (DC power supply) 5 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และโมดูลแอลซีดี เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์และโมดูลแอลซีดีต้องการไฟเลี้ยง 5 โวลต์กระแสตรง ในที่นี้เลือกใช้ไอซีตัวคงค่าแรงดันหมายเลข 7805 เพื่อคงค่าแรงดันที่ 5 โวลต์กระแสตรง ซึ่งมีวงจรดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 5 โวลต์

จะเห็นได้ว่าขา Vin ของ ไอซี 7805 จะต่อกับไฟบวก ส่วนขา GND จะต่อกับไฟลบ สำหรับ C1 และ C2 มีหน้าที่ลดความเหนี่ยวนำภายในไอซี โดยทั่วไปนิยมใช้ค่า 22 μF และ 0.1 μF ตามลำดับ ส่วน C3 และ C4 มีไว้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้ค่า 0.1 μF และ 22 μF ตามลำดับ ไอซี 7805 สร้างแรงดันเอาต์พุต +5 โวลต์ โดยต้องใช้แรงดันด้านเข้าต่ำสุด 7 โวลต์ ดังนั้นผู้ดำเนินโครงการจึงเลือกใช้เบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์กระแสตรงเป็นแรงดันด้านเข้า (V_{in}) จากนั้นจึงนำแรงดันด้านออก (V_{out}) ที่ถูกคงค่าแรงดันไว้ที่ 5 โวลต์กระแสตรงไปจ่ายเป็นไฟเลี้ยงให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และโมดูลแอลซีดีต่อไป

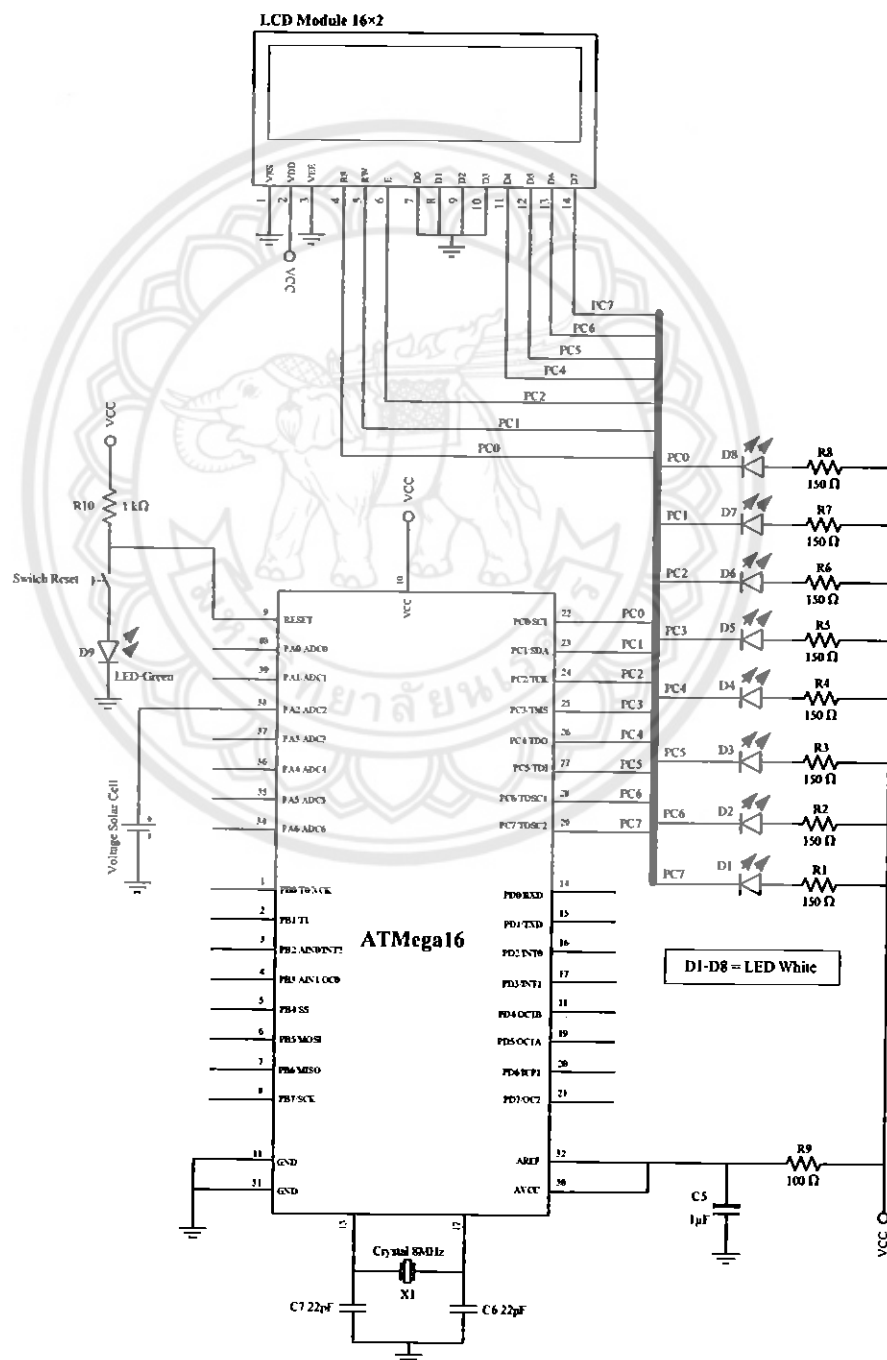
รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้

- ก. ไอซี 7805 1 ตัว
- ข. ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ 22 μF 2 ตัว (C1, C4)
- ค. ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก 0.1 μF 2 ตัว (C2, C3)
- ง. แบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์กระแสตรง

เมื่อได้วงจรคงค่าแรงดันสำหรับจ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และโมดูลแอลซีดีแล้ว จากนั้นนำแรงดันส่วนนี้ไปจ่ายเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรมาตรวัดความเข้มแสงซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2 วงจรมาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์

วงจรมาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นวงจรที่นำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปใช้งานซึ่งจะมีการเชื่อมต่อกับวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 5 โวลต์ และส่วนแสดงผลโมดูลแอลซีดี วงจรนี้อ้างอิงมาจากวงจรที่ใช้สำหรับลงโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega16 ซึ่งมีรายละเอียดของวงจรดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรมาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 3.3 วงจรมาตรวัดความเข้มแสง จะเห็นว่า เมื่อ V_{cc} จ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์ ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์และโมดูลแอลซีดี (V_{cc} คือแรงดันด้านออกจากวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์) เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรและฟังก์ชันการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์และ โมดูลแอลซีดีพร้อมทำงานตามโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

เมื่อตัวรับแสง (ในที่นี้คือเซลล์แสงอาทิตย์) ได้รับแสงจะเกิดแรงดันด้านออกค่าหนึ่ง ผู้ดำเนินโครงการใช้แรงดันนี้มาเป็นอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจ่ายเข้าที่ขาพอร์ต PA2 ดังรูปที่ 3.3 เมื่อ PA2 ได้รับอินพุต จะประมวลผลตามคำสั่งที่โปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วส่งสัญญาณออกมาทางพอร์ตเอาต์พุต (Port C) เพื่อนำไปแสดงผลที่โมดูลแอลซีดี สำหรับแอลอีดี (D1-D8) มีไว้เพื่อแสดงสถานะการทำงานของพอร์ตเอาต์พุตและทดสอบการทำงานของวงจร เมื่อลงรายการอุปกรณ์จริงดังรูปที่ 3.4 ซึ่งลายพิมพ์วงจรแสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.4 วงจรมาตรวัดความเข้มแสงที่ลงรายการอุปกรณ์แล้ว

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรมาตรฐานวัดความเข้มแสง

ลำดับ	รายการ	จำนวน
1	ATMega 16 แบบ PDIP	1 ตัว
2	คริสตอล 8 MHz	1 ตัว
3	ความต้านทาน 1/4 W 100 Ω 5%	1 ตัว
4	ความต้านทาน 1/4 W 150 Ω 5%	8 ตัว
5	ความต้านทาน 1/4 W 1 k Ω 5%	1 ตัว
6	ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก ไม่มีขั้ว 22 pF	2 ตัว
7	ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก ไม่มีขั้ว 0.1 μ F	1 ตัว
7	ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ มีขั้ว 1 μ F 50 V	1 ตัว
8	สวิทช์รีเซ็ต	1 ตัว
9	ช่องเสียบไอซี 40 ขา	1 ตัว
10	LED สีขาว 3 mm.	8 ตัว
11	LED สีเขียว 3 mm.	1 ตัว
12	จอแสดงผล 16×2 (LCD Module 16×2)	1 ชุด

อุปกรณ์และเครื่องมืออื่นๆที่ใช้ในการประกอบวงจรมาตรฐานวัดฯ ได้แก่

ก. แผ่นพิมพ์ลายวงจรและอุปกรณ์กัดแผ่นพิมพ์วงจร

ข. แผงต่อวงจร

ค. อุปกรณ์การบัดกรี

ง. สายโทรศัพท์ เส้นลวดเชื่อมต่อ และตัวต่อ (Connector) ตัวผู้ ตัวเมีย

เมื่อเราได้วงจรมาตรฐานวัดความเข้มแสงแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ทำงานตามคำสั่งที่ป้อนเข้าไป กระบวนการสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงานมีดังนี้

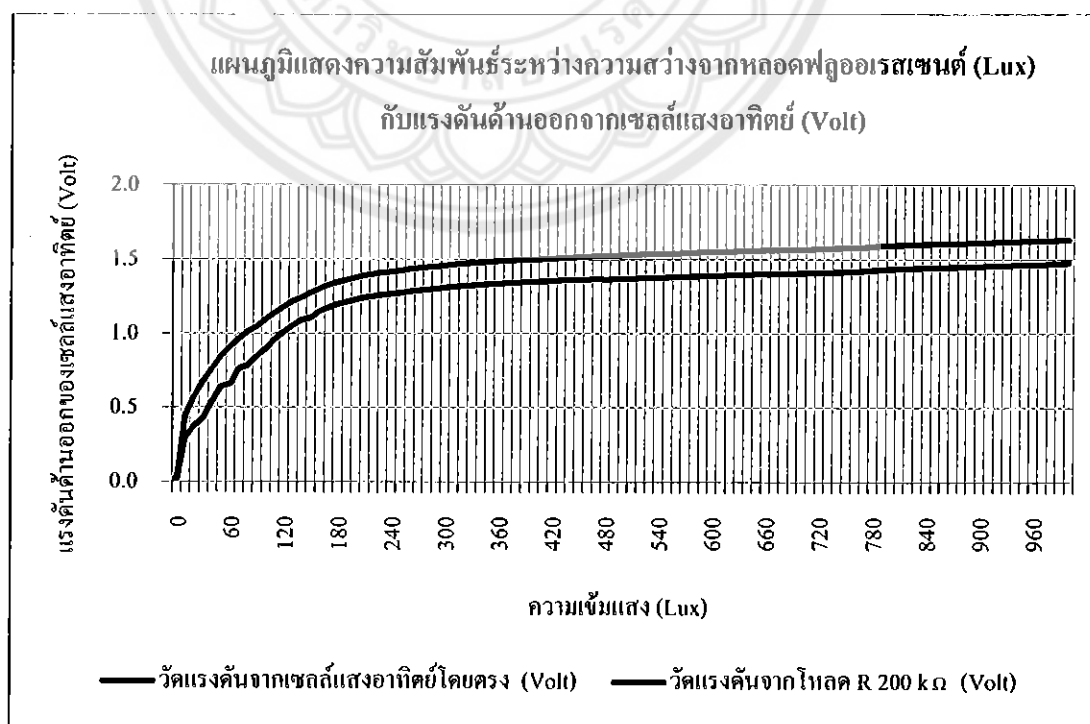
3.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

การสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีการบวนการหลักอยู่ 3 กระบวนการคือ

- 1) หากการตอบสนองระหว่างความเข้มแสงกับเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อกำหนดค่าสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามค่าอินพุตที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ
- 2) หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้สมการ โปรแกรมค่าสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3) นำสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ไปเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรมควบคุม

3.3.1 การตอบสนองต่อความเข้มแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระทบกับสารกึ่งตัวนำในเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าจะเกิดแรงดันตกคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเรียกแรงดันนั้นว่า แรงดันเปิดวงจร ถ้านำโหนดภายนอกมาต่อให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดแรงดันตกคร่อมโหนดนั้นๆซึ่งค่าแรงดันจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสง นำค่าแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงต่างๆมาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 3.5 ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟแสดงในภาคผนวก ก



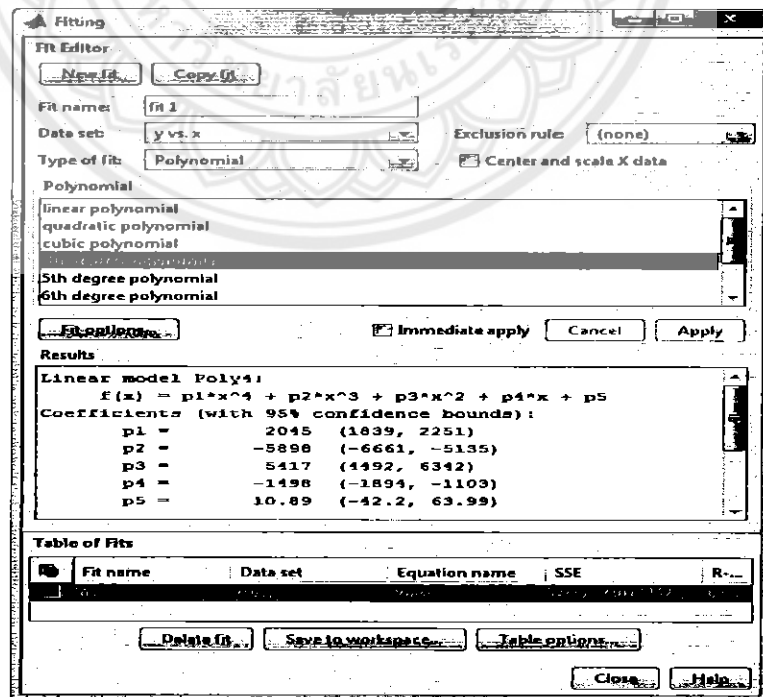
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยที่ค่าความเข้มแสงที่ใช้เป็นความเข้มแสงอ้างอิงนั้นวัดจากมาตรวัดความเข้มแสงยี่ห้อ Digicon รุ่น LX-70

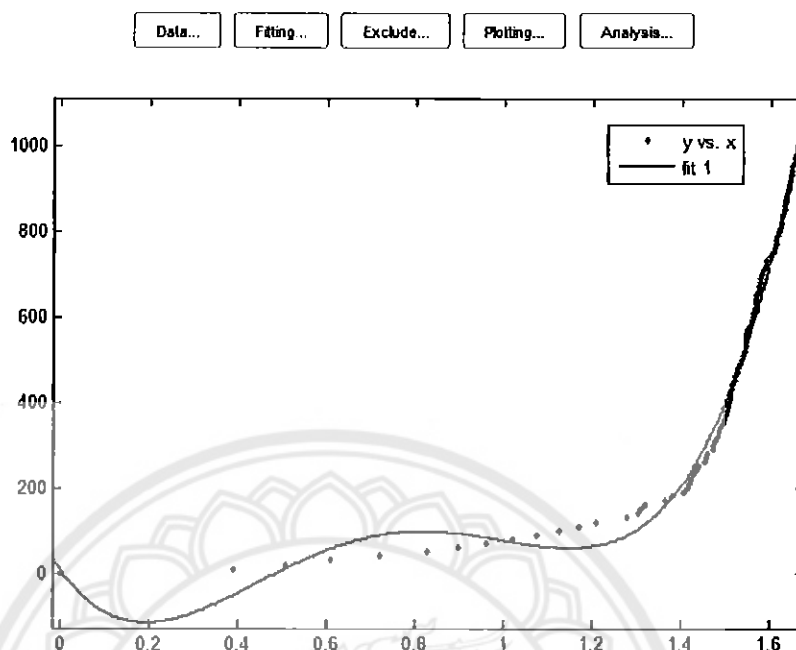
จากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ แรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งวัดจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงหรือวัดจากโวลต์วัดด้านทานมีรูปกราฟที่คล้ายกัน โดยต่างกันที่ขนาดแรงดันเท่านั้น ผู้ดำเนินโครงการจึงเลือกกราฟระหว่างแรงดันจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงเพื่อนำไปหาสมการของเส้นกราฟและนำไปสู่การเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

