



รายงานการวิจัย

ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงาน
ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
The Testing of Solar Energy suitability in Electrical generation
from Solar Cell Panels

เสนอ สะอาด	Saner Sa-ad
ดรุณี ชายทอง	Darunee Chaythong
รุ่งลาวัลย์ ชุสวัสดี	Runglawan Chusawad

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2556

ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า จากเซลล์แสงอาทิตย์

เสนอ สะอาด* ดร.ณิ ชัยทอง และรุ่งลาวัลย์ ชูสวัสดิ์

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบหาความเหมาะสมในการเลือกใช้เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแบบ เพื่อนำไปใช้งานในแต่ละพื้นที่ให้มีความเหมาะสมชุดทดสอบฯ ประกอบด้วยเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แบบ คือ (1) แบบติดตั้งคงที่ (2) แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และ (3) แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน ตามลำดับ วงจรควบคุมถูกออกแบบให้ควบคุมการหมุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ โดยอาศัยเทคนิคการตรวจวัดแสงจากแอลดีอาร์ร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งการให้มอเตอร์หมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำมุมที่เหมาะสมตลอดเวลา ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์สูงสุด โดยค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแบบ จะถูกปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าและถูกจัดเก็บลงในหน่วยความจำชนิดอีอีพรอมในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก่อนที่ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ถูกจัดเก็บนั้น จะถูกดึงไปยังไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป

คำสำคัญ : เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า ดาต้าล็อกเกอร์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ การหมุนติดตามแสงอาทิตย์

* คณะคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา

The Testing of Solar Energy Suitability in Electrical Power Generation from Solar cell Panels

Saner Sa-ad, Darunee Chaythong and Runglawan Chusawad

Abstract

The purpose of this research was to study and analysis ways to store solar energy by using the testing of solar energy suitability in electrical generation form solar cell panels. Moreover, the research aimed to consider the appropriated choices for using electrical generation form solar cell panels in different areas. The testing kit consisted of 3 kinds of electrical generation form solar cell panels: (1) stable electrical generation, (2) turning around to track the sunlight of single axial generation and (3) turning around to track the sunlight of 2 axial generations, respectively. The turning around to track the sunlight of single axial electrical generation was modeled by using LDR and electronic circuit. The circuit controlled the motor to move and turn around to track the sunlight all the time, and then the solar cell panels could fulfill the energy maximum. The electronic circuit and the microcontroller set could evaluate the electric energy value. After that the data would be kept in EEPROM, in the data logger form, then the data would send to a computer and last process was the data would be analyzed and compared by using the computer.

Keyword: Electrical Power Generation, Data logger, Solar cell, Sun tracking

¹Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Amphur Muang, Songkhla.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยความช่วยเหลือของนักศึกษาชั้นปีที่ 3 และชั้นปีที่ 4 ที่คอยช่วยเหลือ ช่วยงานในการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จัดทำแผ่นวงจรพิมพ์ คอยเก็บข้อมูล การทดสอบการทำงานของวงจร นอกจากนี้ยังได้รับคำแนะนำจากเพื่อนคณาจารย์ในหลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทุกท่านและนักศึกษาทุกคน ขอขอบคุณพ่อ แม่ ครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ให้ความรู้ข้าพเจ้าตั้งแต่วัยเยาว์ จนถึงปัจจุบัน ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2556

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีมาจากงานวิจัยฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมุติฐานและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	2
1.4 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่	4
2.1.2 เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์แกนเดียว	5
2.1.3 เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์สองแกน	8
2.2 ทฤษฎีของดวงอาทิตย์	11
2.2.1 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	11
2.2.2 พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก	13
2.2.3 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์	14
2.2.4 ปริมาณเชิงความเข้มและชั่วโมงของแสงอาทิตย์	15
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์	15
2.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	16
2.3.2 ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่มีผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์	18
2.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ	18
2.3.4 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์	18
2.3.5 อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์และระบบโฟโตโวลตาอิก	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแอลดีอาร์	21
2.4.1 โครงสร้างของแอลดีอาร์	22
2.4.2 สมบัติทางแสง	22
2.4.3 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า	23
2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	24
2.5.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	24
2.5.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง	25
2.6 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F877	26
2.6.1 คุณสมบัติของ PIC 16F877	26
2.6.2 สัญญาณนาฬิกา	26
2.6.3 โครงสร้างภายในของ PIC 16F877	28
2.7 หน่วยความจำหลัก	28
2.7.1 หน่วยความจำหลักแบบแก้ไขได้	28
2.7.2 หน่วยความจำหลักแบบอ่านได้อย่างเดียว	29
2.7.3 โครงสร้างภายในของ PIC 16F877	28
2.8 การจัดเก็บข้อมูลแบบดาต้าล็อกเกอร์	32
2.8.1 ฟังก์ชันของดาต้าล็อกเกอร์	33
2.8.2 การเก็บข้อมูลดิจิทัล	34
2.8.3 รูปแบบในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับดาต้าล็อกเกอร์	34
2.8.4 การนำเสนอข้อมูล	34
2.8.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I ² C	35
2.9 โปรแกรมมิชวลเบสิก	38
2.9.1 ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยมิชวลเบสิก	38
2.9.2 การใช้เครื่องมือต่าง ๆ ของโปรแกรมมิชวลเบสิก	39
2.10 บทสรุป	43
บทที่ 3 การออกแบบชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	44
3.1 การออกแบบโครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ	45
3.1.1 โครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่	45
3.1.2 โครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.3 โครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน	47
3.2 ชุดควบคุมการหมุนติดตามแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	48
3.2.1 วงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว	48
3.2.2 วงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองแกน	51
3.3 ชุดควบคุมการทำงานของระบบ	53
3.3.1 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	54
3.3.2 ชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง	55
3.3.3 ชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า	55
3.3.4 ชุดไอซีฐานเวลา	58
3.3.5 หน่วยความจำอีอีพรอม	59
3.3.6 ชุดส่งข้อมูลผ่านการสื่อสาร RS232	60
3.3.7 ชุดแสดงผลข้อมูล	61
3.4 การออกแบบการเขียนโปรแกรม	62
3.4.1 ชุดรับข้อมูลจากพอร์ตการสื่อสารอนุกรม RS232 เพื่อแสดงผล	64
3.5 การจัดสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการทดสอบการทำงาน	65
3.5.1 การจัดทำโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบติดตั้งคงที่	65
3.5.2 การจัดทำโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว	66
3.5.3 การจัดทำโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดสองแกน	69
3.5.4 การทดสอบการทำงานของชุดควบคุมการทำงานของระบบในโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่นำเสนอ	71
3.6 บทสรุป	74
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	75
4.1 กล่าวนำ	75
4.2 ผลการทดสอบชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหมุนตามแสงอาทิตย์	76
4.2.1 ชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว	76

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 ชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน	78
4.3 ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	80
4.4 ผลการจัดเก็บข้อมูลตาดำล็อกเกอร์และการรับส่งข้อมูลจากพอร์ตการสื่อสารอนุกรม	82
4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งาน ของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	85
4.5.1 การวิเคราะห์และวิจารณ์ผลที่ได้จากการทดลอง	94
4.6 บทสรุป	95
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	96
บรรณานุกรม	98
ภาคผนวก	100
ภาคผนวก ก. ข้อมูลรายละเอียดอุปกรณ์ (Data sheet)	101
ภาคผนวก ข. ซอร์สโค้ดโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ	113
ภาคผนวก ค. ซอร์สโค้ดของโปรแกรมวิซวลเบสิก	133
ภาคผนวก ง. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	141



สารบัญญัตินี้

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงอาทิตย์และสเปกตรัมของแสงอาทิตย์	15
3.1 ตัวอย่างรูปแบบการแสดงผลข้อมูลการจัดเก็บค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ลงในหน่วยความจำ	59
4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่ต่อโหลด (V_{NL}) แรงดันไฟฟ้าขณะที่ต่อโหลด (V_L) กระแสไฟฟ้า (I) และค่ากำลังไฟฟ้า (P_L) เฉลี่ยที่ได้จากชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของ เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ แบบติดตั้งคงที่	86
4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่ต่อโหลด (V_{NL}) แรงดันไฟฟ้าขณะที่ต่อโหลด (V_L) กระแสไฟฟ้า (I) และค่ากำลังไฟฟ้า (P_L) เฉลี่ยที่ได้จากชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของ เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ ชนิดแกนเดียว	87
4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่ต่อโหลด (V_{NL}) แรงดันไฟฟ้าขณะที่ต่อโหลด (V_L) กระแสไฟฟ้า (I) และค่ากำลังไฟฟ้า (P_L) เฉลี่ยที่ได้จากชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของ เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ ชนิดสองแกน	88
4.4 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบที่นำเสนอ ที่สามารถจัดเก็บ ได้ในแต่ละวัน ตั้งแต่เวลา 07.30 น. - 17.30 น. (ข้อมูลเฉลี่ยตลอด 8 สัปดาห์)	93

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาถาวร	4
2.2 ชุดตัวตรวจรู้เปรียบเทียบความเข้มของแสงดวงอาทิตย์	6
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์	6
2.4 บล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของเครื่องเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์	7
2.5 รูปแบบการติดตั้งตัวตรวจรู้ของมอเตอร์ในการติดตามดวงอาทิตย์	9
2.6 การติดตั้งตัวตรวจรู้ให้กับมอเตอร์แกน X	9
2.7 การติดตั้งตัวตรวจรู้ให้กับมอเตอร์แกน Y	10
2.8 ทางโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์แสดงตำแหน่งอิควินอกซ์และโซลส์ติซ	11
2.9 เส้นทางเดินสุริยะวิถีและเส้นศูนย์สูตรฟ้า	11
2.10 การโคจรของดวงอาทิตย์เทียบกับผู้สังเกตที่อิควิเตอร์	12
2.11 การกระจายของรังสีจากดวงอาทิตย์	13
2.12 รูปร่างของสเปกตรัมของแสงอาทิตย์แบบ AM0, AM1 เทียบกับการแผ่รังสีของวัตถุดำที่อุณหภูมิ 600K	14
2.13 วงจรพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	16
2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า	16
2.15 ความเข้มแสงกับเส้นโค้งของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า	18
2.16 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ	19
2.17 ลักษณะของแอลดีอาร์	21
2.18 โครงสร้างของแอลดีอาร์	22
2.19 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของแอลดีอาร์ทั้ง 2 แบบเมื่อเทียบกับความไวของตาคน	23
2.20 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับแอลดีอาร์	24
2.21 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง	25
2.22 การจัดหาและคุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	27
2.23 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	27
2.24 ไดอะแกรมแบ่งชนิดของรอม	29
2.25 ตัวอย่างของหน่วยความจำรอม	29
2.26 ตัวอย่างของอีพรอม	31
2.27 ลักษณะตัวถังของอีพรอม	31
2.28 ลักษณะการทำงานของระบบดาต้าล็อกเกอร์	32
2.29 ฟังก์ชันของดาต้าล็อกเกอร์	32
2.30 รูปแบบการใช้งานดาต้าล็อกเกอร์กับอุปกรณ์อื่น	33
2.31 ตัวอย่างการนำเสนอข้อมูลที่ได้จากดาต้าล็อกเกอร์	34
2.32 ลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบบัส I ² C	35

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.33 รูปแบบการเขียนอ่านข้อมูลแบบบัส I ² C	38
2.34 ตัวอย่างจากการสร้างโปรเจคใหม่ขึ้นมาใหม่	39
2.35 แถบเมนู	39
2.36 แถบเครื่องมือมาตรฐาน	40
2.37 แถบคุณสมบัติ	40
2.38 ส่วนแสดงชื่อรายการ	40
2.39 กล่องเครื่องมือ	41
2.40 เครื่องมือภายในกล่องเครื่องมือ	42
2.41 การเขียนโค้ด	42
2.42 หน้าจอสำหรับเขียนโค้ด	43
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของ เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ	44
3.2 โครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งคงที่	45
3.3 โครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว	46
3.4 มุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	47
3.5 โครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน	47
3.6 องค์ประกอบของชุดควบคุมการหมุนติดตามแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	48
3.7 วงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว	49
3.8 การตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้แอลดีอาร์จำนวน 2 ตัว	50
3.9 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหมุนตามดวงอาทิตย์และตำแหน่งการติดตั้ง แอลดีอาร์และลิมิตสวิตช์	51
3.10 ตำแหน่งการติดตั้งแอลดีอาร์ บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์	51
3.11 วงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองแกน	52
3.12 องค์ประกอบของชุดควบคุมการทำงานของระบบของชุดทดสอบหาความเหมาะสม ในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	53
3.13 วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	54
3.14 บอร์ดวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	54
3.15 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์	55
3.16 วงจรชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้า	56
3.17 วงจรชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้า	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 ชุดบอร์ดวงจรชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ลงแผ่นลายวงจรพิมพ์	57
3.19 ชุดบอร์ดวงจรชุดวัดกระแสไฟฟ้าที่ลงแผ่นลายวงจรพิมพ์	58
3.20 วงจรชุดไอซีฐานเวลา	58
3.21 บอร์ดวงจรชุดไอซีฐานเวลา	58
3.22 วงจรชุดเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอม	59
3.23 วงจรชุดส่งข้อมูลผ่านการสื่อสาร RS232	60
3.24 บอร์ดวงจรชุดเก็บข้อมูลและส่งข้อมูล	60
3.25 พอร์ตแปลงจากการสื่อสารอนุกรมเป็นพอร์ตยูเอสบี	61
3.26 วงจรชุดแสดงผลข้อมูล	61
3.27 ชุดแสดงผลขนาดอักษร 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด (16x2)	62
3.28 แผนผังการทำงานของซอฟต์แวร์	63
3.29 การสร้างฟอร์มสำหรับการติดต่อ	64
3.30 ส่วนประกอบการแสดงผลของโปรแกรมเอ็กเซล	64
3.31 โครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบติดตั้งคงที่ที่ได้จัดสร้างขึ้น	65
3.32 การติดตั้งกล่องชุดควบคุมการทำงานของระบบในเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ แบบติดตั้งคงที่	66
3.33 โครงสร้างของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว	66
3.34 ตำแหน่งการติดตั้งมอเตอร์ และเฟืองทดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว	67
3.35 ตำแหน่งการติดตั้งลิมิตสวิตช์ ทั้งในด้านทิศตะวันออกและตะวันตก	67
3.36 ตำแหน่งการติดตั้งแอลดีอาร์บนโครงสร้างของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบ	68
3.37 การติดตั้งกล่องวงจรชุดควบคุมมอเตอร์ในโครงสร้างของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ	68
3.38 การติดตั้งกล่องชุดควบคุมการเก็บประจุไฟฟ้าและเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ภายในเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว	69
3.39 โครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกนที่ได้จัดสร้างขึ้น	70
3.40 การติดตั้งกล่องวงจรชุดควบคุมมอเตอร์ของโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสม ในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน	70
3.41 การติดตั้งกล่องชุดควบคุมการทำงานของระบบในโครงสร้างของชุดทดสอบหา ความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน	71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.42 การทดสอบการเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแกนเดียวที่นำเสนอ	72
3.43 การทดสอบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีความแตกต่างกัน	73
3.44 การต่อโหลดเข้ากับเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ	73
4.1 ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบที่ได้นำเสนอ	76
4.2 การทดสอบชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว	77
4.3 การทดสอบชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน	78
4.4 การทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	79
4.5 การทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่	80
4.6 การทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว	81
4.7 การทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน	82
4.8 ผลการจัดเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมและการแสดงผลผ่านจอแอลซีดี	82
4.9 การแสดงข้อมูลที่บันทึกได้ในโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล	82
4.10 การเลือกคอมพอร์ตเพื่อติดต่อสื่อสารอนุกรมผ่านพอร์ต RS232	84
4.11 ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ส่งผ่านจากไมโครคอนโทรลเลอร์มายังคอมพิวเตอร์ที่ถูกจัดเก็บและแสดงผลผ่านโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล	84
4.12 การทดสอบการเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้า ณ บริเวณลานหน้าอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา	85
4.13 ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยขณะที่ไม่ต่อโหลด ของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน	89
4.14 ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยขณะที่ต่อโหลด ของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน	90
4.15 ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเฉลี่ยของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน	90

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเอาต์พุตของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งาน ของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน	91
4.17 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละวันของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งาน ของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ	93



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แหล่งพลังงานที่สำคัญของโลกส่วนใหญ่ได้มาจากฟอสซิล ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซ และ ถ่านหิน เมื่อมีการเติบโต ทางเทคโนโลยี และ ทางเศรษฐกิจ จึงทำให้การบริโภคพลังงานเป็นไปอย่างมหาศาล ซึ่งคาดว่า แหล่งพลังงานของโลกที่ได้มาจากฟอสซิลดังกล่าว จะมีสำรองให้ใช้ได้อีกไม่เกิน 50 ปี [1] กระบวนการผลิตและใช้พลังงานจากฟอสซิลนั้น ล้วนก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมติดตามมาอย่าง มากมาย เช่น มลพิษทางอากาศ ฝนกรดและสภาวะเรือนกระจก เป็นต้น ซึ่งมีผลกระทบต่อทั้งระบบนิเวศน์ และ ความเป็นอยู่ของมนุษย์ ส่งผลให้มีการศึกษาและส่งเสริมให้มีการนำพลังงานในรูปแบบอื่นมาใช้ ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล และ การแปรรูปจากมูลฝอย เป็นต้น ความต้องการใช้พลังงานในประเทศเพิ่มสูงขึ้น ในแต่ละปีนั้นรัฐบาลจะต้องใช้งบประมาณหลายหมื่นล้านบาทเพื่อจัดหาเชื้อเพลิงให้เพียงพอต่อการผลิตพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พลังงานไฟฟ้า แต่ในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น ต้องอาศัยความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ [1] ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่าง ๆ ตามมามากมาย เช่น โรงผลิตไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ทำให้เกิดภาวะฝนกรด หมอกควันพิษ เป็นอันตรายต่อสุขภาพ หรือการผลิตไฟฟ้าโดยพลังน้ำจากเขื่อน อย่างไรก็ตามในการสร้างเขื่อนนั้นเป็นการทำลายระบบนิเวศน์ทางธรรมชาติ ถึงแม้ว่าเป็นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดก็ตาม

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรของโลก ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าประเทศในแถบอื่น ๆ เช่น แถบยุโรป แถบอเมริกา [2] และยังมีแสงอาทิตย์อยู่ตลอดทั้งปี ซึ่งสามารถนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างจริงจัง จึงจะช่วยลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงได้เป็นจำนวนมากในแต่ละปี ปัจจุบันจึงได้มีการคิดค้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ขึ้น โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ นั้นก็มีให้เห็นหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว หรือแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน ทั้งกรณีที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ [3] - [9] อย่างไรก็ตามงานวิจัยเหล่านี้ ยังขาดการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบเพื่อนำมาหาความเหมาะสมในการเลือกใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ บางพื้นที่อาจเหมาะสมกับแบบติดตั้งคงที่ แต่บางพื้นที่เหมาะสมกับแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบคือ แบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า และหาความเหมาะสมในการนำมาใช้งานของแต่ละแบบเมื่อเทียบกับต้นทุนการผลิต กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปกับระบบ โดย

ออกแบบวิธีการจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์ (Data logger) ทั้งค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า เพื่อนำมาหาค่ากำลังไฟฟ้าของระบบ ซึ่งจะสะดวกในการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้งานตามความต้องการต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยแบบต่างๆ ทั้ง 3 แบบ คือ แบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน เพื่อให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ต่างๆ เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย เพื่อหาความเหมาะสมในการเลือกใช้งานเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้มีความเหมาะสมในพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน

1.3 สมมติฐานและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

ปัจจุบันโลกมีการเติบโตทั้งทางเศรษฐกิจและเทคโนโลยี กระแสโลกาภิวัตน์ส่งผลให้เกิดความเจริญทางด้านต่างๆ ที่เป็นไปอย่างรวดเร็วฉับไว ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบทำให้วิถีชีวิตของคนไทยเปลี่ยนไปด้วย เช่น การบริโภคนิยม วัตถุนิยม วัฒนธรรมตะวันตก เป็นต้น จึงทำให้มีการบริโภคพลังงานเป็นไปอย่างมหาศาล พลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานอย่างหนึ่งที่ไม่มีการสิ้นเปลือง ดังนั้นการนำพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีความจำเป็นเนื่องจากเป็นพลังงานหมุนเวียนและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ การพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปอย่างรวดเร็วและถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด มีต้นทุนที่ต่ำ จึงมีความจำเป็น ดังนั้นการเลือกใช้งานชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ ให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่จึงมีความจำเป็น

1.4 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ถูกออกแบบใน 3 ลักษณะ คือ แบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน โดยชุดควบคุมการหมุนตามดวงอาทิตย์ถูกออกแบบให้มีความง่ายในการใช้งาน และสูญเสียกำลังงานต่ำ เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ต่างๆ ทำให้สามารถเลือกใช้งานชุดผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสม

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยออกแบบให้มีการทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 3 แบบ คือ แบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน โดยชุดควบคุมการหมุนตามดวงอาทิตย์ถูกออกแบบโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับแอลดีอาร์ วงจรที่นำเสนอมีความง่ายในการใช้งาน การซ่อมบำรุง และสูญเสียกำลังงานต่ำ ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์

แสงอาทิตย์ที่นำเสนอถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพ โดยกำหนดสิ่งแวดล้อมต่างให้มีลักษณะเช่นเดียวกัน มีการเก็บข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์ แล้วนำผลที่ได้มาแสดงผลด้วยกราฟ

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ ทฤษฎีที่ใช้ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยและบทความวิชาการที่เกี่ยวข้อง หลักการติดตามดวงอาทิตย์ และทฤษฎีต่างที่ใช้ในการออกแบบวงจร

บทที่ 3 กล่าวถึงการชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การออกแบบการติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอทั้ง แบบแกนเดี่ยวและแบบสองแกน ตลอดจนการออกแบบดาต้าล็อกเกอร์

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ (แบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยว และแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน)

2. สามารถออกแบบการจัดเก็บข้อมูลการจัดเก็บพลังงานในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

3. สามารถนำข้อมูลปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้ มาวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมในการเลือกใช้เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีความจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการหมุนของดวงอาทิตย์ หลักการติดตามดวงอาทิตย์ การจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า การนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย 9 หัวข้อดังต่อไปนี้

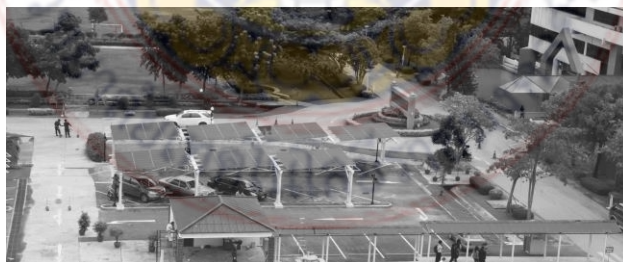
- 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2.2 ทฤษฎีของดวงอาทิตย์ (Sun Theory)
- 2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells)
- 2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแอลดีอาร์ (Light Dependent Resistor, LDR)
- 2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)
- 2.6 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ PIC16F877A
- 2.7 หน่วยความจำหลัก (Main Memory)
- 2.8 การจัดเก็บข้อมูลแบบดาต้าล็อกเกอร์ (Data Logger)
- 2.9 โปรแกรมวิซวลเบสิก (Visual Basic Program)

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงโครงงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อย่อย ดังนี้

2.1.1 เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่

1) หลังคาผลิตไฟฟ้าได้ของสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธรมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (SIIT) [10] โดย รศ.ดร.ชาลี เจริญลาภนพรัตน์ อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศคอมพิวเตอร์ และการสื่อสาร ให้สัมภาษณ์ในประเด็นที่น่าสนใจดังนี้



รูปที่ 2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาลานจอดรถ [10]

เนื่องจากหลังคาลานจอดรถมีพื้นที่กว้างขวางสามารถวางได้จำนวนมาก และเป็นที่ยอมรับของคนทั่วไป ซึ่งเดิมทีลานจอดรถมีหลังคาตามปกติแต่ได้มีการปรับปรุงเพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของสถาบัน

เทคโนโลยีนานาชาติสิรินธรได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท แปซิฟิกไพพ์ จำกัด (มหาชน) (Pacific Pipe Public Company Limited) ให้ความอนุเคราะห์เหล็กgrupพรรณที่ใช้ทั้งหมดของโครงการ บริษัท บางกอกโซลาร์จำกัด (Bangkok Solar Co. Ltd.) ให้ความอนุเคราะห์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 544 แผง มูลค่า 1,500,000 บาท

โดยสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธรรับผิดชอบค่าติดตั้งโครงเหล็กgrupพรรณ ค่าติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และค่าเครื่องเพาเวอร์อินเวอร์เตอร์ (เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรง แต่ไฟฟ้าที่ใช้ในครัวเรือนทั่วไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จึงต้องมีการแปลงไฟโดยเครื่อง เพาเวอร์อินเวอร์เตอร์) มูลค่า 1,600,000 บาท

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 544 แผง มีกำลังผลิตประมาณ 24,000 วัตต์ (1 ชั่วโมงผลิตไฟฟ้าได้ 24 หน่วย) หากเปรียบเทียบแล้วจะเท่ากับเปิดเครื่องปรับอากาศในห้องเล็ก ๆ เช่น ห้องพักอาจารย์ได้ 24 ห้อง ช่วยให้สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ปีละประมาณ 120,000 บาท โครงการเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีมูลค่ากว่า 3,000,000 บาท อาจจะใช้เวลาถึง 20 ปีจึงจะได้เงินที่ลงทุนไปทั้งหมดคืน ซึ่งอาจจะคุ้มไม่มากนักในด้านธุรกิจ แต่ถือเป็นการสร้างความตระหนักให้คนทั่วไปเห็นถึงคุณค่าของพลังงาน แม้ว่ากรณีที่ครัวเรือนติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้เองแทนการซื้อไฟจากการไฟฟ้าฯ จะเป็นสิ่งที่ไม่คุ้มค่านัก แต่รัฐบาลก็ได้ส่งเสริมให้เกิดพลังงานทดแทนโดยหากภาคเอกชนสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานอื่น อาทิ พลังงานลม พลังงานชีวมวล หรือแม้กระทั่งการจากผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาขายให้กับ การไฟฟ้าก็จะถูกรับซื้อในราคาที่สูง โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ หากทำเป็นฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์ในเนื้อที่ขนาด 30-40 ไร่ อาจจะใช้เวลาเพียง 7-8 ปี ที่จะเกิดความคุ้มทุน

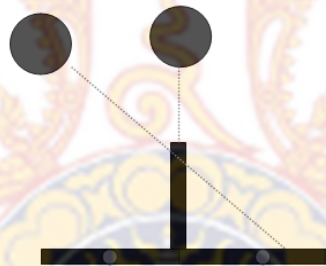
2.1.2 เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์แกนเดียว

1) ระบบควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยนายสุวัฒน์ แต้มเต็ม และคณะ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ปีการศึกษา 2552 [11] จะกล่าวถึงการควบคุมเซลล์แสงอาทิตย์ให้ติดตามดวงอาทิตย์ เพื่อให้สามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการควบคุมให้แผงรับแสงอยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลาด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งดวงอาทิตย์และควบคุมให้แผงอยู่ตำแหน่งที่เหมาะสมในระหว่างทิศตะวันออกและทิศตะวันตก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ กำลังงานและระยะเวลาในการจ่ายโหลดมากขึ้น

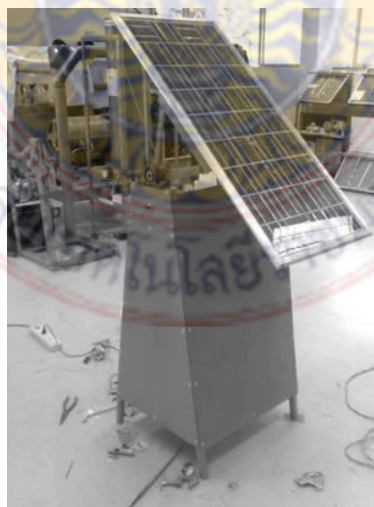
เป็นการนำแอลดีอาร์เป็นตัวตรวจรู้ โดยการจัดวางแอลดีอาร์ ทั้งสิ้นจำนวน 2 ตัววางในแนวทิศตะวันออก - ตะวันตก มีฉากกั้นแอลดีอาร์ทั้งสองในช่วงเวลากลางวัน (Middle Day) แสงของดวงอาทิตย์ในแนวเส้นปกติอยู่ตรงกึ่งกลางของฉากกั้น ผลจะทำให้ตัวตรวจจับ 2 ตัว สามารถรับความเข้มของแสงในปริมาณที่เท่ากัน และเมื่อดวงอาทิตย์เกิดการเคลื่อนที่ ตัวตรวจจับแสงตัวหนึ่ง จะได้รับความเข้มแสง ส่วนตัวตรวจจับที่เหลือจะเกิดเงาที่เกิดจากการบดบังของฉากกั้น ผลทำให้ได้รับความเข้มแสงน้อยลง โดยตัวที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์จะมีแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมากกว่า ส่งผลให้เครื่องควบคุมทำการชั้พื้นฐานของตัวตรวจรู้ (Sensor) ที่ติดตั้งอยู่บนแกนเดียวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาดวงอาทิตย์ จนกว่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของแอลดีอาร์ทั้งสองตัวจะมีค่า

แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเท่ากันจึงหยุด และทำเช่นเดียวกันนี้จนกว่าดวงอาทิตย์จะลับขอบฟ้า เมื่อแอลดีอาร์ไม่ได้รับแสงของดวงอาทิตย์นานเกินกว่า 5 ชั่วโมง ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนกลับนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มารับแสงของดวงอาทิตย์ในตอนเช้า

ในการทดสอบระบบควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบติดตามดวงอาทิตย์ (Solar Cells Tracking Control System) พบว่าสามารถควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เคลื่อนที่ตามการโคจรของดวงอาทิตย์ได้ และสามารถเก็บพลังงานได้เพิ่มขึ้นมากกว่าแบบอยู่กับที่ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์จริง ในช่วงแรงดันไฟฟ้าต่ำ ๆ คือแรงดันไฟฟ้าที่ประมาณ 0 – 100 โวลต์ เป็นช่วงที่วงจรไฟเลี้ยงของวงจรยังไม่สมบูรณ์ ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยังไม่เริ่มทำงาน ทำให้ตอนเริ่มสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระดับแรงดันไฟฟ้าสูงเกินไป และเมื่อวงจรไฟเลี้ยงของวงจรสมบูรณ์แล้วและไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าให้ระดับแรงดันไฟฟ้ามาอยู่ที่ค่าที่ตั้งไว้อย่างรวดเร็วที่สุด ความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์มีความเร็วและความละเอียดน้อยเกินไป ทำให้มุมที่จุดชนวนเกิดให้กับเอสซีอาร์ยังเป็นมุมที่มีความละเอียดน้อยทำให้การควบคุมทำได้ยาก และทำให้แรงดันไฟฟ้าเข้าสู่จุดที่ตั้งไว้ช้าจึงทำให้การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ายังไม่สมบูรณ์ที่สุดแต่ก็สามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าให้เข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ได้



รูปที่ 2.2 ชุดตัวตรวจรู้เปรียบเทียบความเข้มของแสงดวงอาทิตย์

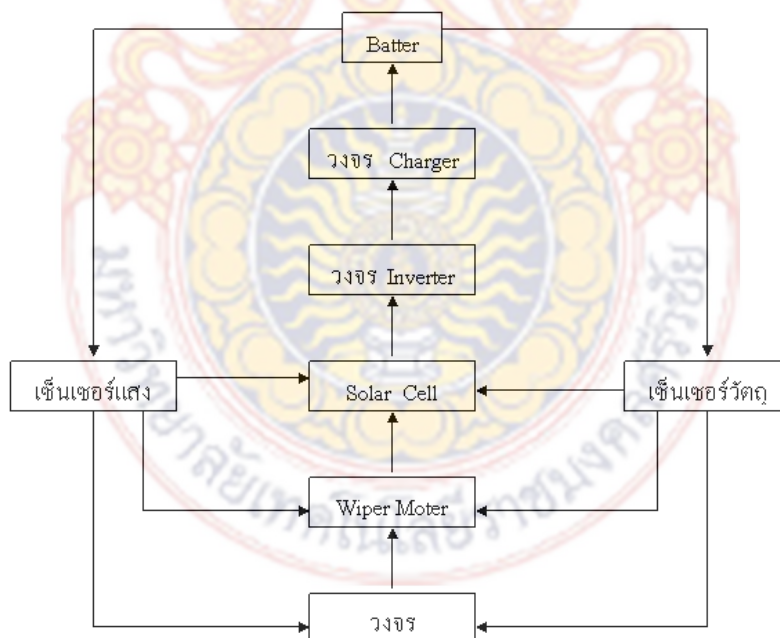


รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ [12]

2) เซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ (Solar Cell Movable) โดย นายพรสฐา คงบัว และคณะ สาขาปิโตรเลียม วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ [12]

เครื่องเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ วิจัยพัฒนาสร้างขึ้นมาจากมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับนำพลังงานแสงอาทิตย์มาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อมาใช้ภายในครัวเรือนและลดภาวะโลกร้อน โดยมีองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน คือ โครงสร้างซึ่งจะมีโครงหลักรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ วงจรตัวตรวจจับแสง และมอเตอร์ จากนั้นประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยเมื่อประกอบเสร็จก็จะเข้าสู่กระบวนการทดสอบกระบวนการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อให้อุปกรณ์มีความสมบูรณ์มากที่สุด มีความสะดวกในการใช้งาน เพื่อเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมรอบตัวเรา ความสำคัญของเครื่องเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ สามารถหมุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรับแสงอาทิตย์ได้ตลอดวันเพื่อที่จะนำแสงนั้นไปผ่านกระบวนการจากทางแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้งานต่อไป

ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนรับแสงได้มี ประสิทธิภาพ 72.5 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบธรรมดา (Solar Cell Normal) มีประสิทธิภาพเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 51.25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเครื่องเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ ที่วิจัยพัฒนาสร้างขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์และสมมุติฐานที่ตั้งถูกต้อง



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของเครื่องเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์

การออกแบบได้นำเอาวงจรตัวตรวจจับแสง วงจรชาร์จ วงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรควบคุมมอเตอร์ และกระบวนการแปลงพลังงานของแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า มาประยุกต์ใช้งานโดยนำวงจรต่างๆ มาใช้ร่วมกันภายในงานวิจัยนี้

2.1.3 เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์สองแกน

1) การประยุกต์ใช้โฟโตทรานซิสเตอร์กับระบบติดตามสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Phototransistors Application for Peak Power Tracking of Solar Cell) โดยนายเฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ [9] เป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์อย่างง่ายด้วยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้โฟโตทรานซิสเตอร์จำนวน 8 ตัว เพื่อใช้กำหนดเป็นเงื่อนไขนำมาเป็นอินพุตและวิธีใช้แผนผังคาร์โนห์มาออกแบบวงจรลอจิกโปรแกรมลงในไอซี GAL16V8D ที่ทำงานร่วมกับไอซี L298N ใช้ขั้วมอเตอร์ 2 ตัว เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเคลื่อนที่และผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าแผงเซลล์อาทิตย์ที่อยู่กับที่

งานวิจัยนี้เลือกใช้โฟโตทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยอาศัยการตรวจจับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์เป็นตัวบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์ สำหรับการตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์แนวอัลติจูด การตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ผ่านช่องแสงที่กำหนดไว้ซึ่งมีหลักการคือเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งที่รังสีตรงแสงอาทิตย์ไม่ตรงกับช่อง โฟโตทรานซิสเตอร์จะไม่รับแสงจะอยู่ในสถานะ “เปิด” และเมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิมที่ทำให้รังสีตรงแสงอาทิตย์ส่งตรงถึงโฟโตทรานซิสเตอร์จะอยู่ในสถานะ “ปิด” การกำหนดสถานะที่โฟโตทรานซิสเตอร์ได้รับแสงซึ่งอยู่ในสถานะ “เปิด” ให้มีสถานะลอจิกเป็น “0” และกำหนดสถานะที่โฟโตทรานซิสเตอร์ไม่ได้รับแสงซึ่งอยู่ในสถานะ “ปิด” ให้มีสถานะลอจิกเป็น “1”

การทดสอบการตามแสงเพื่อให้ทราบค่าความแตกต่างระหว่างแผงเซลล์อาทิตย์ที่เคลื่อนที่และไม่เคลื่อนที่จากผลที่ได้จากการทำการเก็บผลการทดสอบที่เก็บผลตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. ทุกๆ 5 นาทีโดยการนำแผงที่มีขนาดเท่ากันมาวางบริเวณเดียวกันทั้งสองแผง โดยแบบไม่เคลื่อนที่จะติดตั้งแผงไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ทำมุม 10 องศาโดยทำการทดสอบเพื่อเก็บค่าของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า

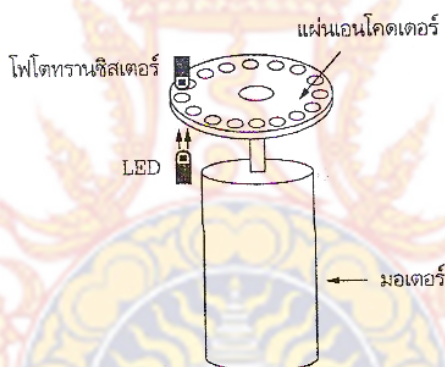
ผลการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าระหว่างแบบเคลื่อนที่และแบบไม่เคลื่อนที่ใน 7 วัน โดยนำผลของการหาค่าพลังงานเฉลี่ยในแต่ละวันมาเปรียบเทียบกัน ค่าการใช้พลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่สูญเสียไปในการเคลื่อนที่ของแผงใน 1 ชั่วโมงประมาณ 1.017 วัตต์ และหากนำค่าพลังงานที่ผลิตได้มาคำนวณหาค่าพลังงานที่สูญเสียจะหาเปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ได้เพิ่มขึ้นจากการเคลื่อนที่ของแผงใน 1 ชั่วโมง ซึ่งค่าพลังงานที่ได้เพิ่มขึ้นจากการเคลื่อนที่ได้เพิ่มขึ้นของแผงโดยประมาณ 48 เปอร์เซ็นต์

2) เซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดย นายชัชวาล เขียววิทย์พันธ์ และคณะ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม [13] มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์ เพื่อนำไปใช้เก็บสะสมพลังงานและสามารถนำพลังงานที่เก็บได้ไปใช้ได้ โดยอาศัยหลักการของตัวตรวจจับค่าความเข้มของแสงของโฟโต

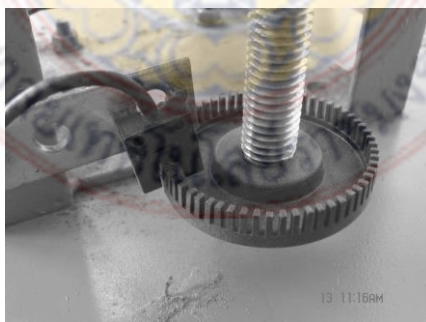
ทรานซิสเตอร์เป็นตัววัดระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแสงอาทิตย์ เมื่อเปิดสวิตช์ชุดควบคุมจะสั่งให้มอเตอร์กระแสตรงทำงาน แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำการค้นหาค่าแรงดันไฟฟ้าในทิศทางตั้งแนวตั้งและแนวนอน เพื่อเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงสุด เพื่อให้ชุดควบคุมสั่งให้มอเตอร์หมุนไป ณ ตำแหน่งที่เก็บค่าแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด

การติดตั้งแผ่นเข้ารหัสที่เพลลาของมอเตอร์ทั้งแนวนอน (แกน X) และแนวตั้ง (แกน Y) ลักษณะของแผ่นเข้ารหัสดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นแผ่นกลมประกอบด้วยรูจำนวนมากอยู่บนขอบรอบนอกของแผ่นกลมและมีหลอดอินฟราเรดแอลอีดี ติดตั้งที่ด้านหนึ่งของแผ่นกลมเพื่อกำเนิดแสงให้สามารถผ่านช่องเหล่านี้ได้

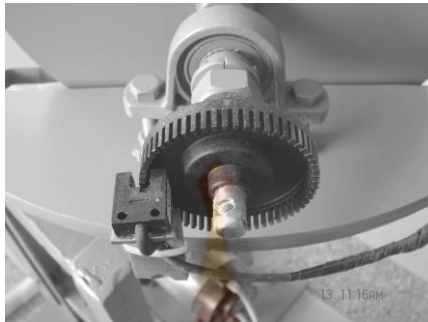
จากผลการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ยึดติดอยู่กับที่ กับให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่มีการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ พบว่าชุดเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่มีการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตเฉลี่ยมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตำแหน่งคงที่ 54 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำการเก็บพลังงานได้มากขึ้นกว่าแบบเดิม



รูปที่ 2.5 รูปแบบการติดตั้งตัวตรวจจู้ของมอเตอร์ในการติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 2.6 การติดตั้งตัวตรวจจู้ให้กับมอเตอร์แกน X



รูปที่ 2.7 การติดตั้งตัวตรวจรู้ให้กับมอเตอร์แกน Y

จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอไว้ข้างต้นนั้น พบว่าเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่ ยังมีข้อจำกัดในการรับแสงอาทิตย์ คือ เซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดอยู่ในช่วงที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น

สำหรับงานวิจัยเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียวทั้งสองหัวข้อข้างต้น พบว่าระบบควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งตามดวงอาทิตย์ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จะควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยหลักการเขียนโปรแกรมตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้าจากชุดเปรียบเทียบแสงด้วยแอลดีอาร์ 2 ตัว ซึ่งจัดวางในลักษณะใช้ฉากกันแสงระหว่างกลาง ทางกลุ่มพบว่าสามารถใช้งานจริงอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมได้ เนื่องจากทำให้ประหยัดพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ และการออกแบบโครงสร้างจะใช้หลักการควบคุมแผงโดยใช้หลักทางกลศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งการออกแบบในลักษณะดังกล่าวมีความซับซ้อน สำหรับโครงการเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ จากวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ จะใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม แต่จะมีโครงสร้างของระบบขนาดใหญ่เคลื่อนที่ลำบากเช่นเดียวกัน

เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน หัวข้อการประยุกต์ใช้ไฟโด้ทรานซิสเตอร์กับระบบติดตามสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พบว่าใช้หลักการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้ไฟโด้ทรานซิสเตอร์จำนวน 8 ตัว ในการตรวจจับแสงอาทิตย์ โครงสร้างมีขนาดใหญ่ เคลื่อนย้ายไม่สะดวก และสำหรับโครงการเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามตำแหน่งดวงอาทิตย์จาก มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม นั้น ใช้ไฟโด้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับแสงเช่นเดียวกัน แต่มีการออกแบบโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีขนาดใหญ่

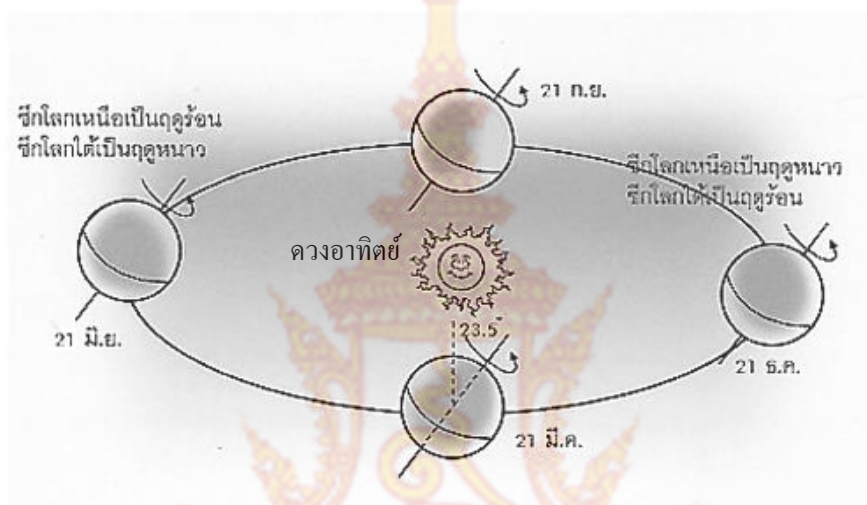
จากปัญหาของโครงสร้าง น้ำหนักและการเคลื่อนย้ายดังที่กล่าวมาแล้วนั้น พบว่างานวิจัยที่จะต้องจัดทำขึ้นนี้เป็นลักษณะของชุดทดสอบ การออกแบบโครงสร้างจึงไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ ดังนั้นได้ออกแบบให้ตัวโครงสร้างมีขนาดเล็กและใช้ลูมิเนียม เพื่อให้มีน้ำหนักเบา เหมาะแก่การเคลื่อนย้าย และได้เพิ่มชุดเก็บข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแบบ ในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์ เพื่อลดภาระในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและ กระแสไฟฟ้าที่ได้

จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งปกติมันจะต้องอาศัยผู้ทดลองในวัดค่าดังกล่าว ซึ่งทำให้เสียเวลาตลอดทั้งวันเพื่อให้ได้ข้อมูลนั้นมาวิเคราะห์ผล

2.2 ทฤษฎีของดวงอาทิตย์ (Sun Theory)

2.2.1 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ [14]

เพื่อให้สามารถเข้าใจถึงลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ เทียบกับผู้สังเกตบนโลก ก่อนอื่นควรจะทราบถึงลักษณะการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เสียก่อน ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ทางโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์แสดงตำแหน่งอิควินอกซ์และโซลส์ติซ [14]

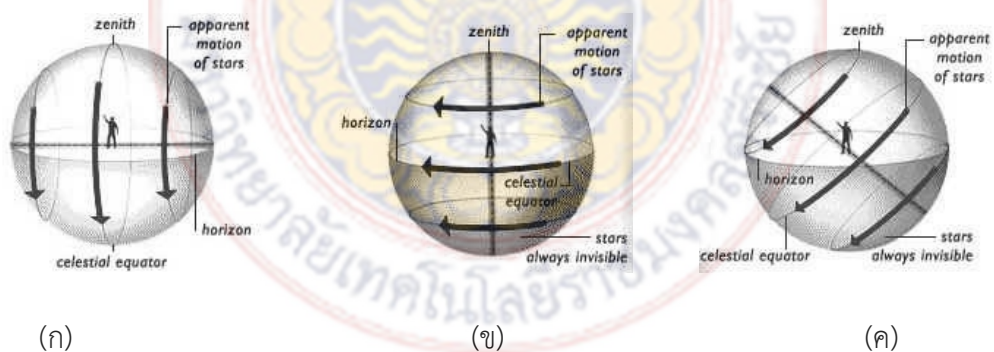


รูปที่ 2.9 เส้นทางเดินสุริยะวิถีและเส้นศูนย์สูตรฟ้า [14]

โลกเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีในระนาบอิกลิปติก (Ecliptic plane) ใช้เวลาหนึ่งปีต่อรอบ ขณะเดียวกันก็หมุนรอบตัวเองจากทิศตะวันตกไปสู่ทิศตะวันออก จึงทำให้เราเห็นว่าดวงอาทิตย์ขึ้นจากทิศตะวันออกแล้วไปตกทางทิศตะวันตก ซึ่งจะสวนทางกับการหมุนของโลก แกนหมุนของโลกซึ่งเป็นแกนที่ผ่านขั้วเหนือ - ใต้ ของโลก จุดที่ระนาบทั้งสองตัดเรียกว่ากันว่า อีควิน็อกซ์ (Equinox) โดยจะมีอยู่ด้วยกันสองจุด คือ อีควิน็อกซ์ฤดูใบไม้ผลิ (Vernal equinox) ประมาณวันที่ 21 มีนาคม และอีควิน็อกซ์ฤดูใบไม้ร่วง (Autumnal equinox) ประมาณวันที่ 22 กันยายนของทุกปี

ตำแหน่งที่เส้นสุริยวิถีอยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรฟ้าไปทางขั้วฟ้าเหนือมากที่สุดเรียกว่า ครีษมายันหรือโซลส์สติชฤดูร้อน (Summer Solstice) ประมาณวันที่ 21 มิถุนายน และ ตำแหน่งที่เส้นสุริยวิถีอยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรฟ้า ไปทางขั้วฟ้าใต้มากที่สุดเรียกว่า เหมายนหรือโซลส์สติชฤดูหนาว (winter solstice) ประมาณวันที่ 21 ธันวาคม แกนของโลกเอียง 23.5 องศา ขณะที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ ทำให้ระนาบวงโคจรของโลก (เส้นสุริยวิถี) ทำมุมกับระนาบของเส้นศูนย์สูตรฟ้าเป็นมุม 23.5 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.9

การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์นี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดฤดูกาล ตำแหน่งของโลกในวงโคจรที่สำคัญมี 4 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งอีควิน็อกซ์ (Equinox) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่โลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด เกิดขึ้นในวันที่ 21 มีนาคม และวันที่ 22 กันยายนของทุกปี เมื่อโลกอยู่ ณ ตำแหน่งอีควิน็อกซ์ แกนหมุนของโลกจะตั้งฉากกับเส้นที่ลากระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ และช่วงเวลาในตอนกลางวันจะยาวเท่ากับเวลาในตอนกลางคืน สำหรับตำแหน่งโซลส์สติช (Solstice) จะเป็นตำแหน่งที่โลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด จะเกิดขึ้นในวันที่ 21 มิถุนายนของทุกปี เป็นวันที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรของท้องฟ้ามากที่สุด ดวงอาทิตย์จะขึ้นเร็วที่สุดและตกช้าที่สุดทำให้เวลากลางวันยาวที่สุดและกลางคืนสั้นที่สุด และวันที่ 22 ธันวาคมของทุกปี เป็นวันที่ดวงอาทิตย์อยู่ใต้เส้นศูนย์สูตรของท้องฟ้ามากที่สุด ส่งผลให้ดวงอาทิตย์จะขึ้นช้าที่สุดและตกเร็วที่สุด ทำให้เวลากลางวันสั้นที่สุดและเวลากลางคืนยาวที่สุด ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.10 การโคจรของดวงอาทิตย์เทียบกับผู้สังเกตที่ไอควีเตอร์

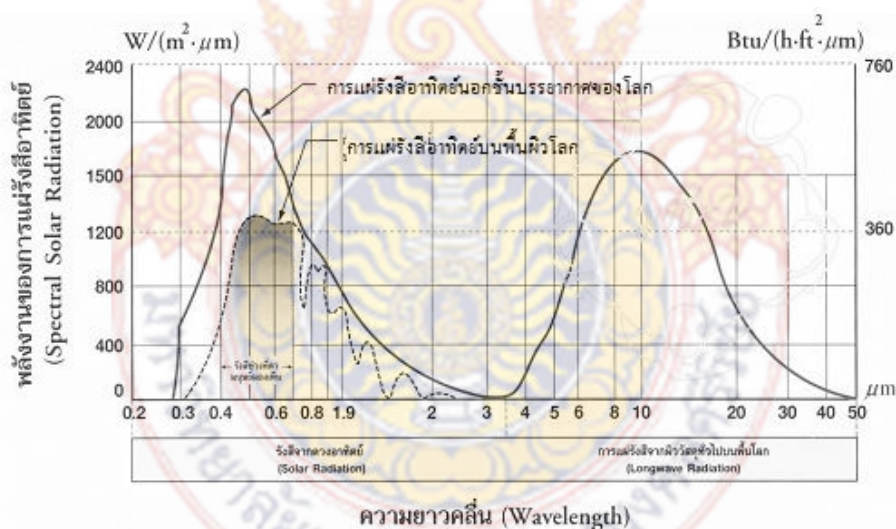
(ก) เมื่อผู้สังเกตอยู่ที่เส้นศูนย์สูตรโลก (ข) เมื่อผู้สังเกตอยู่ที่ขั้วโลกเหนือ

(ค) เมื่อผู้สังเกตอยู่ทางซีกโลกเหนือ

จากรูปที่ 2.10 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งผู้สังเกตหรือการวางตำแหน่งของนาฬิกาแดด ณ จุดต่าง ๆ บนโลกเปลี่ยนแปลงไปตามแนวเส้นละติจูด ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน เช่นเดียวกับการสังเกตกลุ่มดาวบนท้องฟ้าในแต่ละคืนที่เราดูดาว เมื่อโลกหมุนรอบ

ตัวเอวนั้น ดาวฤกษ์จะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกขนานไปกับแนวเส้นศูนย์สูตรฟ้า (Celestial Equator) ซึ่งจะมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดอยู่ที่ทิศตะวันออกกับทิศตะวันตกพอดี ซึ่งแนวของเส้นศูนย์สูตรฟ้าจะผ่านจุดเหนือศีรษะ (Zenith) พอถ้าผู้สังเกตอยู่ที่ตำแหน่งเส้นศูนย์สูตรโลกเช่นกัน แต่ถ้าผู้สังเกตอยู่ทางซีกโลกเหนือ แนวของเส้นศูนย์สูตรฟ้าจะค่อนไปทางทิศใต้ ตามตำแหน่งที่ผู้สังเกตอยู่ เช่น ผู้สังเกตอยู่ในประเทศไทยเส้นละติจูดประมาณ 15 องศาเหนือ เส้นศูนย์สูตรฟ้าก็จะห่างจากจุดเหนือศีรษะไปทางใต้ 15 องศาเช่นกัน ดังรูปที่ 2.5 (ค) และถ้าหากผู้สังเกตอยู่ทางซีกโลกใต้แนวของเส้นศูนย์สูตรฟ้าก็จะอยู่ห่างจากจุดเหนือศีรษะไปทางทิศเหนือตามตำแหน่งละติจูดของผู้สังเกตเช่นกัน

ดวงอาทิตย์ก็เช่นกันเป็นดาวฤกษ์อีกดวงที่เคลื่อนที่บนท้องฟ้า เหมือนดาวฤกษ์ที่เราเห็นในตอนกลางคืน ที่จะเคลื่อนที่ขนานไปกับแนวเส้นศูนย์สูตรฟ้าเช่นกัน แต่ดวงอาทิตย์มีพิเศษกว่าตรงที่ ดวงอาทิตย์มีแนวเคลื่อนที่ของตนเองที่เรียกว่า แนวสุริยวิถี (Ecliptic) เกิดขึ้นจากการที่โลกโคจรไปรอบๆ ดวงอาทิตย์นั่นเอง ซึ่งแนวเส้นสุริยวิถีนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงจากแนวเส้นศูนย์สูตรฟ้าในแต่ละเดือนเพราะอิทธิพลของแกนเอียงของโลก หมายความว่าในแต่ละเดือนดวงอาทิตย์จะอยู่ห่างจากแนวเส้นศูนย์สูตรฟ้า อย่างเช่นในเดือนธันวาคม วันที่ 22 ที่เรียกว่า เหมายัน ดวงอาทิตย์จะอยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรฟ้าไปทางใต้มากที่สุดคือ 23.5 องศา ส่วนในวันที่ 21 มิถุนายน ที่เรียกว่า ครีษมายัน ดวงอาทิตย์ก็อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรฟ้าไปทางเหนือมากที่สุด 23.5 องศาเช่นกัน ส่วนวันอิกวินออกซ์ดวงอาทิตย์จะอยู่บนเส้นศูนย์สูตรฟ้าพอดี

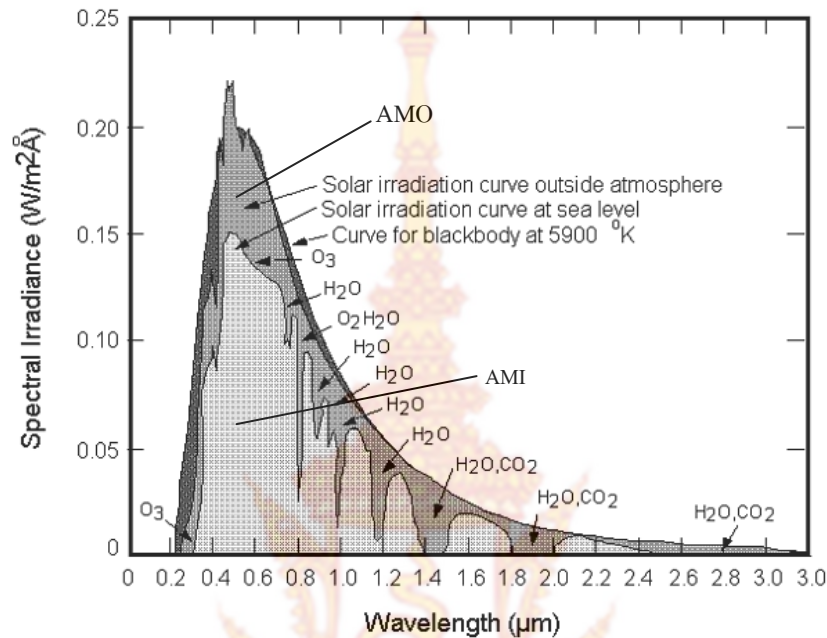


รูปที่ 2.11 การกระจายของรังสีจากดวงอาทิตย์

2.2.2 พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก [15]

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จะแปรอยู่ในช่วง 1.492×10^8 กิโลเมตร ± 1.7 เปอร์เซ็นต์ พลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้จากนอกบรรยากาศที่รับได้จากนอกบรรยากาศที่ระยะดังกล่าวมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,400 วัตต์ต่อตารางเมตร ในช่วงเดือนธันวาคมและเดือนมกราคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,305 วัตต์ต่อตารางเมตร ในช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนกรกฎาคม โดยเฉลี่ยแล้วพลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้รายปีเท่ากับ 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร

พลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยรังสีทุกกลุ่ม เช่น คลื่นวิทยุ ความร้อน แสงสว่างรังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา ความเข้มและความยาวคลื่นของรังสีแสดงในรูปที่ 2.11 พื้นที่ใต้เส้นโค้งแทนปริมาณกำลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้มีค่าเท่ากับ 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 2.12 รูปร่างของสเปกตรัมของแสงอาทิตย์แบบ AM0, AM1
เทียบกับการแผ่รังสีของวัตถุดำที่อุณหภูมิ 600K [15]

2.2.3 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์ [15]

แสงอาทิตย์ประกอบด้วยโฟตอนที่มีพลังงานต่างๆ กัน และมีการกระจายของจำนวนโฟตอนเหล่านี้ ตั้งแต่ช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ตถึงอินฟราเรดดังรูปที่ 2.12 แสงอาทิตย์ที่อยู่อวกาศนอกโลกจะมีสเปกตรัมใกล้เคียงกับการแผ่รังสีของวัตถุดำ (Black Body Radiation) แต่เมื่อแสงอาทิตย์ทะลุผ่านเข้ามาในบรรยากาศโลก โฟตอนบางส่วนจะถูกดูดกลืนหายไปเนื่องจากก๊าซและไอน้ำที่มีอยู่ในบรรยากาศโลก สเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่วัดบนพื้นโลกจึงมีลักษณะที่ผิดแปลกไปจากสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ในอวกาศ ซึ่งมีปริมาณและรูปร่างแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณความหนาแน่นของบรรยากาศนั้นๆ ด้วยสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ในอวกาศจึงเรียกว่า เป็นสเปกตรัมแบบ AM0 (Air Mass Zero) ส่วนสเปกตรัมของแสงอาทิตย์บนพื้นโลกที่วัดที่เส้นศูนย์สูตรที่ระดับน้ำทะเล ในวันที่อากาศแจ่มใสและพระอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะเรียกว่า สเปกตรัมแบบ AM1 (Air Mass One) หากเป็นการวัดที่ตำแหน่งอื่นๆ สภาพอากาศที่สเปกตรัมที่จะได้เป็นแบบ AM2 และ AM3 แล้วแต่ปริมาณ และสภาพของบรรยากาศที่แสงอาทิตย์ผ่านตลอดจนความยาวของทางผ่านของแสงอาทิตย์