3.3.2 การหาสมการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรมเมทแลป

เมื่อได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์แล้วสามารถใช้โปรแกรมเมทแลป (MATLAB) คำนวณหาสมการของเส้นกราฟได้ ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามสมการพหุนามกำลังนั้นๆ นั่นคือถ้าใช้เลขยกกำลังค่าสูง รูปกราฟที่ได้จากสมการมีความใกล้เคียงกับรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งใช้เป็นรูปกราฟอ้างอิงมากขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อเลขยกกำลังมีค่าต่ำ รูปกราฟที่ได้จากสมการมีความใกล้เคียงรูปกราฟอ้างอิงน้อยลงแสดงดังรูปที่ 3.5 ถึงรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 การหาสมการพหุนามจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ได้จากสมการกับกราฟระหว่างความเข้มแสงและแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อใช้โปรแกรมแมทแล็บหาสมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์จะได้สมการพหุนามกำลังต่างๆดังนี้

$$y_4 = (2045)x^4 + (-5898)x^3 + (5417)x^2 + (-1498)x + (10.89)$$

$$y_5 = (1166)x^5 + (-3337)x^4 + (2998)x^3 + (-745.1)x^2 + (-9.444)x + (2.052)$$

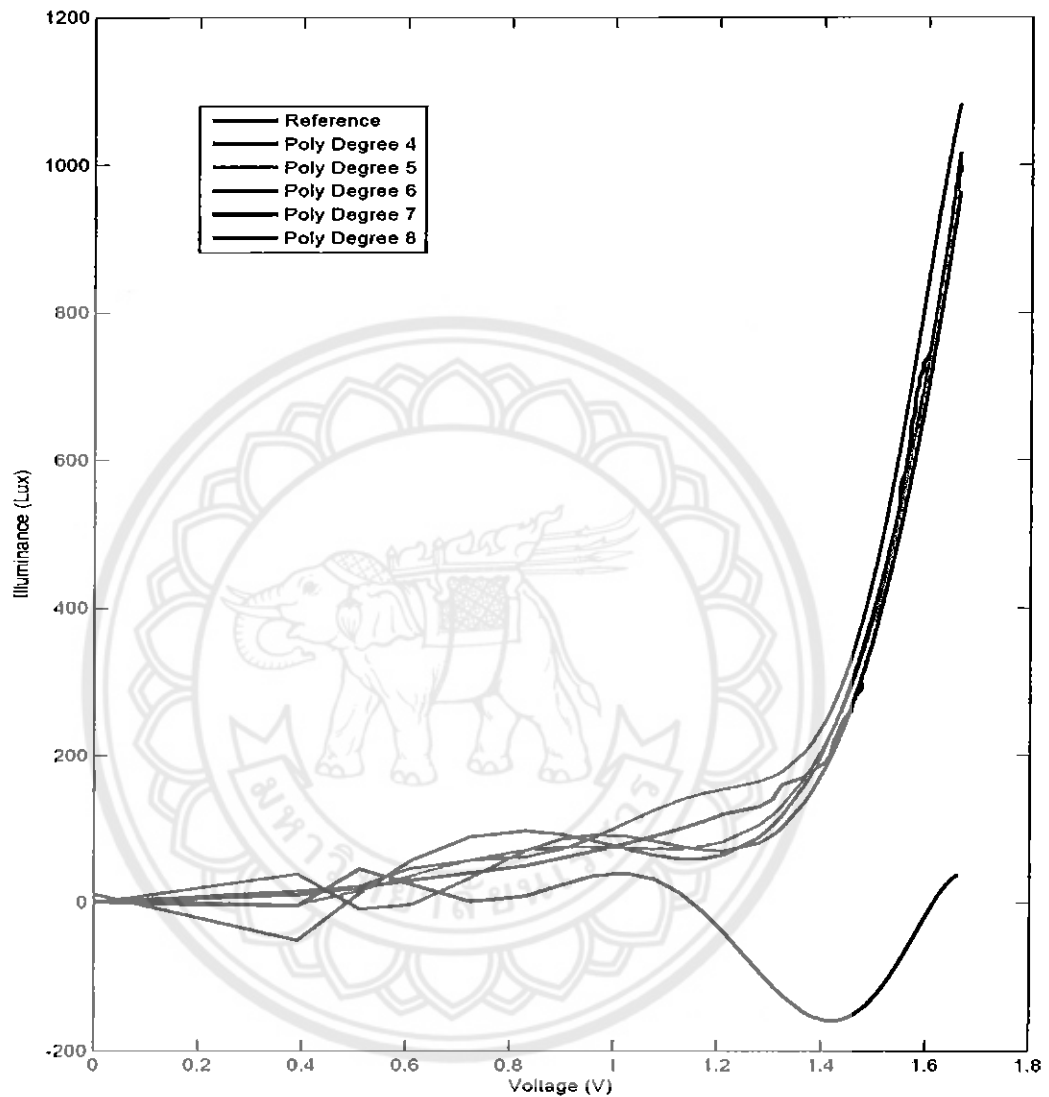
$$y_6 = (-3570)x^6 + (2.118 \times 10^4)x^5 + (-4.654 \times 10^4)x^4 + (4.75 \times 10^4)x^3 + (-2.239 \times 10^4)x^2 + (3913)x + (-1.347)$$

$$y_7 = (-1.577 \times 10^4)x^7 + (1.006 \times 10^5)x^6 + (-2.565 \times 10^5)x^5 + (3.332 \times 10^4)x^4 + (-2.317 \times 10^5)x^3 + (8.142 \times 10^4)x^2 + (-1.121)x + (0.2763)$$

$$y_8 = (-2.801 \times 10^4)x^8 + (1.984 \times 10^5)x^7 + (-5.817 \times 10^5)x^6 + (9.134 \times 10^5)x^5 + (-8.275 \times 10^5)x^4 + (4.313 \times 10^5)x^3 + (-1.193 \times 10^5)x^2 + (1.351 \times 10^4)x + (-0.004556)$$

โดยที่ x คือค่าแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ และ y คือค่าความเข้มแสงโดยมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0-1,000 ลักซ์

จากนั้นนำสมการพหุนามกำลังต่างๆมาสร้างกราฟเทียบกับกราฟอ้างอิงซึ่งแสดงความเข้มแสงที่สอดคล้องกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 กราฟจากสมการพหุนามกำลังค่าต่างๆเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นว่าเมื่อนำสมการพหุนามกำลังต่างๆมาสร้างกราฟเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว ส่วนใหญ่มีความแม่นยำในช่วงตั้งแต่ 200 ลักซ์ขึ้นไป แต่ในช่วงที่ต่ำกว่า 200 ลักซ์ ค่าที่ได้จากสมการพหุนามกำลังต่างๆมีค่าคลาดเคลื่อนจากกราฟอ้างอิงมากซึ่งเมื่อนำไปใช้งานจะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดมากขึ้น

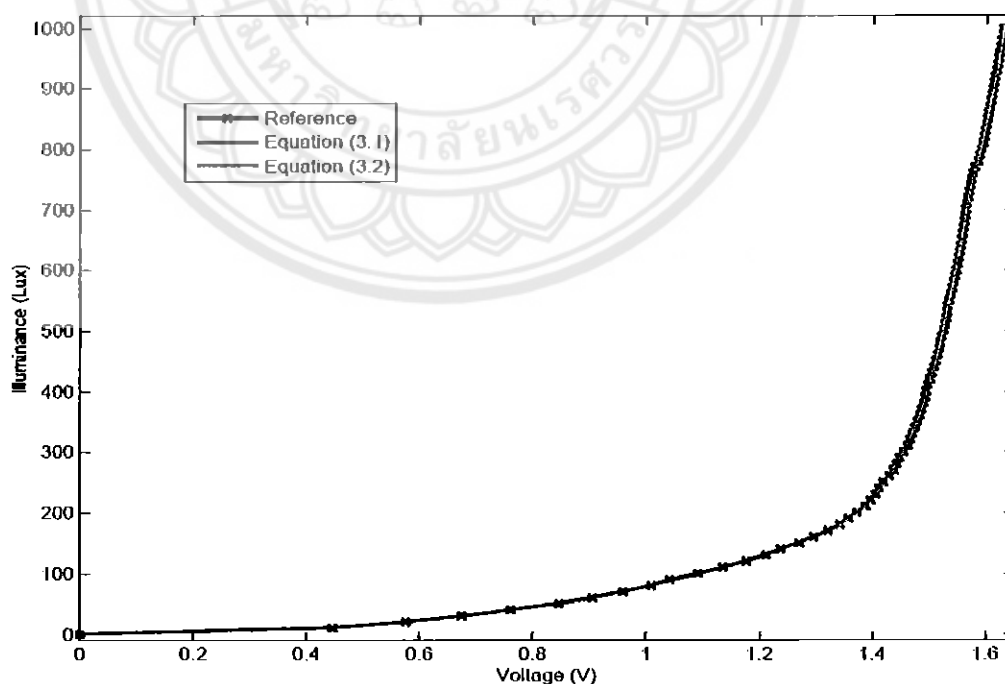
ผู้ดำเนินโครงการจึงเปลี่ยนวิธีการหาสมการของกราฟใหม่โดยแยกกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ออกเป็น 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1 หาสมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบ่งเป็น 2 สมการ คือช่วง 0-180 ลักซ์ และ 181-1,000 ลักซ์

กรณีที่ 2 หาสมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบ่งเป็น 4 สมการ คือช่วง 0-170 ลักซ์, 171-430 ลักซ์, 431-670 ลักซ์ และช่วง 671-1,000 ลักซ์

ก. กรณีที่ 1 สมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบ่งเป็น 2 สมการ

การหาสมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบ่งเป็น 2 สมการ คือช่วง 0-180 ลักซ์ และช่วง 181-1,000 ลักซ์ เพื่อหาสมการของกราฟแต่ละช่วงแล้วนำมาสร้างกราฟเทียบกับกราฟอ้างอิงแสดงดังรูปที่ 3.9 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการใช้เพียงสมการเดียว



รูปที่ 3.9 การเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการกับกราฟอ้างอิง

สมการพหุนามที่ได้จากการหาสมการจากกราฟความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงได้ดังนี้

$$y_s = (119.6)x^5 + (-375.17)x^4 + (469.45)x^3 + (-169.92)x^2 + (34.528)x + (-0.017278) \quad (3.1)$$

โดยที่ x คือค่าแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์และ y_s คือค่าความเข้มแสงที่ 0-180 ลักซ์

$$y_g = (0.030125)z^8 + (2.5606)z^7 + (13.977)z^6 + (14.94)z^5 + (-38.676)z^4 + (-68.48)z^3 + (74.785)z^2 + (323.55)z + (536.73) \quad (3.2)$$

โดยที่ $z = (x - 1.5329)/0.070536$ และ x คือค่าแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ และ y_g คือค่าความเข้มแสงที่ 181-1,000 ลักซ์

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการแทนค่าแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ลงในสมการที่ (3.1) และ (3.2) จะได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบค่าที่คำนวณจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีแบ่งสมการเป็น 2 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยใช้มาตรวัดอ้างอิง

แรงดันด้านออก ของเซลล์ แสงอาทิตย์ (V)	ความเข้ม แสง (Lux)	ค่าที่คำนวณจาก สมการที่ (3.1) และ (3.2) (Lux)	แรงดันด้านออก ของเซลล์ แสงอาทิตย์ (V)	ความเข้ม แสง (Lux)	ค่าที่คำนวณจาก สมการที่ (3.1) และ (3.2) (Lux)
0.000	0	-0.017	1.177	120	120.833
0.446	10	10.496	1.212	130	131.261
0.576	20	19.495	1.238	140	139.573
0.675	30	29.123	1.271	150	150.894
0.762	40	39.577	1.296	160	160.102
0.847	50	51.631	1.322	170	170.313
0.906	60	61.137	1.343	180	179.073
0.960	70	70.740	1.358	190	191.749
1.010	80	80.493	1.373	200	199.655
1.042	90	87.222	1.388	210	210.646
1.092	100	98.601	1.397	220	219.459
1.136	110	109.608	1.406	230	229.734

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) การเปรียบเทียบค่าที่คำนวณจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง
กับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีแบ่งสมการเป็น 2 สมการเทียบกับค่า
ความเข้มแสงที่วัดโดยใช้มาตรวัดอ้างอิง

แรงดันด้านออก ของเซลล์ แสงอาทิตย์ (V)	ความเข้ม แสง (Lux)	ค่าที่คำนวณจาก สมการที่ (3.1) และ (3.2) (Lux)	แรงดันด้านออก ของเซลล์ แสงอาทิตย์ (V)	ความเข้ม แสง (Lux)	ค่าที่คำนวณจาก สมการที่ (3.1) และ (3.2) (Lux)
1.412	240	237.236	1.528	510	514.637
1.419	250	246.503	1.531	520	528.070
1.430	260	261.941	1.532	530	532.614
1.437	270	272.263	1.532	540	532.614
1.443	280	281.449	1.536	550	551.088
1.448	290	289.393	1.538	560	560.488
1.455	300	301.075	1.541	570	574.761
1.463	310	315.468	1.543	580	584.376
1.467	320	323.188	1.546	590	598.919
1.471	330	331.322	1.548	600	608.676
1.476	340	342.148	1.550	610	618.469
1.480	350	351.395	1.552	620	628.286
1.484	360	361.214	1.554	630	638.112
1.487	370	368.981	1.556	640	647.935
1.491	380	379.904	1.558	650	657.744
1.493	390	385.618	1.559	660	662.638
1.495	400	391.507	1.560	670	667.524
1.498	410	400.672	1.562	680	677.265
1.501	420	410.243	1.563	690	682.116
1.505	430	423.649	1.564	700	686.953
1.509	440	437.793	1.566	710	696.579
1.512	450	448.885	1.568	720	706.131
1.516	460	464.308	1.570	730	715.599
1.518	470	472.284	1.572	740	724.975
1.520	480	480.432	1.574	750	734.251
1.522	490	488.747	1.576	760	743.420
1.526	500	505.856	1.580	770	761.421

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) การเปรียบเทียบค่าที่คำนวณจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีแบ่งสมการเป็น 2 สมการเทียบกับค่าความเข้มแสงที่วัดโดยใช้มาตรวัดอ้างอิง

แรงดันด้านออก ของเซลล์ แสงอาทิตย์ (V)	ความเข้ม แสง (Lux)	ค่าที่คำนวณจาก สมการที่ (3.1) และ (3.2) (Lux)	แรงดันด้านออก ของเซลล์ แสงอาทิตย์ (V)	ความเข้ม แสง (Lux)	ค่าที่คำนวณจาก สมการที่ (3.1) และ (3.2) (Lux)
1.586	780	787.556	1.612	900	895.951
1.589	790	800.253	1.614	910	905.128
1.592	800	812.737	1.615	920	909.853
1.595	810	825.055	1.618	930	924.695
1.597	820	833.204	1.620	940	935.247
1.599	830	841.330	1.622	950	946.432
1.601	840	849.461	1.623	960	952.294
1.603	850	857.628	1.625	970	964.621
1.604	860	861.737	1.627	980	977.852
1.606	870	870.030	1.630	990	999.666
1.608	880	878.462	1.631	1000	1007.531
1.610	890	887.083			

จากนั้นนำข้อมูลจากตารางที่ 3.2 ไปคำนวณหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของความผิดพลาด (Root mean square error: RMSE) ซึ่งถูกใช้ประเมินค่าเบี่ยงเบนของความผิดพลาด (Standard deviation of forecast error) มีหลักการการคำนวณคือ หาค่ารากที่สองของผลรวมของความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการแทนค่าแรงดันลงในสมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมาตรวัดความเข้มแสงและแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์กรณีแบ่งกราฟออกเป็น 2 สมการ กับค่าความเข้มแสงที่วัดโดยใช้มาตรวัดอ้างอิงยกกำลังสองหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมดตามสมการที่ (3.3)

$$\text{Root Mean Squared Error (RMSE)} = \sqrt{\sum \frac{(\text{ค่าจริง} - \text{ค่าพยากรณ์})^2}{n}} \quad (3.3)$$

โดยที่ ค่าจริงคือ ค่าความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิง

ค่าพยากรณ์คือ ค่าความเข้มแสงที่คำนวณได้หรือความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อกำนวณออกมาแล้วพบว่าค่า $RMSE = 6.51144$ ลักซ์ แสดงว่าเมื่อเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการแทนค่าแรงดันลงในสมการสัมพันธ์ระหว่างมาตรวัด ความเข้มแสงและแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์กรณีแบ่งกราฟออกเป็น 2 สมการ กับค่า ความเข้มแสงอ้างอิงมีค่าความผิดพลาดรวมทั้งหมด 6.51144 ลักซ์ จากนั้นนำข้อมูลในตารางที่ 3.2 มาคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ซึ่งค่าสหสัมพันธ์นี้บอกถึงความความสัมพันธ์กันระหว่างข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป ในที่นี้หมายถึงความสัมพันธ์กันระหว่างค่าความเข้มแสงอ้างอิงกับค่าที่ได้จากการแทนค่าแรงดันลงในสมการที่ (3.1) และ (3.2) โดยบอกให้ทราบว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีระดับของความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใช้สัญลักษณ์ r วัดระดับของความสัมพัทธ์กันระหว่างข้อมูล 2 ชุดซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $-1 \leq r \leq 1$ ถ้าค่า r มีค่าเป็นบวกแสดงว่าข้อมูล 2 ชุดนั้นมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในทิศทางเดียวกัน แต่ถ้าค่า r มีค่าเป็นลบแสดงว่าข้อมูล 2 ชุดนั้นมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในทิศทางตรงกันข้าม

การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ -1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยหรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยทั่วไปอาจใช้เกณฑ์ดังนี้

ตารางที่ 3.3 ระดับความสัมพันธ์ของค่าสหสัมพันธ์

ค่า r	ระดับของความสัมพันธ์
0.90-1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
0.70-0.90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.50-0.70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.30-0.50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.00-0.30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

สามารถหาค่าสหสัมพันธ์ได้จากสมการที่ (3.4)

$$r_{xy} = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (3.4)$$

เมื่อ r_{xy} คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$\sum X$ คือผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1 (X)

$\sum Y$ คือผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2 (Y)

$\sum XY$ คือผลรวมของผลคูณระหว่างข้อมูลตัวแปรที่ 1 และ 2

$\sum X^2$ คือผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1

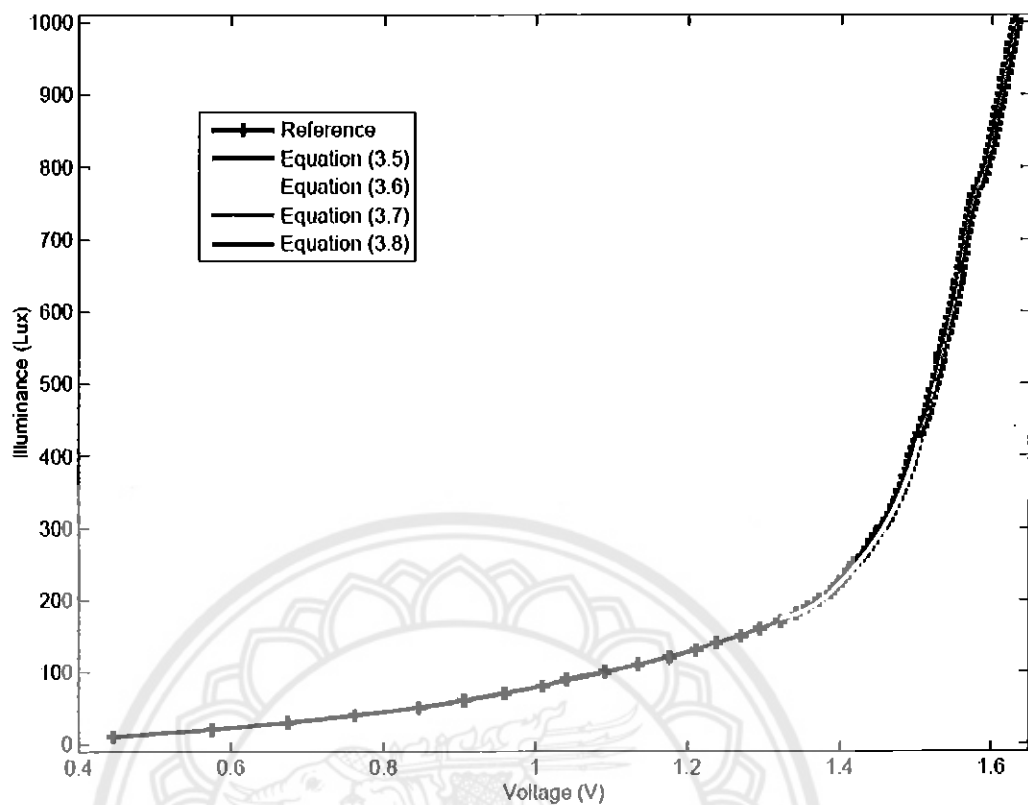
$\sum Y^2$ คือผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2

n คือขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

หลังจากคำนวณค่าตามสมการที่ (3.4) พบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.999750578 บ่งบอกว่าข้อมูลอ้างอิงกับข้อมูลที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์กรณีแบ่งกราฟออกเป็น 2 สมการมีค่าใกล้เคียงกันมาก

ข. กรณีที่ 2 สมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบ่งเป็น 4 สมการ

การหาสมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบ่งเป็น 4 สมการ คือช่วง 10-170 ลักซ์, 171-430 ลักซ์, 431-670 ลักซ์ และช่วง 671-1,000 ลักซ์ เพื่อหาสมการของกราฟแต่ละช่วงแล้วนำมาสร้างกราฟจากสมการเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อนำไปสู่การโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป ซึ่งสมการและรูปกราฟนั้นแสดงได้ดังสมการที่ (3.5) ถึงสมการที่ (3.8) และรูปที่ 3.10 ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 การเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากสมการกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งสมการเป็น 4 สมการ

สมการพหุนามที่ได้จากการหาสมการของความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงได้ดังนี้

$$y_1 = (773.48)x^5 + (3216.4)x^4 + (5570.4)x^3 + (-4592.1)x^2 + (1887.1)x + (-293.78) \quad (3.5)$$

โดยที่ x คือค่าแรงดันด้านออกของเซลล์ และ y_1 คือค่าความเข้มแสงตั้งแต่ 10-170 ลักซ์

$$y_2 = (0.67903)z^5 + (4.5778)z^4 + (9.8103)z^3 + (18.507)z^2 + (73.674)z + (285.52) \quad (3.6)$$

โดยที่ $z = (x - 1.4469)/0.047211$ และ x คือค่าแรงดันด้านออกของเซลล์ และ y_2 คือค่าความเข้มแสงที่ 171-430 ลักซ์

$$y_3 = (2.462)z^4 + (0.85418)z^3 + (-2.817)z^2 + (67.181)z + (548.66) \quad (3.7)$$

โดยที่ $z = (x - 1.536)/0.015393$ และ x คือค่าแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ และ y_3 คือค่าความเข้มแสงที่ 431-670 ลักซ์

$$y_4 = (5.5054)z^6 + (4.2914)z^5 + (-30.003)z^4 + (-7.6066)z^3 + (49.949)z^2 + (98.747)z + (818.54) \quad (3.8)$$

โดยที่ $z = (x - 1.5965)/0.022680$ และ x คือค่าแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ และ y_4 คือค่าความเข้มแสงที่ 671-1,000 ลักซ์

นำค่าที่ได้จากการแทนค่าแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ลงในสมการที่ (3.5) ถึงสมการที่ (3.8) จะได้ตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบค่าที่คำนวณจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีแบ่งสมการเป็น 4 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยใช้มาตรวัดอ้างอิง

แรงดันด้านออก ของเซลล์ แสงอาทิตย์ (V)	ความเข้ม แสง (Lux)	ค่าที่คำนวณจาก สมการที่ (3.5) ถึงสมการที่ (3.8) (Lux)	แรงดันด้านออก ของเซลล์ แสงอาทิตย์ (V)	ความเข้ม แสง (Lux)	ค่าที่คำนวณจาก สมการที่ (3.5) ถึงสมการที่ (3.8) (Lux)
0.446	10	9.830	1.271	150	150.212
0.576	20	20.860	1.296	160	159.426
0.675	30	29.220	1.322	170	169.832
0.762	40	38.857	1.343	180	180.779
0.847	50	50.881	1.358	190	188.389
0.906	60	60.716	1.373	200	199.019
0.960	70	70.711	1.388	210	212.399
1.010	80	80.775	1.397	220	221.559
1.042	90	87.627	1.406	230	231.453
1.092	100	99.027	1.412	240	238.425
1.136	110	109.867	1.419	250	246.929
1.177	120	120.806	1.430	260	261.140
1.212	130	130.942	1.437	270	270.803
1.238	140	139.053	1.443	280	279.555

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) การเปรียบเทียบค่าที่คำนวณจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับ
แรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีแบ่งสมการเป็น 4 สมการเทียบกับค่า
ความเข้มแสงที่วัดโดยใช้มาตรวัดอ้างอิง

แรงดันด้านออก ของเซลล์ แสงอาทิตย์ (V)	ความเข้ม แสง (Lux)	ค่าที่คำนวณจาก สมการที่ (3.5) ถึงสมการที่ (3.8) (Lux)	แรงดันด้านออก ของเซลล์ แสงอาทิตย์ (V)	ความเข้ม แสง (Lux)	ค่าที่คำนวณจาก สมการที่ (3.5) ถึงสมการที่ (3.8) (Lux)
1.448	290	287.247	1.538	560	557.344
1.455	300	298.759	1.541	570	570.241
1.463	310	313.251	1.543	580	578.814
1.467	320	321.158	1.546	590	591.788
1.471	330	329.591	1.548	600	600.635
1.476	340	340.981	1.550	610	609.758
1.480	350	350.873	1.552	620	619.280
1.484	360	361.554	1.554	630	629.336
1.487	370	370.143	1.556	640	640.082
1.491	380	382.452	1.558	650	651.689
1.493	390	389.005	1.559	660	657.873
1.495	400	395.845	1.560	670	668.755
1.498	410	406.676	1.562	680	683.294
1.501	420	418.244	1.563	690	690.360
1.505	430	434.916	1.564	700	697.215
1.509	440	440.850	1.566	710	710.137
1.512	450	448.378	1.568	720	721.839
1.516	460	461.760	1.570	730	732.229
1.518	470	469.487	1.572	740	741.324
1.520	480	477.701	1.574	750	749.226
1.522	490	486.270	1.576	760	756.097
1.526	500	504.032	1.580	770	767.603
1.528	510	513.044	1.586	780	782.869
1.531	520	526.539	1.589	790	791.254
1.532	530	531.008	1.592	800	800.926
1.532	540	531.008	1.595	810	812.229
1.536	550	548.660	1.597	820	820.741

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) การเปรียบเทียบค่าที่คำนวณจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับ
แรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีแบ่งสมการเป็น 4 สมการเทียบกับค่า
ความเข้มแสงที่วัดโดยใช้มาตรวัดอ้างอิง

แรงดันด้านออก ของเซลล์ แสงอาทิตย์ (V)	ความเข้ม แสง (Lux)	ค่าที่คำนวณจาก สมการที่ (3.5) ถึงสมการที่ (3.8) (Lux)	แรงดันด้านออก ของเซลล์ แสงอาทิตย์ (V)	ความเข้ม แสง (Lux)	ค่าที่คำนวณจาก สมการที่ (3.5) ถึงสมการที่ (3.8) (Lux)
1.599	830	830.017	1.615	920	918.082
1.601	840	839.995	1.618	930	933.607
1.603	850	850.573	1.620	940	943.377
1.604	860	856.047	1.622	950	952.782
1.606	870	867.268	1.623	960	957.411
1.608	880	878.715	1.625	970	966.718
1.610	890	890.210	1.627	980	976.477
1.612	900	901.583	1.630	990	993.391
1.614	910	912.678	1.631	1000	1000.072

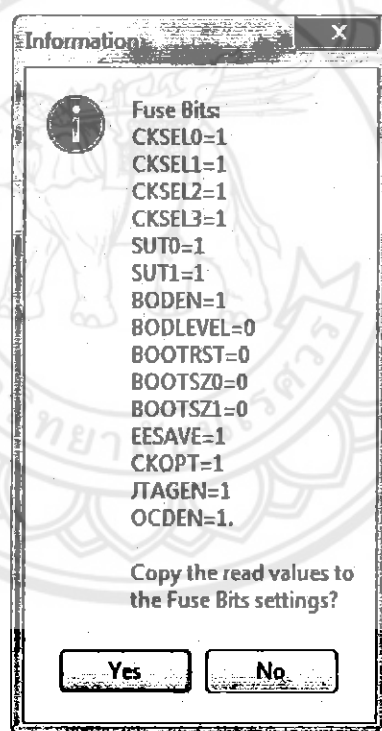
หลังจากนั้นนำข้อมูลจากตารางที่ 3.4 ไปหาค่า RMSE ตามสมการที่ (3.3) ซึ่งคำนวณแล้ว
มีค่าเท่ากับ 2.25720478 ดังแสดงว่าเมื่อเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการแทนค่าแรงดันลงในสมการ
ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมาตรวัดความเข้มแสงและแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์
กรณีแบ่งกราฟออกเป็น 4 สมการ กับค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดอ้างอิงมีค่าความผิดพลาด
รวมทั้งหมด 2.25720478 ดังแสดงว่าค่าที่ได้จากการแทนค่าแรงดันลงในสมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง
มาตรวัดความเข้มแสงและแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์กรณีแบ่งกราฟออกเป็น 2 สมการ มี
ความใกล้เคียงกับความเข้มแสงอ้างอิงมาก

หลังจากนั้นนำสมการที่ได้จากการทดสอบทั้งสองกรณีไปเขียนโปรแกรมให้กับ
ไมโครคอนโทรลเลอร์ ว่าสมการที่ได้จากกรณีใด ให้ค่าความเข้มแสงใกล้เคียงความเข้มแสงอ้างอิง
มากที่สุด

3.3.3 การโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการ โปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นผู้ดำเนินโครงการจะโปรแกรมเพื่อทดสอบวงจรมาตรวัดความเข้มแสงก่อนเพื่อทดสอบว่าหลังจากที่พิมพ์ลายวงจรแล้วสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่ โดยลงโปรแกรมสั่งให้พอร์ตเอาต์พุตทำงานเพื่อให้แอลอีดี (D1-D8) สว่างทุกดวง จากนั้นลงโปรแกรมที่เขียนจากสมการในกรณีที่ 1 แล้วทำการทดสอบที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ จากนั้นคำนวณหาค่า RMSE และค่าสหสัมพันธ์เพื่อเปรียบเทียบกับการลงโปรแกรมด้วยสมการในกรณีที่ 2 ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมแสดงในภาคผนวก ก

ข้อควรระวังในการลงโปรแกรมคือควร โปรแกรมตัวกำหนดชนิดของออสซิลเลเตอร์ (Fuse bit) ให้เป็นดังรูปที่ 3.11 เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงผลได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 3.11 การตั้งค่าตัวกำหนดชนิดของออสซิลเลเตอร์ที่ถูกต้อง

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะอธิบายการทดสอบการใช้งานมาตรวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น โดยแบ่งการทดสอบเป็น 3 ส่วนคือ การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์ การทดสอบวงจรมาตรวัดความเข้มแสงและการทดสอบการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

4.1 การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์

การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์ มีกระบวนการทดสอบโดยป้อนแรงดันกระแสตรงจากแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ ผ่านวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์ ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ค่าแรงดันที่วัดได้ก่อนผ่านวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์



รูปที่ 4.2 ค่าแรงดันที่วัดได้หลังผ่านวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์

จากการทดสอบวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อวัดแรงดันก่อนผ่านเข้าวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 5 โวลต์ค่าแรงดันที่วัดได้คือ 9.89 โวลต์ แต่หลังจากผ่านวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงแล้วค่าที่วัดได้คือ 5.016 โวลต์ แสดงว่าวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงสามารถใช้งานได้ เพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และโมดูลแอลซีดี โดยช่วงแรงดันอินพุตต่ำสุดที่ใช้งานได้คือ 7-20 โวลต์

4.2 การทดสอบวงจรมาตรวัดความเข้มแสง

การทดสอบวงจรมาตรวัดความเข้มแสงทำโดยโปรแกรมให้หลอดแอลอีดี (D1-D8) ติดสว่างเพื่อทดสอบการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ตเอาต์พุต ซึ่งหากทดสอบแล้วหลอดแอลอีดีติดสว่างทุกดวงแสดงว่าวงจรมาตรวัดความเข้มแสงสามารถใช้งานได้ ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.3 ส่วนรายละเอียดโปรแกรมแสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบวงจรมาตรวัดความเข้มแสง

จากผลการทดสอบวงจรการทำงานของมาตรวัดความเข้มแสงดังรูปที่ 4.3 จะพบว่าหลอดแอลอีดีที่พอร์ตเอชท์พุต (Port C) สว่างทุกดวงหมายความว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านค่าได้อย่างถูกต้องและสั่งให้พอร์ตเอชท์พุตทำงาน แสดงว่าวงจรการทำงานของมาตรวัดความเข้มแสงสามารถนำมาใช้งานได้

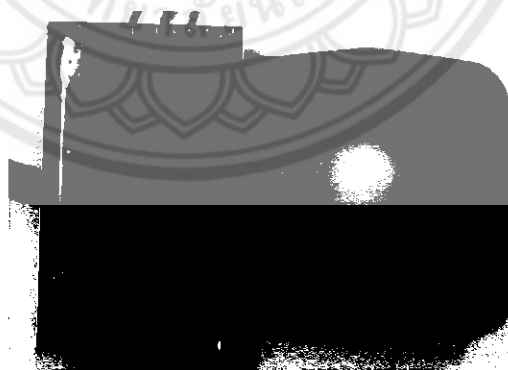
4.3 การทดสอบผลตอบแทนของมาตรวัดความเข้มแสงที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ

การทดสอบการตอบสนองของมาตรวัดความเข้มแสงที่ค่าความเข้มแสงต่างๆแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 ลงโปรแกรมที่เขียนคำสั่งด้วยสมการจากการแบ่งกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ออกเป็น 2 สมการ ดังที่อธิบายในหัวข้อ 3.3.2 (ก) และกรณีที่ 2 ลงโปรแกรมที่เขียนคำสั่งด้วยสมการจากการแบ่งกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ออกเป็น 4 สมการ ดังที่อธิบายในหัวข้อ 3.3.2 (ข) โดยก่อนการทดสอบต้องเชื่อมต่อส่วนแสดงผลกับวงจรของมาตรวัดความเข้มแสงก่อน การต่อส่วนแสดงผลไมโครแอลซีดีแสดงดังตารางที่ 4.1

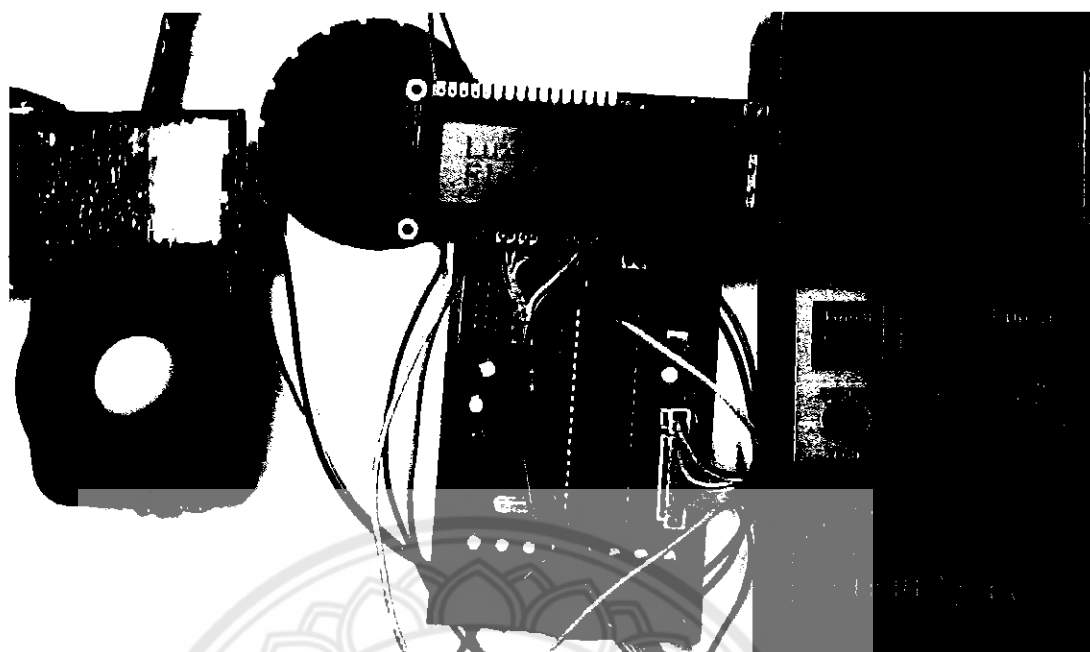
ตารางที่ 4.1 การต่อส่วนแสดงผลไมโครแอลซีดี กับวงจรมาตรวัดความเข้มแสง