2.2.4 ปริมาณเชิงความเข้มและช่วงของแสงอาทิตย์

ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่วัดในอวกาศ (AM0) มีค่าประมาณ 1,367 เวเบอร์ต่อตารางเมตร แต่เมื่อฉายผ่านเข้ามาในบรรยากาศของโลกจะมีความเข้มลดลงเหลือประมาณ 1,000 เวเบอร์ต่อตารางเมตร ในกรณีของ AM1 นี้หาได้ยากมากในเชิงปฏิบัติโดยเฉพาะในการใช้งานตามสถานที่ต่าง ๆ ทั่วโลกที่มีใช้เส้นศูนย์สูตร และที่ระดับน้ำทะเลความเข้มแสงอาทิตย์ 1,000 เวเบอร์ต่อตารางเมตร

อย่างไรก็ตามแสงอาทิตย์ที่ได้รับจริง ๆ โดยเฉพาะที่กรุงเทพมหานครจะมีความเข้มไม่ถึง 1,000 เวเบอร์ต่อตารางเมตร เนื่องจากตำแหน่งของกรุงเทพฯ อยู่ที่เส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ และอยู่ในบริเวณที่มีความชื้นสูง ความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุดที่เคยวัดได้ในเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคมซึ่งเป็นฤดูร้อนที่ฟ้าแจ่มใสที่สุดของกรุงเทพฯ มีค่าเพียงประมาณ 800 เวเบอร์ต่อตารางเมตร ส่วนในฤดูอื่นๆ ก็มีค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ลดหลั่นลงมาตามลำดับ เช่น เดือนกุมภาพันธ์วัดได้ 600 เวเบอร์ต่อตารางเมตร เป็นค่าสูงสุดเป็นต้น ส่วนสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่กรุงเทพฯ มีลักษณะเป็นแบบ AM1.5 AM2.5 ตามแต่ฤดูกาลและภูมิอากาศขณะนั้นๆ

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงอาทิตย์และสเปกตรัมของแสงอาทิตย์

สเปกตรัม	ความเข้ม (W/m^2)	หมายเหตุ
AM0	1367	อวกาศ
AM1	1000	วัดที่เส้นศูนย์สูตรระดับน้ำทะเล
AM1.5	875	ท้องฟ้าแจ่มใส
AM2	750	
AM3	500	

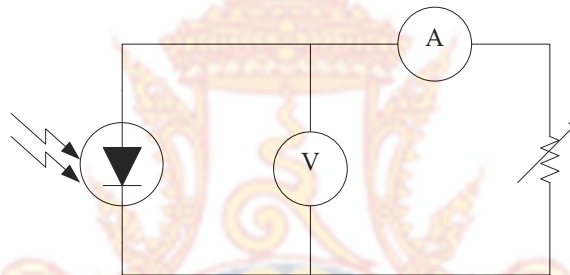
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells) [16]-[17]

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง เซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว แสงอาทิตย์ (โฟตอน) จะเข้าไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนในสารมีพลังงานศักย์สูงขึ้นไปโดยตรง สารที่ใช้ในการดูดกลืนโฟตอนนี้จะประกอบด้วยหัวต่อของสารที่มีคุณสมบัติของอิเล็กตรอนิกส์แตกต่างกัน เพื่อใช้แยกเอาอิเล็กตรอนมีพลังงานศักย์สูงนี้ออกมา เป็นผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นระหว่างด้านบน และด้านล่างของสาร สารที่พบว่าสามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพนี้ได้แก่สารกึ่งตัวนำ ในบรรดาสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้เซลล์แสงอาทิตย์นี้ได้แก่ ซิลิกอน แกลเลียมอาเซไนด์ แกลเลียมซิลไฟด์ ได้ถูกนำมาใช้งานมากที่สุดสาเหตุที่ซิลิกอนได้รับความนิยมมากเพราะซิลิกอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดชนิดหนึ่งในโลก และเป็นวัตถุดิบสำคัญในงานอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ได้รับการพัฒนามานาน เนื่องจากเป็นวัตถุดิบสำคัญในงานอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ จากเหตุผลดังกล่าวจึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าซิลิกอนจะยังคงมีบทบาทในเรื่องเซลล์แสงอาทิตย์นี้ไปอีกระยะเวลาอันยาวนาน

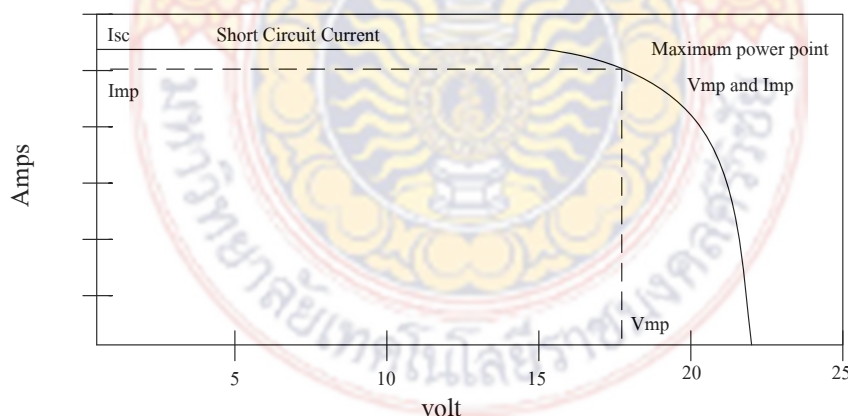
โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic) เป็นคำมาจากภาษากรีก มีความหมายว่าไฟฟ้าที่เกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีคุณสมบัติการทำงาน ดังนี้คือ มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า 30 ปี มีประสิทธิภาพการทำงานสูงโดยไม่ขึ้นอยู่กับขนาด สามารถออกแบบให้มีขนาดใช้งานตามต้องการได้ ไม่มีเสียงรบกวน ไม่มีมลภาวะที่เป็นพิษต่อสภาพแวดล้อม สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ทันทีที่แสงตกกระทบ

2.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ถูกแสดงในรูปที่ 2.13 โดยประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และค่าความต้านทานที่ปรับค่าได้ จากวงจรเราทำการเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเรื่อยๆ โดยที่แต่ละครั้งในการเปลี่ยนค่าให้บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเซลล์แสงอาทิตย์และค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร และเมื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามาเขียน จะได้ตามลักษณะรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 วงจรพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

โดยที่ $I = \text{Thermal Voltage} = K_q/T$
 $K = \text{Boltzman Constant}$
 $Q = \text{Electron Charge}$
 $T = \text{Kelvin Degree}$

V_{oc} = Open Circuit Voltage

I_o = Leakage Current

M = Correction Factor

ต่อไปจะพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถหาได้จากกราฟแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยจะแยกพิจารณาทีละตัวดังต่อไปนี้

1) ขนาดของแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V_{oc}) คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าขณะที่ความต้านทานมีค่าเป็นอนันต์ ($R_L = \infty$) แยกพิจารณาดังนี้

- สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเซลล์เดี่ยวจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรไม่เกิน 0.6 โวลต์ ทั้งนี้เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเซลล์ก็คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของรอยต่อพีเอ็นนั่นเอง
- สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นแผงขึ้นอยู่กับการนำเซลล์มาต่อกันแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการประยุกต์ไปใช้งานจริง

2) ขนาดของกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร (I_{sc}) มีลักษณะทำนองเดียวกันกับแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรโดยทั่วไปสำหรับเซลล์เดี่ยวแล้ว ขนาดของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีค่าไม่เกิน 2.5 แอมแปร์

3) กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_m) หาได้จากตำแหน่งของกราฟ ที่ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่จุดนี้ก็คือจุด V_m และ I_m ตามลำดับเพราะฉะนั้นเราสามารถเขียนสมการของกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดังนี้

$$P_m = V_m \times I_m \quad (2.1)$$

4) ฟิลล์แฟคเตอร์ (Fill Factor) หาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้คือ

$$\text{Fill Factor} = P_m/P_o \quad (2.2)$$

โดยที่

$$P_m = V_m \times I_m \quad (2.3)$$

$$P_o = V_{oc} \times I_{sc} \quad (2.4)$$

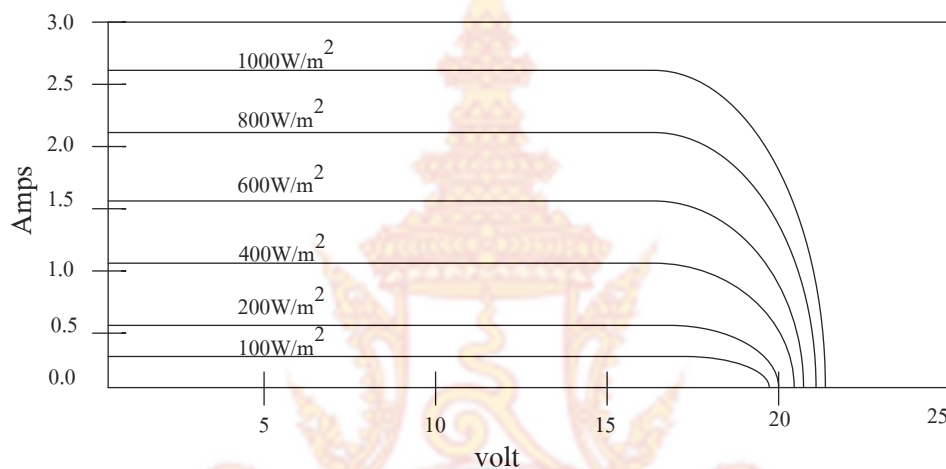
5) ประสิทธิภาพของเซลล์ (Efficiency) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของเซลล์} = \text{พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลล์} \times 100\% \quad (2.5)$$

โดยทั่วไปแล้วจะคิดเทียบจากความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 100 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร

2.3.2 ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่มีผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ความเข้มของแสงจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นหรือความยาวคลื่นของแสง (Wavelength) นอกจากนั้นแล้วยังขึ้นอยู่กับความหนาของอากาศที่แสงจะต้องผ่าน เช่น เวลากลางวันแสงก็จะผ่านตรงลงมา ส่วนเวลาเช้าและเย็นแสงจะต้องวิ่งผ่านอากาศมากขึ้น ในทำนองเดียวกันฤดูร้อนกับฤดูหนาว ความหนาของอากาศที่แสงจะต้องผ่านก็จะแตกต่างกัน เพื่อจะได้หาตัวเลขจะเปรียบเทียบกันได้ความหนาเฉลี่ย 1.5 Air Mass เป็นความหนาของอากาศถือเป็นมาตรฐานในการวัดความเข้มของแสง ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ความเข้มแสงกับเส้นโค้งของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

2.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ

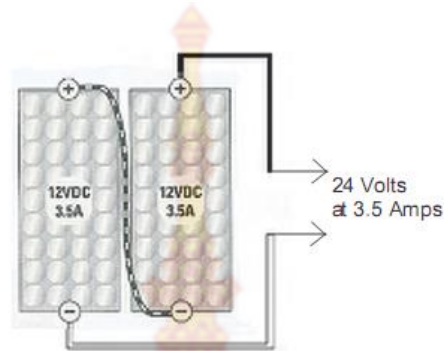
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ กล่าวคือเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นในการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องเผื่อไว้สำหรับความร้อนและอุณหภูมิด้วย

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิด ขึ้นภายในตัวเซลล์แสงอาทิตย์พวกอะตอมในแลตทิซผลึก (Crystal Lattice) จะสั่นสะเทือนแรงขึ้น เมื่อมีความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นในการที่อิเล็กตรอนจะหลุดออกมาจะใช้พลังงานแสงอาทิตย์น้อยลงได้ หมายความว่าในแสงแดดมีความเข้มเท่ากันในอุณหภูมิสูงกว่าแต่พร้อมกันนั้นพวกอิเล็กตรอนและโฮลจะมีพลังงานมากขึ้นที่จะข้ามแดนและวิ่งในทางตรงข้าม ซึ่งจะมีผลให้กระแสไฟฟ้านั้นลดลง ในเวลาเดียวกัน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าแบบลัดวงจร เราจะได้กระแสไฟฟ้ามากกว่าตอนที่แผงยังมีความเย็นอยู่ แต่เมื่อมีโฮลที่มีความต้านทานมากขึ้น จะมีการสะสมประจุไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงและกระแสไฟฟ้าก็จะลดลงด้วย

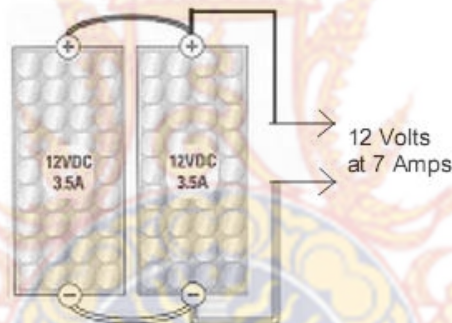
2.3.4 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละตัวมีค่าแรงดันไฟฟ้าเพียง 0.5 โวลต์ สำหรับเซลล์ที่ทำจากซิลิกอน และ 1 โวลต์ สำหรับเซลล์ที่ทำจากแกเลียมอาร์เซไนด์ ส่วนปริมาณกระแสไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ขึ้นอยู่กับปริมาณ

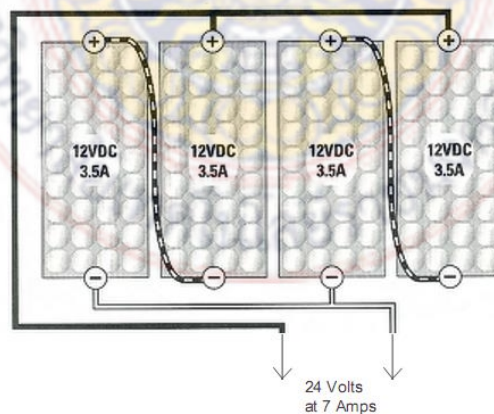
ความเข้มของแสง เพื่อการใช้งานที่เหมาะสมกับโพลดจึงจำเป็นต้องนำเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก มาต่ออนุกรมและขนาน เพื่อได้แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าตามปริมาณที่ต้องการนอกจากนี้ จุดประสงค์ในการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งแบบอนุกรมและขนาน หรือทั้งสองแบบผสมกัน ยังมี ความหมายเพื่อป้องกันข้อผิดพลาดของระบบด้วย



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.16 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ
(ก) ต่อแบบอนุกรม (ข) ต่อแบบขนาน (ค) ต่อแบบผสม

การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ ถูกแสดงในรูปที่ 2.16 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 2.16(ก) เป็นการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมโดยค่าแรงดันไฟฟ้ารวมจะเท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้าจากทุกแผงรวมกัน และค่ากระแสไฟฟ้ารวมจะเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงที่มากที่สุด รูปที่ 2.16(ข) เป็นการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานโดยค่าแรงดันไฟฟ้ารวมจะเท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงที่มากที่สุด และค่ากระแสไฟฟ้ารวมจะเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าจากทุกแผงรวมกัน และรูปที่ 2.16(ค) เป็นการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมซึ่งเป็นแบบที่ป้องกันข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่เกิดจากการบังเงา เซลล์ลัดวงจร (Short Circuit Cell) เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าไม่เท่ากัน การรับแสงสว่างบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความเข้มไม่สม่ำเสมอ การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้ยังช่วยลดจำนวนบายพาสไดโอด (By-Pass Diode) ที่ใช้ให้น้อยที่สุดและเป็นแบบที่มีความน่าเชื่อถือ (Reliability) สูงที่สุดด้วย

2.3.5 อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์และระบบโฟโตโวลตาอิก

อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์และระบบโฟโตโวลตาอิก เป็นดรครชนิที่จะชี้ให้เห็นถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของการใช้งานอีกทางหนึ่ง เนื่องจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยวิธีนี้ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงใด ๆ เนื่องจากพลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นที่ได้เปลี่ยน และมีให้ใช้ชุกกาลนาน ราคาทั้งหมดจึงขึ้นอยู่กับราคาอุปกรณ์และอายุการใช้งานของอุปกรณ์นั้น

1) อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ทำจากสารกึ่งตัวนำที่ผ่านกระบวนการสร้างหัวต่อพีเอ็นที่อุณหภูมิสูงมาก (1,000 องศาเซลเซียส) แต่เมื่อนำมาใช้งานภาคสนามจะมีอุณหภูมิใช้งานเพียง 30-35 องศาเซลเซียส สำหรับความเข้มแสงปกติหรืออุณหภูมิใช้งาน 80-150 องศาเซลเซียส สำหรับความเข้มแสงปกติหรืออุณหภูมิใช้งาน 80 - 150 องศาเซลเซียส สำหรับความเข้มสูง ดังนั้นเงื่อนไขของการใช้งานเช่นนี้จะไม่สามารถทำให้โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์เสียหายได้เลย สาเหตุที่จะให้เซลล์เสียหายจึงมักได้แก่การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดจากสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น ไอเคมี ที่มีอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งอาจทำให้เซลล์แตกหักได้ อายุการใช้งานของเซลล์อย่างสมบูรณ์แบบ มีการออกแบบติดตั้งตัวเซลล์อย่างถูกต้อง และใช้ในงานที่สภาพแวดล้อมที่แห้งปราศจากไอเคมี ไม่มีการสั่นสะเทือน หรือแรงกดจากแรงลม ฯลฯ ดังนั้น อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์จึงกำหนดได้จากวิธีออกแบบและลักษณะการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ว่าควรมีค่าเท่าไรจึงจะคุ้ม แนวความคิดหนึ่งที่จะใช้กำหนดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ ช่วงระยะเวลาจ่ายคืนพลังงาน (Energy Payback Periods) ซึ่งหมายถึง ระยะเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ปริมาณที่เพียงพอกับพลังงานที่ต้องการใช้ในการสร้างเซลล์นั้น ได้มีการทดลองคำนวณระยะเวลาดังกล่าวของเซลล์ที่ใช้ในโครงการอวกาศที่ผลิตโดยตรงงานผลิตขนาดเล็ก ผลการคำนวณพบว่า เซลล์ควรมีอายุถึง 20 ปี จึงสามารถจ่ายคืนพลังงานที่ใช้ในการสร้างตัวเซลล์เอง แต่จากการพัฒนาเทคนิคการสร้างเซลล์ให้มีการใช้พลังงานที่ประหยัดขึ้นและเป็นการผลิตแบบจำนวนมาก ช่วงระยะเวลาจ่ายคืนพลังงานของเซลล์ในปัจจุบันลดลงเหลือ 4 ปี และคาดว่าเทคนิคการผลิตเซลล์ ในปี ค.ศ. 1986 จะทำให้ช่วงระยะเวลาดังกล่าวสั้นลงไปอีก คือเหลือเพียงไม่กี่เดือน จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตโพลี-ซิลิคอน (Poly-Silicon) ของบริษัทซีเมน ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ประหยัดพลังงานเป็นอย่างมาก ในปัจจุบันจะลดช่วงระยะเวลาจ่ายคืนพลังงานเหลือเพียงระหว่าง 1-1.5 ปีเท่านั้น

2) อายุการใช้งานของระบบโฟโตโวลตาอิก นอกเหนือจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว องค์ประกอบที่สำคัญที่จะเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของระบบโฟโตโวลตาอิก ได้แก่ อายุของ แบตเตอรี่ที่ใช้ในการสะสมพลังงาน แบตเตอรี่แต่ละชนิดมีอายุการใช้งานที่แตกต่างโดยกำหนดจากรอบอายุใช้งาน (Life Cycle) ของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่จะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานหากมีการใช้งาน ที่ถูกต้อง เช่น มีการติดตั้งที่ดี บำรุงรักษาอยู่เสมอ เพราะในการอัดไฟจากเซลล์จนเกินพอในบางครั้ง จะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพลงได้จึงควรมีวงจรควบคุมการอัดไฟติดตั้งในระบบด้วย เมื่ออัดไฟเต็ม แบตเตอรี่แล้วควรมีการสับสวิตซ์วงจรเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าส่วนเกินนั้นทิ้งเสีย เช่น จ่ายให้กับตัว ต้านทานเพื่อคายพลังงานในรูปของความร้อน เป็นต้น เป้าหมายของอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ จะนำมาใช้งานกับระบบโฟโตโวลตาอิก ควรมีค่าประมาณ 10 ปี จึงควรมีการพัฒนาแบตเตอรี่ให้มี คุณภาพดังกล่าวในอนาคต

ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เหลือล้วนแต่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หากมีการติดตั้งที่ ถูกต้องอยู่ภายในตัวอาคารที่ควบคุมอุณหภูมิ อายุการใช้งานขององค์ประกอบเหล่านี้จะยาวนาน พอสมควร หากมีการตรวจพบว่ามี ความเสียหายเกิดขึ้นก็สามารถสับเปลี่ยนของใหม่ได้ทันที หรือตัด องค์ประกอบนั้นทิ้งเสียได้ ช่วงระยะเวลาหนึ่งโดยมีได้ทำให้ระบบโฟโตโวลตาอิกเสียหาย

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าอายุการใช้งานของระบบโฟโตโวลตาอิกนั้นขึ้นอยู่กับอายุของ แผงเซลล์และแบตเตอรี่ที่ใช้สะสมพลังงานเป็นสำคัญ การวิจัยและพัฒนาจึงมุ่งไปที่องค์ประกอบทั้ง สองนี้เป็นส่วนใหญ่ ทั้งทางด้านอายุการใช้งานในอุดมคติและเทคนิคการใช้งานที่มีประสิทธิภาพโดย การออกแบบโครงสร้างและการติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกที่ดี ดังนั้นการศึกษาวิธีการออกแบบ ระบบโฟโตโวลตาอิกอย่างเป็นระบบ ตลอดจนการหาประสิทธิภาพจากการติดตั้งระบบในภาคสนามจึง เป็นวิธีการทางวิศวกรรมที่จำเป็น



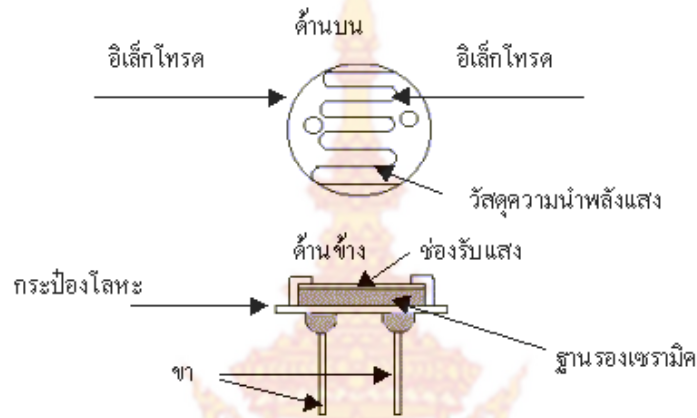
รูปที่ 17 ลักษณะของแอลดีอาร์

2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแอลดีอาร์ (Light Dependent Resistor, LDR) [18]

ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไวต่อแสง หรือเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวมันเองตาม ปริมาณของแสงมีอยู่หลายชนิด เช่น แอลดีอาร์ โฟโตโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic Cell) ซึ่งจ่าย แรงดันไฟฟ้าออกมาได้เมื่อได้รับแสง โฟโตไดโอด (Photodiode) โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) ไปจนถึงเอสซีอาร์ที่ทำงานด้วยแสง (LASCR, Light Activated Silicon Controlled Rectifier) ซึ่งใช้ หลักการของสารกึ่งตัวนำทั้งนั้น อุปกรณ์ประเภทนี้ที่มีโครงสร้างและลักษณะการทำงานง่ายที่สุดก็เห็น จะได้ว่า แอลดีอาร์ เพราะไม่ได้ใช้หลักการของรอยต่อพี - เอ็น เหมือนกับแบบอื่น ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.4.1 โครงสร้างของแอลดีอาร์

แอลดีอาร์โดยทั่วไปมีชื่อเรียกอีกหลายชื่อ เช่น โฟโตคอนดักทีฟเซลล์ (Photoconductive cell) หรือ ตัวต้านทานไวแสง (LSR, Light Sensitive Resistor) ส่วนใหญ่จะทำได้ด้วยสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรือ แคดเมียมซีนิไนด์ (CdSe) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำเอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของแอลดีอาร์

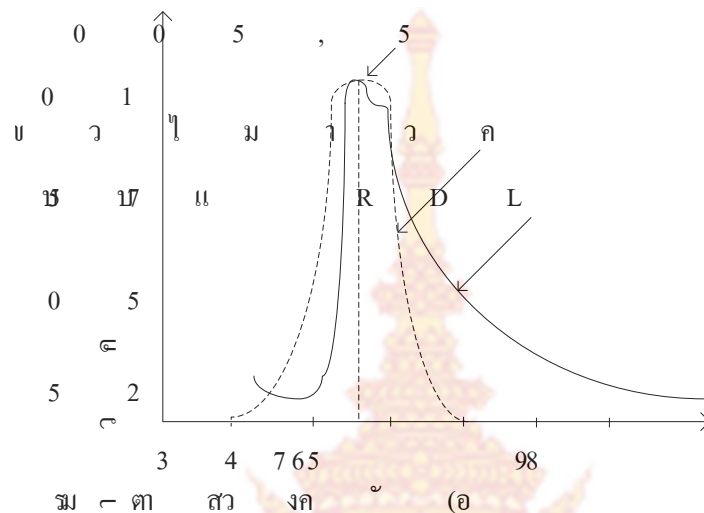
โครงสร้างของแอลดีอาร์ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.18 ส่วนที่ขดเป็นแนวเล็ก ๆ สีดำที่ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และแนวสีดำนั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง ซึ่งถ้าดูของจริงจะเห็นว่าออกสีทองนั้นเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอก หรือเรียกว่าอิลเล็กโทรด ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิกและอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้มมัน ซึ่งมีได้หลายแบบ

2.4.2 สมบัติทางแสง

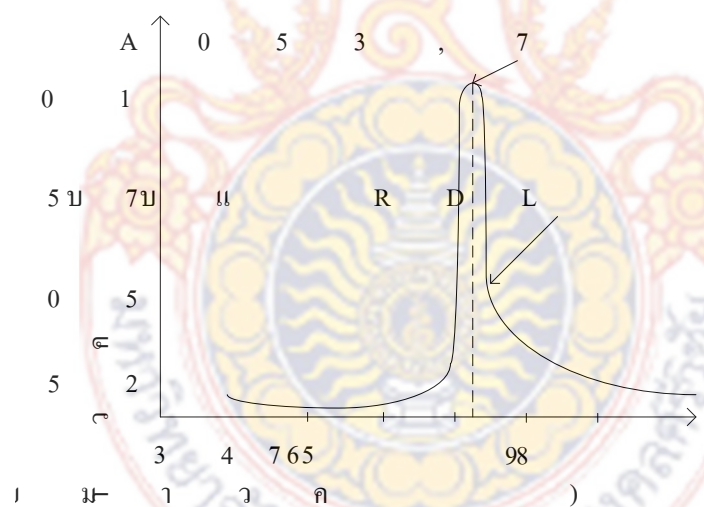
การทำงานของแอลดีอาร์คือ เวลาที่มีแสงตกกระทบบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่าน การที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับ ความต้านทานลดลงนั่นเอง ยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบบมากเท่าไร ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น

กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่าง ๆ ของแอลดีอาร์ทั้ง 2 แบบถูกแสดงในรูปที่ 2.19 เมื่อเทียบกับความไวของตาคน ในส่วนที่ว่าแสงตกกระทบบนั้นมิใช่ว่าจะเป็นแสงอะไรก็ได้ เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม (1 อังสตรอมเท่ากับ 10^{-10} เมตร) ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอมเท่านั้นที่จะใช้ได้ (สายตาคนจะเห็นได้ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็ยังเป็นช่วงคลื่นเพียงแคบ ๆ เมื่อเทียบกับการทำงานของอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่น ๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ก็มิอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วย หรือ ถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่นที่แอลดีอาร์จะตอบสนองไวที่สุดแล้วก็มีอยู่หลายความยาวคลื่น โดยทั่วไปแอลดีอาร์ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียวไปจนถึงสีเหลืองสำหรับบางตัวแล้วความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมัน

ใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก (ตาคนไวต่อความยาวคลื่นประมาณ 5,550 อังสตรอม) จึงมักจะทำเป็นเครื่องวัดแสงในกล้องถ่ายรูป ถ้าแอลดีอาร์ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ก็จะไวต่อความยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่าอังสตรอม ซึ่งไปอยู่ในช่วงอินฟราเรดแล้ว



(ก)



(ข)

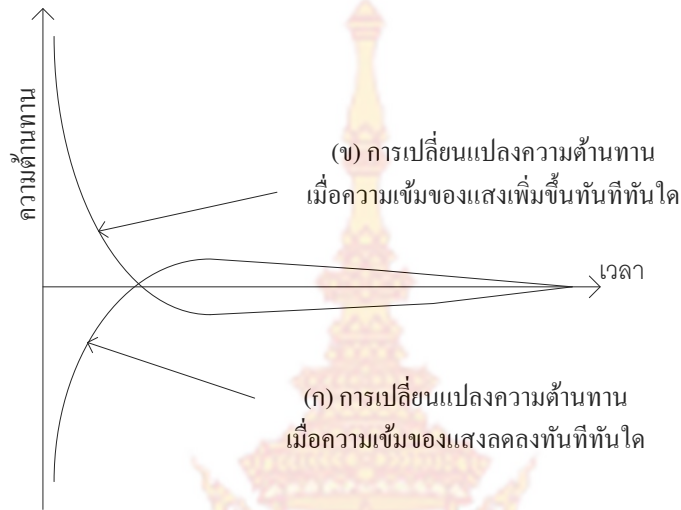
รูปที่ 2.19 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของแอลดีอาร์ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน

(ก) แอลดีอาร์แบบแคดเมียมซัลไฟด์ (ข) แอลดีอาร์แบบแคดเมียมซัลไฟด์

2.4.3 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของแอลดีอาร์ในขณะที่ไม่มีแสงกับขณะที่มีแสงอาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 เม็กกะวัตต์ ขึ้นไปในที่มืดสนิท อาจมีค่าขึ้นไปได้มากกว่า 2

แม้กระแสไฟฟ้า และในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ 10 - 20 กิโลวัตต์ลงไป อาจจะเหลือเพียงไม่กี่โอห์มหรือไม่ถึงโอห์มก็ได้ ทนแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 โวลต์ และกำลังสูญเสียอย่างต่ำประมาณ 50 มิลลิวัตต์



รูปที่ 2.20 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับแอลดีอาร์

ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับแอลดีอาร์ ถูกแสดงในรูปที่ 2.20 โดยเห็นได้ว่าถ้าแอลดีอาร์ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงหรือการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่อความเข้มของแสงลดลงทันทีทันใด (เส้น ก) ความต้านทานจะมีค่าต่ำและในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทานที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิงมันกลับเพิ่มเลยขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับอ้างอิง เหมือนกับว่าเบรกมันไม่ค่อยดีและในทำนองเดียวกันถ้าเก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อย ๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับอ้างอิงทันที ดังในกราฟการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นทันทีทันใดความต้านทานก็จะลดเล็ดต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากันแอลดีอาร์แบบแคดเมียมซีไนต์จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่าแบบแคดเมียมซัลไฟต์ แต่ก็จะวิ่งเลยไปไกลกว่าด้วย และอีกอย่างหนึ่ง ความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงมิลลิวินาทีหรือวินาที จึงทำให้แอลดีอาร์ใช้ได้กับงานความถี่ต่ำ ๆ เท่านั้น

2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

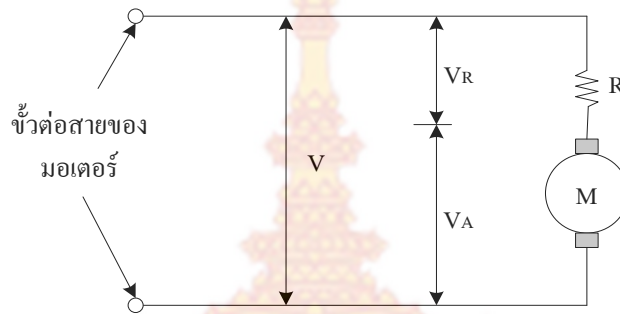
2.5.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง [19]

เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไหล

ย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการทำงานได้

2.5.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง

ในการอธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงให้ละเอียดนั้นต้องพิจารณาแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนและความต้านทานของโรเตอร์ด้วย วงจรภายในของมอเตอร์เขียนได้ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง

โดยสมมติให้หุ่นโรเตอร์ไม่มีความต้านทานอยู่เลย อนุกรมกับความต้านทานซึ่งในที่นี้ก็คือความต้านทานของขดลวดนั่นเอง แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์ก็คือผลบวกระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่หุ่นโรเตอร์ (V_A) และ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานขดลวด (V_R)

แรงดันไฟฟ้า V_A ถูกเรียกว่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำป้อนกลับ (Back EMF) ซึ่งเกิดขึ้นในโรเตอร์ขณะที่หมุน แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก สัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวนำ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีขั้วตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และแปรผันตรงกับความเร็วในการหมุน ผลบวกของแรงดันไฟฟ้าที่หุ่นโรเตอร์ (V_A) และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวด (V_R) ต้องเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์

$$V = V_A + V_R \quad (V) \quad (2.6)$$

เมื่อพิจารณาตั้งแต่มอเตอร์หยุดนิ่ง ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น $V_A = 0$, $V_R = V$ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในมอเตอร์หาได้จาก

$$I = V_R / R \quad (A) \quad (2.7)$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะมีความเร็วและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมมอเตอร์ (V_A) เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน (V_R) ซึ่งมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่าง V_A และแรงดันไฟฟ้าจะเริ่มลดลง กระแสไฟฟ้าก็จะเริ่มลดลงเช่นกันขณะที่มอเตอร์ยังมีความเร็วอยู่

ความเร็วจะเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลงจนกว่าจะถึงจุดซึ่งแรงบิดของมอเตอร์รับภาระโหลดได้สมดุลพอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลดและหมุนอย่างอิสระจะมีเพียงค่าความถี่ของแบร์ริงและแรงต้านอากาศทำให้ V_A เกือบเท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้า

2.6 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F877 [20]

2.6.1 คุณสมบัติของ PIC 16F877

PIC 16F877 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลหนึ่งที่ได้รับคามนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 2.22 โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) มีคำสั่งใช้งาน 35 คำสั่ง คำสั่งหนึ่ง ๆ ใช้เวลาทำงาน 1 ถึง 2 ไซเคิล
- 2) ทำงานได้สูงสุดที่ 20 เม็กกะเฮิร์ต
- 3) ทำงานแบบไปป์ไลน์ (Pipe-line) ทำให้ ณ เวลาหนึ่งทำงาน 2 อย่างพร้อมๆกันได้
- 4) หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช (Flash) ขนาด 8KWord (1 word=14 บิต)
- 5) มีแรมขนาด 368 ไบต์ และอีอีพรอม ขนาด 256 ไบต์
- 6) ตอบสนองกับอินเทอร์รัพต์ได้ทั้งหมด 14 แหล่ง มีสแต็ก (Stack) สูงสุด 8 ระดับ
- 7) วอตซ์ด็อกไทเมอร์ และมีสัญญาณนาฬิกาหลายโหมดให้เลือกใช้งาน
- 8) มีระบบป้องกันโค้ด และมีโหมดประหยัดพลังงาน
- 9) สามารถโปรแกรมด้วยไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์
- 10) ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2 โวลต์ ถึง 5.5 โวลต์
- 11) กระแสซิงค์และกระแสซอร์ส (Current Sink and Current Source) 25 มิลลิ

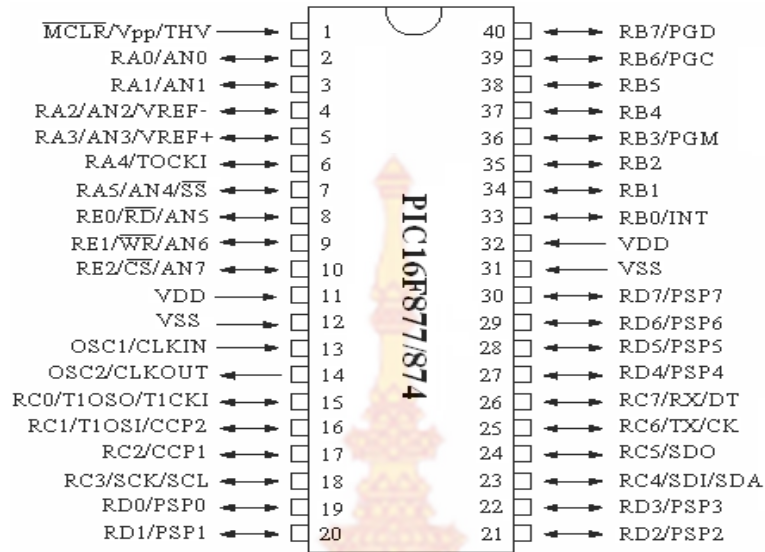
แอมแปร์

- 12) มีไทม์เมอร์ / เคาเตอร์ 3 ตัว
- 13) มีพอร์ตแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ 10 บิต จำนวน 8 ช่อง
- 14) มีระบบ USART สำหรับต่อกับ การสื่อสารแบบ RS232
- 15) มีพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตทั้งหมด 5 พอร์ต

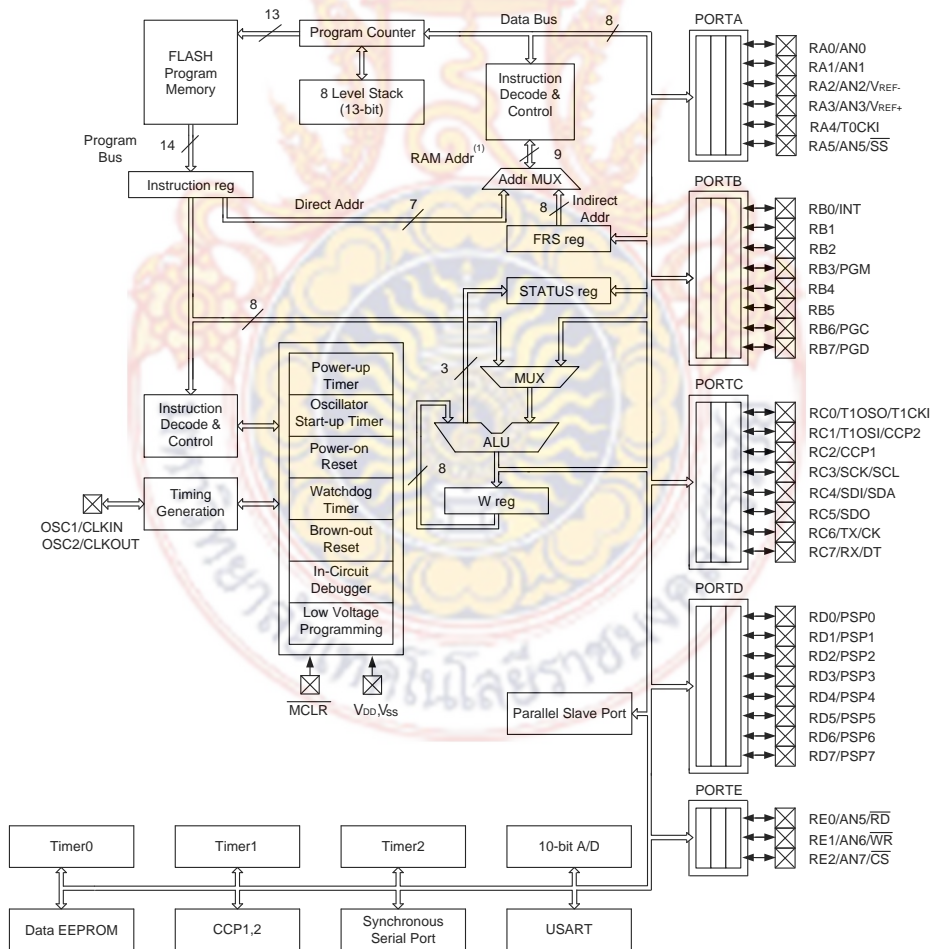
2.6.2 สัญญาณนาฬิกา

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC จะใช้สัญญาณนาฬิกา โดยมองเป็นลักษณะของวงรอบ (Cycle) ซึ่งระบุเอาไว้ว่า 1 คำสั่งนั้นจะประกอบไปด้วย 1-2 วงรอบ โดยแต่ละวงรอบนั้นจะแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ Q1, Q2, Q3 และ Q4 ด้วยเหตุนี้ ความเร็วโดยรวมของ PIC จึงเท่ากับค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ทหารด้วย 4 ดังแสดงในสมการที่ (2.8)

$$1 \text{ cycle} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = \frac{XTAL}{4} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.22 การจัดขาและคุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877



รูปที่ 2.23 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877

2.6.3 โครงสร้างภายในของ PIC 16F877

รูปที่ 2.23 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ในผังจะมี รีจิสเตอร์ (Register) สำคัญๆ คือ W ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการทำเป็นอินพุต (Input) ให้กับ ALU และเป็นตัวเก็บผลลัพธ์จากการทำงานของ ALU, STATUS เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บสถานะการทำงานของคำสั่งว่าเมื่อคำสั่งทำงานเสร็จแล้วเกิดอะไรขึ้นมาบ้าง ซึ่งมีประโยชน์ในการเขียนโปรแกรมแบบมีเงื่อนไข PC หรือ Program Counter เป็นรีจิสเตอร์อีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากใช้สำหรับเป็นตัวชี้ว่าคำสั่งที่จะนำมาประมวลผลนั้นอยู่ ณ ตำแหน่งใดในหน่วยความจำ

2.7 หน่วยความจำหลัก (Main Memory Unit)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดจำข้อมูลและโปรแกรมต่างๆ ที่อยู่ระหว่างการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ บางครั้งอาจเรียกว่า หน่วยเก็บข้อมูลหลัก (Primary storage) หน่วยความจำหลักที่นิยมใช้งานอยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ หน่วยความจำหลักแบบแก้ไขได้ หรือ แรม และหน่วยความจำหลักแบบอ่านได้อย่างเดียวหรือรอม

2.7.1 หน่วยความจำหลักแบบแก้ไขได้ (Random Access Memory, RAM)

หน่วยความจำหลักแบบแก้ไขได้ หมายถึง หน่วยความจำความเร็วสูงซึ่งเป็นที่เก็บโปรแกรมและข้อมูลในคอมพิวเตอร์ ถ้าไม่มีหน่วยความจำความเร็วสูงนี้ โปรเซสเซอร์ก็จะทำงานไม่ได้เลย เนื่องจากความจำแรมเป็นเสมือนกระดาดที่เก็บข้อมูลทุกอย่างที่โปรเซสเซอร์ใช้ในขณะกำลังทำงานอยู่ เพราะอุปกรณ์ที่เก็บข้อมูลอื่น เช่น ดิสก์ไดรฟ์ จะมีความเร็วในการอ่านและบันทึกข้อมูลช้ามาก ขณะที่ซีพียูทำงานจึงต้องทำงานกับหน่วยความจำแรมที่มีความเร็วสูงเสมอ

คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ส่วนมากจำเป็นต้องมีหน่วยความจำจำนวนมาก เนื่องจากคอมพิวเตอร์นี้จะมีผู้ใช้หลายคนทำงานพร้อม ๆ กันโดยใช้หลักการของมัลติโปรเซสซิง (Multiprocessing) ทำให้ต้องมีการแบ่งเนื้อที่ในหน่วยความจำเพื่อเก็บโปรแกรมของผู้ใช้แต่ละคนสามารถประมวลผลไปในเวลาเดียวกันมากขึ้น หน่วยความจำแรมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ

1) ไดนามิกแรม (Dynamic RAM, DRAM)

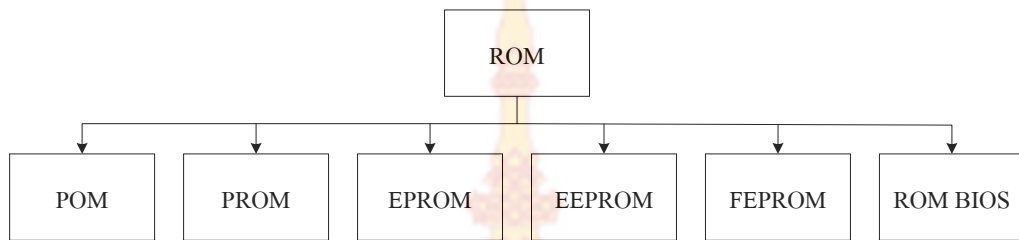
เป็นหน่วยความจำที่มีการใช้งานกันมากที่สุดในปัจจุบัน จะมีวงจรคล้ายตัวเก็บประจุเพื่อจัดเก็บแต่ละบิตของข้อมูล ทำให้ต้องมีการจ่ายสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปก่อนที่จะสูญหาย เรียกว่าการรีเฟรช (Refresh) หน่วยความจำไดนามิกแรมจะมีข้อดีที่ราคาต่ำ แต่ข้อเสียคือมีความเร็วในการเข้าถึง (Access time) ประมาณ 50 - 150 นาโนวินาที ซึ่งไม่สูงนักเนื่องจากต้องมีการรีเฟรชข้อมูลอยู่ตลอดเวลา ทำให้มีการนำเทคนิคต่าง ๆ มาช่วยลดเวลาในการเข้าถึงข้อมูล และเกิดดีแรมชนิดย่อย ๆ เช่น FPM (Fast Page Mode) RAM, EDO (Extended Data Output) RAM, SDRAM (Synchronous DRAM) นอกจากนี้ยังมีไดนามิกแรมแบบพิเศษซึ่งมีการปรับปรุงให้ทำงานเร็วขึ้นเพื่อใช้เป็นหน่วยความจำสำหรับระบบแสดงผลกราฟฟิคซึ่งต้องการหน่วยความจำที่สามารถถ่ายโอนข้อมูลด้วยความเร็วสูงเช่น VRAM (Video RAM), WRAM (Window RAM), SGRAM (Synchronous Graphics RAM) เป็นต้น

2) สเตตติกแรม (Static RAM, SRAM)

เป็นหน่วยความจำที่มีความเร็วสูงและใช้พลังงานน้อยมาก เนื่องจากข้อมูลที่เก็บอยู่ในสเตตติกแรม จะคงอยู่ได้ไม่ต้องทำการรีเฟรชข้อมูลอยู่ตลอดเวลาเหมือนไดนามิกแรมทำให้สเตตติก

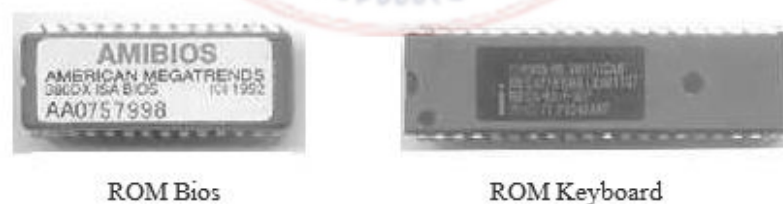
แรม สามารถใช้พลังงานจากถ่านนาฬิกาในการทำงานได้ถึงหนึ่งปี มีข้อเสียคือราคาสูง ทำให้นิยมใช้สแตติกแรมเป็นหน่วยความจำแคช (Cache memory) เพื่อเสริมความเร็วให้กับหน่วยความจำไดนามิกแรมในระบบคอมพิวเตอร์ความเร็วสูง เนื่องจากหน่วยความจำสแตติกแรมมีความเร็วต่ำกว่า 10 นาโนวินาที

2.7.2 หน่วยความจำหลักแบบอ่านได้อย่างเดียว (Read-Only Memory, ROM)



รูปที่ 2.24 ไดอะแกรมแบ่งชนิดของรอม

รอม เป็นหน่วยความจำอีกประเภทหนึ่งที่มีการอ้างอิงตำแหน่งที่อยู่ข้อมูลแบบเข้าถึงโดยการสุ่ม หน่วยความจำประเภทนี้มีไว้เพื่อบรรจุโปรแกรมสำคัญบางอย่างโดยที่เราหรือเครื่องคอมพิวเตอร์เองก็ไม่สามารถลบทิ้งได้ ทั้งนี้เพราะชิปที่ผู้ผลิตได้บรรจุคำสั่งไว้อย่างถาวร เนื่องจากหน่วยความจำภายในของเครื่องคอมพิวเตอร์จะว่างเปล่า เมื่อมีการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์จึงทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ไม่สามารถทำงานใด ๆ ได้ถ้าไม่ให้คำสั่งในการเริ่มต้น เพื่อว่าเมื่อเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ขึ้นมาซีพียู จะเริ่มต้นทำงานได้ทันที ข้อมูลหรือโปรแกรมที่เก็บไว้ในรอม จะถูกบันทึกมาก่อนแล้ว ผู้ใช้สามารถอ่านข้อมูลได้แต่ไม่สามารถเขียนข้อมูลใด ๆ ลงไปได้ ซึ่งข้อมูลหรือโปรแกรมที่อยู่ในรอมนี้จะอยู่อย่างถาวรแม้จะปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ ข้อมูลหรือโปรแกรมก็จะไม่ถูกลบไป รอมถือเป็นหน่วยความจำถาวรที่สามารถเก็บข้อมูลเอาไว้ได้ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ แม้ว่าถ้าไม่มีประจุไฟฟ้ามาหล่อเลี้ยงอยู่ก็ตาม จุดประสงค์ของรอมคือกักเก็บข้อมูลที่สำคัญ ๆ เอาไว้ อีกทั้งข้อมูลเหล่านี้ยังไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อป้องกันปัญหาการโดยไวรัสเล่นงาน หรือโดนผู้ไม่ประสงค์ดีจู่โจมเอาได้ ไมโครคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องอาจมีขนาดของหน่วยความจำหลักแตกต่างกันตามแต่ความต้องการ ปัจจุบันเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์มีหน่วยความจำที่มีความจุมากขึ้นเพื่อให้สามารถบรรจุโปรแกรมขนาดใหญ่ได้



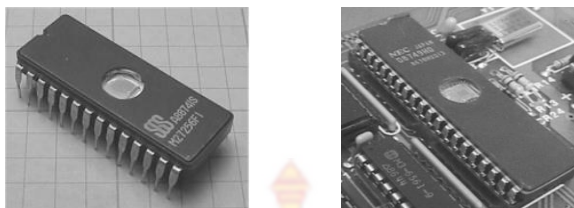
รูปที่ 2.25 ตัวอย่างของหน่วยความจำรอม

1) พรอม (Programmable Read-Only Memory, PROM)

พรอม คือหน่วยความจำรอม ซึ่งผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลที่บันทึกไว้ได้เพียงครั้งเดียว ถ้ากระบวนการเขียนเกิดข้อผิดพลาดก็ต้องเริ่มเขียนข้อมูลใหม่ทั้งหมด พรอมคือทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ที่ใช้ที่ต้องการบันทึกโค้ดโปรแกรมในหน่วยความจำรอมซึ่งต้องอาศัยเครื่องมือพิเศษที่เรียกว่าพรอมโปรแกรมเมอร์ (PROM Programmer) ในการบันทึกเครื่องมือชิ้นนี้จะป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์เฉพาะของหน่วยความจำรอม ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนฟิวส์ไฟฟ้า กระบวนการดังกล่าวเรียกว่าการเบิร์นพรอม (Burning PROM) ข้อจำกัดในการเบิร์นพรอม คือ ห้ามเกิดข้อผิดพลาดใดๆ เนื่องจากไม่สามารถแก้ไขได้อีก ดังนั้นจึงมีการคิดค้นรอมชนิดขึ้นมา เช่น อีพรอม (EPROM) และ อีอีพรอม (EEPROM) ซึ่งสามารถแก้ไขได้หลายครั้ง โดยป้อนพัลส์แรงดันไฟฟ้าสูง (High Voltage Pulsed) ทำให้แถบโลหะ (Metal Strips) ที่อยู่บนตัวไอซีขาดออกจากกัน ทำให้เกิดเป็นลอจิก “1” หรือ “0” ตามตำแหน่งที่กำหนดในหน่วยความจำนั้นๆ พรอมถูกลงโปรแกรมแล้ว ข้อมูลภายในจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อีก การโปรแกรมข้อมูลจะต้องโปรแกรมมาจากโรงงาน และต้องผลิตจำนวนมากจึงจะคุ้มค่ากับต้นทุนในการผลิต อีกทั้งโรงงานผู้ผลิตไอซี จะรู้ข้อมูลที่เก็บอยู่ด้วยสำหรับระบบดิจิทัลหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ผลิตออกมาจำนวนมากและต้องการใช้หน่วยความจำรอม สามารถนำหน่วยความจำรอมมาโปรแกรมเองได้ โดยหน่วยความจำนี้จะเรียกว่าพรอมหน่วยความจำประเภทนี้เซลล์เก็บข้อมูลแต่ละเซลล์จะมีฟิวส์ (Fused) ต่ออยู่เป็นแรงดันไฟฟ้าสูง (High Voltage Pulsed) ไอซีรอมที่ยังไม่ถูกโปรแกรมนั้น ข้อมูลทุกเซลล์หรือทุกบิตจะมีค่าเท่ากันหมด คือมีลอจิกเป็น 1 แต่เมื่อได้มีการโปรแกรมโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ เข้าไปจะทำให้เซลล์บางเซลล์ขาดไป ทำให้ตำแหน่งที่เซลล์นั้นต่ออยู่มีลอจิกเป็น 0 เมื่อพรอมถูกโปรแกรมแล้ว ข้อมูลภายในจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อีก เนื่องจากฟิวส์ที่ขาดไปแล้วสามารถต่อได้ หน่วยความจำชนิดนี้จะใช้ในงานที่ใช้ความเร็วสูง

2) อีพรอม (Erasable Programmable Read-Only Memory, EPROM)

อีพรอม คือหน่วยความจำรอม ประเภทที่สามารถเขียนคำสั่ง บันทึก และแก้ไขด้วยเครื่องมือเฉพาะได้หลาย ๆ ครั้ง ข้อมูลจะถูกบันทึกโปรแกรมโดยการให้สัญญาณที่มีแรงดันไฟฟ้าสูง (High Voltage Signal) ผ่านเข้าไปในตัวอีพรอม โดยการลบข้อมูลเดิมที่อยู่ในอีพรอมออกก่อน แล้วค่อยโปรแกรมเข้าไปใหม่ การลบข้อมูลนี้ทำได้ด้วยการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตเข้าไปในตัวไอซี โดยผ่านทางกระจกใสที่อยู่บนตัวไอซี เมื่อฉายแสงครู่หนึ่ง (ประมาณ 5-10 นาที) ข้อมูลที่อยู่ภายในก็จะถูกลบทิ้ง ซึ่งช่วงเวลาที่ฉายแสงนี้สามารถดูได้จากข้อมูลที่กำหนดในรายละเอียดทางเทคนิค (Data Sheet) มากับตัวอีพรอมและมีความเหมาะสมที่จะใช้เมื่องานของระบบมีโอกาสที่จะปรับปรุงแก้ไขข้อมูลใหม่ หน่วยความจำประเภทอีพรอม เป็นหน่วยความจำประเภทพรอมที่สามารถลบข้อมูลหรือโปรแกรมข้อมูลใหม่ได้ เหมาะสำหรับงานสร้างวงจรต้นแบบที่อาจต้องมีการแก้ไขโปรแกรมหรือข้อมูลใหม่ หน่วยความจำประเภทนี้มี 2 ประเภท คือ ประเภทที่ลบข้อมูลด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือที่เรียกกันว่า ยูวี พรอม (UV PROM) ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นหน่วยความจำที่ลบข้อมูลด้วยไฟฟ้าเรียกว่า อีอีพรอม



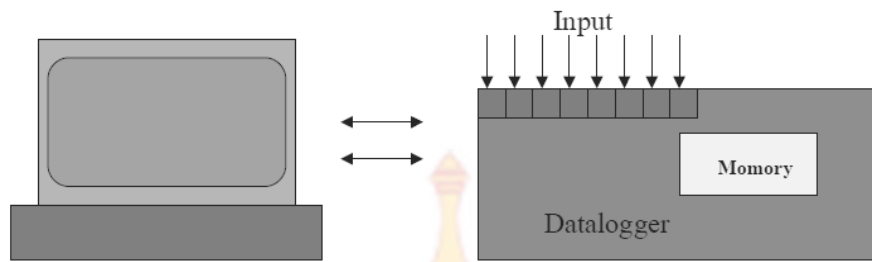
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างของอีพรอม

3) อีอีพรอม (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory, EEPROM)

อีอีพรอม คือ หน่วยความจำอ่านอย่างเดียวแบบโปรแกรมและลบได้ ด้วยกระแสไฟฟ้าเป็นชิป (Chip) ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติใช้เป็นหน่วยความจำ หากต้องการแก้ไขจะต้องใช้สัญญาณไฟฟ้าลบ แต่จะลบได้ที่ละ 1 ไบต์เท่านั้น แล้วบันทึกข้อมูลลงไปใหม่ หน่วยความจำชนิดนี้จะเก็บข้อมูลไว้ได้แม้ว่าจะไม่มีกระแสไฟฟ้ามาเลี้ยงในวงจรอีอีพรอม จะต่างจากอีพรอม ตรงที่ไม่จำเป็นต้องถอดออกจากเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการแก้ไขข้อมูล การลบข้อมูลในหน่วยความจำอีอีพรอม จะเป็นการลบข้อมูลทั้งหมด ไม่สามารถเลือกลบเฉพาะบางส่วนได้ อย่างไรก็ตามมันมีอายุการใช้งานจำกัดขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งในการลบหรือแก้ไขข้อมูล เช่น 10 ครั้ง หรือ 100 ครั้ง รูปแบบพิเศษของอีอีพรอม คือหน่วยความจำแฟลช (Flash Memory) ซึ่งใช้ระดับไฟปกติในเครื่องพีซีสำหรับการลบหรือเขียนหรือแก้ไขข้อมูล หน่วยความจำหลักชนิดอีอีพรอมเป็นหน่วยความจำหลักเหมือนกับอีพรอมแต่จะต่างกันตรงที่สามารถจะเขียนโปรแกรมใหม่ลงในอีอีพรอมได้ง่ายกว่าโดยใช้กระแสไฟฟ้าธรรมดาที่มีโปรแกรมใหม่ลงในอีอีพรอมได้ง่ายกว่า โดยใช้กระแสไฟฟ้าธรรมดาที่มีโปรแกรมเป็นตัวควบคุมโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ เช่น แสงอุลตราไวโอเลตเหมือนกับอีพรอม อีอีพรอมจะต่างกับหน่วยความจำประเภทแรมอีกประการหนึ่งคือ การเขียนและการลบข้อมูลบนอีอีพรอมจะใช้เวลามากกว่าแรมหลายเท่า ทำให้อีอีพรอมมีใช้มากกับงานที่ไม่ต้องการแก้ไขข้อมูลบ่อยครั้งนัก และเมื่อต้องการแก้ไขข้อมูลก็สามารถทำได้บวกกับข้อมูลที่เก็บอยู่ในอีอีพรอมยังคงอยู่เมื่อทำการปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แล้ว และความเร็วของอีอีพรอมมีความใกล้เคียงกับแรมมาก อีอีพรอมจึงถูกใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ตามห้างสรรพสินค้าที่เก็บรายละเอียดราคาของสินค้าผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงราคาสินค้าได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหน่วยความจำประเภทอีอีพรอม แม้ว่าจะลบโปรแกรมข้อมูลได้ด้วยกระแสไฟฟ้าซึ่งสะดวกในการทำงานแต่ความเร็วในการอ่านและเขียนข้อมูลจะไม่เร็วเท่าที่ควร