ส่วนแสดงผลไมโครแอลซีดี	พอร์ตเอาต์พุต ของ ATmega16
ขาที่ 1-GND	ขาที่ 9-GND
ขาที่ 2-Vcc (+5V)	ขาที่ 10-Vcc
ขาที่ 3-VLC	ขา RV1 (ขากลาง)
ขาที่ 4-RS	ขาที่ 22-PC0
ขาที่ 5-RD	ขาที่ 23-PC1
ขาที่ 6-EN	ขาที่ 24-PC2
ขาที่ 11-D4	ขาที่ 26-PC4
ขาที่ 12-D5	ขาที่ 27-PC5
ขาที่ 13-D6	ขาที่ 28-PC6
ขาที่ 14-D7	ขาที่ 29-PC7

เมื่อเชื่อมต่อไมโครแอลซีดีตามตารางที่ 4.1 แล้ว ทำการทดสอบการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยลงโปรแกรมตามกรณีที่ 1 และ 2 และใช้ทดสอบการอ่านค่า ความสว่างตั้งแต่ 0-1,000 ลักซ์ เมื่อนำตัวรับแสงของมาตรวัดความเข้มแสงอ้างอิงและเซลล์แสงอาทิตย์วางรับแสงที่จุดเดียวกันดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งการวางตัวรับแสง



รูปที่ 4.5 การทดสอบมาตรวัดความเข้มแสงที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ

4.3.1 กรณีที่ 1 โปรแกรมด้วยสมการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้าน ออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการ

ในกรณีนี้เป็นการลงโปรแกรมด้วยสมการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการ (ในหัวข้อที่ 3.3.2 (ก)) ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทดสอบการอ่านค่าความเข้มแสงต่างๆเพื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มแสงอ้างอิงโดยทดสอบการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ในช่วงเวลาเดียวกันและทดสอบในช่วงเวลาที่ต่างกัน ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาเดียวกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ที่ช่วงเวลาเดียวกัน						ความคลาดเคลื่อน (Lux)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
10	11	10	11	10	10	10.40	0.40
20	21	22	21	20	20	20.80	0.80

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาเดียวกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ที่ช่วงเวลาเดียวกัน						ความคลาดเคลื่อน (Lux)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
30	32	31	32	31	31	31.40	1.40
40	39	40	39	40	40	39.60	-0.40
50	45	46	47	46	46	46.00	-4.00
60	59	57	60	59	59	58.80	-1.20
70	66	65	66	68	68	66.60	-3.40
80	82	81	80	82	82	81.40	1.40
90	90	91	91	90	90	90.40	0.40
100	105	106	105	105	105	105.20	5.20
110	112	112	113	113	113	112.60	2.60
120	122	123	122	123	123	122.60	2.60
130	133	138	130	138	138	135.40	5.40
140	150	151	150	151	151	150.60	10.60
150	163	165	164	163	163	163.60	13.60
160	174	176	177	176	176	175.80	15.80
170	188	186	185	186	186	186.20	16.20
180	200	201	202	203	203	201.80	21.80
190	208	209	208	209	209	208.60	18.60
200	218	219	219	218	218	218.40	18.40
210	225	226	225	225	225	225.20	15.20
220	233	234	233	234	234	233.60	13.60
230	243	242	243	242	242	242.40	12.40
240	256	257	258	256	256	256.60	16.60
250	267	268	267	268	268	267.60	17.60
260	277	275	276	275	275	275.60	15.60
270	286	284	285	287	287	285.80	15.80
280	295	294	298	299	299	297.00	17.00
290	303	305	306	306	306	305.20	15.20

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์
ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการ
เทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาเดียวกัน

ความเข้ม แสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ที่ช่วงเวลาเดียวกัน						ความคลาด เคลื่อน (Lux)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
300	313	315	314	315	315	314.40	14.40
310	317	320	318	319	319	318.60	8.60
320	325	327	329	330	330	328.20	8.20
330	339	341	339	339	339	339.40	9.40
340	350	348	349	351	351	349.80	9.80
350	353	356	357	358	358	356.40	6.40
360	363	365	366	367	367	365.60	5.60
370	371	372	377	379	379	375.60	5.60
380	394	388	389	391	391	390.60	10.60
390	401	407	408	401	401	403.60	13.60
400	418	425	427	429	429	425.60	25.60
410	439	438	439	436	436	437.60	27.60
420	444	442	445	447	447	445.00	25.00
430	456	456	455	456	462	457.00	27.00
440	465	465	466	466	474	467.20	27.20
450	473	474	474	473	482	475.20	25.20
460	483	483	484	482	498	486.00	26.00
470	491	491	491	492	504	493.80	23.80
480	504	505	505	505	521	508.00	28.00
490	511	510	511	511	533	515.20	25.20
500	525	525	525	525	538	527.60	27.60
510	532	534	534	532	552	536.80	26.80
520	546	548	549	547	562	550.40	30.40
530	554	555	554	554	566	556.60	26.60
540	566	564	564	566	578	567.60	27.60
550	579	579	580	579	589	581.20	31.20
560	592	594	596	596	602	596.00	36.00
570	606	606	607	606	606	606.20	36.20

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาเดียวกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ที่ช่วงเวลาเดียวกัน						ความคลาดเคลื่อน (Lux)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
580	616	617	618	617	617	617.00	37.00
590	626	631	632	633	633	631.00	41.00
600	634	632	633	632	642	634.60	34.60
610	645	646	645	645	652	646.60	36.60
620	653	654	653	652	661	654.60	34.60
630	666	665	663	663	675	666.40	36.40
640	672	674	672	671	688	675.40	35.40
650	680	680	679	680	697	683.20	33.20
660	693	692	693	693	705	695.20	35.20
670	705	705	705	704	718	707.40	37.40
680	714	714	715	714	725	716.40	36.40
690	723	724	724	723	735	725.80	35.80
700	732	734	737	735	757	739.00	39.00
710	745	746	745	745	757	747.60	37.60
720	755	756	755	754	763	756.60	36.60
730	765	765	766	765	768	765.80	35.80
740	772	774	772	772	772	772.40	32.40
750	778	779	780	779	779	779.00	29.00
760	786	797	795	793	793	792.80	32.80
770	800	799	800	799	799	799.40	29.40
780	808	807	806	805	805	806.20	26.20
790	811	814	815	811	811	812.40	22.40
800	821	825	823	820	820	821.80	21.80
810	834	835	834	835	835	834.60	24.60
820	853	849	848	850	850	850.00	30.00
830	863	861	862	858	858	860.40	30.40
840	878	871	877	875	875	875.20	35.20
850	887	886	885	883	883	884.80	34.80

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันค่านอกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาเดียวกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ที่ช่วงเวลาเดียวกัน						ความคลาดเคลื่อน (Lux)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
860	893	894	894	893	900	894.80	34.80
870	903	905	912	905	905	906.00	36.00
880	920	917	918	916	916	917.40	37.40
890	924	926	925	924	924	924.60	34.60
900	930	931	932	933	933	931.80	31.80
910	940	937	940	939	939	939.00	29.00
920	943	947	946	945	945	945.20	25.20
930	953	954	955	954	954	954.00	24.00
940	957	960	961	960	960	959.60	19.60
950	963	967	968	969	969	967.20	17.20
960	973	971	972	974	974	972.80	12.80
970	980	977	980	977	977	978.20	8.20
980	985	989	993	995	995	991.40	11.40
990	1001	997	996	997	997	997.60	7.60
1000	1000	1006	1007	1008	1008	1005.80	5.80
ค่า RMSE							12.38039353
ค่าสหสัมพันธ์							0.99949605

จากตารางที่ 4.2 เป็นการทดสอบการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โปรแกรมด้วยสมการของกราฟระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันค่านอกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการคือ สมการที่ (3.1) และ (3.2) โดยการทดสอบที่ความเข้มแสงตั้งแต่ 0-1,000 ลักซ์ โดยเพิ่มขึ้นทีละ 10 ลักซ์แต่ละค่าความเข้มแสงนั้นได้ทำการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้งแต่ละครั้ง ได้ทำการวัดและอ่านค่าแล้วป้อนมาตรวัดเมื่อทำงานครบ 5 ครั้ง แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยที่ความเข้มแสงนั้นๆ จากนั้นคำนวณหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนและคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ได้เท่ากับ 12.38039353 ลักซ์ และ 0.99949605 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ตามช่วงเวลา						ความคลาดเคลื่อน (Lux)
	08.00 น. -09.00 น.	11.00 น. -12.00 น.	14.00 น. -15.00 น.	18.00 น. -19.00 น.	21.00 น. -22.00 น.	เฉลี่ย	
0	0	0	0	0	0	0	0.00
10	11	10	11	10	11	10.60	0.60
20	21	22	21	20	22	21.20	1.20
30	32	31	32	31	32	31.60	1.60
40	39	40	39	40	39	39.40	-0.60
50	45	46	47	46	47	46.20	-3.80
60	59	57	60	59	58	58.60	-1.40
70	66	65	66	68	69	66.80	-3.20
80	82	81	80	82	81	81.20	1.20
90	90	91	91	90	91	90.60	0.60
100	105	106	105	105	106	105.40	5.40
110	113	112	114	113	112	112.80	2.80
120	122	123	122	123	122	122.40	2.40
130	133	138	130	138	137	135.20	5.20
140	150	151	150	151	150	150.40	10.40
150	163	165	164	163	164	163.80	13.80
160	174	176	177	176	174	175.40	15.40
170	188	186	185	186	185	186.00	16.00
180	200	201	202	203	202	201.60	21.60
190	208	209	208	209	208	208.40	18.40
200	218	219	219	218	217	218.20	18.20
210	225	226	225	225	226	225.40	15.40
220	233	234	233	234	233	233.40	13.40
230	243	242	243	242	242	242.40	12.40
240	256	257	258	256	258	257.00	17.00
250	267	268	267	268	267	267.40	17.40
260	277	275	276	275	275	275.60	15.60

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์
ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการ
เทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาต่างกัน

ความเข้ม แสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ตามช่วงเวลา						ความคลาด เคลื่อน (Lux)
	08.00 น. -09.00 น.	11.00 น. -12.00 น.	14.00 น. -15.00 น.	18.00 น. -19.00 น.	21.00 น. -22.00 น.	เฉลี่ย	
270	286	284	285	287	285	285.40	15.40
280	295	294	298	299	300	297.20	17.20
290	303	305	306	306	305	305.00	15.00
300	313	315	314	315	316	314.60	14.60
310	317	320	318	319	320	318.80	8.80
320	325	327	329	330	330	328.20	8.20
330	339	341	339	339	339	339.40	9.40
340	350	348	349	351	350	349.60	9.60
350	353	356	357	358	357	356.20	6.20
360	363	365	366	367	366	365.40	5.40
370	371	372	377	379	378	375.40	5.40
380	394	388	389	391	392	390.80	10.80
390	401	407	408	401	403	404.00	14.00
400	418	425	427	429	422	424.20	24.20
410	439	438	439	436	440	438.40	28.40
420	444	442	445	447	449	445.40	25.40
430	461	460	461	462	463	461.40	31.40
440	475	474	475	474	474	474.40	34.40
450	483	482	481	482	481	481.80	31.80
460	495	496	498	498	495	496.40	36.40
470	504	509	506	504	509	506.40	36.40
480	517	519	523	521	520	520.00	40.00
490	532	530	531	533	532	531.60	41.60
500	540	539	540	538	541	539.60	39.60
510	547	549	551	552	554	550.60	40.60
520	555	560	561	562	555	558.60	38.60
530	565	566	567	566	565	565.80	35.80
540	575	576	577	578	577	576.60	36.60

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์
ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันค่านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการ
เทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาต่างกัน

ความเข้ม แสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ตามช่วงเวลา						ความคลาด เคลื่อน (Lux)
	08.00 น. -09.00 น.	11.00 น. -12.00 น.	14.00 น. -15.00 น.	18.00 น. -19.00 น.	21.00 น. -22.00 น.	เฉลี่ย	
550	584	585	586	589	584	585.60	35.60
560	594	599	601	602	594	598.00	38.00
570	607	606	607	606	607	606.60	36.60
580	616	617	618	617	618	617.20	37.20
540	575	576	577	578	577	576.60	36.60
590	626	631	632	633	634	631.20	41.20
600	644	645	643	642	643	643.40	43.40
610	651	652	651	652	653	651.80	41.80
620	658	659	660	661	663	660.20	40.20
630	670	669	672	675	676	672.40	42.40
640	685	687	689	688	685	686.80	46.80
650	692	695	696	697	692	694.40	44.40
660	704	706	704	705	706	705.00	45.00
670	714	717	716	718	716	716.20	46.20
680	725	728	726	725	725	725.80	45.80
690	732	735	736	735	737	735.00	45.00
700	736	756	758	757	755	752.40	52.40
710	759	758	757	757	758	757.80	47.80
720	762	761	762	763	761	761.80	41.80
730	768	769	768	768	769	768.40	38.40
740	772	774	772	772	774	772.80	32.80
750	778	779	780	779	778	778.80	28.80
760	786	797	795	793	792	792.60	32.60
770	800	799	800	799	798	799.20	29.20
780	808	807	806	805	807	806.60	26.60
790	811	814	815	811	813	812.80	22.80
800	821	825	823	820	821	822.00	22.00
810	834	835	834	835	837	835.00	25.00

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ตามช่วงเวลา						ความคลาดเคลื่อน (Lux)
	08.00 น. -09.00 น.	11.00 น. -12.00 น.	14.00 น. -15.00 น.	18.00 น. -19.00 น.	21.00 น. -22.00 น.	เฉลี่ย	
820	853	849	848	850	852	850.40	30.40
830	863	861	862	858	861	861.00	31.00
840	878	871	877	875	877	875.60	35.60
850	887	886	885	883	884	885.00	35.00
860	899	898	899	900	899	899.00	39.00
870	903	905	912	905	904	905.80	35.80
880	920	917	918	916	917	917.60	37.60
890	924	926	925	924	927	925.20	35.20
900	930	931	932	933	932	931.60	31.60
910	940	937	940	939	940	939.20	29.20
920	943	947	946	945	946	945.40	25.40
930	953	954	955	954	955	954.20	24.20
940	957	960	961	960	960	959.60	19.60
950	963	967	968	969	970	967.40	17.40
960	973	971	972	974	975	973.00	13.00
970	980	977	980	977	976	978.00	8.00
980	985	989	993	995	993	991.00	11.00
990	1001	997	996	997	999	998.00	8.00
1000	1000	1006	1007	1008	1010	1006.20	6.20
ค่า RMSE							14.85114999
ค่าสหสัมพันธ์							0.99915785

จากตารางที่ 4.3 เป็นการทดสอบการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โปรแกรมด้วยสมการของกราฟระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 2 สมการคือ สมการที่ (3.1) และ (3.2) โดยการทดสอบที่ความเข้มแสงตั้งแต่ 0-1,000 ลักซ์ เพิ่มขึ้นทีละ 10 ลักซ์ วัดทั้งหมด 5 ช่วงเวลาแล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงนั้นๆ จากนั้น

คำนวณหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนและคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ได้เท่ากับ 14.85114999 ลักซ์ และ 0.99915785 ตามลำดับ

การทดสอบที่ความเข้มแสงต่างๆในช่วงเวลาเดียวกันพบว่ามีความแม่นยำในการประมวลผลที่ดีกว่าการทดสอบในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยสังเกตได้จากค่า RMSE และค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณตามสมการที่ (3.3) และ (3.4) ตามลำดับ

4.3.2 กรณีที่ 2 โปรแกรมด้วยสมการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการ

กรณีนี้เป็นการลงโปรแกรมด้วยสมการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการ (ในหัวข้อที่ 3.3.2 (ข)) ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทดสอบที่ค่าความเข้มแสงต่างๆเพื่อเทียบค่าความเข้มแสงอ้างอิง โดยทดสอบการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ในช่วงเวลาเดียวกันและทดสอบในช่วงเวลาที่ต่างกัน ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาเดียวกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ที่ช่วงเวลาเดียวกัน						ความคลาด เคลื่อน (Lux)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	0	0	0	0	0	0	0.00
10	8	7	6	8	6	7	3.00
20	17	16	16	17	16	16.4	3.60
30	27	26	26	27	29	27	3.00
40	38	36	35	38	38	37	3.00
50	44	46	44	44	44	44.4	5.60
60	55	56	54	55	55	55	5.00
70	64	63	62	64	62	63	7.00
80	73	72	72	73	72	72.4	7.60

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์
ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการ
เทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาเดียวกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ที่ช่วงเวลาเดียวกัน						ความคลาด เคลื่อน (Lux)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
90	85	84	84	85	87	85	5.00
100	97	95	94	97	97	96	4.00
110	105	107	105	105	105	105.4	4.60
120	114	115	113	114	114	114	6.00
130	123	122	121	123	121	122	8.00
140	134	133	133	134	137	134.2	5.80
150	146	145	145	146	148	146	4.00
160	158	156	155	158	158	157	3.00
170	165	167	165	165	165	165.4	4.60
180	175	176	174	175	175	175	5.00
190	186	185	184	186	184	185	5.00
200	197	196	196	197	196	196.4	3.60
210	210	209	209	210	212	210	0.00
220	219	217	216	219	219	218	2.00
230	225	227	225	225	225	225.4	4.60
240	236	237	235	236	236	236	4.00
250	246	245	244	246	244	245	5.00
260	255	254	254	255	254	254.4	5.60
270	272	271	271	272	274	272	-2.00
280	284	282	281	284	284	283	-3.00
290	291	293	291	291	291	291.4	-1.40
300	301	302	300	301	301	301	-1.00
310	314	313	312	314	312	313	-3.00
320	323	322	322	323	322	322.4	-2.40
330	332	331	331	332	334	332	-2.00
340	344	342	341	344	344	343	-3.00
350	353	355	353	353	353	353.4	-3.40
360	363	364	362	363	362	362.8	-2.80

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์
ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการ
เทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาเดียวกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ที่ช่วงเวลาเดียวกัน						ความคลาด เคลื่อน (Lux)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
370	379	378	377	379	377	378	-8.00
380	388	387	387	388	387	387.4	-7.40
390	396	395	396	405	395	397.4	-7.40
400	403	405	405	423	405	408.2	-8.20
410	417	418	417	421	417	418	-8.00
420	429	428	428	439	428	430.4	-10.40
430	436	437	437	445	437	438.4	-8.40
440	442	443	443	459	443	446	-6.00
450	455	454	455	468	454	457.2	-7.20
460	468	469	468	487	469	472.2	-12.20
470	477	478	479	497	479	482	-12.00
480	488	489	489	507	490	492.6	-12.60
490	499	498	498	520	500	503	-13.00
500	510	509	508	529	508	512.8	-12.80
510	516	518	517	536	516	520.6	-10.60
520	527	527	527	546	527	530.8	-10.80
530	536	536	537	553	535	539.4	-9.40
540	550	549	550	563	550	552.4	-12.40
550	555	557	557	574	557	560	-10.00
560	570	570	569	581	570	572	-12.00
570	578	578	579	589	579	580.6	-10.60
580	585	585	586	598	585	587.8	-7.80
590	597	598	599	602	598	598.8	-8.80
600	613	614	612	613	613	613	-13.00
610	620	619	618	620	618	619	-9.00
620	629	628	628	629	628	628.4	-8.40
630	639	638	638	639	641	639	-9.00
640	651	649	648	651	651	650	-10.00

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์
ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการ
เทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาเดียวกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ที่ช่วงเวลาเดียวกัน						ความคลาด เคลื่อน (Lux)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
650	664	666	664	664	664	664.4	-14.40
660	674	675	675	693	675	678.4	-18.40
670	680	681	679	708	679	685.4	-15.40
680	687	687	686	723	687	694	-14.00
690	692	691	691	692	694	692	-2.00
700	701	699	698	701	701	700	0.00
710	716	718	716	716	716	716.4	-6.40
720	729	730	728	729	729	729	-9.00
730	744	743	742	744	742	743	-13.00
740	749	748	748	749	748	748.4	-8.40
750	757	756	756	757	759	757	-7.00
760	768	766	765	768	768	767	-7.00
770	778	780	778	778	778	778.4	-8.40
780	773	774	772	773	773	773	7.00
790	785	784	783	785	783	784	6.00
800	789	788	788	789	788	788.4	11.60
810	817	818	819	829	818	820.2	-10.20
820	827	827	826	838	826	828.8	-8.80
830	839	841	839	839	839	839.4	-9.40
840	843	844	842	843	843	843	-3.00
850	866	865	864	866	864	865	-15.00
860	866	865	865	866	865	865.4	-5.40
870	875	874	874	875	877	875	-5.00
880	890	888	887	890	890	889	-9.00
890	892	894	892	892	892	892.4	-2.40
900	898	899	897	898	898	898	2.00
910	908	907	906	908	906	907	3.00

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาเดียวกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ที่ช่วงเวลาเดียวกัน						ความคลาดเคลื่อน (Lux)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
920	915	914	914	915	914	914.4	5.60
930	928	927	927	928	930	928	2.00
940	938	936	935	938	938	937	3.00
950	944	946	944	944	944	944.4	5.60
960	953	954	952	953	953	953	7.00
970	964	963	962	964	962	963	7.00
980	973	972	972	973	972	972.4	7.60
990	979	978	978	979	981	979	11.00
1000	990	988	987	990	990	989	11.00
ค่า RMSE							7.41760399
ค่าสหสัมพันธ์							0.99969897

จากตารางที่ 4.4 เป็นการทดสอบการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โปรแกรมด้วยสมการของกราฟระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการคือ สมการที่ (3.5) ถึง (3.8) โดยทดสอบที่ความเข้มแสงตั้งแต่ 0-1,000 ลักซ์ โดยเพิ่มขึ้นทีละ 10 ลักซ์แต่ละค่าความเข้มแสงนั้นได้ทำการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้งแต่ละครั้ง ได้ทำการวัดและอ่านค่าแล้วป้อนมาตรวัดเมื่อทำงานครบ 5 ครั้ง แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยที่ความเข้มแสงนั้นๆ จากนั้นคำนวณหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนและคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ได้เท่ากับ 7.41760399 ลักซ์ และ 0.99969897 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ตามช่วงเวลา						ความคลาดเคลื่อน (Lux)
	08.00 น. -09.00 น.	11.00 น. -12.00 น.	14.00 น. -15.00 น.	18.00 น. -19.00 น.	21.00 น. -22.00 น.	เฉลี่ย	
0	0	0	0	0	0	0	0.00
10	8	7	6	7	6	6.8	3.20
20	17	16	16	17	16	16.4	3.60
30	27	26	26	25	29	26.6	3.40
40	38	36	35	35	38	36.4	3.60
50	44	46	44	46	44	44.8	5.20
60	55	56	54	54	55	54.8	5.20
70	64	63	62	63	62	62.8	7.20
80	73	72	72	73	72	72.4	7.60
90	85	84	84	83	87	84.6	5.40
100	97	95	94	94	97	95.4	4.60
110	105	107	105	107	105	105.8	4.20
120	114	115	113	113	114	113.8	6.20
130	123	122	121	122	121	121.8	8.20
140	134	133	133	134	137	134.2	5.80
150	146	145	145	144	148	145.6	4.40
160	158	156	155	155	158	156.4	3.60
170	165	167	165	167	165	165.8	4.20
180	175	176	174	174	175	174.8	5.20
190	186	185	184	185	184	184.8	5.20
200	197	196	196	197	196	196.4	3.60
210	210	209	209	208	212	209.6	0.40
220	219	217	216	216	219	217.4	2.60
230	225	227	225	227	225	225.8	4.20
240	236	237	235	235	236	235.8	4.20
250	246	245	244	245	244	244.8	5.20
260	255	254	254	255	254	254.4	5.60

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์
ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการ
เทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาต่างกัน

ความเข้ม แสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ตามช่วงเวลา						ความคลาด เคลื่อน (Lux)
	08.00 น. -09.00 น.	11.00 น. -12.00 น.	14.00 น. -15.00 น.	18.00 น. -19.00 น.	21.00 น. -22.00 น.	เฉลี่ย	
270	272	271	271	270	274	271.6	-1.60
280	284	282	281	281	284	282.4	-2.40
290	291	293	291	293	291	291.8	-1.80
300	301	302	300	300	301	300.8	-0.80
310	314	313	312	313	312	312.8	-2.80
320	323	322	322	323	322	322.4	-2.40
330	332	331	331	330	334	331.6	-1.60
340	344	342	341	341	344	342.4	-2.40
350	353	355	353	355	353	353.8	-3.80
360	363	364	362	362	362	362.6	-2.60
370	379	378	377	378	377	377.8	-7.80
380	388	387	387	388	387	387.4	-7.40
390	405	404	404	403	407	404.6	-14.60
400	423	421	420	420	423	421.4	-21.40
410	421	423	421	423	421	421.8	-11.80
420	439	440	438	438	439	438.8	-18.80
430	445	444	443	444	443	443.8	-13.80
440	459	458	458	459	458	458.4	-18.40
450	468	467	467	466	470	467.6	-17.60
460	487	485	484	484	487	485.4	-25.40
470	497	499	497	499	497	497.8	-27.80
480	507	508	506	506	507	506.8	-26.80
490	520	519	518	519	518	518.8	-28.80
500	529	528	528	529	528	528.4	-28.40
510	536	535	535	534	538	535.6	-25.60
520	546	544	543	543	546	544.4	-24.40
530	553	555	553	555	553	553.8	-23.80

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์
ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการ
เทียบกับความเข้มแสงที่วัดโดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาต่างกัน

ความเข้ม แสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ตามช่วงเวลา						ความคลาด เคลื่อน (Lux)
	08.00 น. -09.00 น.	11.00 น. -12.00 น.	14.00 น. -15.00 น.	18.00 น. -19.00 น.	21.00 น. -22.00 น.	เฉลี่ย	
550	574	573	572	573	572	572.8	-22.80
540	563	564	562	562	563	562.8	-22.80
560	581	580	580	581	580	580.4	-20.40
570	589	588	588	587	591	588.6	-18.60
580	598	596	595	595	598	596.4	-16.40
590	602	604	602	604	602	602.8	-12.80
600	613	614	612	612	613	612.8	-12.80
610	620	619	618	619	618	618.8	-8.80
620	629	628	628	629	628	628.4	-8.40
630	639	638	638	637	641	638.6	-8.60
640	651	649	648	648	651	649.4	-9.40
650	664	666	664	666	664	664.8	-14.80
660	693	694	692	692	693	692.8	-32.80
670	708	707	706	707	706	706.8	-36.80
680	723	722	726	726	721	723.6	-43.60
690	692	691	691	690	694	691.6	-1.60
700	701	699	698	698	701	699.4	0.60
710	716	718	716	718	716	716.8	-6.80
720	729	730	728	728	729	728.8	-8.80
730	744	743	742	743	742	742.8	-12.80
740	749	748	748	749	748	748.4	-8.40
750	757	756	756	755	759	756.6	-6.60
760	768	766	765	765	768	766.4	-6.40
770	778	780	778	780	778	778.8	-8.80
780	773	774	772	772	773	772.8	7.20
790	785	784	783	784	783	783.8	6.20
800	789	788	788	789	788	788.4	11.60
810	829	828	828	827	831	828.6	-18.60

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ค่าที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่ประมวลผลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการเทียบกับความเข้มแสงที่วัด โดยมาตรวัดอ้างอิงในช่วงเวลาต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ความเข้มแสงที่วัดได้จากมาตรวัดความเข้มแสง (Lux) ตามช่วงเวลา						ความคลาดเคลื่อน (Lux)
	08.00 น. -09.00 น.	11.00 น. -12.00 น.	14.00 น. -15.00 น.	18.00 น. -19.00 น.	21.00 น. -22.00 น.	เฉลี่ย	
820	838	836	835	835	838	836.4	-16.40
830	839	841	839	841	839	839.8	-9.80
840	843	844	842	842	843	842.8	-2.80
850	866	865	864	865	864	864.8	-14.80
860	866	865	865	866	865	865.4	-5.40
870	875	874	874	873	877	874.6	-4.60
880	890	888	887	887	890	888.4	-8.40
890	892	894	892	894	892	892.8	-2.80
900	898	899	897	897	898	897.8	2.20
910	908	907	906	907	906	906.8	3.20
920	915	914	914	915	914	914.4	5.60
930	928	927	927	926	930	927.6	2.40
940	938	936	935	935	938	936.4	3.60
950	944	946	944	946	944	944.8	5.20
960	953	954	952	952	953	952.8	7.20
970	964	963	962	963	962	962.8	7.20
980	973	972	972	973	972	972.4	7.60
990	979	978	978	977	981	978.6	11.40
1000	990	988	987	987	990	988.4	11.60
ค่า RMSE							12.02968292
ค่าสหสัมพันธ์							0.99919260

จากตารางที่ 4.5 เป็นการทดสอบการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โปรแกรมด้วยสมการของกราฟระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งเป็น 4 สมการคือ สมการที่ (3.5) และ (3.8) โดยการทดสอบที่ความเข้มแสงตั้งแต่ 0-1,000 ลักซ์ เพิ่มขึ้นทีละ 10 ลักซ์ วัดทั้งหมด 5 ช่วงเวลาแล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยที่ความเข้มแสงนั้นๆ จากนั้น

คำนวณหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนและคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ได้เท่ากับ 12.02968292 ลักซ์ และ 0.99919260 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าการทดสอบที่ความเข้มแสงต่างๆในช่วงเวลาเดียวกันจะมีความแม่นยำในการประมวลผลที่ดีกว่าการทดสอบในช่วงเวลาที่ต่างกัน ซึ่งดูได้จากค่า RMSE และค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณตามสมการที่ (3.3) และ (3.4) ตามลำดับ

เมื่อทดสอบการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งสองกรณีแล้วจะเห็นว่าค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำมากขึ้นเมื่อทำการวัดความเข้มแสงในช่วงเวลาเดียวกัน และมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการวัดความเข้มแสงช่วงเวลาต่างกันทั้ง 2 กรณี อย่างไรก็ตามการแบ่งกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 4 สมการ ส่งผลให้ความแม่นยำในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์มากกว่าการแบ่งกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 2 สมการ ทั้งในกรณีการวัดความเข้มแสงที่ช่วงเวลาเดียวกันและในช่วงเวลาที่ต่างกัน เพราะฉะนั้นผู้ดำเนินโครงการจึงเลือกใช้สมการในกรณีที่ 2 มาใช้งาน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการดำเนินโครงการ และพร้อมให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการนี้ต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

มาตรวัดความเข้มแสงที่ผู้ดำเนินโครงการได้สร้างขึ้นสามารถวัดความเข้มแสงภายในอาคารได้โดยเน้นความเข้มแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลัก ซึ่งสามารถวัดค่าความเข้มแสงในช่วง 0-1,000 ลักซ์ ได้แม่นยำในระดับที่ยอมรับได้ จึงสามารถใช้ประกอบการออกแบบระบบส่องสว่างที่ต้องการค่าความสว่างในช่วงดังกล่าวได้

จากการทดสอบมาตรวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรมจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและแสดงค่าเป็นตัวเลขทางโมดูลแอลซีดี พบว่าการประมวลผลด้วยคำสั่งจากสมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งสมการเป็น 4 ช่วงมีการประมวลผลที่แม่นยำกว่าการแบ่งสมการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 2 ช่วง โดยดูจากการเปรียบเทียบค่า RMSE และค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้จากการทดสอบทั้งสองกรณี (หัวข้อที่ 4.3.1 และ 4.3.2) นอกจากนี้การวัดความเข้มแสงที่ช่วงเวลาเดียวกันมีความแม่นยำกว่าการวัดความเข้มแสงที่วัดในช่วงเวลาต่างกัน ดังนั้นการลงโปรแกรมด้วยคำสั่งจากสมการของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งสมการออกเป็นหลายๆช่วง และวัดความเข้มแสงที่ช่วงเวลาเดียวกันจะทำให้ความเข้มแสงที่วัดได้มีความเที่ยงตรงและแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้มากกว่าการลงโปรแกรมด้วยคำสั่งจากสมการของกราฟความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งสมการเป็น 1 หรือ 2 สมการ อย่างไรก็ตามหากแบ่งสมการเป็นช่วงที่มากขึ้นหลายๆอาจส่งผลให้การประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ช้าลง

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

- 1) เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ได้จากการทดสอบการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์กับความเข้มแสงและผู้ดำเนินโครงการทำการทดสอบเอง ซึ่งอาจมีความผิดพลาดเนื่องจากผู้ทำการทดสอบ ฉะนั้นเพื่อให้ได้ค่าแม่นยำมากขึ้นควรเพิ่มจำนวนครั้งในการทดสอบ
- 2) เมื่อแรงดันเอาต์พุตของแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ มีค่าลดลงต่ำกว่า 8.3 โวลต์ จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์และโมดูลแอลซีดีทำงานช้าลงหรืออาจไม่ทำงานเลย ฉะนั้นควรหมั่นตรวจสอบแรงดันเอาต์พุตของแบตเตอรี่ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์และโมดูลแอลซีดีทำงานได้อย่างถูกต้อง แนวทางการยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ดังกล่าว หลังจากทดสอบทดสอบวงจรมาตรวัดความเข้มแสงที่ลงรายการอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว ควรปลดวงจรของแอลอีดี (D1-D8) ออกเพื่อลดกำลังสูญเสียขณะประมวลผล
- 3) การเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลต่อประสิทธิภาพที่ลดลงในการทำงานเป็นตัวรับแสงในมาตรวัดที่สร้างขึ้น ดังนั้นควรเปลี่ยนเซลล์แสงอาทิตย์ ถ้าพบว่าหลอดแอลอีดีที่อยู่หลังเซลล์ไม่ติดสว่างเมื่อนำเซลล์รับแสงอาทิตย์โดยตรง หรือไปรับแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในระยะใกล้มากๆ

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

มาตรวัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้นนี้สามารถวัดค่าความเข้มแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้แม่นยำในระดับที่ยอมรับได้ในช่วง 0-1,000 ลักซ์ เท่านั้น ฉะนั้นในการพัฒนามาตรวัดความเข้มแสงควรเพิ่มความสามารถในการวัดความเข้มแสงจากหลอดไส้ (Incandescent lamp) ได้และให้มีช่วงในการวัดค่าสูงกว่า 1,000 ลักซ์ ซึ่งกระบวนการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์และการสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถใช้กระบวนการเดียวกันดังที่กล่าวในบทที่ 3 นอกจากนี้เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำยิ่งขึ้นควรโปรแกรมด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกแบ่งด้วยจำนวนสมการที่มากขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงการประมวลผลที่อาจช้าลงของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารอ้างอิง

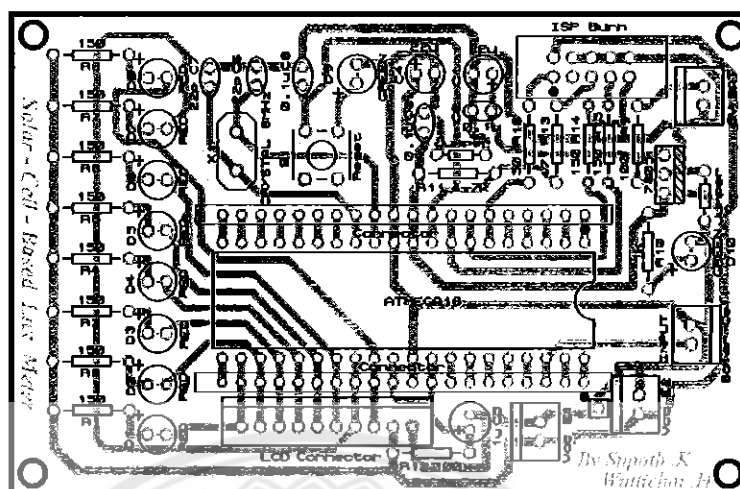
- [1] C. Hu and R.M. White, "Solar Cells", McGraw-Hill, 1983.
- [2] Richard Barneet, Larry O'cull, Sarah Cox. "Embedded C Programming and the Atmel AVR", 2006.
- [3] http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_technology.htm, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554.
- [4] http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554.
- [5] <http://www.es.co.th/detail.asp?Prod=40100061>, สืบค้นเมื่อ ธันวาคม 2554.