รูปที่ 2.27 ลักษณะตัวถังของอีอีพรอม

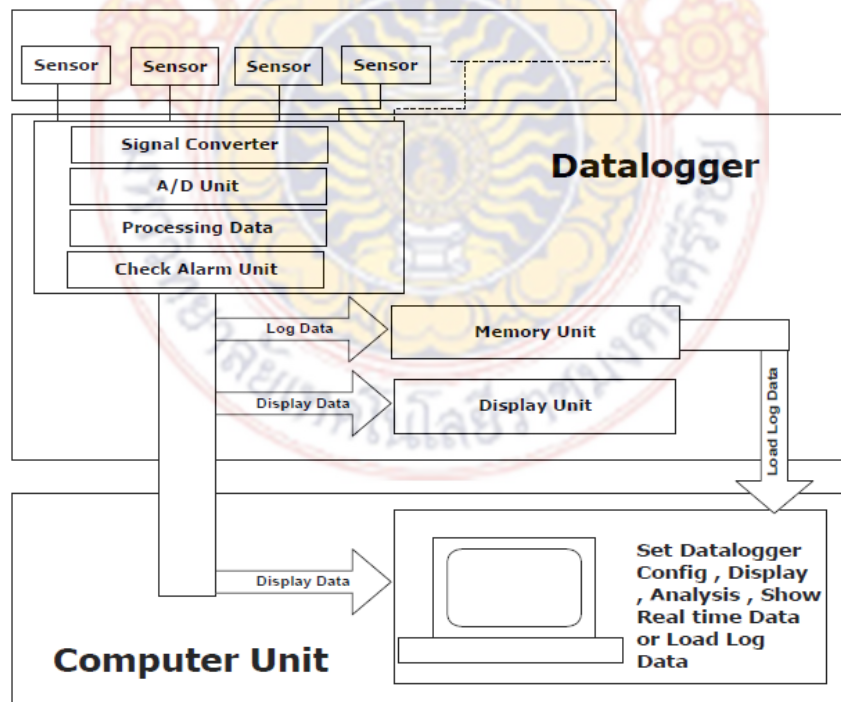


รูปที่ 2.28 ลักษณะการทำงานของระบบดาต้าล็อกเกอร์

2.8 การจัดเก็บข้อมูลแบบดาต้าล็อกเกอร์ (Data logger)

ดาต้าล็อกเกอร์ (Data logger) คือ ระบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการและเก็บข้อมูล พื้นฐานของระบบดาต้าล็อกเกอร์ ประกอบไปด้วยสแกนเนอร์หรือดิจิตอลโวลต์มิเตอร์และตัวบันทึกข้อมูล ซึ่งรับอินพุตที่เป็นระบบอนาลอกจากตัวตรวจรู้ แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลเป็นระบบดิจิตอลและเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อการนำไปใช้ต่อไป ลักษณะการเก็บข้อมูลดาต้าล็อกเกอร์แสดง ดังในรูปที่ 2.28

ดาต้าล็อกเกอร์ จะมีหน่วยความจำสำหรับเก็บค่าที่วัดได้ของสัญญาณ ตามช่วงเวลาการบันทึกที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของดาต้าล็อกเกอร์มานำเสนอบนหน้าจอได้



รูปที่ 2.29 ฟังก์ชันของดาต้าล็อกเกอร์

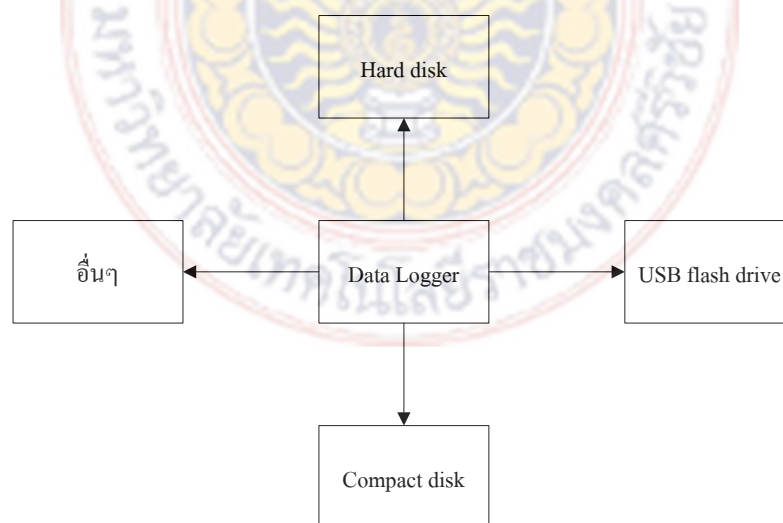
2.8.1 ฟังก์ชันของดาต้าล็อกเกอร์ (Function of Data logger)

จากรูปที่ 2.29 แสดงให้เห็นว่าดาต้าล็อกเกอร์จะรับค่าที่จะบันทึกจากตัวตรวจรู้เข้ามาผ่านชุดแปลงสัญญาณ (Signal Converter) เพื่อทำการแปลงสัญญาณที่รับมาให้เป็นสัญญาณที่พอร์ตแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) ของดาต้าล็อกเกอร์สามารถนำมาใช้ในการแปลงให้เป็นข้อมูลดิจิทัลได้ หลังจากนั้นดาต้าล็อกเกอร์อาจนำข้อมูลดิจิทัลนั้นมาประมวลผลหรือนำข้อมูลมาเช็คเพื่อทำการส่งเสียงไปเตือนผู้ใช้งานว่าข้อมูลมีค่ามากไปหรือน้อยไปได้แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ไปเก็บบันทึกในหน่วยความจำของดาต้าล็อกเกอร์หรือนำมาแสดงผลบนหน้าปัดของดาต้าล็อกเกอร์หรือบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

ระบบดาต้าล็อกเกอร์จะใช้การควบคุมโดยไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor) ซึ่งใช้ระบบบัส (Bus) สองระบบคือระบบบัสข้อมูล (Data bus) ใช้ในการส่งข้อมูล และบัสของตำแหน่ง (Address bus) โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำที่เรียกว่ารอมซึ่งเป็นหน่วยความจำที่ใช้สำหรับอ่านเท่านั้น และเก็บในแรม ชุดคำสั่งโปรแกรมหลักจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำรอม ส่วนข้อมูลอินพุต ตัวแปรในแต่ละช่องสัญญาณ และชุดคำสั่งโปรแกรมอื่นๆ จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำแรมผ่านทางแบ็นพิมพ์

ระบบของสแกนเนอร์ (Scanner) จะบรรจุสวิตช์และมีสายเชื่อมต่อกับดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ (Integrating digital voltmeter) ซึ่งส่วนมากจะมีความเร็วสูง โดยใช้อุปกรณ์สวิตซ์ซิงแบบโซลิตสแตท (Solid-state switching devices) การทำงานของสแกนเนอร์ จะถูกควบคุมโดยระบบคอนโทรลเลอร์ (Controller) รูปแบบการทำงานของสแกนเนอร์แบ่งได้ ดังนี้

- 1) Single channel recording mode
- 2) Single scan of all channel mode
- 3) Continuous scan mode
- 4) Periodic scan mode



รูปที่ 2.30 รูปแบบการใช้งานดาต้าล็อกเกอร์กับอุปกรณ์อื่น

2.8.2 การเก็บข้อมูลดิจิทัล

สัญญาณจากทรานสดิวเซอร์ (Transducer) จะผ่านเข้าไปในสแกนเนอร์ไปยังดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ซึ่งใช้การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ความเร็วของการทำงานขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ และความละเอียดที่ต้องการเอาต์พุตจากดาต้าล็อกเกอร์ จะเป็นค่าที่แสดงในจอภาพมิเตอร์ แสดงเป็นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต การบันทึกข้อมูลจากดาต้าล็อกเกอร์โดยมากจะพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ อย่างไรก็ตามยังสามารถเก็บบันทึกข้อมูลไว้ในอุปกรณ์อื่นได้อีกด้วย เช่น แถบแม่เหล็ก ฮาร์ดดิส คอมพิวเตอร์ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.30

Date/Time	a1(u1)	a2(u2)	a3(u3)	a4(u4)	c1(uc)	d1	d2	do1	do2
02 15:02:07	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	OFF	OFF	OFF	OFF
02 15:02:09	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	OFF	OFF	OFF	OFF
02 15:02:11	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	OFF	OFF	OFF	OFF
02 15:02:13	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	OFF	OFF	OFF	OFF
02 15:02:15	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	OFF	OFF	OFF	OFF
02 15:02:17	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	OFF	OFF	OFF	OFF
02 15:02:19	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	OFF	OFF	OFF	OFF
02 15:02:21	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	OFF	OFF	OFF	OFF
02 15:02:23	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	OFF	OFF	OFF	OFF
02 15:02:25	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	OFF	OFF	OFF	OFF
02 15:02:27	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	OFF	OFF	OFF	OFF
02 15:02:29	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	OFF	OFF	OFF	OFF

	Max	At Time	Min	At Time	Total Count
a1(u1)	0.00	02 15:02:07	0.00	02 15:02:07	
a2(u2)	0.000	02 15:02:07	0.000	02 15:02:07	
a3(u3)	0.000	02 15:02:07	0.000	02 15:02:07	
a4(u4)	0.000	02 15:02:07	0.000	02 15:02:07	
c1(uc)	0.000	02 15:02:07	0.000	02 15:02:07	0.000

รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการนำเสนอข้อมูลที่ได้จากดาต้าล็อกเกอร์

2.8.3 รูปแบบในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับดาต้าล็อกเกอร์

ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับดาต้าล็อกเกอร์ นั้น จะสามารถดำเนินการได้หลายช่องทาง ไม่ว่าจะผ่านมาตรฐาน RS232 RS422 RS485 USB IEEE1394 GPIB SCSI TTL Parallel Ethernet Modem และ Radio / Telemetry เป็นต้น ซึ่งแต่ละแบบก็เหมาะสมกับการใช้งานคนละรูปแบบกัน เช่น ถ้าเราสามารถต่อสายจากเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อติดต่อกับดาต้าล็อกเกอร์ในระยะใกล้ๆ ได้และทำการติดต่อกับดาต้าล็อกเกอร์เพียงตัวเดียวก็อาจใช้ดาต้าล็อกเกอร์ที่ใช้มาตรฐาน RS232 หรือถ้าต่อสายระยะใกล้ๆ ได้แต่ต้องการติดต่อกับดาต้าล็อกเกอร์หลายๆ ตัวพร้อมกันได้ก็อาจใช้ดาต้าล็อกเกอร์ที่ใช้มาตรฐาน RS485 หรือถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เราจะใช้งานกับดาต้าล็อกเกอร์อยู่ไกลจาก ดาต้าล็อกเกอร์มากๆ ก็อาจจะใช้ดาต้าล็อกเกอร์ที่สามารถใช้โมเด็ม (Modem) ในการติดต่อสื่อสารแทน เป็นต้น

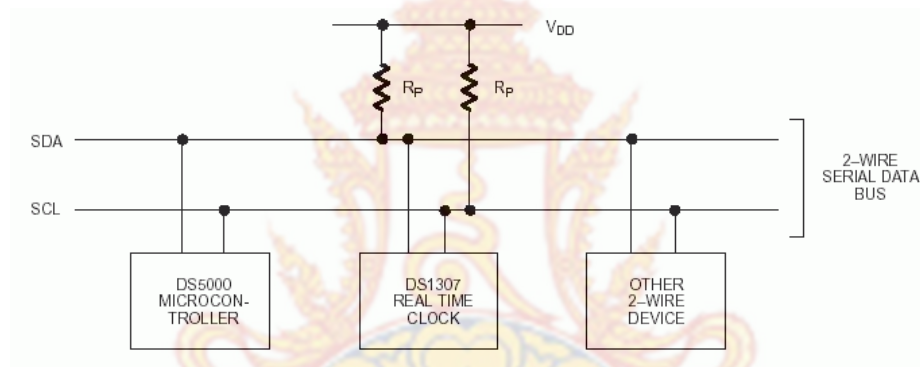
2.8.4 การนำเสนอข้อมูล

คือ การนำเสนอข้อมูลที่ได้จากดาต้าล็อกเกอร์ในรูปแบบต่างๆ เช่น รูปแบบตาราง (Table) รูปแบบกราฟ (Graph) และใช้โปรแกรมอื่นในการนำเสนอ เช่น โปรแกรมเอ็กเซล เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.31

2.8.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I²C

I²C (Inter-IC Communication) หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี โดยบัส I²C ได้รับการพัฒนาโดยฟิลิปส์ (Philips) ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อทำงาน และควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือสายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้กำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I²C ทำได้ง่ายมาก เพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสถานะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

สายข้อมูลบนบัส I²C มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า สายข้อมูลอนุกรมหรือ SDA (Serial Data line) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกามีชื่อเรียกว่าสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมหรือ SCL (Serial Clock line) ในการอธิบายต่อไปนี้จะเรียกสายสัญญาณทั้งสองว่า SDA และ SCL ดังแสดงในรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 ลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบบัส I²C

1) คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I²C

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (Bi-directional line) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัพกับแรงดันไฟฟ้า +5 โวลต์ ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน ทั้งยังช่วยป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสอง วงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I²C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรทรานเปิด (Open-drain) หรือ คอลเลกเตอร์เปิด (Open-collector)

อัตราการถ่ายเทข้อมูลบนบัส I²C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาที ในโหมดปกติ และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาที ในโหมดความเร็วสูง อุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I²C จะต้องมีความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400 พิโกฟารัด การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I²C ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึงสองค่าคือ 7 บิต (7-bit addressing) หรือ 10 บิต (10-bit addressing)

2) หลักการของบัส I²C

ระบบบัส I²C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้นคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่าขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ใดเป็นตัวรับหรือส่งต่อไปนี้จะขออธิบาย

ลักษณะ หน้าทีและนิยามของอุปกรณ์บนบัส I²C เพื่อเป็นข้อตกลงก่อนอธิบายการทำงานของบัส I²C ต่อไป

- อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่าตัวส่ง (Transmitter)
- อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่าตัวรับ (Receiver)
- อุปกรณ์บนบัส I²C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I²C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งอย่างเดียว
- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส I²C เรียกว่ามาสเตอร์ (master)
- อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I²C เรียกว่า สเลฟ (slave)

3) ข้อกำหนด 2 ประการ สำคัญของการติดต่อบนบัส I²C คือ

- การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น
- ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดความเปลี่ยนแปลงเด็ดขาด มิฉะนั้นสัญญาณที่เกิดขึ้น จะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

4) การเขียน อ่านข้อมูลกับอุปกรณ์แบบ I²C Bus

- ส่งสถานะเริ่มต้น (START Conditions) เพื่อแสดงการขอใช้บัสแล้วตามด้วยรหัสควบคุม (Control Byte) ซึ่งประกอบด้วยรหัสประจำตัวอุปกรณ์ (Device ID, Device Address) และโหมด (Mode) ในการเขียนหรืออ่านข้อมูล
- เมื่ออุปกรณ์รับทราบว่ามีใครคอนโทรลเลอร์ต้องการจะติดต่อกับก็ต้องส่งสถานะรับรู้ (Acknowledge) หรือแจ้งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับรู้ว่ามีข้อมูลที่ได้ส่งมา มีความถูกต้องและเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องส่งสถานะสิ้นสุด (Stop Conditions) เพื่อบอกกับอุปกรณ์ว่าสิ้นสุดการใช้บัส

5) ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของบัส I²C

สถานะที่เกิดขึ้นบนบัส I²C มีด้วยกัน 5 สถานะดังนี้

- บัสว่าง (Bus not busy) สถานะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL มีลอจิกสูงทั้งคู่ นั้นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้
- เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (Start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสถานะนี้ว่า สถานะเริ่มต้น (START)
- ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (Data valid) สถานะนี้เกิดขึ้นถัดจากสถานะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดเมื่อสาย SCL มีลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับข้อมูลในจังหวะนั้นว่าเป็น "0" หรือ "1" ข้อมูลอาจเกิดความเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์

สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดเกิดความผิดพลาดเกิดขึ้น

- รับรู้ข้อมูล (Acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากการถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่าบิตรับรู้ (Acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังการส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างอิงในการติดต่อ หรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำเพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว
- หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (Stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูงเรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะหยุด (Stop)

6) การทำงานบนบัส I²C

เริ่มต้นด้วยการเข้าถึงอุปกรณ์เสียก่อน โดยการเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I²C นั้นจะใช้เวลาเข้าถึงแบบ 7 หรือ 10 บิต ในกรณีที่มียุกรณ์ที่อยู่บนบัสไม่มากใช้เวลาเข้าถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอ แต่ในบางอุปกรณ์ต้องใช้การเข้าถึงแบบ 10 บิต หลังจากนั้น จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลกันต่อไป

7) การเข้าถึงแบบ 7 บิต (7-bit addressing)

ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสภาวะเริ่มต้น คือ ข้อมูลที่ใช้อ้างอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อใน 7 บิตบนรวมทั้งบิต LSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็นบิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (fix address bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิตไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิต เป็นบิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (Programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0-A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I²C ส่วนในบิต LSB ที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ หากบิต LSB เป็น "0" หมายถึง ต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้น ถ้าเป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ

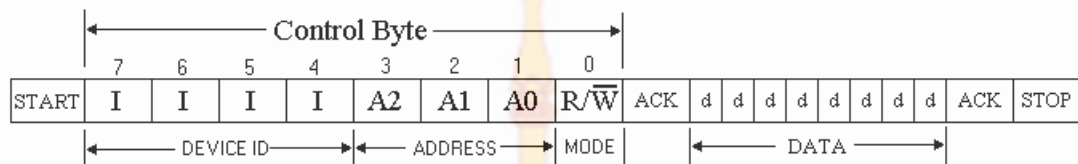
ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลควบคุม (Control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวจะมีการกำหนดข้อมูลควบคุมที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่างเช่น ไอซีเมมโมรี่ของทีวีตระกูล 24Cxx จะต้องส่งข้อมูลแอดเดรสของหน่วยความจำก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลไป

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง (Data) หลังจากการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับรู้ตอบกลับมาด้วยทุกครั้ง

8) การเข้าถึงแบบ 10 บิต (10-bit addressing)

จะมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในไบต์แรกหลักจากสภาวะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบนมีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่า ต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่

ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนี้จะเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อเช่นเดียวกันกับการเข้าถึงแบบ 7 บิตหลังจากถ่ายถอดข้อมูลครบทุกไบต์ต้องมีสถานะรับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้ขบวนการถ่ายถอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้



รูปที่ 2.33 รูปแบบการเขียนอ่านข้อมูลแบบบัส I²C

2.9 โปรแกรมวิซวลเบสิก (Visual Basic Program)

วิซวลเบสิก (Visual Basic) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ (Programming Language) ที่พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ ซึ่งเป็นบริษัทยักษ์ใหญ่ที่สร้างระบบปฏิบัติการ Windows 95/98 และ Windows NT ที่เราใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยตัวภาษาเองมีรากฐานมาจากภาษาเบสิก (Basic Language) ถ้าแปลให้ได้ตามความหมายคือ ชุดคำสั่งหรือภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับผู้เริ่มต้น ภาษาเบสิกมีจุดเด่นคือผู้ที่ไม่มีพื้นฐานเรื่องการเขียนโปรแกรมเลขก็สามารถเรียนรู้และนำไปใช้งานได้โดยง่ายตายและรวดเร็ว เมื่อเทียบกับการเรียนภาษาคอมพิวเตอร์อื่นๆ เช่น ภาษาซี (C) ปาสคาล (Pascal) ฟอรัทแรน (Fortran) หรือ แอสเซมบลี (Assembler) ดังแสดงในรูปที่ 2.34

ไมโครซอฟท์ที่ได้พัฒนาโปรแกรมภาษาเบสิกมานานนับสิบปี ตั้งแต่ภาษาเอ็มเบสิก (Microsoft Basic) เบสิกเอ (Basic Advanced) จีดับบลิวเบสิก และควิกเบสิก ซึ่งได้ติดตั้งมาพร้อมกับระบบปฏิบัติการเอ็มเอสดีเอส (Ms DOS) ในที่สุดโดยใช้ชื่อว่าควิกเบสิก (QBASIC) โดยแต่ละเวอร์ชันที่ออกมานั้นได้มีการพัฒนาและเพิ่มเติมคำสั่งต่างๆ เข้าไปโดยตลอด ในอดีตโปรแกรมภาษาเหล่านี้ล้วนทำงานในเท็กซ์โหมด (Text Mode) คือ เป็นตัวอักษรล้วนๆ ไม่มีภาพกราฟฟิกสวยงามแบบระบบวินโดว์ (Windows) อย่างในปัจจุบัน จนกระทั่งเมื่อระบบปฏิบัติการวินโดว์ ได้รับความนิยมอย่างสูงและเข้ามาแทนที่ดอส ไมโครซอฟท์ก็เล็งเห็นว่าโปรแกรมภาษาในเท็กซ์โหมดนั้นคงถึงกาลที่หมดสมัย จึงได้พัฒนาปรับปรุงโปรแกรมภาษาเบสิกของตนออกมาใหม่เพื่อสนับสนุนการทำงานในระบบวินโดว์ ทำให้วิซวลเบสิกถือกำเนิดขึ้นมาตั้งแต่บัดนั้น

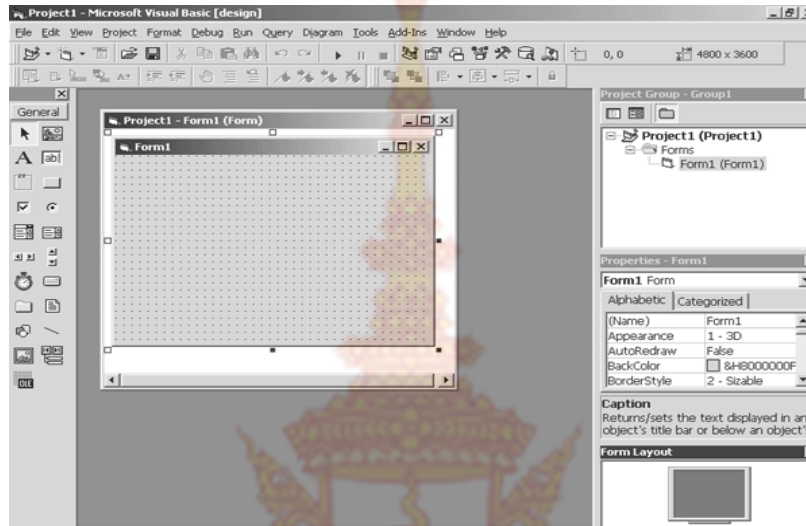
2.9.1 ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยวิซวลเบสิก

สาเหตุที่วิซวลเบสิก เป็นภาษาที่เหมาะสมสำหรับการเรียนรู้ในการเขียนโปรแกรมนั้น เนื่องจากวิซวลเบสิกมีข้อดีหลายประการคือ

- 1) ง่ายต่อการเรียนรู้เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น ทั้งในเรื่องไวยากรณ์ของภาษาเองและเครื่องมือการใช้งาน
- 2) ได้รับความนิยมของตัวภาษา โดยอาจกล่าวได้ว่าภาษาเบสิกนั้นเป็นภาษาที่คนเรียนรู้และใช้งานมากที่สุดในประวัติศาสตร์ของคอมพิวเตอร์

- 3) การพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพในด้านของตัวภาษาและความเร็วของการประมวลผลและในเรื่องของความสามารถใหม่ๆ เช่น การติดต่อกับระบบฐานข้อมูล การเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

2.9.2 การใช้เครื่องมือต่าง ๆ ของโปรแกรมวิซวลเบสิก



รูปที่ 2.34 ตัวอย่างจากการสร้างโปรเจกใหม่ขึ้นมาใหม่

- 1) แถบเมนู (Menu bar)

เป็นส่วนที่รวบรวมคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของวิซวลเบสิก ดังแสดงในรูปที่ 2.35 รายละเอียดของแถบเมนู ซึ่งจะขออธิบายส่วนที่แปลกออกมาได้ดังนี้

- Project ประกอบด้วยคำสั่งที่ใช้จัดการกับโปรเจกที่กำลังทำอยู่
- Build มีคำสั่งที่ใช้คอมไพล์โปรเจค
- Debug มีคำสั่งที่ช่วยในการตรวจสอบหาข้อผิดพลาดของโปรแกรม
- Data มีคำสั่งที่ใช้ติดต่อกับฐานข้อมูล
- Format มีคำสั่งที่ใช้จัดตำแหน่งให้กับออปเจกต่างๆ บนฟอร์ม

File Edit View Project Format Debug Run Query Diagram Tools Add-Ins Window Help

รูปที่ 2.35 แถบเมนู

- 2) แถบเครื่องมือมาตรฐาน (Standard Toolbar)

เป็นแถบเครื่องมือที่ช่วยให้เรียกบางคำสั่งได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.36

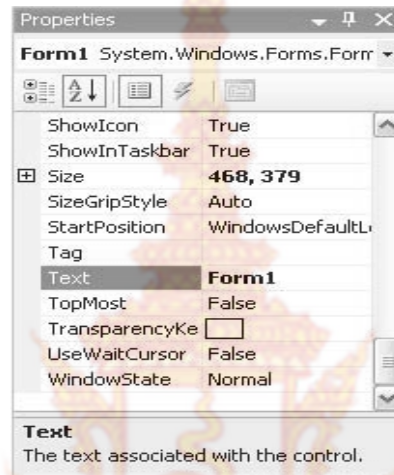


รูปที่ 2.36 แถบเครื่องมือมาตรฐาน

3) คุณสมบัติ (Properties)

เป็นส่วนที่เก็บคุณลักษณะของออปเจกต์ (Object) ไว้ทั้งสี ขนาด ตำแหน่ง ดังแสดงใน

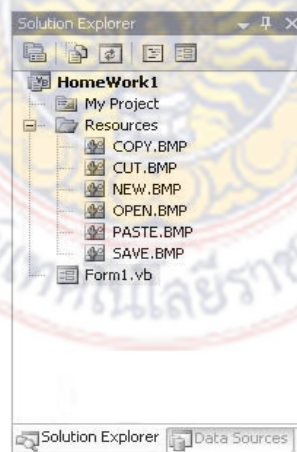
รูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 แถบคุณสมบัติ

4) ส่วนแสดงชื่อรายการ (Solution Explorer)

เป็นส่วนแสดงชื่อรายการที่เป็นส่วนประกอบของโปรเจกต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.38



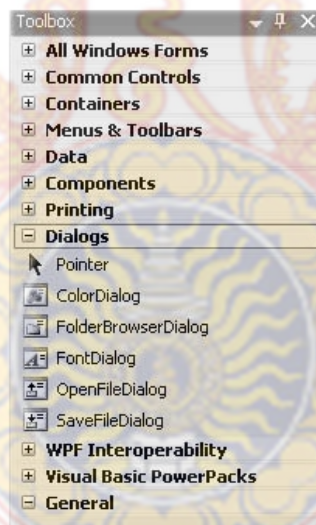
รูปที่ 2.38 ส่วนแสดงชื่อรายการ

5) กล่องเครื่องมือ (Toolbox)

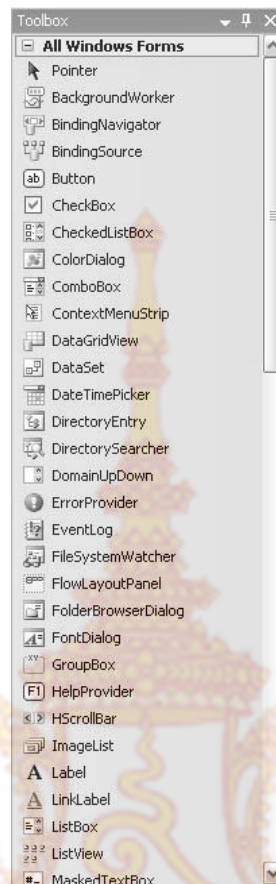
กล่องเครื่องมือเป็นส่วนที่บรรจุคอนโทรลต่างๆ ไว้เพื่อใช้ออกแบบหน้าจอโปรแกรม โดยปกติแล้วกล่องเครื่องมือ อาจจะซ่อนไว้ ถ้าหาไม่เจอ กล่องเครื่องมือนี้จะอยู่ทางด้านซ้ายมือของโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 2.39 และรูปที่ 2.40

คอนโทรลในกล่องเครื่องมือแบ่งออกเป็น 7 กลุ่มหลักๆ คือ

- Common Controls คือ คอนโทรลพื้นฐานต่าง เช่น ปุ่ม textbox เป็นต้น
- Containers เป็นคอนโทรลที่ใช้จัดกลุ่มให้กับคอนโทรลอื่น ๆ เช่น GroupBox Panel
- Menu & Tool Bars สำหรับสร้างเมนูและ toolbar
- Data ใช้ทำงานกับฐานข้อมูล
- Components คอนโทรลที่ไม่แสดงรูปร่างหน้าตาออกมาบนฟอร์ม แต่จัดเตรียมฟังก์ชันการทำงานให้กับโปรแกรม เช่น ไทม์เมอร์
- Printing เกี่ยวข้องกับการพิมพ์เอกสารออกทางพรินเตอร์
- Dialogs ใช้แสดงการโต้ตอบ (Dialog) พื้นฐานชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.39 กล่องเครื่องมือ