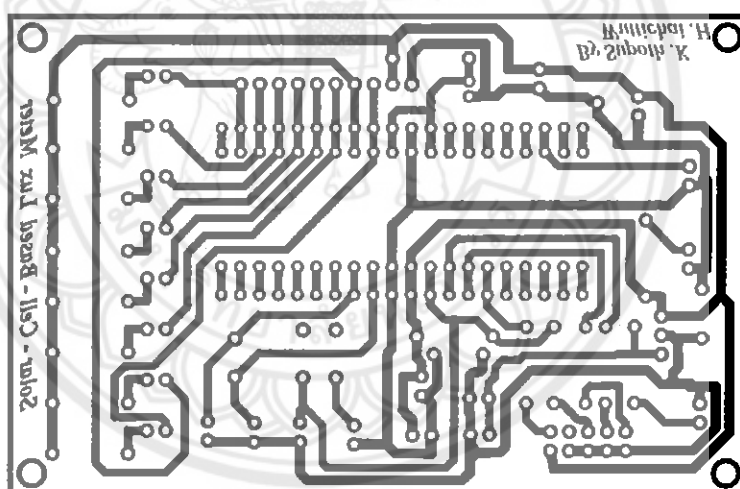
ภาคผนวก ก

ลายพิมพ์วงจร ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง
กับแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ และรายละเอียดโปรแกรม





ก) ลายพิมพ์วงจรด้านหน้า



ข) ลายพิมพ์วงจรด้านหลัง

รูปที่ ก.1 ลายพิมพ์วงจรมาตรฐานวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์

หมายเหตุ: ขนาดลายพิมพ์วงจรนี้เป็นขนาดเท่ากับขนาดที่นำไปใช้จริง (99×64 mm) ลายพิมพ์วงจรข้างต้นสามารถลงโปรแกรมผ่านพอร์ต ISP ได้เมื่อใช้ร่วมกับ AVR ISP USB

ตารางที่ ก.1 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในสายพิมพ์วงจร

ลำดับ	รายการ	จำนวน
1	ATMega 16 PDIP	1 ตัว
2	ไอซี 7805	1 ตัว
3	คริสตอล 8 MHz	1 ตัว
4	ความต้านทาน 1/4 W 47 Ω 5%	1 ตัว
5	ความต้านทาน 1/4 W 100 Ω 5%	2 ตัว
6	ความต้านทาน 1/4 W 150 Ω 5%	12 ตัว
7	ความต้านทาน 1/4 W 1 k Ω 5%	1 ตัว
7	ความต้านทาน 1/4 W 4.7 k Ω 5%	1 ตัว
8	ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก ไม่มีขั้ว 22 pF	2 ตัว
9	ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก ไม่มีขั้ว 0.1 μ F	3 ตัว
10	ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ มีขั้ว 1 μ F 63 V	1 ตัว
11	ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ มีขั้ว 22 μ F 35 V	2 ตัว
12	สวิตช์รีเซ็ต	1 ตัว
13	ช่องเสียบไอซี 40 ขา	1 ตัว
14	ตัวต่อ PCB1 ขาตรง ตัวผู้	1 ตัว
15	ตัวต่อ PCB 2 ขาตรง ตัวผู้	4 ตัว
16	ตัวต่อ PCB 10 ขาตรง ตัวผู้	1 ตัว
17	ตัวต่อ IDC 10 ตัวผู้มีกรอบ	1 ตัว
18	ตัวต่อ IDC 20 ตัวเมียแกนเคียว	2 ตัว
19	LED สีขาว 3 มม.	8 ตัว
20	LED สีเขียว 3 มม.	2 ตัว

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันด้านออก
ของเซลล์แสงอาทิตย์

ความเข้มแสง (Lux)	วัดแรงดันจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง (V)				วัดแรงดันจากโหลด R 200 k Ω (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.441	0.444	0.447	0.446	0.296	0.297	0.296	0.296
20	0.577	0.575	0.575	0.576	0.375	0.377	0.375	0.376
30	0.673	0.676	0.676	0.675	0.424	0.425	0.426	0.425
40	0.761	0.762	0.763	0.762	0.542	0.543	0.542	0.542
50	0.848	0.846	0.847	0.847	0.636	0.637	0.638	0.637
60	0.907	0.904	0.907	0.906	0.656	0.656	0.657	0.656
70	0.960	0.959	0.960	0.960	0.761	0.759	0.759	0.760
80	1.010	1.011	1.010	1.010	0.779	0.780	0.781	0.780
90	1.043	1.042	1.042	1.042	0.842	0.841	0.842	0.842
100	1.092	1.092	1.091	1.092	0.891	0.892	0.893	0.892
110	1.137	1.135	1.136	1.136	0.957	0.956	0.956	0.956
120	1.177	1.177	1.176	1.177	1.007	1.008	1.006	1.007
130	1.207	1.210	1.213	1.212	1.052	1.053	1.052	1.052
140	1.239	1.237	1.237	1.238	1.087	1.089	1.087	1.088
150	1.269	1.272	1.272	1.271	1.100	1.101	1.101	1.101
160	1.295	1.296	1.297	1.296	1.146	1.147	1.146	1.146
170	1.323	1.321	1.322	1.322	1.171	1.173	1.172	1.172
180	1.344	1.341	1.344	1.343	1.193	1.194	1.193	1.193
190	1.358	1.357	1.358	1.358	1.208	1.207	1.207	1.208
200	1.373	1.374	1.373	1.373	1.223	1.223	1.223	1.223
210	1.389	1.388	1.388	1.388	1.239	1.238	1.237	1.238
220	1.397	1.397	1.396	1.397	1.247	1.248	1.247	1.247
230	1.407	1.405	1.406	1.406	1.256	1.255	1.256	1.256
240	1.412	1.412	1.411	1.412	1.262	1.263	1.262	1.262
250	1.414	1.417	1.420	1.419	1.268	1.270	1.269	1.269

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน
ด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์

ความเข้มแสง (Lux)	วัดแรงดันจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง (V)				วัดแรงดันจากโหลด R 200 k Ω (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
260	1.431	1.429	1.429	1.430	1.280	1.281	1.280	1.280
270	1.435	1.438	1.438	1.437	1.287	1.286	1.286	1.287
280	1.442	1.443	1.444	1.443	1.293	1.293	1.293	1.293
290	1.449	1.447	1.448	1.448	1.299	1.298	1.297	1.298
300	1.456	1.453	1.456	1.455	1.305	1.306	1.305	1.305
310	1.463	1.462	1.463	1.463	1.313	1.312	1.313	1.313
320	1.467	1.468	1.467	1.467	1.317	1.318	1.317	1.317
330	1.472	1.471	1.471	1.471	1.320	1.322	1.321	1.321
340	1.476	1.476	1.475	1.476	1.326	1.327	1.326	1.326
350	1.481	1.479	1.480	1.480	1.330	1.329	1.329	1.330
360	1.484	1.484	1.483	1.484	1.334	1.334	1.334	1.334
370	1.482	1.485	1.488	1.487	1.338	1.337	1.336	1.337
380	1.492	1.490	1.490	1.491	1.341	1.342	1.341	1.341
390	1.491	1.494	1.494	1.493	1.343	1.342	1.343	1.343
400	1.494	1.495	1.496	1.495	1.345	1.346	1.345	1.345
410	1.499	1.497	1.498	1.498	1.347	1.349	1.348	1.348
420	1.502	1.499	1.502	1.501	1.351	1.352	1.351	1.351
430	1.505	1.504	1.505	1.505	1.355	1.354	1.354	1.355
440	1.509	1.510	1.509	1.509	1.359	1.359	1.359	1.359
450	1.513	1.512	1.512	1.512	1.358	1.357	1.356	1.357
460	1.516	1.516	1.515	1.516	1.359	1.360	1.359	1.359
470	1.519	1.517	1.518	1.518	1.368	1.367	1.368	1.368
480	1.520	1.520	1.519	1.520	1.360	1.361	1.360	1.360
490	1.517	1.520	1.523	1.522	1.363	1.365	1.364	1.364
500	1.527	1.525	1.525	1.526	1.366	1.367	1.366	1.366
510	1.526	1.529	1.529	1.528	1.368	1.367	1.367	1.368
520	1.530	1.531	1.532	1.531	1.371	1.371	1.371	1.371
530	1.533	1.531	1.532	1.532	1.373	1.372	1.371	1.372
540	1.533	1.530	1.533	1.532	1.372	1.373	1.372	1.372

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน
ด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์

ความเข้มแสง (Lux)	วัดแรงดันจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง (V)				วัดแรงดันจากโหลด R 200 k Ω (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
550	1.536	1.535	1.536	1.536	1.376	1.375	1.376	1.376
560	1.538	1.539	1.538	1.538	1.378	1.379	1.378	1.378
570	1.542	1.541	1.541	1.541	1.380	1.382	1.381	1.381
580	1.543	1.543	1.542	1.543	1.383	1.384	1.383	1.383
590	1.547	1.545	1.546	1.546	1.386	1.385	1.385	1.386
600	1.548	1.548	1.547	1.548	1.388	1.388	1.388	1.388
610	1.545	1.548	1.551	1.550	1.391	1.390	1.389	1.390
620	1.553	1.551	1.551	1.552	1.392	1.393	1.392	1.392
630	1.552	1.555	1.555	1.554	1.394	1.393	1.394	1.394
640	1.555	1.556	1.557	1.556	1.396	1.397	1.396	1.396
650	1.559	1.557	1.558	1.558	1.397	1.399	1.398	1.398
660	1.560	1.557	1.560	1.559	1.399	1.400	1.399	1.399
670	1.560	1.559	1.560	1.560	1.400	1.399	1.399	1.400
680	1.562	1.563	1.562	1.562	1.402	1.402	1.402	1.402
690	1.564	1.563	1.563	1.563	1.404	1.403	1.402	1.403
700	1.564	1.564	1.563	1.564	1.404	1.405	1.404	1.404
710	1.567	1.565	1.566	1.566	1.406	1.405	1.406	1.406
720	1.568	1.568	1.567	1.568	1.408	1.409	1.408	1.408
730	1.565	1.568	1.571	1.570	1.409	1.411	1.410	1.410
740	1.573	1.571	1.571	1.572	1.412	1.413	1.412	1.412
750	1.572	1.575	1.575	1.574	1.414	1.413	1.413	1.414
760	1.575	1.576	1.577	1.576	1.416	1.416	1.416	1.416
770	1.581	1.579	1.580	1.580	1.421	1.420	1.419	1.420
780	1.587	1.584	1.587	1.586	1.426	1.427	1.426	1.426
790	1.589	1.588	1.589	1.589	1.429	1.428	1.429	1.429
800	1.592	1.593	1.592	1.592	1.432	1.433	1.432	1.432
810	1.596	1.595	1.595	1.595	1.434	1.436	1.435	1.435
820	1.597	1.597	1.596	1.597	1.437	1.438	1.437	1.437
830	1.600	1.598	1.599	1.599	1.439	1.438	1.438	1.439

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับแรงดัน
ด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์

ความเข้มแสง (Lux)	วัดแรงดันจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง (V)				วัดแรงดันจากโหลด R 200 k Ω (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
840	1.601	1.601	1.600	1.601	1.441	1.441	1.441	1.441
850	1.598	1.601	1.604	1.603	1.444	1.443	1.442	1.443
860	1.605	1.603	1.603	1.604	1.444	1.445	1.444	1.444
870	1.604	1.607	1.607	1.606	1.446	1.445	1.446	1.446
880	1.607	1.608	1.609	1.608	1.448	1.449	1.448	1.448
890	1.611	1.609	1.610	1.610	1.449	1.451	1.450	1.450
900	1.613	1.610	1.613	1.612	1.452	1.453	1.452	1.452
910	1.614	1.613	1.614	1.614	1.454	1.453	1.453	1.454
920	1.615	1.616	1.615	1.615	1.455	1.455	1.455	1.455
930	1.619	1.618	1.618	1.618	1.459	1.458	1.457	1.458
940	1.620	1.620	1.619	1.620	1.460	1.461	1.460	1.460
950	1.623	1.621	1.622	1.622	1.462	1.461	1.462	1.462
960	1.623	1.623	1.622	1.623	1.463	1.464	1.463	1.463
970	1.620	1.623	1.626	1.625	1.464	1.466	1.465	1.465
980	1.628	1.626	1.626	1.627	1.467	1.468	1.467	1.467
990	1.628	1.631	1.631	1.630	1.470	1.469	1.469	1.470
1000	1.630	1.631	1.632	1.631	1.476	1.476	1.476	1.476

โปรแกรมที่ใช้สำหรับทดสอบวงจรมาตรวัดความเข้มแสง

/******

This program was produced by the

CodeWizardAVR V2.04.4a Advanced

Automatic Program Generator

© Copyright 1998-2009 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.

<http://www.hpinfotech.com>

Project : Solar Cell Based Lux Meter

Version : 2

Date : 22/12/2011

Author : Supoth .K, Wuttichai .H

//ส่วนหัวของโปรแกรม

Company : Naresuan University

Comments:

Electrical Engineering Project II

Project advisor: Niphat Jantharamin, Ph.D.

Chip type : ATMega16

Program type : Application

Clock frequency : 8.000000 MHz

Memory model : Small

Data Stack size : 256

*****/

#include <mega16.h>

//ประกาศเรียกใช้ฟังก์ชันต่างๆ

#include <delay.h>

void main(void)

{

PORTC=0xFF;

//ประกาศใช้พอร์ต C ทุกบิต

DDRC=0xFF;

while (1) {

PORTC=0x00;

//สั่งให้พอร์ตส่งข้อมูลเป็น 00 เพื่อให้ LED สว่าง [2]

delay_ms(500); };

โปรแกรมที่ใช้ทดสอบการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ในกรณีที่ 1 (หัวข้อ 4.3.1)

This program was produced by the

CodeWizardAVR V2.04.4a Advanced

Automatic Program Generator

© Copyright 1998-2009 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.

<http://www.hpinfotech.com>

Project : Solar Cell Based Lux Meter

Version : 15

Date : 15/02/2012

Author : Supoth .K, Wuttichai .H

//ส่วนหัวของโปรแกรม

Company : Naresuan University

Comments:

Electrical Engineering Project II

Project advisor: Niphat Jantharamin, Ph.D.

Chip type : ATMega16

Program type : Application

Clock frequency : 8.000000 MHz

Memory model : Small

Data Stack size : 256

*****/

#include <mega16.h>

#include <stdlib.h>

#include <string.h>

//ประกาศใช้ฟังก์ชันต่างๆ

#include <math.h>

#include <stdio.h>

#include <delay.h>

// Alphanumeric LCD Module functions

#asm

.equ __lcd_port=0x15 ;PORTC

```

#endasm

#include <lcd.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x40

    // Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;

    // Start the AD conversion

    ADCSRA|=0x40;

    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
}

    // Declare your global variables here
char meter[16];
void main(void)
{
    // Declare your local variables here
    float a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,y ;           //ประกาศชนิดของตัวแปร

    // Input/Output Ports initialization
    // Port A initialization

    // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
    // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T

    PORTA=0x00;
    DDRA=0x00;

    // Port C initialization

    // Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out Func1=Out
    Func0=Out

    // State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0

    PORTC=0x00;

```

```

DDRC=0xFF;

    // ADC initialization

    // ADC Clock frequency: 125.000 kHz

    // ADC Voltage Reference: AVCC pin

    // ADC Auto Trigger Source: Free Running

ADMUX=ADC_VREF_TYPE;

ADCSRA=0xA6;

SFIO&=0x1F;

    // LCD module initialization

lcd_init(16);

while (1)
{
    float A = 0.0;
    float B = 0.0;
    unsigned int z;
    for (z=0;z<=6;z++) { //ทำการประมวลผล 7 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย
        float v = 0.0;
        float w = 0.0;
        unsigned int x;
        for (x=0;x<=3000;x++) { //กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์
            a = read_adc(2); //รับค่าจากอินพุต (PA2)
            delay_ms(0.1);
            b = (a*5)/1023; //แปลงค่าอินพุตเป็นค่าดิจิทัล
            v = v+b; } //ให้นำค่าที่ได้มาเฉลี่ย
            w = v/x; //จำนวน 3001 ครั้ง

        if (w>=0) { //w คือค่าแรงดันจากเซลล์แสงอาทิตย์
            c = pow(w,2); //นำค่าแรงดันมายกกำลังสอง
            d = pow(w,3); //นำค่าแรงดันมายกกำลังสาม
            e = pow(w,4); //นำค่าแรงดันมายกกำลังสี่
        }
    }
}

```

```

f = pow(w,5); //นำค่าแรงดันมายกกำลังห้า
if (w<=1.343) { //กำหนดเงื่อนไขเพื่อประมวลผลตามสมการที่ (3.1)
    y = ((119.6*f)-(375.17*e)+(469.45*d)-(169.92*c)+(34.528*w)-(0.017278));
    } //สมการที่ (3.2)
    // y คือค่าความเข้มแสงที่คำนวณได้ตามสมการ
else if ((w>1.343),(w<=1.631))
    //กำหนดเงื่อนไขเพื่อประมวลผลตามสมการที่ (3.1)
    {
        g = (w-1.5329)/0.070536; //g คือค่า z ของสมการที่ (3.2)
        h = pow(g,2);
        i = pow(g,3);
        j = pow(g,4);
        k = pow(g,5); //นำค่า z มายกกำลังต่างๆ
        l = pow(g,6);
        m = pow(g,7);
        n = pow(g,8);
        y = ((0.030125*n) + (2.5606*m) + (13.977*i) + (14.94*k)-(38.676*j)-(68.48*i)
            + (74.785*h) + (323.55*g) + (536.73));
        } //สมการที่ (3.2)
    else{
        y = ((4565.4*w)-(6592.3)); };
    //กำหนดสมการสำหรับความเข้มแสงที่เกิน 1,000

```

ลักษณะ

```

    }

else {
    y = 0; }; //ถ้าค่าแรงดันน้อยกว่าศูนย์ให้คำนวณค่าเท่ากับศูนย์

if (y < 0) { //ถ้าคำนวณแล้วได้ค่าน้อยกว่าศูนย์ให้ห้มีค่าเท่ากับศูนย์
    y = 0; }

```



```

else { y=y; }; //ถ้าคำนวณแล้วได้ค่ามากกว่าศูนย์ ให้มีค่าเท่ากับ
                //ค่าที่คำนวณ

A = A+y;
B = A/z; //เฉลี่ยค่าความเข้มแสงที่คำนวณ 7 ครั้ง
          //B คือค่าความเข้มแสง เพื่อนำไปแสดงค่าบน LCD

lcd_gotoxy(0,0); //กำหนดให้ใช้ LCD หลักที่ 0 แถวที่ 0 (แถวบน)
lcd_putsf(" Lux Meter 2011"); //แสดง Lux Meter 2011
lcd_gotoxy(0,1); //กำหนดให้ใช้ LCD หลักที่ 0 แถวที่ 1 (แถวล่าง)
lcd_putsf(" Fluor"); //แสดง Fluor
lcd_gotoxy(8,1); //กำหนดให้ใช้ LCD หลักที่ 8 แถวที่ 1 (แถวล่าง)
ftoa(B,0,meter); //กำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่มีทศนิยม 0 ตำแหน่ง
                  //เก็บค่าไว้ที่ตัวแปร meter
sprintf(meter," Lux"); //กำหนดหน่วยให้กับตัวแปร meter (Lux)
lcd_puts(meter); //แสดงค่าความเข้มแสง
delay_ms(600); //คงค่าไว้ 600 มิลลิวินาที
};
};

```

โปรแกรมที่ใช้ทดสอบการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในกรณีที่ 2 (หัวข้อ 4.3.2)

/******

This program was produced by the

CodeWizardAVR V2.04.4a Advanced

Automatic Program Generator

© Copyright 1998-2009 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.

<http://www.hpinfotech.com>

Project : Solar Cell Based Lux Meter

Version : 16

Date : 19/02/2012

Author : Supoth .K, Wuttichai .H

//ส่วนหัวของโปรแกรม

Company : Naresuan University

Comments:

Electrical Engineering Project II

Project advisor: Niphat Jantharamin, Ph.D.

Chip type : ATMega16

Program type : Application

Clock frequency : 8.000000 MHz

Memory model : Small

Data Stack size : 256

*****/

#include <mega16.h>

#include <stdlib.h>

#include <string.h>

//ประกาศใช้ฟังก์ชันต่างๆ

#include <math.h>

#include <stdio.h>

#include <delay.h>

// Alphanumeric LCD Module functions

#asm

.equ __lcd_port=0x15 ;PORTC

```

#endasm

#include <lcd.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x40

    // Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;

    // Start the AD conversion
    ADCSRA|=0x40;

    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
}

    // Declare your global variables here
char meter[16];
void main(void)
{
    // Declare your local variables here
    float a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n ;           //ประกาศชนิดของตัวแปร
    float o,p,q,r,s,t,u,y ;                       //ประกาศชนิดของตัวแปร

    // Input/Output Ports initialization

    // Port A initialization

    // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In

    // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T

    PORTA=0x00;
    DDRA=0x00;

    // Port C initialization

    // Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out Func1=Out
    Func0=Out

    // State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0

```

```

PORTC=0x00;
DDRC=0xFF;

    // ADC initialization

    // ADC Clock frequency: 125.000 kHz
    // ADC Voltage Reference: AVCC pin
    // ADC Auto Trigger Source: Free Running
ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=0xA6;
SFIOR&=0x1F;

    // LCD module initialization
lcd_init(16);

while (1)
{
    float A = 0.0;
    float B = 0.0;
    unsigned int z;
    for (z=0;z<=6;z++) //ทำการประมวลผล 7 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย
    {
        float v = 0.0;
        float w = 0.0;
        unsigned int x;
        for (x=0;x<=3000;x++) //กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์
            a = read_adc(2); //รับค่าจากอินพุต (PA2)
            delay_ms(0.1)
            b = (a*5)/1023; //แปลงค่าอินพุตเป็นค่าดิจิทัล
            v = v+b; }; //ให้นำค่าที่ได้มาเฉลี่ย
            w = v/x; //จำนวน 3001 ครั้ง

        if (w>=0) { //w คือค่าแรงดันจากเซลล์แสงอาทิตย์

```

```

c = pow(w,2);
d = pow(w,3);           //นำค่าแรงดันที่แปลงเป็นคิวิตอลแล้ว
e = pow(w,4);           //มายกกำลังต่างๆ
f = pow(w,5);
if (w<=1.322)            //กำหนดเงื่อนไขเพื่อประมวลผลตามสมการที่ (3.5)
{
    y = ((773.48*f)-(3216.4*e)+(5570.4*d)-(4592.1*c)+(1877.1*w)-(293.78));
}                        //สมการที่ (3.5)

else if ((w>1.322),(w<=1.505)) {
    //กำหนดเงื่อนไขเพื่อประมวลผลตามสมการที่ (3.6)
    g = (w-1.4469)/0.047211; //g คือค่า z ของสมการที่ (3.6)
    h = pow(g,2);
    i = pow(g,3);           //นำ z มายกกำลังต่างๆ
    j = pow(g,4);
    k = pow(g,5);
    y = ((0.67903*k)+(4.5778*j)+(9.8103*i)+(18.507*h)+(73.674*g)+(285.52));
}                        //สมการที่ (3.6)

else if ((w>1.505),(w<=1.560)) {
    //กำหนดเงื่อนไขเพื่อประมวลผลตามสมการที่ (3.7)
    l = (w-1.536)/0.015393; //l คือค่า z ของสมการที่ (3.7)
    m = pow(l,2);
    n = pow(l,3);           //นำ z มายกกำลังต่างๆ
    o = pow(l,4);
    y = ((2.462*o)+(0.85418*n)-(2.817*m)+(67.181*l)+(548.66));
}                        //สมการที่ (3.7)

else if ((w>1.560),(w<=1.631)) {
    //กำหนดเงื่อนไขเพื่อประมวลผลตามสมการที่ (3.8)

```

```

p = (w-1.5965)/0.022680; //p คือค่า z ของสมการที่ (3.7)
q = pow(p,2);
r = pow(p,3);
s = pow(p,4);           //นำค่า z มายกกำลังต่างๆ
t = pow(p,5);
u = pow(p,5);
y = ((5.5054*u)+(4.2914*t)-(30.003*s)-(7.6066*r)+(49.949*q)+(98.747*p)
      +(818.54)); }      //สมการที่ (3.8)

else {
    y = ((4565.4*w)-(6592.3));
    };           //กำหนดสมการสำหรับความเข้มแสงที่เกิน
                //1000ลักซ์
}

else {
    y = 0; };           //ถ้าค่าแรงดันน้อยกว่าศูนย์ให้คำนวณค่าเท่ากับศูนย์

if (y < 0) {           //ถ้าคำนวณแล้วได้ค่าน้อยกว่าศูนย์ให้มีค่าเท่ากับศูนย์
    y = 0; }

else { y = y; };           //ถ้าคำนวณแล้วได้ค่ามากกว่าศูนย์ ให้มีค่าเท่ากับ
                          //ค่าที่คำนวณ

A = A+y; };
A = A+y; };
B = A/z;                //เฉลี่ยค่าความเข้มแสงที่คำนวณ 7 ครั้ง
                        //B คือค่าความเข้มแสง เพื่อนำไปแสดงค่าบน LCD

lcd_gotoxy(0,0);        //กำหนดให้ใช้ LCD หลักที่ 0 แถวที่ 0 (แถวบน)
lcd_putsf(" Lux Meter 2011"); //แสดง Lux Meter 2011
lcd_gotoxy(0,1);        //กำหนดให้ใช้ LCD หลักที่ 0 แถวที่ 1 (แถวล่าง)
lcd_putsf(" Fluor");     //แสดง Fluor

```

```

lcd_gotoxy(8,1);           //กำหนดให้ใช้ LCD หลักที่ 8 แถวที่ 1 (แถวล่าง)
ftoa(B,0,meter);          //กำหนดให้ค่าความเข้มแสงที่มีทศนิยม 0 ตำแหน่ง
                           //เก็บค่าไว้ที่ตัวแปร meter

strcatf(meter," Lux");     //กำหนดหน่วยให้กับตัวแปร meter (Lux)
lcd_puts(meter);           //แสดงค่าความเข้มแสง
delay_ms(600);            //คงค่าไว้ 600 มิลลิวินาที
};
};

```



ภาคผนวก ข

รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega16

โมดูลแอลซีดีขนาด 16×2 (ABC016002A07-GHY-R) และไอซี 7805



รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega16

Features

- High-performance, Low-power AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
 - 16K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
 - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - 512 Bytes EEPROM
 - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 1K Byte Internal SRAM
 - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V for ATmega16L
 - 4.5 - 5.5V for ATmega16
- Speed Grades
 - 0 - 8 MHz for ATmega16L
 - 0 - 16 MHz for ATmega16
- Power Consumption @ 1 MHz, 3V, and 25°C for ATmega16L
 - Active: 1.1 mA
 - Idle Mode: 0.35 mA
 - Power-down Mode: < 1 µA



8-bit AVR®
Microcontroller
with 16K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega16
ATmega16L

2466N-AVR-10/08



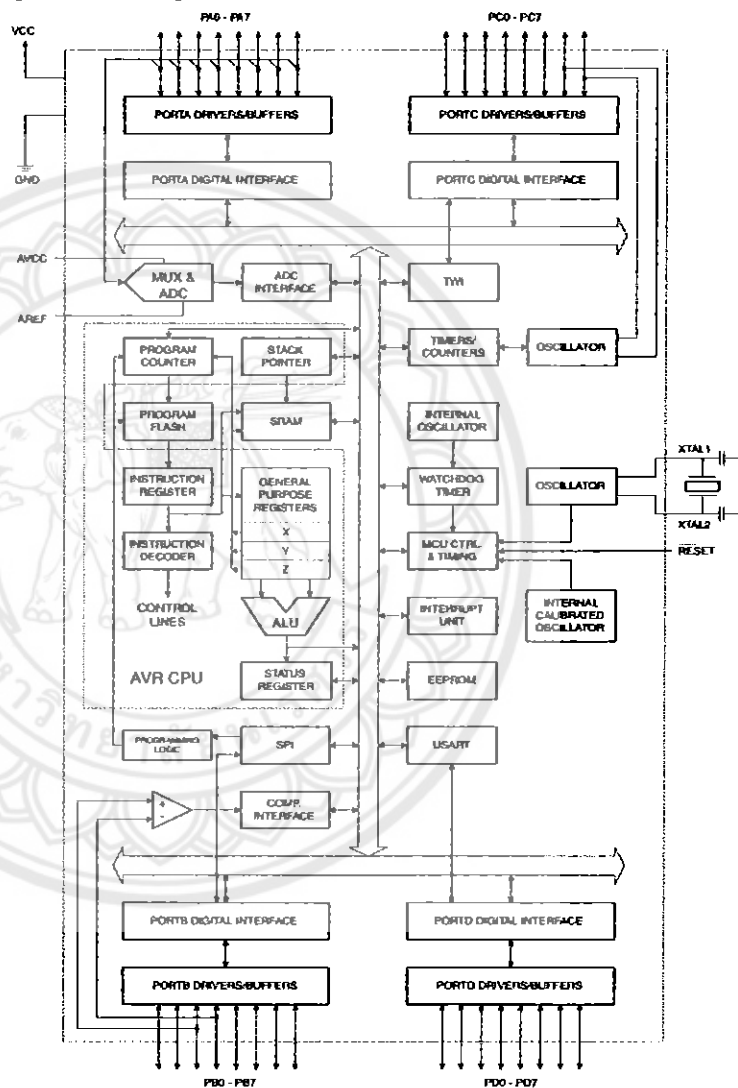
ATmega16(L)

Overview

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

Block Diagram

Figure 2. Block Diagram





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

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

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

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

Pin Descriptions

VCC Digital supply voltage.

GND Ground.

Port A (PA7..PA0) Port A serves as the analog inputs to the A/D Converter.

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

ATmega16(L)

Port B (PB7..PB0)

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

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega16 as listed on page 58.

Port C (PC7..PC0)

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

Port C also serves the functions of the JTAG interface and other special features of the ATmega16 as listed on page 61.

Port D (PD7..PD0)

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

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega16 as listed on page 63.

RESET

Reset Input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 15 on page 38. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

XTAL1

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

XTAL2

Output from the inverting Oscillator amplifier.

AVCC

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

AREF

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

ATmega16(L)

Analog to Digital Converter

Features

- 10-bit Resolution
- 0.5 LSB Integral Non-linearity
- ± 2 LSB Absolute Accuracy
- 13 - 260 μ s Conversion Time
- Up to 15 kSPS at Maximum Resolution
- 8 Multiplexed Single Ended Input Channels
- 7 Differential Input Channels
- 2 Differential Input Channels with Optional Gain of 10x and 200x⁽¹⁾
- Optional Left adjustment for ADC Result Readout
- 0 - V_{CC} ADC Input Voltage Range
- Selectable 2.56V ADC Reference Voltage
- Free Running or Single Conversion Mode
- ADC Start Conversion by Auto Triggering on Interrupt Sources
- Interrupt on ADC Conversion Complete
- Sleep Mode Noise Canceler

Note: 1. The differential input channels are not tested for devices in PDIP Package. This feature is only guaranteed to work for devices in TQFP and QFN/MLF Packages

The ATmega16 features a 10-bit successive approximation ADC. The ADC is connected to an 8-channel Analog Multiplexer which allows 8 single-ended voltage inputs constructed from the pins of Port A. The single-ended voltage inputs refer to 0V (GND).

The device also supports 16 differential voltage input combinations. Two of the differential inputs (ADC1, ADC0 and ADC3, ADC2) are equipped with a programmable gain stage, providing amplification steps of 0 dB (1x), 20 dB (10x), or 46 dB (200x) on the differential input voltage before the A/D conversion. Seven differential analog input channels share a common negative terminal (ADC1), while any other ADC input can be selected as the positive input terminal. If 1x or 10x gain is used, 8-bit resolution can be expected. If 200x gain is used, 7-bit resolution can be expected.

The ADC contains a Sample and Hold circuit which ensures that the input voltage to the ADC is held at a constant level during conversion. A block diagram of the ADC is shown in Figure 98.

The ADC has a separate analog supply voltage pin, AVCC. AVCC must not differ more than ± 0.3 V from V_{CC} . See the paragraph "ADC Noise Canceler" on page 213 on how to connect this pin.

Internal reference voltages of nominally 2.56V or AVCC are provided On-chip. The voltage reference may be externally decoupled at the AREF pin by a capacitor for better noise performance.

[illegible]

The ADC converts an analog input voltage to a 10-bit digital value through successive approximation. The minimum value represents GND and the maximum value represents the voltage on the AREF pin minus 1 LSB. Optionally, AVCC or an internal 2.56V reference voltage may be connected to the AREF pin by writing to the REFSn bits in the ADMUX Register. The internal voltage reference may thus be decoupled by an external capacitor at the AREF pin to improve noise immunity.

If differential channels are selected, the differential gain stage amplifies the voltage difference between the selected input channel pair by the selected gain factor. This

ATmega16(L)

amplified value then becomes the analog input to the ADC. If single ended channels are used, the gain amplifier is bypassed altogether.

The ADC is enabled by setting the ADC Enable bit, ADEN in ADCSRA. Voltage reference and input channel selections will not go into effect until ADEN is set. The ADC does not consume power when ADEN is cleared, so it is recommended to switch off the ADC before entering power saving sleep modes.

The ADC generates a 10-bit result which is presented in the ADC Data Registers, ADCH and ADCL. By default, the result is presented right adjusted, but can optionally be presented left adjusted by setting the ADLAR bit in ADMUX.

If the result is left adjusted and no more than 8-bit precision is required, it is sufficient to read ADCH. Otherwise, ADCL must be read first, then ADCH, to ensure that the content of the Data Registers belongs to the same conversion. Once ADCL is read, ADC access to Data Registers is blocked. This means that if ADCL has been read, and a conversion completes before ADCH is read, neither register is updated and the result from the conversion is lost. When ADCH is read, ADC access to the ADCH and ADCL Registers is re-enabled.

The ADC has its own interrupt which can be triggered when a conversion completes. When ADC access to the Data Registers is prohibited between reading of ADCH and ADCL, the interrupt will trigger even if the result is lost.

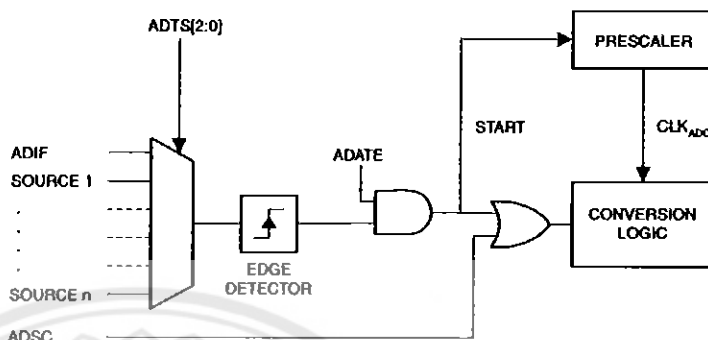
Starting a Conversion

A single conversion is started by writing a logical one to the ADC Start Conversion bit, ADSC. This bit stays high as long as the conversion is in progress and will be cleared by hardware when the conversion is completed. If a different data channel is selected while a conversion is in progress, the ADC will finish the current conversion before performing the channel change.