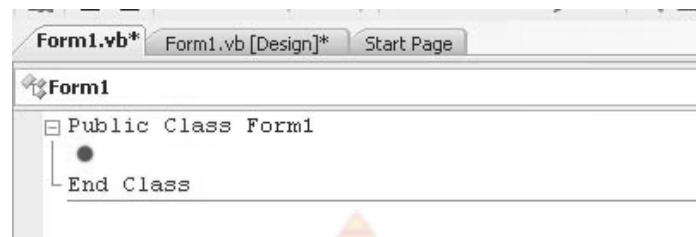
รูปที่ 2.40 เครื่องมือภายในกล่องเครื่องมือ

การเขียนโค้ด ตามรูปด้านบน คลิกที่เมนู View --> Code หรือกด F7



รูปที่ 2.41 การเขียนโค้ด

หน้าจอสำหรับเขียน Code PublicClass Form1 ตรงนี้คือคลาสชื่อ Form1 โดยเราจะเขียนโค้ดต่าง ๆ ไว้ในคลาสทั้งฟังก์ชันย่อย (Sub function) และคำสั่งต่าง ๆ



รูปที่ 2.42 หน้าจอสำหรับเขียนโค้ด

2.10 บทสรุป

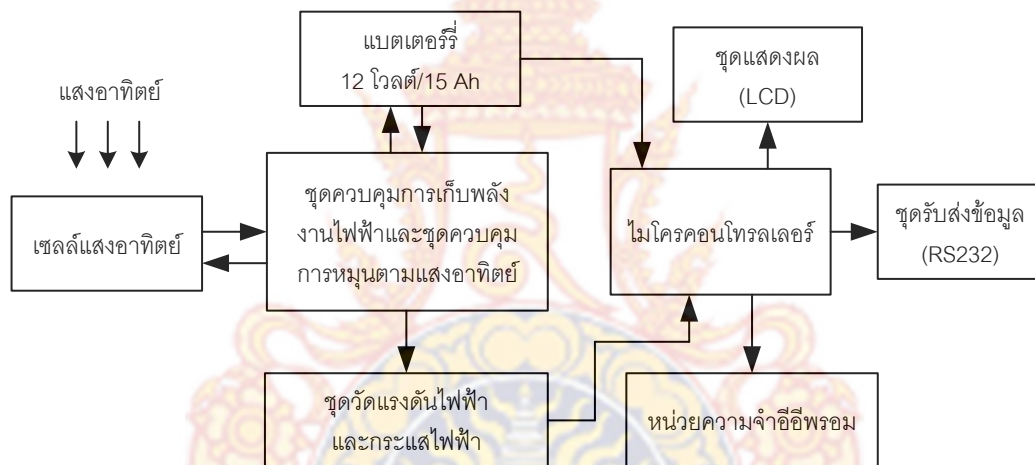
ในการออกแบบสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการหมุนของดวงอาทิตย์ หลักการติดตามดวงอาทิตย์ การจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า ตลอดจนการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมการหมุนของดวงอาทิตย์ ทั้งแบบแกนเดียวและแบบสองแกน บทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ ทั้งหลักการหลักการติดตามดวงอาทิตย์ การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับตัวตรวจรู้เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งชนิดติดตั้งแบบคงที่ เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ทั้งแบบแกนเดียวและแบบสองแกน รวมทั้งข้อดีและข้อด้อยของงานวิจัยดังกล่าว



บทที่ 3

การออกแบบชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้นำเสนอ โดยนำความรู้จากทฤษฎีต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เพื่อใช้ออกแบบและสร้างชุดควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด เนื้อหาแสดงถึงการออกแบบโครงสร้าง วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตลอดจนวงจรตรรกะที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบแสงอาทิตย์และการติดตามแสงอาทิตย์ ทั้งแบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกนตามลำดับ



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ

รูปที่ 3.1 แสดงหลักการทำงานของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ (1) ชุดควบคุมการจัดเก็บพลังงานและควบคุมการหมุนตามแสงอาทิตย์ (2) ชุดวัดแรงดันไฟฟ้าและชุดวัดกระแสไฟฟ้า (3) ชุดควบคุมการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบดักข้อมูลทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และ (4) ส่วนแสดงผลและการรับส่งผ่านข้อมูล ตามลำดับ มีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์จะทำการเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ใน 3 รูปแบบ (แบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์แกนเดียว และแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ 2 แกน) พลังงานไฟฟ้างดังกล่าวจะถูกจัดเก็บยังแบตเตอรี่โดยชุดควบคุมการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า ขณะเดียวกันจะมีชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่ที่ตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า เพื่อนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ไปจัดเก็บลงในหน่วยความจำออสซิลโลสโคปผ่านการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีชุดแสดงผลแอลซีดี

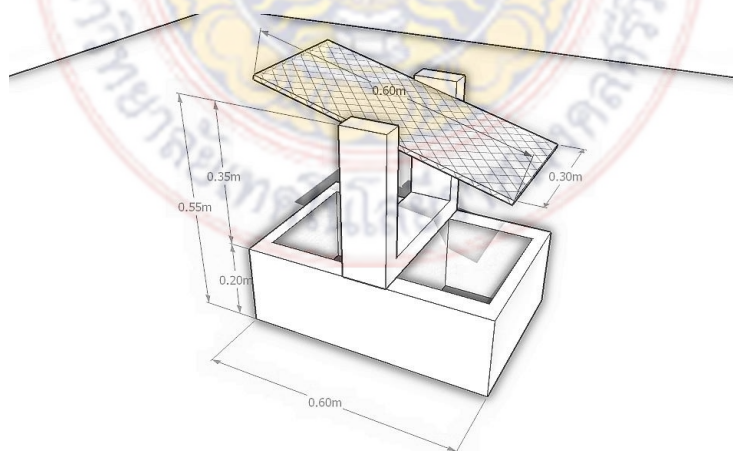
ทำหน้าที่แสดงผลการทำงานของระบบ และข้อมูลดังกล่าวสามารถดึงไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS232

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1 นั้น จะเห็นได้ว่า พลังงานไฟฟ้าที่ได้จะมากหรือน้อยนั้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับมุมการรับแสงเพื่อให้ได้ปริมาณสูงสุด จึงควรอยู่ในลักษณะที่ทำมุมที่เหมาะสมกับแสงอาทิตย์ตลอดเวลา [8] ดังนั้น ในการออกแบบชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสามแบบจึงมีความสำคัญ เพื่อให้มีขนาดเล็ก กระทัดรัด สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก มีระบบจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ โดยออกแบบให้มีคุณสมบัติเหมือนกัน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ดังจะแสดงในรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

3.1 การออกแบบโครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ

ในการออกแบบโครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ ได้มีการออกแบบโครงสร้างออกเป็น 3 ลักษณะ คือ (1) โครงสร้างเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งคงที่ (2) โครงสร้างเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหมุนตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว และ (3) โครงสร้างแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน ตามลำดับ โดยทั้ง 3 แบบ โดยการออกแบบได้กำหนดให้มีลักษณะที่เหมือนกัน รวมทั้งการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ โดยเฉพาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วงจรควบคุมการประจุไฟฟ้า และแบตเตอรี่ ตามลำดับ เพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการทำงานและหาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ การออกแบบได้กำหนดขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 วัตต์ มีขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร และความยาว 60 เซนติเมตร

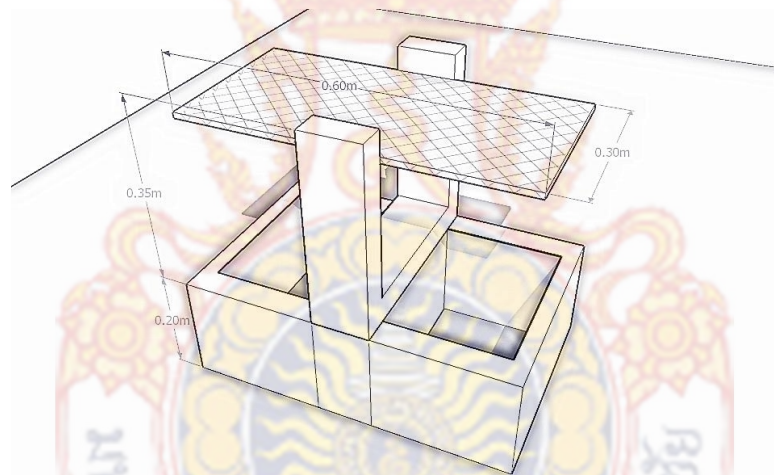
3.1.1 โครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่



รูปที่ 3.2 โครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งคงที่

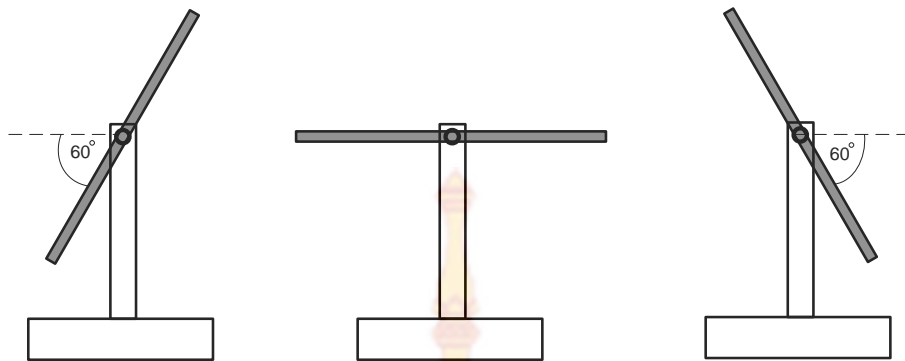
การออกแบบชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งคงที่ที่ถูกแสดงในรูปที่ 3.2 ใช้อลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบหลักเนื่องจากมีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงทนทาน สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ส่วนฐานของโครงสร้างถูกออกแบบให้มีขนาดที่เหมาะสมกับขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กำหนดให้มีความสูงขนาด 55 เซนติเมตร ความกว้างของฐานขนาด 40 เซนติเมตร และความยาวขนาด 60 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนของแขนจับแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ได้ออกแบบให้ตัวจับแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถปรับมุมเอียงอยู่ในช่วงระหว่าง ± 45 องศาโดยผู้ใช้งาน เนื่องจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่นั้น จะต้องปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำมุมเอียงประมาณ 15 - 30 องศา กับแนวระนาบ และหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ เพื่อประสิทธิภาพการรับแสงอาทิตย์สูงสุด [10]

3.1.2 โครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว



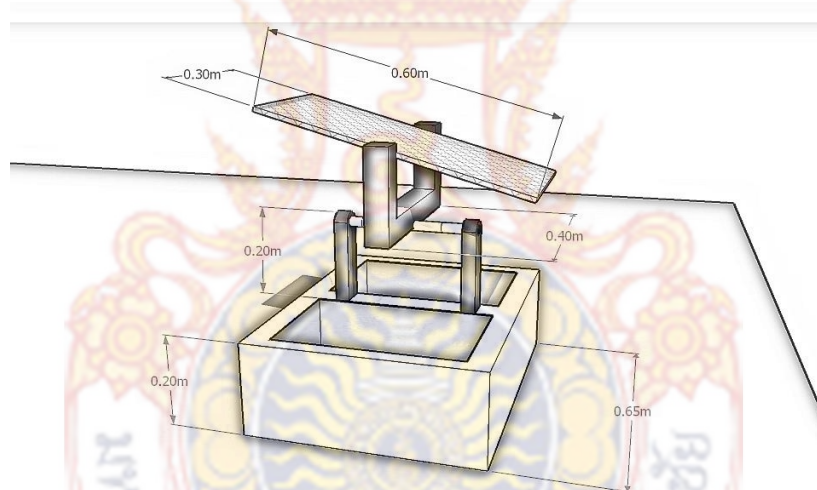
รูปที่ 3.3 โครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว

การออกแบบโครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียวถูกแสดงในรูปที่ 3.3 ลักษณะโครงสร้างจะคล้ายกับโครงสร้างแบบติดตั้งคงที่ คือส่วนฐานของโครงสร้างมีความสูง 55 เซนติเมตร ความกว้างของฐานขนาด 40 เซนติเมตร และความยาวขนาด 60 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่เพิ่มชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้หมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยออกแบบให้แกนที่ยึดติดกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหมุนได้และยึดติดกับชุดมอเตอร์ที่ทำหน้าควบคุมการเคลื่อนที่ดังกล่าว ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหมุนตามแสงอาทิตย์ มุมในการปรับการเคลื่อนที่ สามารถปรับได้สูงสุดอยู่ที่ ± 60 องศา กับแนวระนาบ ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.4



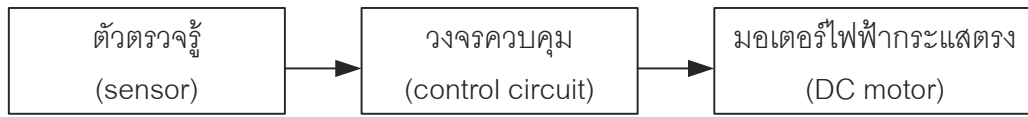
รูปที่ 3.4 มุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.1.3 โครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน



รูปที่ 3.5 โครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน

การออกแบบโครงสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกนถูกแสดงในรูปที่ 3.5 ลักษณะโครงสร้างจะเป็นเช่นเดียวกับแบบติดตั้งคงที่ คือส่วนฐานของโครงสร้างมีความสูง 55 เซนติเมตร ความกว้างของฐานขนาด 40 เซนติเมตร และความยาวขนาด 60 เซนติเมตรตามลำดับ โดยได้ถูกออกแบบให้มีมอเตอร์ควบคุมการหมุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งในแนวแกน x และแกน y โดยมีวงจรควบคุมการทำงานเช่นเดียวกับแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว



รูปที่ 3.6 องค์ประกอบของชุดควบคุมการหมุนติดตามแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

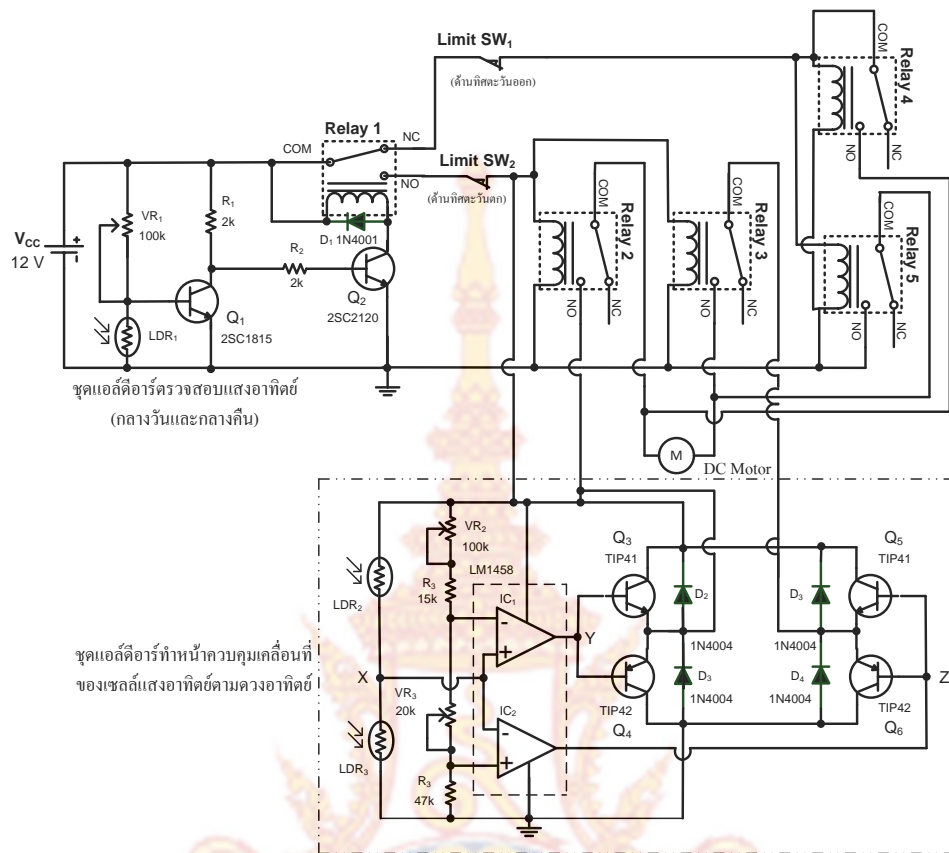
3.2 ชุดควบคุมการหมุนติดตามแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ชุดควบคุมการหมุนติดตามแสงอาทิตย์ เป็นส่วนที่มีความสำคัญของงานวิจัยนี้ เนื่องจากต้องออกแบบให้สามารถให้ใช้งานง่าย มีความคงทน ง่ายต่อการตรวจสอบและตรวจสอบ ราคาต้นทุนต่ำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีที่มีการเพิ่มจำนวนปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ (1) ตัวตรวจรู้ (2) วงจรควบคุม และ (3) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ตามลำดับ ในการออกแบบใช้งานนั้น จะใช้เทคนิคการตรวจสอบหรือตรวจจับปริมาณความเข้มแสง โดยใช้ตัวตรวจรู้แสงที่เรียกว่าตัวต้านทานไวแสงหรือแอลดีอาร์ (Light Independent Resistor: LDR) ร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมมอเตอร์เพื่อปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้หมุนหาแสงอาทิตย์ในระนาบที่มีแสงสูงสุด โดยในการออกแบบงานวิจัยชิ้นนี้ การออกแบบวงจรสามารถอธิบาย ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1 วงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว

รูปที่ 3.7 แสดงวงจรควบคุมการหมุนติดตามแสงอาทิตย์ ชนิดแกนเดียว เป็นวงจรเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์เพื่อให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ในการติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์นั้น โครงสร้างเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า จะถูกออกแบบให้แกนหมุนสามารถเคลื่อนที่ได้ทำมุมได้มากถึงประมาณ 120 องศา มีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ กำลังสูญเสียเพียง 1.2 วัตต์ มีอัตราเร็วในการหมุน 10 รอบต่อวินาที ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนแกนหมุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยออกแบบให้มีตัวตรวจรู้แอลดีอาร์จำนวน 3 ตัว เพื่อทำหน้าที่ในการตรวจสอบแสงและการติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้หลักการเปรียบเทียบแสง

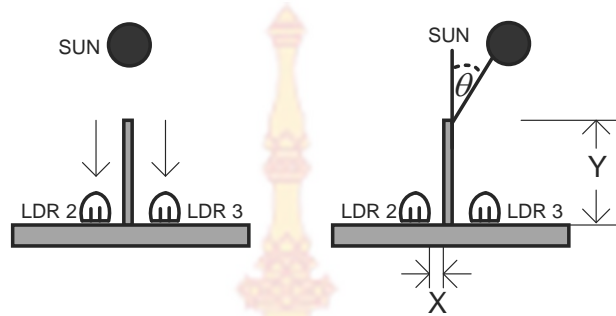
การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์วงจรประกอบด้วยความต้านทาน ทรานซิสเตอร์ ออปแอมป์ แอลดีอาร์ รีเลย์และลิมิตสวิตช์ วงจรถูกออกแบบให้ทำงานที่แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงขนาด 12 โวลต์ (ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกเก็บประจุไว้ในแบตเตอรี่) โดยมีหลักการทำงานดังนี้ แอลดีอาร์ชุดที่ 1 ทำหน้าที่ในตรวจวัดแสงอาทิตย์ (กลางวัน กลางคืน) โดยสมมติให้ กรณีที่ 1 แอลดีอาร์ตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสง (เปรียบเสมือนตอนค่ำซึ่งไม่มีแสง) ส่งผลทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 ไม่ทำงาน รีเลย์ตัวที่ 1 สวิตช์อยู่ในสถานะปกติปิด (Normally Closed: NC) ส่งผลให้รีเลย์ตัวที่ 4 และตัวที่ 5 อยู่ในสถานะปกติเปิด (Normally Open: NO) ส่งผลทำให้มอเตอร์ที่ควบคุมแกนหมุนทำงานเกิดการหมุนเคลื่อนที่จนกระทั่งแผงโซลาร์เซลล์เคลื่อนที่ถึงตำแหน่งของลิมิตสวิตช์ตัวที่ 1 ทำให้ลิมิตสวิตช์ตัวที่ 1 เปลี่ยนสถานะจากปิดวงจรเป็นเปิดวงจร มอเตอร์จะหยุดทำงาน (เซลล์แสงอาทิตย์หมุนไปด้านทิศตะวันออก)



รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยว

และ กรณีที่ 2 เมื่อแอลดีอาร์ ตัวที่ 1 ได้รับแสง (เปรียบเสมือนตอนกลางวัน) ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 ทำงาน รีเลย์ตัวที่ 1 เปลี่ยนสถานะจาก NC เป็น NO ทำวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชุดแอลดีอาร์ตัวที่ 2 และแอลดีอาร์ตัวที่ 3 ทำงาน โดยในกรณีที่แอลดีอาร์ตัวที่ 2 และตัวที่ 3 ได้รับแสงเท่ากันมอเตอร์แกนหมุนจะไม่ทำงาน แต่เมื่อแอลดีอาร์ตัวที่ 2 และตัวที่ 3 ได้รับไม่แสงเท่ากัน วงจรควบคุมการทำงานมอเตอร์จะทำงาน เช่นเมื่อแอลดีอาร์ตัวที่ 2 ได้รับแสงมากกว่าตัวที่ 3 จะทำให้แรงดันที่โหนด X มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ออปแอมป์ IC_1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันให้แรงดันเอาต์พุตเป็นแรงดันประมาณเท่ากับ 12 โวลต์ (โหนด Y) ในขณะที่ออปแอมป์ IC_2 ให้แรงดันเอาต์พุตเป็นแรงดันประมาณเท่ากับ 0 โวลต์ (โหนด Z) ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_3 และทรานซิสเตอร์ Q_6 ทำงาน ทำให้กระแสไหลผ่านมอเตอร์ไปหมุนแกนหมุนจนกระทั่งแอลดีอาร์ตัวที่ 2 และตัวที่ 3 ได้รับแสงเท่ากันมอเตอร์จะหยุดหมุน (เนื่องจากที่โหนด Y และโหนด Z มีแรงดันเท่ากัน) ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ตลอดเวลาจนกระทั่งเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ถึงลิมิตสวิทช์ตัวที่ 2 วงจรจึงหยุดทำงาน และเมื่อดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้า แอลดีอาร์ตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสง จะทำให้มอเตอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้าในลักษณะกลับขั้วตรงข้าม ทำให้มอเตอร์หมุนย้อนกลับมายังด้านทิศตะวันออก และวงจรจะตัดการทำงานเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนมาถึงลิมิตสวิทช์ตัวที่ 1 วงจรการทำงานของชุดควบคุมการหมุนของเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานสลับหมุนเวียนกันไปเรื่อยๆ

ของแต่ละวัน ทำให้ระบบสามารถติดตามแสงอาทิตย์ตลอดเวลา จากวงจรจะสังเกตเห็นได้ว่าจะสามารถปรับความไวของการรับแสงของแอลดีอาร์ตัวที่ 1 ด้วยการปรับค่าความต้านปรับค่าความต้านทาน VR_1 เพื่อให้สามารถปรับระดับความไวในการรับแสงเพื่อให้การทำงานมีความเหมาะสม

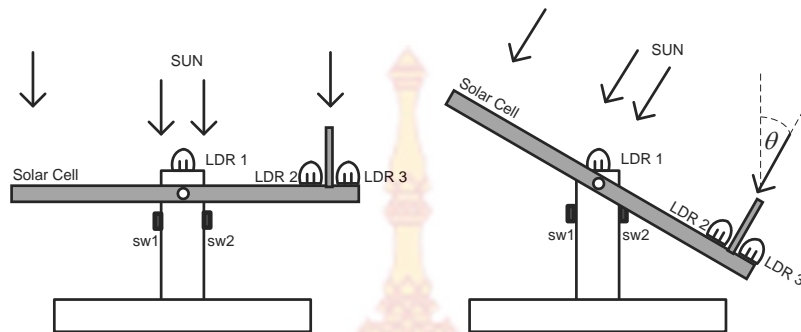


รูปที่ 3.8 การตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้แอลดีอาร์จำนวน 2 ตัว

จะเห็นได้ว่าวงจรควบคุมการหมุนติดตามแสงอาทิตย์ แบบใช้วิธีการเปรียบเทียบแสงนั้น ได้แก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในกรณีที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าคลาดเคลื่อนไปเนื่องจากการการทำงานไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง ที่บางครั้งอาจไม่สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ เนื่องจากมุมการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้เปลี่ยนทิศทางการโคจร ไปตามฤดูกาล ในการเปรียบเทียบแสงโดยใช้แอลดีอาร์ 2 ตัวนั้น สามารถแสดงดังในรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์แอลดีอาร์ (LDR) หรือความต้านทานไวแสง ซึ่งทำมาจากสารแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (Cdse) นั้น เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะทำให้ประจุพาหะ (อิเล็กตรอนและโฮล) เกิดการเคลื่อนที่ส่งผลให้แอลดีอาร์มีความต้านทานลดลง การลดลงของความต้านทานจะแปรผันตรงกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ จากหลักการดังกล่าว จึงเลือกใช้แอลดีอาร์จำนวน 3 ตัว สามารถแยกได้เป็น 2 ชุดในการตรวจวัด โดยชุดที่ 1 (แอลดีอาร์ตัวที่ 1) ถูกออกแบบให้ติดตั้งอยู่กับที่เพื่อตรวจสอบปริมาณของแสง ในขณะที่แอลดีอาร์ชุดที่ 2 ประกอบด้วยแอลดีอาร์จำนวน 2 ตัว (แอลดีอาร์ตัวที่ 2 และตัวที่ 3) ถูกติดตั้งบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแอลดีอาร์จะถูกแผ่นกั้นกลางระหว่างแอลดีอาร์ทั้ง 2 ตัว โดยหากดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้แอลดีอาร์มีค่าความต้านทานเท่ากัน แต่หากดวงอาทิตย์เปลี่ยนตำแหน่งไม่ตั้งฉากกับเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้เกิดเป็นเงาบดบังแอลดีอาร์ตัวใดตัวหนึ่ง ส่งผลให้แอลดีอาร์มีค่าความต้านทานไม่เท่ากัน เป็นผลทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกออกแบบทำงานไปขับเคลื่อนแกนหมุนของเซลล์แสงอาทิตย์ให้เคลื่อนที่ที่มุมที่เหมาะสมกับดวงอาทิตย์ ส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่ที่มุมตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา (ดูรูปที่ 3.8) ในการออกแบบสามารถกำหนดระยะความสูงของฉากกั้น (Y) และระยะห่างของแอลดีอาร์ทั้ง 2 ตัวได้จากสมการที่ (3.1)

$$Y = \frac{X}{\tan \theta} \quad (3.1)$$

เมื่อ X คือ ระยะห่างระหว่างฉากกั้นการแอลดีอาร์ และ θ คือ มุมที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จากแนวเดิมที่ทำให้เกิดเงา



รูปที่ 3.9 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหมุนตามดวงอาทิตย์และตำแหน่งการติดตั้งแอลดีอาร์และลิมิตสวิตช์



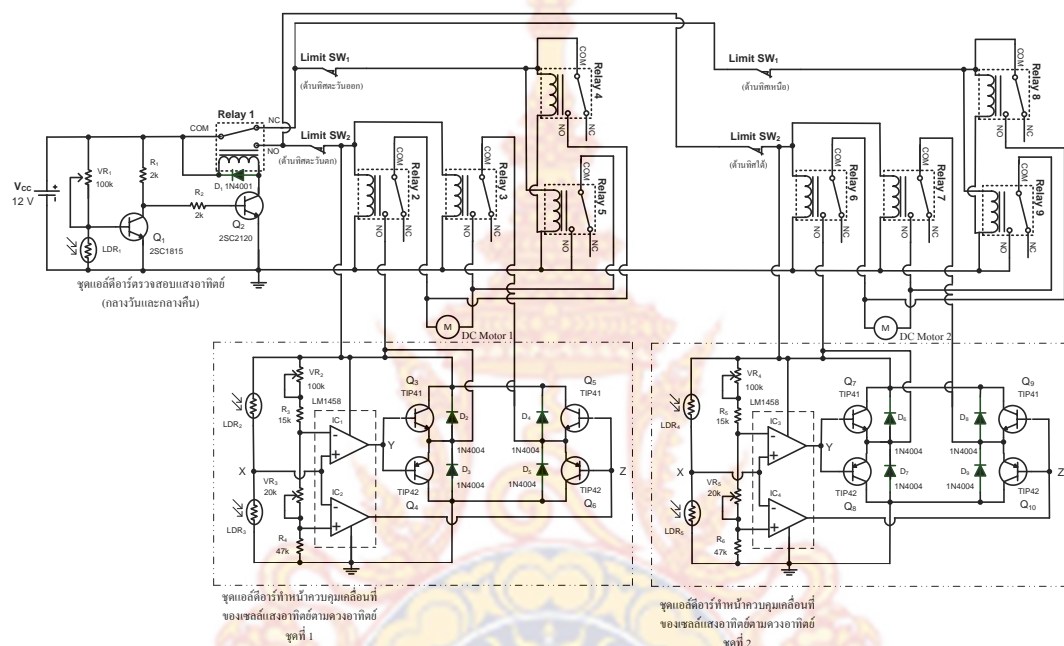
รูปที่ 3.10 ตำแหน่งการติดตั้งแอลดีอาร์ บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แอลดีอาร์ตัวที่ 1 ติดตั้งแบบคงที่ และแอลดีอาร์ตัวที่ 2 และตัวที่ 3 ติดตั้งบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่)

จากชุดควบคุมการหมุนของดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว สามารถนำมาติดตั้งร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ รูปที่ 3.10 ตามลำดับ

3.2.2 วงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองแกน

วงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน ถูกแสดงในรูปที่ 3.11 โดยวงจรนี้จะมีหลักการทำงานองเดียวกันกับ วงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว ซึ่งแบ่งภาคการทำงานออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ การทำงานเมื่อมีแสง (ตอนกลางวัน) และการทำงานเมื่อไม่มีแสง (ตอนกลางคืน) เพียงแต่เพิ่มชุดวงจรเปรียบเทียบแสงอีกหนึ่งชุด เพื่อใช้สำหรับควบคุมมอเตอร์ในการหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แกนทิศเหนือและทิศใต้ โดยสามารถอธิบายการทำงานของวงจรแต่ละส่วนได้ดังนี้

จากชุดวงจรตรวจจับความเข้มแสง แอลดีอาร์ 1 (LDR1) ทำหน้าที่ตรวจสอบความเข้มของแสงอาทิตย์ในแต่ละวัน โดยกรณีที่เป็นกลางวัน (ความเข้มแสงมาก) ค่าความต้านทานของแอลดีอาร์จะต่ำลง กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ 1(Relay1) ทำให้หน้าคอนแทคติดมาแต่ฝั่งปกติ เปิด กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลิมิตสวิตช์ 3 (Lim SW3) และลิมิตสวิตช์ 4 (Lim SW4) ซึ่งเป็นลิมิตสวิตช์ทิศตะวันตกและทิศใต้ มีแรงดันไฟฟ้าไปเลี้ยงขดลวดของรีเลย์ทั้ง 4 ตัว (Relay2, Relay3, Relay4 และ Relay5) ทำให้มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อกับวงจรเปรียบเทียบแสง



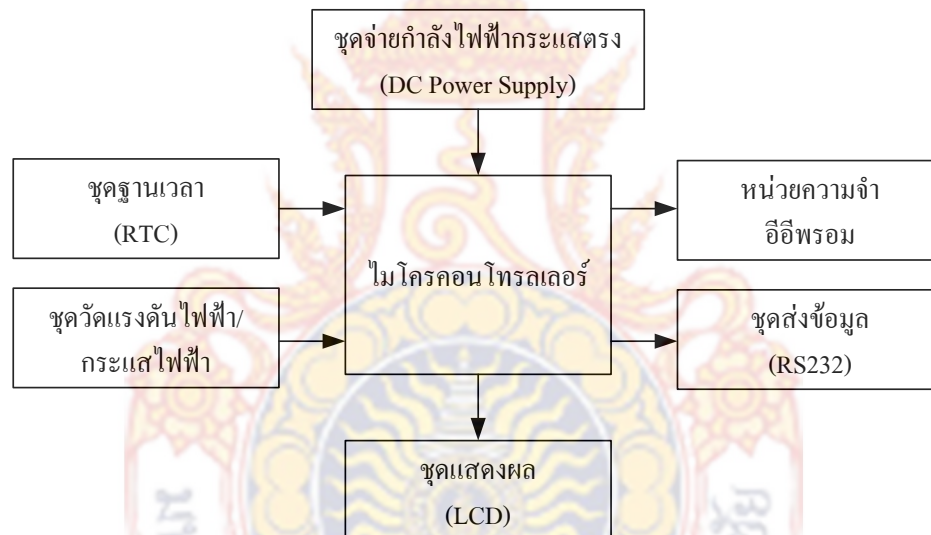
รูปที่ 3.11 วงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองแกน

วงจรชุดเปรียบเทียบแสง ทั้งในส่วนของการควบคุมการปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก และแนวทิศเหนือ-ใต้ จะอาศัยหลักการเดียวกัน คือการเปรียบเทียบความเข้มของแสงที่ตกกระทบบนแอลดีอาร์ทั้งสองตัว โดยถ้าแสงตกกระทบแอลดีอาร์ตัวไหนมากกว่า หมายถึงความต้านทานของแอลดีอาร์ตัวนั้นจะลดลง มีแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ภาคเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าโดยออปแอมป์ทั้งสองตัว (IC1, IC2) สั่งการให้มอเตอร์หมุนในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และในกรณีที่ความเข้มแสงที่ตกกระทบแอลดีอาร์เท่ากัน นั้นหมายถึงแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากวงจรเปรียบเทียบของออปแอมป์เท่ากัน ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่คร่อมมอเตอร์เท่ากัน มอเตอร์จึงหยุดการทำงาน และมอเตอร์ทั้งสองตัวจะหยุดการทำงานอีกครั้งก็ต่อเมื่อลิมิตสวิตช์ 3 และลิมิตสวิตช์ 4 เปิด วงจร (แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปแตะลิมิตสวิตช์ทั้ง 2 ตัว เนื่องจากแผงหมุนไปทางฝั่งทิศตะวันตกและทิศใต้จนสุด) และในกรณีที่เป็นกลางคืน (ความเข้มแสงน้อย) ค่าความต้านทานของแอลดีอาร์ 1 สูงขึ้น หมายถึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ 1 กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลิมิตสวิตช์ 1 และลิมิตสวิตช์ 2 (ลิมิตสวิตช์ทิศตะวันออกและทิศเหนือ) ผ่านไปเลี้ยงขดลวดของรีเลย์ทั้ง 4 ตัว (Relay6, Relay7, Relay8 และ Relay9) ดึงให้หน้าคอนแทคของรีเลย์ทั้ง 4 ตัวมาแต่ฝั่งปกติปิด มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปเลี้ยงมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว โดยผ่านทางรีเลย์ 6 มายังรีเลย์ 7 และจากรีเลย์ 8

มายัง รีเลย์ 9 นั่นคือให้มอเตอร์หมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก และจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือตามลำดับได้ และจะหยุดหมุนเมื่อลิมิตสวิทช์ 1 และลิมิตสวิทช์ 2 เปิดวงจร (แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละลิมิตสวิทช์ 1 และ 2 เนื่องจากหมุนไปทางฝั่งทิศตะวันออกและทิศเหนือจนสุด)

3.3 ชุดควบคุมการทำงานของระบบ

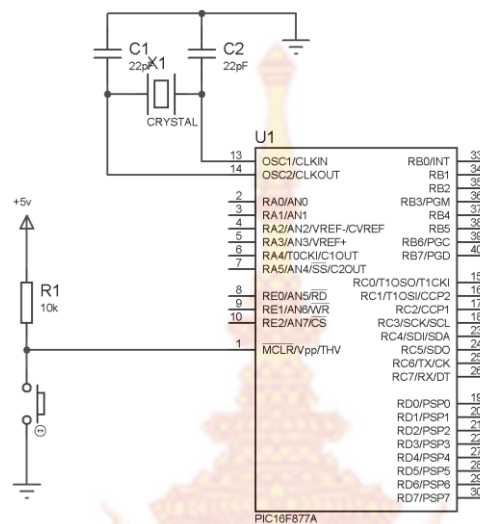
ในการทำงานของชุดควบคุมการทำงานของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ นั้น จำเป็นต้องมีชุดควบคุมการทำงานของระบบที่ทำหน้าควบคุมการจับเก็บข้อมูลในรูปแบบตัวต่อล็อกแก็งและชุดวัดแรงดันไฟฟ้าและชุดวัดกระแสไฟฟ้าควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 1) อย่างไรก็ตามหากแสดงผลเฉพาะการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าแล้วนำไปจัดเก็บในรูปแบบดาต้าล็อกแก็งก่อนนำไปแสดงผลต่อไป ก็สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 องค์ประกอบของชุดควบคุมการทำงานของระบบของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

องค์ประกอบของชุดควบคุมการทำงานของระบบของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกแสดงในรูปที่ 3.12 ซึ่งประกอบไปด้วย 7 ส่วนหลัก ซึ่งสามารถอธิบายหลักการทำงานเบื้องต้นได้ดังนี้ งานวิจัยนี้จะใช้หลักการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ ทั้ง 3 แบบ เพื่อเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวไว้ในหน่วยความจำอีอีพรอม (EEPROM Memory) โดยจะสุ่มเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 07.00 – 17.00 น. ของแต่ละวัน และเทียบค่าวันและเวลามาตรฐานจากชุดไอซีฐานเวลา (RTC) และแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เวลาและวันเดือนปีทางจอแสดงผลแอลซีดี (LCD) ก่อนที่จะนำข้อมูลพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวไป ส่งผ่านไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการ

ประมวลผล และวิเคราะห์ผลการจัดเก็บพลังงานต่อไป และสำหรับการออกแบบวงจรและการเลือกใช้อุปกรณ์ สามารถอธิบายได้ ดังนี้



รูปที่ 3.13 วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A



รูปที่ 3.14 บอร์ดวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

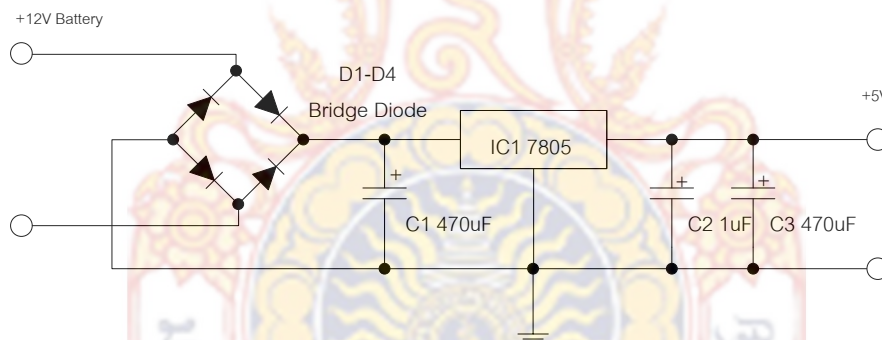
3.3.1 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ชุดควบคุมการทำงานของระบบนั้น ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เหตุผลที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ PIC16F877A เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัทไมโครชิพ รุ่น PIC16F877A มีพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตเพียงพอกับงานวิจัยนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยมีพอร์ตแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลภายในตัว ซึ่งใช้ในการรับอินพุตจากชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและวัดกระแสไฟฟ้า และมีพอร์ตใช้งานการสื่อสารอนุกรม (UART) และพอร์ตอื่นๆ ในการประยุกต์ใช้งานที่มีความเหมาะสม

สำหรับพอร์ตที่ใช้งานนั้นจะประกอบไปด้วยอินพุตซึ่งรับค่ามาจากชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า มาเข้าพอร์ตแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC) อย่างละ 1 พอร์ต โดยใช้พอร์ต A0 และ A1 ตามลำดับ พอร์ตสำหรับต่อกับสวิตช์เพื่อตั้งค่าเวลาและวันที่ 4 พอร์ตซึ่งจะใช้พอร์ต B พอร์ต สำหรับติดต่อกับไอซีฐานเวลาและพอร์ตสำหรับติดต่อกับชุดเก็บข้อมูล (EEPROM) 2 พอร์ต คือ SCL และ SDO (ใช้งานพอร์ตร่วมกัน) พอร์ตสำหรับชุดส่งข้อมูล 2 พอร์ต คือ Tx และ Rx และพอร์ตสำหรับต่อกับจอแสดงผล LCD จำนวน 7 พอร์ต ซึ่งจะใช้พอร์ต D

3.3.2 ชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply)

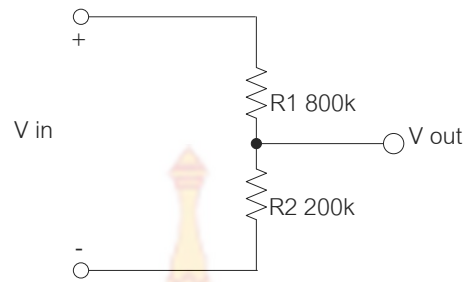
การออกแบบชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) นั้นจะใช้แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ได้จากการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ขนาด 5 โวลต์ โดยเพิ่มไดโอดบริดจ์เพื่อป้องกันการจ่ายไฟฟ้าผิซั่ว วงจรนี้จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 5 โวลต์ เพื่อใช้เลี้ยงภาคไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ เช่นไอซีฐานเวลา (DS1307) ไอซี MAX232 หน่วยความจำอีอีพรอม (EEPROM Memory) และจอแสดงผล (LCD) ตามลำดับ วงจรชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง แสดงดังในรูปที่ 3.15



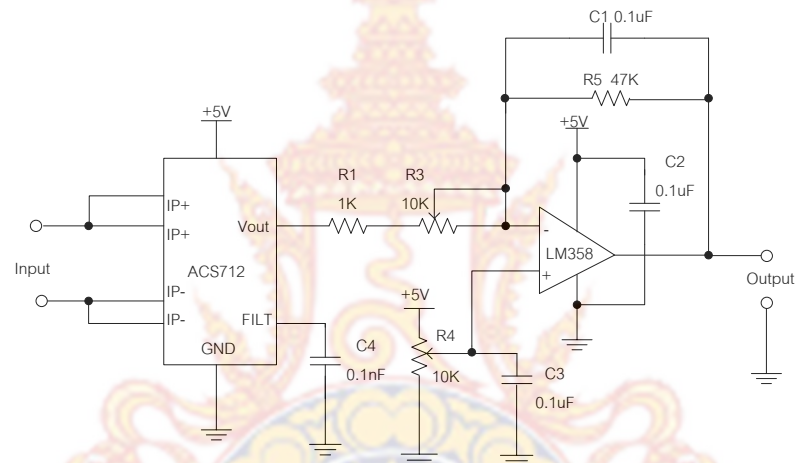
รูปที่ 3.15 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์

3.3.3 ชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

หลังจากที่เซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าจะถูกนำไปจัดเก็บลงในแบตเตอรี่ ในขณะที่เดียวกันก็จะทำการเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งจะทำให้การจัดเก็บในลักษณะของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ก่อนจะถูกนำไปจัดเก็บลงในอีอีพรอมควบคุมการจัดเก็บด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแสดงดังในรูปที่ 3.16 และ รูปที่ 3.17 ตามลำดับ



รูปที่ 3.16 วงจรชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.17 วงจรชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้า

- ชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage Measurement)

การออกแบบวงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้านั้น จะถูกออกแบบให้สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ค่าแรงดันไฟฟ้า 0-25 โวลต์ โดยใช้หลักการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าจาก 25 โวลต์ ให้เป็น 5 โวลต์ ด้วยวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage divider) เพื่อเข้าสู่พอร์ตแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเปรียบเทียบเป็นสมการภายในโปรแกรมต่อไป โดยค่าความต้านทานที่ใช้คำนวณได้ดังนี้

ขั้นแรกต้องกำหนดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจร โดยควรกำหนดให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อยที่สุด เนื่องจากกรณีที่กระแสไหลผ่านมากจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยในกรณีนี้กำหนดกระแสไฟฟ้าเป็น 25 ไมโครแอมแปร์ จากนั้นคำนวณค่าความต้านทานที่จะต้องได้จากสมการที่ (3.2)

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.2)$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานรวมที่ใช้ในวงจร

เมื่อทราบค่าความต้านทานรวมที่ใช้แล้ว ต่อไปคำนวณหาค่าความต้านทาน R_2 ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (3.3) ถึงสมการ (3.5)

$$V_{out} = \frac{V_{in} R_2}{R} \quad (3.3)$$

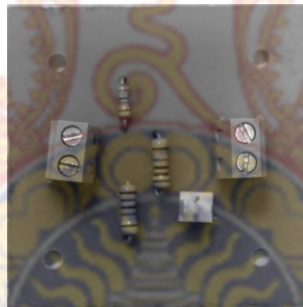
เมื่อ V_{out} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

$$R_2 = \frac{V_{out} R}{V_{in}} \quad (3.4)$$

ดังนั้น

$$R_1 = R - R_2 \quad (3.5)$$

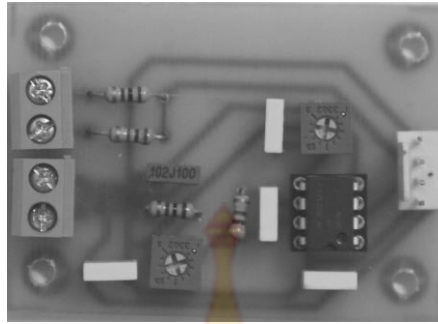
และนำพอร์ตเอาต์พุตไปต่อกับพอร์ตแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลต่อไป



รูปที่ 3.18 ชุดบอร์ดวงจรชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ลงแผ่นลายวงจรพิมพ์

- ชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้า (Current Measurement)

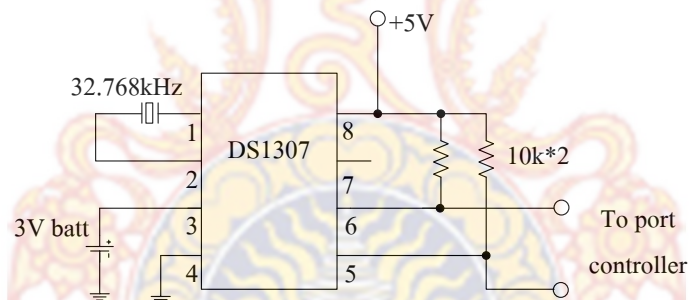
วงจรรูปที่ 3.1 แสดงวงจรวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นวงจรใช้งานของไอซีวัดกระแสไฟฟ้า (IC Current Sensor) เบอร์ ACS712 ในการวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก เหตุผลที่เลือกใช้ไอซีเบอร์นี้ เนื่องจากสามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ 0-20 แอมแปร์ และสัญญาณเอาต์พุตเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า พอร์ตอินพุต (Input) จะต่ออนุกรมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และออกทางพอร์ตเอาต์พุต (Output) ที่ผ่านวงจรชุดออปแอมป์ ซึ่งทำหน้าที่ขยายแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น ก่อนที่จะนำเข้าพอร์ตแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อคำนวณค่าออกมาเป็นกระแสไฟฟ้าต่อไป โดยวงจรที่ได้ดำเนินการลงในแผ่นวงจรพิมพ์แสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ชุดบอร์ดวงจรชุดวัดกระแสไฟฟ้าที่ลงแผ่นลายวงจรพิมพ์

3.3.4 ชุดไอซีฐานเวลา (Real Time Clock, RTC)

วงจรรูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.21 เป็นวงจรใช้งานของไอซีฐานเวลา เบอร์ DS1307 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้เทียบเวลาจริง และเป็นตัวกำหนดเวลาของการเก็บข้อมูลของระบบ โดยพอร์ตเอาต์พุต ใช้ต่อกับพอร์ต C3 (SCL) และพอร์ต C4 (SDA) ของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลต่อไป



รูปที่ 3.20 วงจรชุดไอซีฐานเวลา

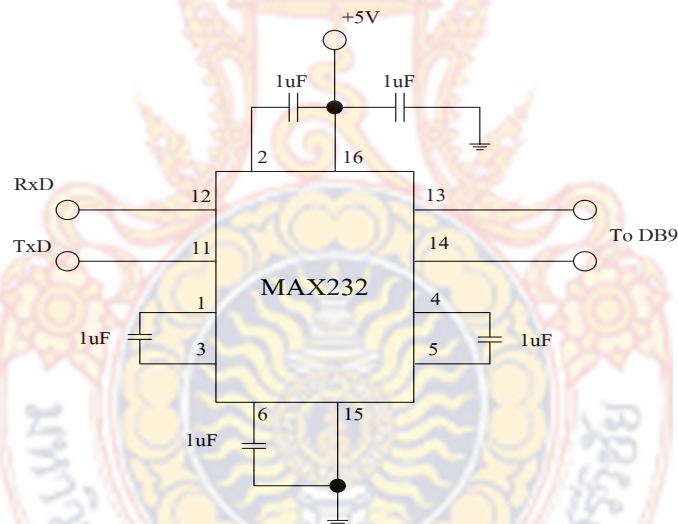


รูปที่ 3.21 บอร์ดวงจรชุดไอซีฐานเวลา

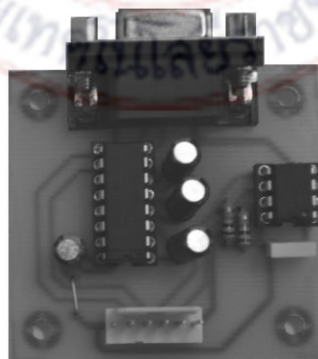
- เมื่อขนาดข้อมูลที่เก็บมีขนาด 14 ไบต์ต่อครั้ง 1 วัน ต้องการพื้นที่หน่วยความจำในการเก็บข้อมูล $14 \times 300 = 4.2$ กิโลไบต์
- นั่นคือ 1 สัปดาห์ ต้องการพื้นที่หน่วยความจำในการเก็บข้อมูล 7×4.2 กิโลไบต์ = 29.4 กิโลไบต์ เพราะฉะนั้นใช้หน่วยความจำอีอีพ롬 ขนาด 32 กิโลไบต์ ในการเก็บข้อมูลก็เพียงพอ

3.3.6 ชุดส่งข้อมูลผ่านการสื่อสาร RS232 (Transfer Data)

วงจรรูปที่ 3.23 เป็นวงจรใช้งานของชุดส่งข้อมูลผ่าน RS232 โดยใช้ไอซีเบอร์ IC MAX232 ซึ่งเป็นไอซีที่แปลงระดับสัญญาณของ RS232 มาเป็นระดับทีทีแอล (TTL) และในทำนองเดียวกันก็แปลงระดับสัญญาณที่ทีแอล ไปเป็นระดับสัญญาณ RS232 ด้วย โดยสัญญาณจากพอร์ต 26 (TxD) และสัญญาณจากพอร์ต 25 (RxD) ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะเข้าที่ขา 11 และขา 12 ของ ไอซี MAX232 ตามลำดับ สัญญาณที่ออกจากขา 13 และ 14 จะไปต่อกับพอร์ต DB9 ซึ่งเป็นพอร์ตที่ใช้งานในการสื่อสารอนุกรม (UART) ระหว่างชุดไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์

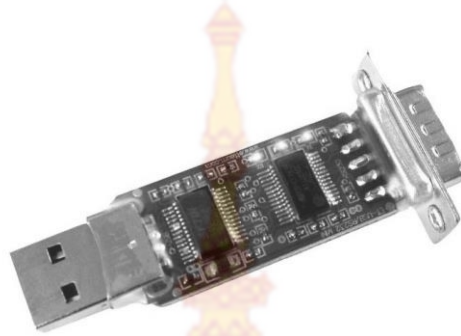


รูปที่ 3.23 วงจรชุดส่งข้อมูลผ่านการสื่อสาร RS232



รูปที่ 3.24 บอร์ดวงจรชุดเก็บข้อมูลและส่งข้อมูล

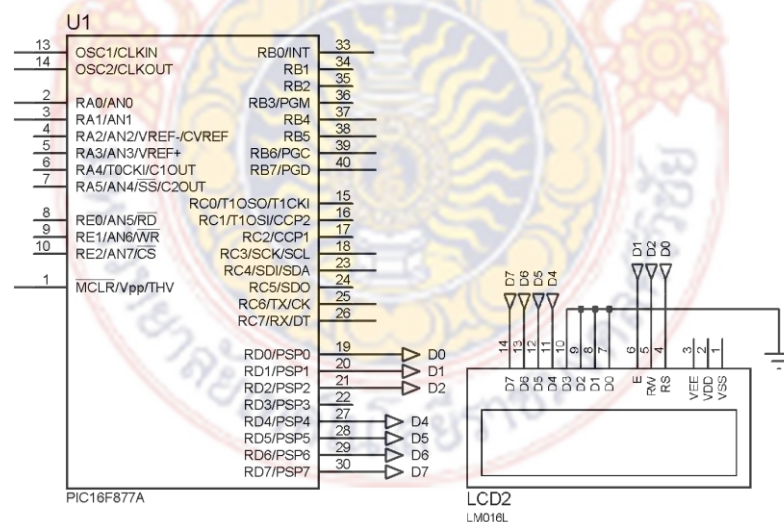
เนื่องจากจะต้องใช้การสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม จึงจำเป็นต้องมีการแปลงจากพอร์ตอนุกรมเป็นพอร์ตยูเอสบี (USB to Serial Port) เพื่อให้สามารถใช้กับคอมพิวเตอร์พีซีและคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กได้ ดังแสดงรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 พอร์ตแปลงจากการสื่อสารอนุกรมเป็นพอร์ตยูเอสบี

3.3.7 ชุดแสดงผลข้อมูล (LCD)

การต่อใช้งานชุดแสดงผล (LCD) จะใช้พอร์ต D ของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการเชื่อมต่อ โดยจอแสดงผลที่ใช้เป็นแบบแสดงอักขระขนาด 16x2 (บรรทัดละ 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด) ซึ่งในการแสดงผลนั้นจะแสดงเป็นข้อมูล วัน/เดือน/ปี สลับกับเวลาในบรรทัดแรก และแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในบรรทัดที่สองดังแสดงในรูปที่ 3.26 และรูปที่ 3.27 ตามลำดับ



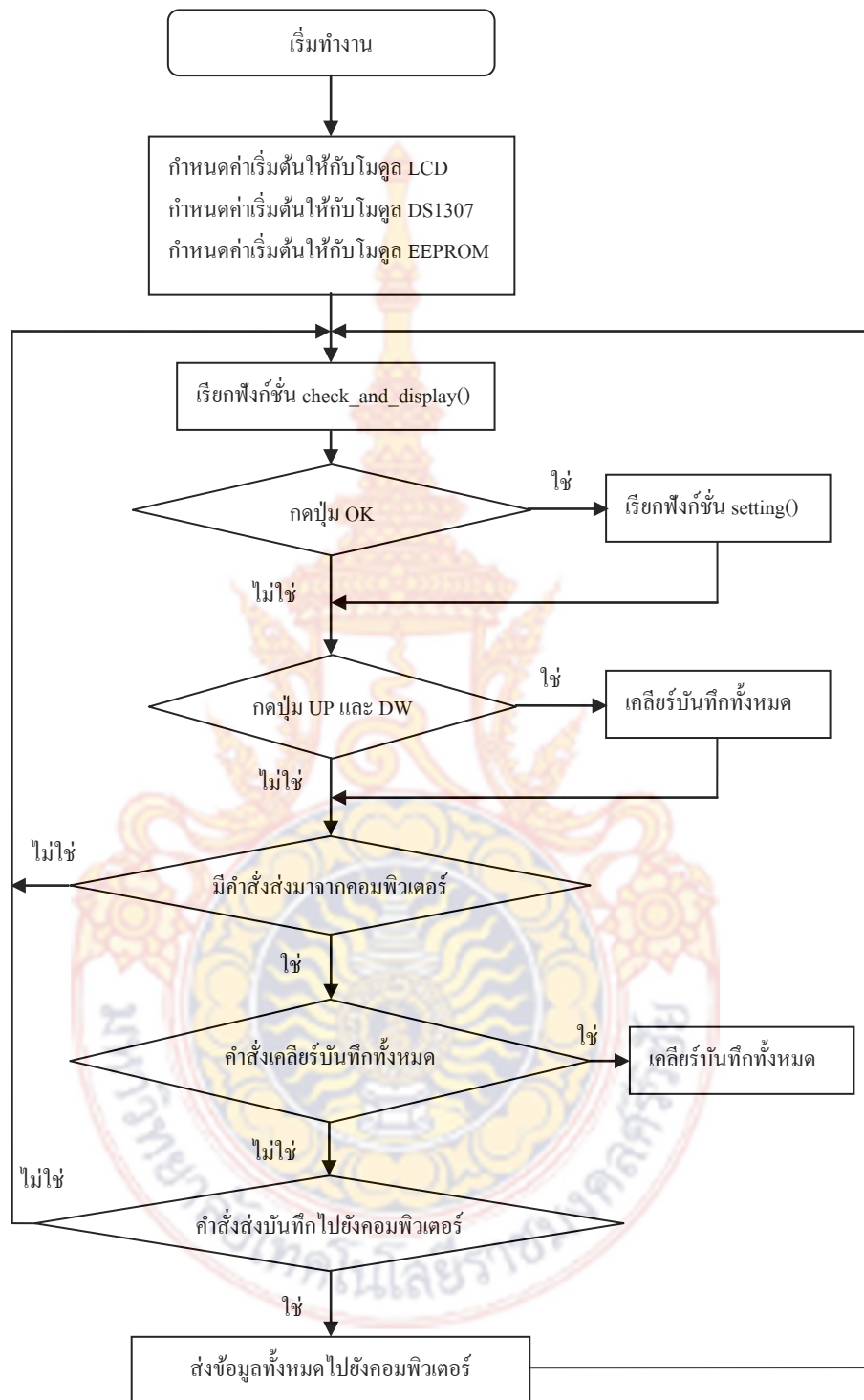
รูปที่ 3.26 วงจรชุดแสดงผลข้อมูล



รูปที่ 3.27 ชุดแสดงผลขนาดอักขระ 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด (16x2)