Alternatively, a conversion can be triggered automatically by various sources. Auto Triggering is enabled by setting the ADC Auto Trigger Enable bit, ADATE in ADCSRA. The trigger source is selected by setting the ADC Trigger Select bits, ADTS in SFIOR (see description of the ADTS bits for a list of the trigger sources). When a positive edge occurs on the selected trigger signal, the ADC prescaler is reset and a conversion is started. This provides a method of starting conversions at fixed intervals. If the trigger signal still is set when the conversion completes, a new conversion will not be started. If another positive edge occurs on the trigger signal during conversion, the edge will be ignored. Note that an Interrupt Flag will be set even if the specific interrupt is disabled or the global interrupt enable bit in SREG is cleared. A conversion can thus be triggered without causing an interrupt. However, the Interrupt Flag must be cleared in order to trigger a new conversion at the next Interrupt event.



Figure 99. ADC Auto Trigger Logic

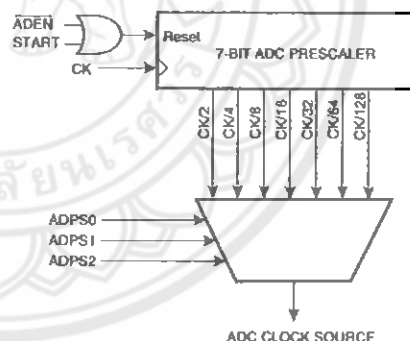


Using the ADC Interrupt Flag as a trigger source makes the ADC start a new conversion as soon as the ongoing conversion has finished. The ADC then operates in Free Running mode, constantly sampling and updating the ADC Data Register. The first conversion must be started by writing a logical one to the ADSC bit in ADCSRA. In this mode the ADC will perform successive conversions independently of whether the ADC Interrupt Flag, ADIF is cleared or not.

If Auto Triggering is enabled, single conversions can be started by writing ADSC in ADCSRA to one. ADSC can also be used to determine if a conversion is in progress. The ADSC bit will be read as one during a conversion, independently of how the conversion was started.

Prescaling and Conversion Timing

Figure 100. ADC Prescaler



By default, the successive approximation circuitry requires an input clock frequency between 50 kHz and 200 kHz to get maximum resolution. If a lower resolution than 10 bits is needed, the input clock frequency to the ADC can be higher than 200 kHz to get a higher sample rate.

The ADC module contains a prescaler, which generates an acceptable ADC clock frequency from any CPU frequency above 100 kHz. The prescaling is set by the ADPS bits in ADCSRA. The prescaler starts counting from the moment the ADC is switched on by

ATmega16(L)

setting the ADEN bit in ADCSRA. The prescaler keeps running for as long as the ADEN bit is set, and is continuously reset when ADEN is low.

When initiating a single ended conversion by setting the ADSC bit in ADCSRA, the conversion starts at the following rising edge of the ADC clock cycle. See "Differential Gain Channels" on page 211 for details on differential conversion timing.

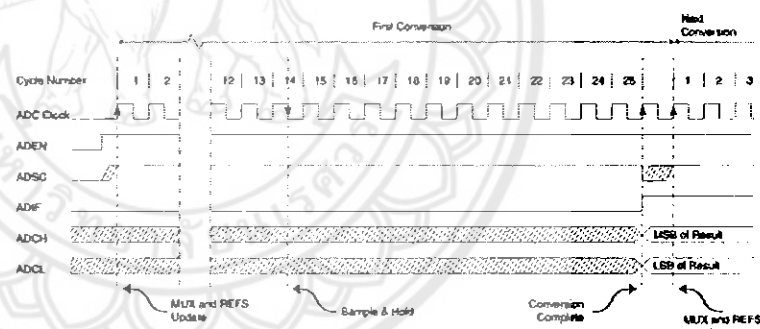
A normal conversion takes 13 ADC clock cycles. The first conversion after the ADC is switched on (ADEN in ADCSRA is set) takes 25 ADC clock cycles in order to initialize the analog circuitry.

The actual sample-and-hold takes place 1.5 ADC clock cycles after the start of a normal conversion and 13.5 ADC clock cycles after the start of a first conversion. When a conversion is complete, the result is written to the ADC Data Registers, and ADIF is set. In single conversion mode, ADSC is cleared simultaneously. The software may then set ADSC again, and a new conversion will be initiated on the first rising ADC clock edge.

When Auto Triggering is used, the prescaler is reset when the trigger event occurs. This assures a fixed delay from the trigger event to the start of conversion. In this mode, the sample-and-hold takes place 2 ADC clock cycles after the rising edge on the trigger source signal. Three additional CPU clock cycles are used for synchronization logic. When using Differential mode, along with Auto triggering from a source other than the ADC Conversion Complete, each conversion will require 25 ADC clocks. This is because the ADC must be disabled and re-enabled after every conversion.

In Free Running mode, a new conversion will be started immediately after the conversion completes, while ADSC remains high. For a summary of conversion times, see Table 81.

Figure 101. ADC Timing Diagram, First Conversion (Single Conversion Mode)



ATmega16(L)

ADC Conversion Result

After the conversion is complete (ADIF is high), the conversion result can be found in the ADC Result Registers (ADCL, ADCH).

For single ended conversion, the result is

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}}$$

where V_{IN} is the voltage on the selected input pin and V_{REF} the selected voltage reference (see Table 83 on page 218 and Table 84 on page 219). 0x000 represents ground, and 0x3FF represents the selected reference voltage minus one LSB.

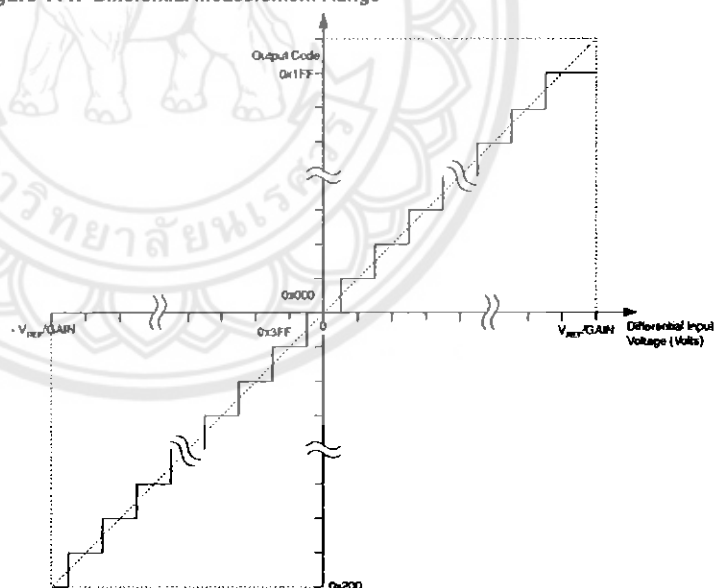
If differential channels are used, the result is

$$ADC = \frac{(V_{POS} - V_{NEG}) \cdot GAIN \cdot 512}{V_{REF}}$$

where V_{POS} is the voltage on the positive input pin, V_{NEG} the voltage on the negative input pin, GAIN the selected gain factor, and V_{REF} the selected voltage reference. The result is presented in two's complement form, from 0x200 (-512d) through 0x1FF (+511d). Note that if the user wants to perform a quick polarity check of the results, it is sufficient to read the MSB of the result (ADC9 in ADCH). If this bit is one, the result is negative, and if this bit is zero, the result is positive. Figure 111 shows the decoding of the differential input range.

Table 82 shows the resulting output codes if the differential input channel pair (ADCn - ADCm) is selected with a gain of GAIN and a reference voltage of V_{REF} .

Figure 111. Differential Measurement Range





- **ADC9:0: ADC Conversion Result**

These bits represent the result from the conversion, as detailed in "ADC Conversion Result" on page 217.

Special FunctionIO Register – SFIOR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	SFIOF
	ADTS2	ADTS1	ADTS0	–	ACME	PUD	PSR2	PSR1D	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- **Bit 7:5 – ADTS2:0: ADC Auto Trigger Source**

If ADATE in ADCSRA is written to one, the value of these bits selects which source will trigger an ADC conversion. If ADATE is cleared, the ADTS2:0 settings will have no effect. A conversion will be triggered by the rising edge of the selected Interrupt Flag. Note that switching from a trigger source that is cleared to a trigger source that is set, will generate a positive edge on the trigger signal. If ADEN in ADCSRA is set, this will start a conversion. Switching to Free Running mode (ADTS[2:0]=0) will not cause a trigger event, even if the ADC Interrupt Flag is set.

Table 88. ADC Auto Trigger Source Selections

ADTS2	ADTS1	ADTS0	Trigger Source
0	0	0	Free Running mode
0	0	1	Analog Comparator
0	1	0	External Interrupt Request 0
0	1	1	Timer/Counter0 Compare Match
1	0	0	Timer/Counter0 Overflow
1	0	1	Timer/Counter1 Compare Match B
1	1	0	Timer/Counter1 Overflow
1	1	1	Timer/Counter1 Capture Event

- **Bit 4 – Res: Reserved Bit**

This bit is reserved for future use. To ensure compatibility with future devices, this bit must be written to zero when SFIOF is written.

รายละเอียดของโมดูลแอลซีดีขนาด 16×2 รุ่น ABC016002A07-GHY-R



深圳秋田视佳实业有限公司
SHENZHEN AV-DISPLAY CO., LTD

1. FUNCTIONS & FEATURES

1.1. Format	: 16x2 characters
1.2. LCD mode	: STN / Positive Transflective Mode / Grey
1.3. Viewing direction	: 6 o'clock
1.4. Driving scheme	: 1/16 Duty , 1/5 Bias
1.5. Power supply voltage (V _{DD})	: 5.0V
1.6. LCD driving voltage (V _{op})	: 4.2V
1.7. Operation temp	: -20~70℃
1.8. Storage temp	: -30~80℃
1.9. Backlight color	: Y-G

2. MECHANICAL SPECIFICATIONS

2.1. Module size	: 80.0mm(L)*36.0mm(W)*14.5(H) max mm
2.2. Viewing area	: 62.2mm(L)*17.9mm(W)
2.3. Character pitch	: 3.55mm(L)*5.95mm(W)
2.4. Character size	: 2.95mm(L)*5.55mm(W)
2.5. Dot pitch	: 0.55mm(L)*0.65mm(W)
2.6. Dot size	: 0.60mm(L)*0.70mm(W)
2.7. Weight	: Approx.

3. BLOCK DIAGRAM

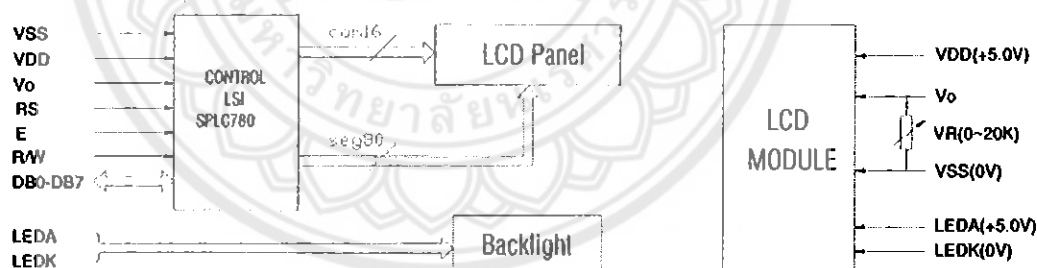


Figure1. Block diagram



Edited by Foxit Reader
Copyright(C) by Foxit Software Company,2005-2007
深圳秋田视佳实业有限公司
SHENZHEN AV-DISPLAY CO., LTD

5. PIN DESCRIPTION

No.	Symbol	Function
+2	VDD	Power supply for Logic(+5V)
2-1	VSS	GND(0V)
3	V0	Power supply for LCD drive
4	RS	Register selection (H: Data register, L: Instruction register)
5	R/W	Read/write selection (H: Read, L: Write)
6	E	Enable signal for LCM
7~14	DB0~DB7	Data Bus line
A	LEDA	Power supply for Backlight(+5V)
K	LEDK	Power supply for Backlight(0V)

6. MAXIMUM ABSOLUTE LIMIT

Maximum Absolute Power Ratings

Characteristic	Symbol	Unit	Value
Power Supply Voltage	V_{DD}	V	-0.3 to +7.0
Operating Voltage	V_{LCD}	V	$V_{DD}-15.0$ to $V_{DD}+0.3$
Input Voltage	V_{IN}	V	-0.3 to $V_{DD}+0.3$

NOTE: Voltage greater than above may damage the circuit.
 $V_{DD} > V_1 > V_2 > V_3 > V_4 > V_5$

Temperature Characteristics

Characteristic	Symbol	Unit	Value
Operating Temperature	T_{OPR}	°C	-30 to +85
Storage Temperature	T_{STG}	°C	-55 to +125

รายละเอียดของไอซี 7805

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR*

www.fairchildsemi.com

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

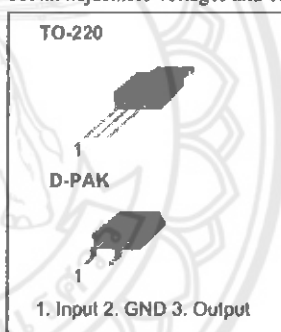
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

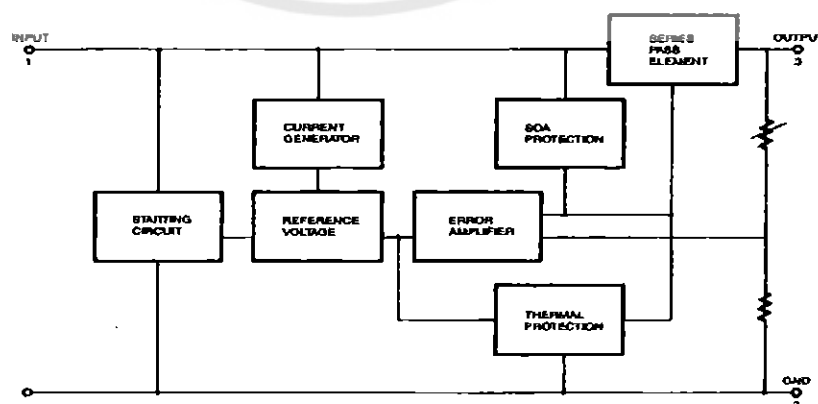
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$)	V_I	35	V
(for $V_O = 24V$)	V_I	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ +125	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)(Refer to test circuit ,0 $^{\circ}C$ < T_J < 125 $^{\circ}C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.33\mu F$, $C_O = 0.1\mu F$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	VO	TJ =+25 °C	4.8	5.0	5.2	V	
		5.0mA ≤ IO ≤ 1.0A, PO ≤ 15W VI = 7V to 20V	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	TJ=+25 °C	VO = 7V to 25V	-	4.0	100	mV
			VI = 8V to 12V	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	TJ=+25 °C	IO = 5.0mA to 1.5A	-	9	100	mV
			IO =250mA to 750mA	-	4	50	
Quiescent Current	IQ	TJ =+25 °C	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔIQ	IO = 5mA to 1.0A	-	0.03	0.5	mA	
		VI= 7V to 25V	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	ΔVO/ΔT	IO= 5mA	-	-0.8	-	mV/°C	
Output Noise Voltage	VN	f = 10Hz to 100KHz, TA=+25 °C	-	42	-	μV/VO	
Ripple Rejection	RR	f = 120Hz VO = 8V to 18V	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	VDrop	IO = 1A, TJ =+25 °C	-	2	-	V	
Output Resistance	ro	f = 1KHz	-	15	-	mΩ	
Short Circuit Current	ISC	VI = 35V, TA =+25 °C	-	230	-	mA	
Peak Current	IPK	TJ =+25 °C	-	2.2	-	A	

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

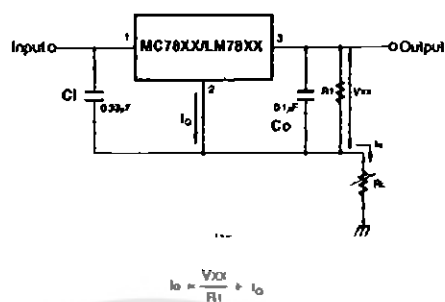
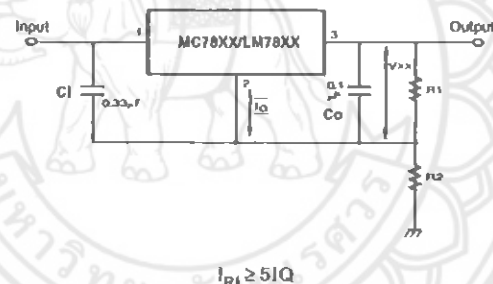


Figure 9. Constant Current Regulator

Notes:

- (1) To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX." A common ground is required between the input and the Output voltage. The Input voltage must remain typically 2.0V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.
- (2) C1 is required if regulator is located an appreciable distance from power Supply filter.
- (3) C0 improves stability and transient response.



$$V_O = V_{XX}(1 + R_2/R_1) + I_O R_2$$

Figure 10. Circuit for Increasing Output Voltage

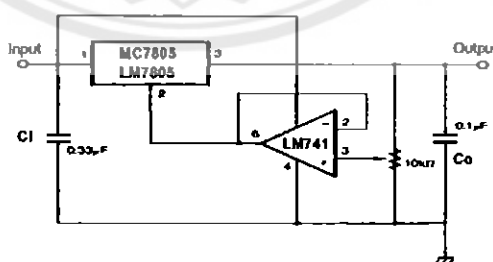


Figure 11. Adjustable Output Regulator (7 to 30V)