3.4 การออกแบบการเขียนโปรแกรม

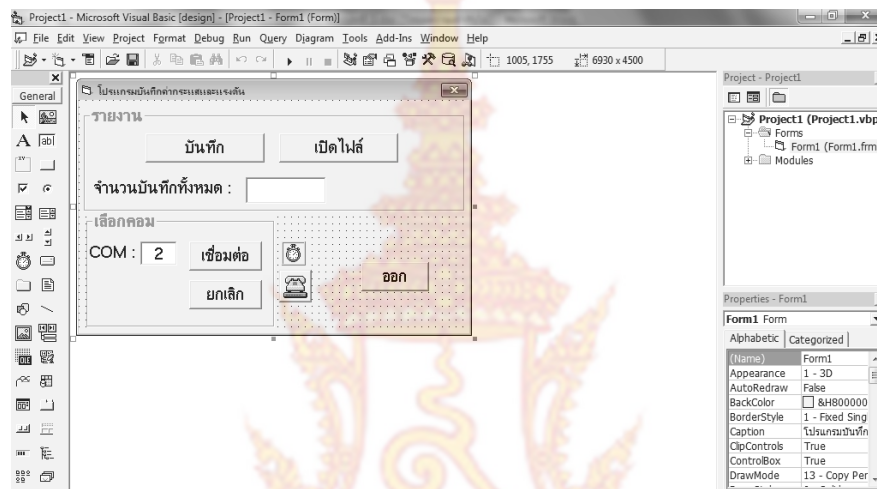
แผนผังการทำงานของโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ ถูกแสดงในรูปที่ 3.28 โดยเมื่อระบบเริ่มทำงาน การเริ่มต้นฟังก์ชันหลัก (Main Function) จะเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับอุปกรณ์ติดต่อภายนอก คือ โมดูลฐานเวลา (DS1307) โมดูลหน่วยความจำ (EEPROM) และโมดูลแอลซีดี (LCD 16x2) จากนั้นเป็นการเรียกใช้ฟังก์ชันการแสดงผลและสุ่มเก็บผล (Check_and_display()) โดยฟังก์ชันดังกล่าวมีหน้าที่จัดรูปแบบการแสดงผลบนจอแอลซีดี บรรทัดแรกจะแสดง วัน/เดือน/ปี กับเวลา โดยสลับกันแสดงช่วงละ 10 วินาที และอีกหน้าที่หนึ่งของฟังก์ชันนี้ คือการตรวจสอบเวลาเพื่อการสุ่มอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากพอร์ตแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล โดยถ้าเวลาอยู่ในช่วง 07.00 ถึง 17.00 จะทำการสุ่มอ่านค่า 5 นาที/ครั้ง เพื่อเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำ ส่วนต่อมาฟังก์ชันหลักจะตรวจสอบการกดปุ่มต่าง ๆ โดยถ้ามีการกดปุ่ม OK จะทำการเรียกฟังก์ชันตั้งค่า (Setting()) ฟังก์ชันดังกล่าว มีหน้าที่ 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นส่วนโชว์ข้อมูลที่บันทึก (Show_data_logger()) และส่วนการตั้งเวลา (Setting_time()) สามารถกดเลือกส่วนใดส่วนหนึ่งเพื่อเข้าสู่การทำงานในโหมดนั้นๆ ถ้ามีการกดปุ่ม UP และ DOWN พร้อมกัน โปรแกรมจะทำการเคลียร์บันทึกทั้งหมดในหน่วยความจำ จากนั้นโปรแกรมจะตรวจสอบว่ามีคำสั่งส่งมาจากคอมพิวเตอร์หรือไม่ ถ้ามีตรวจสอบว่าเป็นคำสั่งใด โดยถ้าเป็นคำสั่งเคลียร์บันทึกทั้งหมด ก็จะทำให้การเคลียร์บันทึกในหน่วยความจำทั้งหมด แต่ถ้าเป็นคำสั่งส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ ก็จะทำการส่งข้อมูลที่บันทึกในหน่วยความจำไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อการวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 3.28 แผนผังการทำงานของซอฟต์แวร์

3.4.1 ชุ่รับข้อมูลจากพอร์ตการสื่อสารอนุกรม RS232 เพื่อแสดงผล

ในส่วนของการรับข้อมูลจากการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะใช้โปรแกรม Visual Basic เวอร์ชัน 6 ในการติดต่อและจัดการข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.29 เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวคือ ค่าวัน/เดือน/ปี เวลา แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาทำการสุ่มวัด ดังนั้นในส่วนของการรับข้อมูลที่ส่งมานั้นจำเป็นต้องติดต่อกับโปรแกรมวิเคราะห์ผลค่าต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลา โดยในที่นี้จะใช้โปรแกรมเอ็กเซลในการวิเคราะห์ผล ดังแสดงในรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.29 การสร้างฟอร์มสำหรับการติดต่อ

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ลำดับที่	วัน/เดือน/ปี	เวลา	แรงดัน(โวลต์)	กระแส(แอมป์)			
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

รูปที่ 3.30 ส่วนประกอบการแสดงผลของโปรแกรมเอ็กเซล

สำหรับการสร้างหน้าต่างฟอร์มสำหรับการติดต่อ จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนของการเลือกคอมพอร์ต (COM) และส่วนของการรายงานผล หรือ ส่งข้อมูลไปยังโปรแกรมเอ็กเซล เพื่อการวิเคราะห์ผล แต่ละส่วนสามารถอธิบายการออกแบบและการทำงานได้ดังนี้

การออกแบบของส่วนของการเลือกคอมพอร์ตนั้นจำเป็นอย่างยิ่งในการติดต่อกับพอร์ตภายนอก เนื่องจากจะเกิดการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์หรือโมดูลภายนอกได้นั้น จะต้องใช้คอมพอร์ตที่ตรงกัน และส่วนต่อมาจะเป็นส่วนของการรายงานผล นั่นคือ

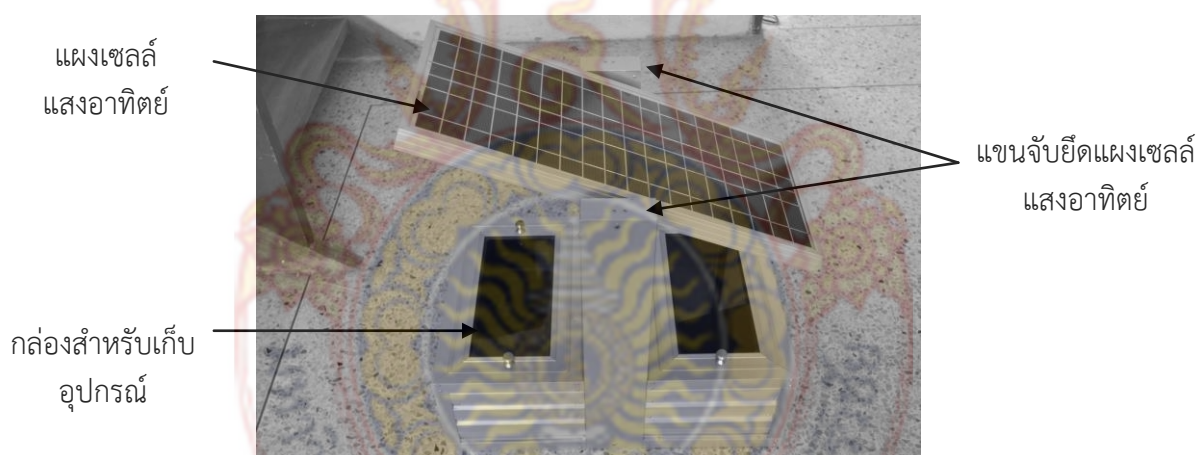
จะมีการใช้จำนวนของข้อมูลที่ได้ทำการเรคคอร์ดในแต่ละครั้ง และมีปุ่มสำหรับการส่งข้อมูลไปยังโปรแกรมเอ็กเซล เพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป

การออกแบบในส่วนการแสดงผลในโปรแกรมเอ็กเซล จะประกอบด้วยการแสดงผล 5 ส่วน คือ ลำดับที่ เดือน/วัน/ปี เวลา แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ซึ่งค่าต่าง ๆ ดังกล่าว ได้มาจากข้อมูลที่เก็บได้ในหน่วยความจำอีอีพรอม โดยโค้ดที่เขียนจากโปรแกรมวิซวลเบสิกทั้งในส่วนของการรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์และการส่งออกไฟล์ ไปยังโปรแกรมเอ็กเซล จะแสดงไว้ในภาคผนวก

3.5 การจัดสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการทดสอบการทำงาน

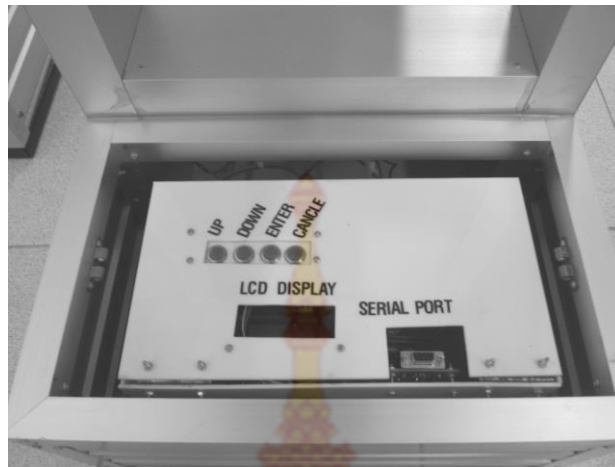
หลังจากได้ทำการออกแบบโครงสร้างและวงจรในส่วนต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ในหัวข้อนี้จะเป็นการจัดทำโครงสร้างและวงจรควบคุมเพื่อประกอบเข้าด้วยกัน และทดสอบการทำงานว่าเป็นไปตามที่ได้ออกแบบหรือไม่ ก่อนจะทำการนำไปทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

3.5.1 การจัดทำโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบติดตั้งคงที่



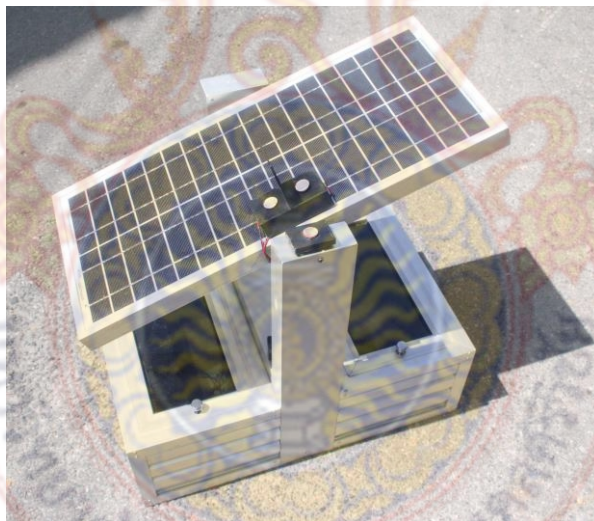
รูปที่ 3.31 โครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบติดตั้งคงที่ที่ได้จัดสร้างขึ้น

โครงสร้างของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบติดตั้งคงที่ ที่ได้จัดสร้างขึ้นถูกแสดงในรูปที่ 3.31 โดยประกอบด้วย 3 ส่วน คือ (1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์ (2) ส่วนของแขนจับยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ (3) ส่วนของกล่องเก็บอุปกรณ์ ตามที่ได้ออกแบบแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ ในการจัดทำโครงสร้างของแผงเซลล์อาทิตย์แบบติดตั้งคงที่นั้น จะใช้อลูมิเนียมเนื่องจากอลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา ดูสวยงามและแข็งแรงทนทานพอที่จะรับน้ำหนักของแผงเซลล์อาทิตย์ได้นอกจากนั้นยังสามารถใช้ในการเก็บอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบ เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากความชื้น และความร้อนเนื่องจากแสงอาทิตย์ การบรรจุกล่องใส่อุปกรณ์แสดงในรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 การติดตั้งกล่องชุดควบคุมการทำงานของระบบในเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ แบบติดตั้งคงที่

3.5.2 การจัดทำโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว

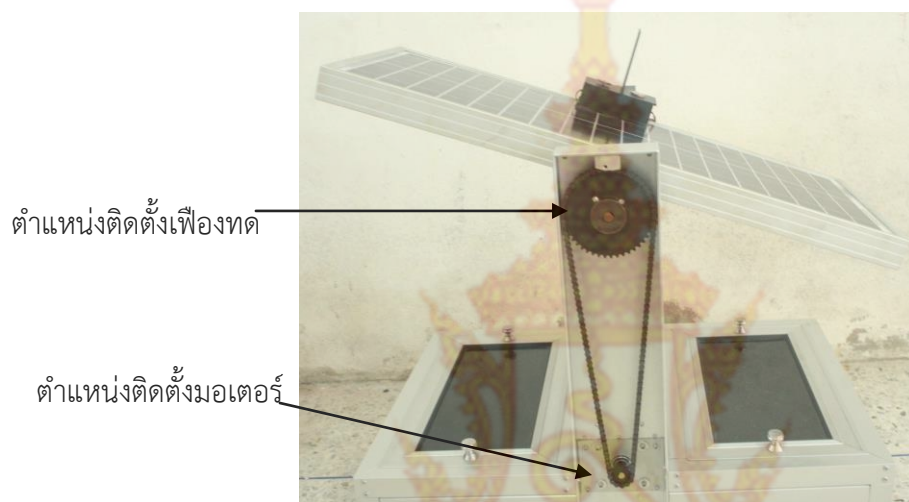


รูปที่ 3.33 โครงสร้างของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียวที่ได้จัดสร้างขึ้น

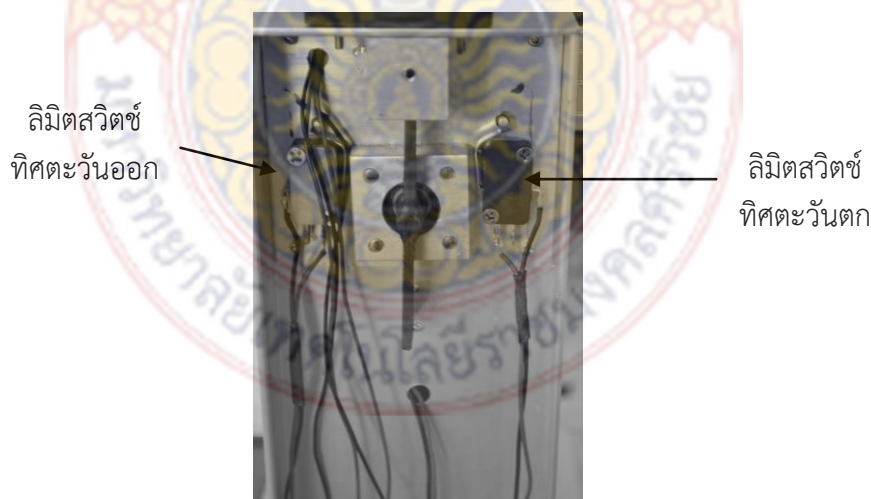
โครงสร้างของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว ที่ได้จัดสร้างขึ้น ถูกแสดงในรูปที่ 3.33 โดยจะใช้ลูมิเนียม เช่นเดียวกับแบบติดตั้งคงที่ โดยมีขนาดเดียวกัน เนื่องจากโครงสร้างเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียวนี้นี้ จำเป็นต้องมีการติดตั้ง ชุดอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมการหมุน มอเตอร์ นอกเหนือจากต้องใส่ชุดควบคุมการเก็บประจุไฟฟ้า และแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 7.6 แอมแปร์ชั่วโมง ตลอดจนต้องมีการติดตั้งแอลดีอาร์ เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบและติดตามดวงอาทิตย์

สำหรับการติดตั้งมอเตอร์และฟันเฟืองจะติดตั้งไว้ในของแขนจับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อป้องกันไม่ให้มอเตอร์โดนน้ำและเพื่อความสวยงาม ส่วนของลิมิตสวิตช์จะติดตั้งไว้ในแขนที่จับแผงเซลล์แสงอาทิตย์อีกข้างหนึ่ง ดังรูปที่ 3.34 และรูปที่ 3.35 ตามลำดับ

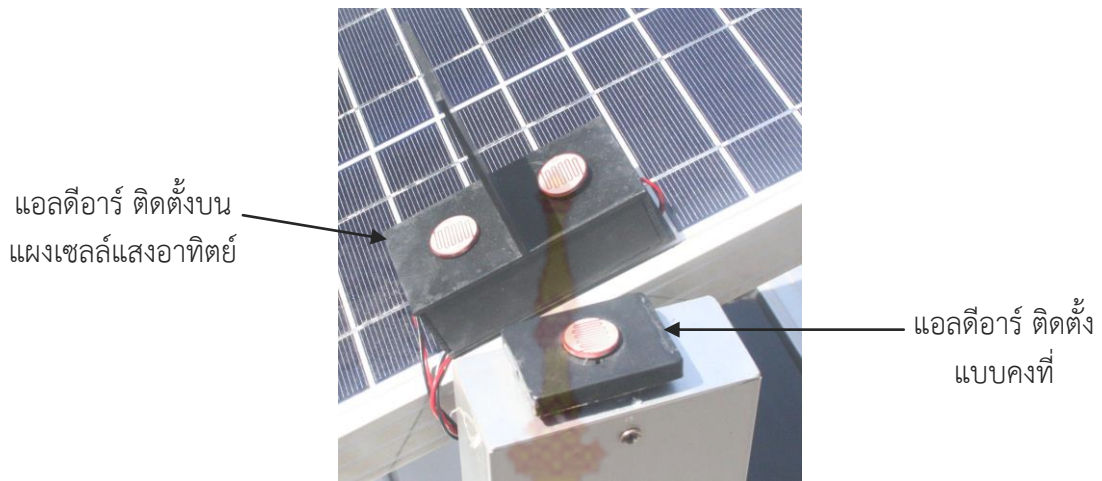
มอเตอร์ที่ใช้สำหรับหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีความเร็วรอบอยู่ที่ 10 รอบต่อนาที และใช้ฟันเฟืองทดรอบ สำหรับฟันเฟืองส่วนที่ติดกับแกนมอเตอร์ขนาด 9 ฟัน และฟันเฟืองที่ติดกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 45 ฟัน ซึ่งเมื่อทดรอบแล้วจะเหลือประมาณ 2 รอบต่อนาที ทำให้การหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ช้าขึ้น เพื่อให้แอลดีอาร์จับความเข้มของแสงอาทิตย์ได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.34 ตำแหน่งการติดตั้งมอเตอร์ และเฟืองทดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว

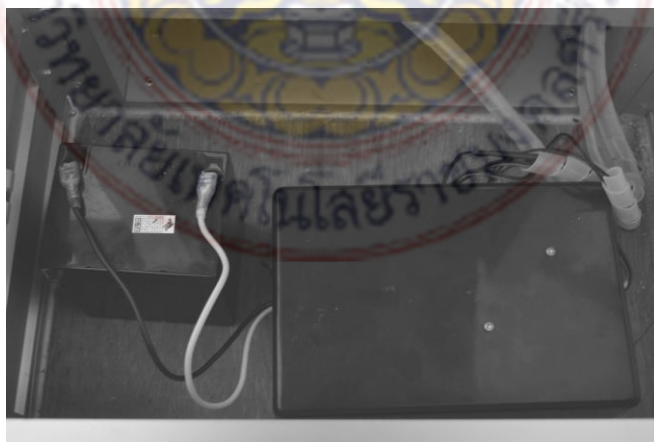


รูปที่ 3.35 ตำแหน่งการติดตั้งลิมิตสวิตช์ ทั้งในด้านทิศตะวันออกและตะวันตก



รูปที่ 3.36 ตำแหน่งการติดตั้งแอลดีอาร์บนโครงสร้างของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบ

รูปที่ 3.36 แสดงการติดตั้งแอลดีอาร์บนโครงสร้างของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ สำหรับการติดตั้งแอลดีอาร์ แบบคงที่เป็นตัวที่ทำหน้าที่ตรวจสอบแสงอาทิตย์ จะติดตั้งอยู่บนแขนจับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้านหนึ่ง และแอลดีอาร์ที่เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ จะถูกติดตั้งอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และใช้ฉากกันแอลดีอาร์ทั้งคู่เพื่อการบังแสงอาทิตย์ ทำหน้าที่เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ เนื่องจากการออกแบบวงจรถ่ายใช้ลักษณะการเปรียบเทียบความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวแอลดีอาร์ทั้งสองตัว โดยให้แสงกระทบตัวแอลดีอาร์เพียงตัวเดียวเท่านั้น จึงสั่งการมอเตอร์ให้หมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมอเตอร์จะหยุดหมุนต่อเมื่อแอลดีอาร์ทั้งสองตัวได้รับแสงในปริมาณความเข้มที่เท่ากัน การติดตั้งแอลดีอาร์ โดยชุดควบคุมการติดตามแสงอาทิตย์และชุดควบคุมการเก็บประจุไฟฟ้าและแบตเตอรี่จะถูกติดตั้งในกล่องอลูมิเนียมของโครงสร้างที่สร้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.37 และรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.37 การติดตั้งกล่องวงจรชุดควบคุมมอเตอร์ในโครงสร้างของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ



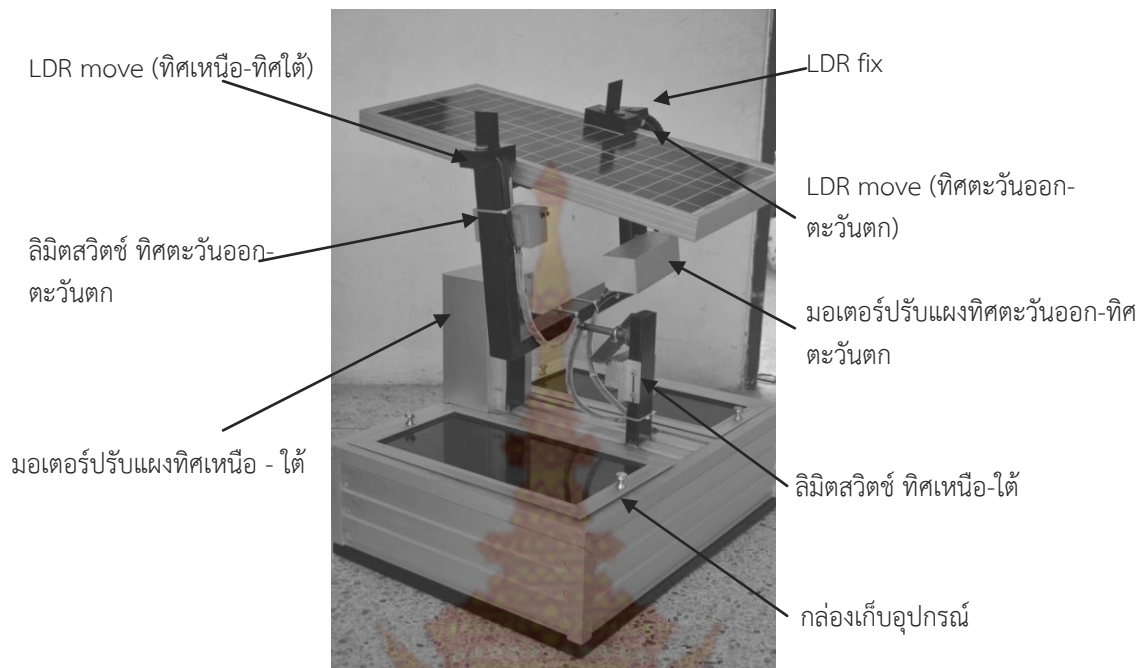
รูปที่ 3.38 การติดตั้งกล่องชุดควบคุมการเก็บประจุไฟฟ้าและเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ภายในเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว

3.5.3 การจัดทำโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดสองแกน

โครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกนที่ได้จัดสร้างขึ้น ถูกแสดงในรูปที่ 3.39 โดยในการจัดทำโครงสร้างจะใช้เหล็กเป็นตัวฐานเพื่อความมั่นคง เนื่องจากขนาดน้ำของตัวฐานด้านบนและน้ำหนัของเซลล์แสงอาทิตย์มีน้ำหนักหนักมาก ถ้าจะใช้อลูมิเนียมเป็นตัวฐานจะรับน้ำหนักไม่ไหว โดยในการติดตั้งอุปกรณ์นั้น ใช้มอเตอร์ 2 ตัว โดยมอเตอร์ตัวที่ 1 ทำหน้าที่หมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแกนระนาบทิศตะวันออก - ทิศตะวันตก ติดตั้งอยู่กับแขนจับแผงของตัวฐานด้านบน ส่วนมอเตอร์ตัวที่ 2 จะทำหน้าที่หมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแกนระนาบทิศเหนือ - ทิศใต้ ติดตั้งอยู่กับตัวฐานด้านล่าง และส่วนของลิมิตสวิตช์ทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก จะติดอยู่บริเวณแขนจับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้านบนอีกฝั่งหนึ่งของมอเตอร์ และลิมิตสวิตช์ทิศเหนือ - ใต้ จะติดอยู่บริเวณแขนปรับโครงสร้างทิศเหนือ - ใต้

ในส่วนการของกล่องใส่อุปกรณ์ จะใช้อลูมิเนียม เนื่องจากดูสวยงามและแข็งแรงทนทาน เหมาะสมกับการบรรจุอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบ เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากน้ำ ความชื้น และความร้อนเนื่องจากแสงอาทิตย์ การบรรจุกล่องใส่อุปกรณ์แสดงในรูปที่ 3.40 และรูปที่ 3.41 ตามลำดับ

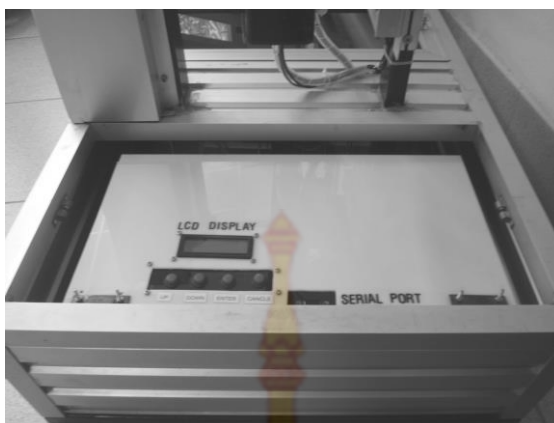
มอเตอร์ที่ใช้หมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแกนนั้น ความเร็วรอบอยู่ที่ 10 รอบต่อนาที แล้วใช้ฟันเฟืองทดรอบ สำหรับฟันเฟืองส่วนที่ติดกับแกนมอเตอร์ขนาด 9 ฟัน เช่นเดียวกับแบบแกนเดียว ฟันเฟืองที่ติดกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และชุดแขนจับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้านบนขนาด 45 ฟัน ซึ่งเมื่อทดรอบแล้วจะเหลือ 2 รอบต่อนาที ทำให้การหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ช้าขึ้น เพื่อให้แอลดีอาร์จับความเข้มของแสงอาทิตย์ได้ดี มีความถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 3.39 โครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกนที่ได้จัดสร้างขึ้น



รูปที่ 3.40 การติดตั้งกล่องวงจรชุดควบคุมมอเตอร์ของโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน



รูปที่ 3.41 การติดตั้งกล่องชุดควบคุมการทำงานของระบบในโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน

3.5.4 การทดสอบการทำงานของชุดควบคุมการทำงานของระบบในโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ

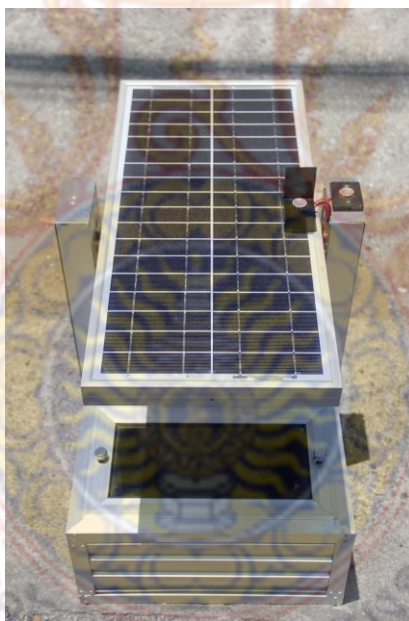
ในการทดสอบการทำงานของชุดควบคุมการทำงานของระบบในโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน คือ (1) การหมุนเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ ทั้งแบบแกนเดียวและแบบสองแกน (2) การควบคุมการเก็บประจุไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปจัดเก็บในแบตเตอรี่ และ (3) การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อจัดเก็บลงในหน่วยความจำอีพีรอม

(1) การทดสอบการหมุนเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์

ในการทดสอบชุดควบคุมการเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ขั้นแรกจะทำการทดสอบโดยการเปิดและปิดกันแสงที่ตกกระทบบนแอลดีอาร์ตัวที่ทำหน้าที่ตรวจเช็คสถานะแสงอาทิตย์ (แอลดีอาร์ตัวที่ติดตั้งแบบคงที่บนแกนแผงเซลล์แสงอาทิตย์) เพื่อทดสอบการตอบสนองต่อแสงในสภาวะกลางวันและกลางคืน และส่วนของแอลดีอาร์ที่เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ (แอลดีอาร์ ติดตั้งบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์) ใช้การทดสอบโดยวิธีการกันแสงให้เกิดเงาบนแอลดีอาร์ตัวใดตัวหนึ่ง เพื่อให้แสงที่ตกกระทบบนแอลดีอาร์อีกตัวหนึ่งมากกว่า และสังเกตการหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของมอเตอร์ จากนั้นนำไปทดสอบการรับแสงในสภาวะจริง เพื่อทดสอบชุดควบคุมการหมุนตามแสงอาทิตย์ที่ออกแบบ ทั้งแบบแกนเดียว และแบบสองแกน

จากการทดสอบพบว่า ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่นำเสนอ ทั้งแบบแกนเดียวและแบบสองแกน สามารถเคลื่อนที่ได้ตามแสงอาทิตย์ และเมื่อหมดแสงอาทิตย์ ชุดทดสอบฯ จะเคลื่อนที่กลับไปยังจุดเริ่มต้นเพื่อจะเริ่มทำงานใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับหลักทางทฤษฎีของวงจรที่ได้ออกแบบ กล่าวคือ ระบบสามารถทำงานตามเป้าหมายที่วางไว้ เมื่อแอลดีอาร์ตัวที่ติดตั้งแบบคงที่ ตรวจพบว่ามีแสงมาก (ช่วงกลางวัน) มอเตอร์จะหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จนทำให้แอลดีอาร์ทิศตะวันออกและ

ทิศตะวันตกได้รับแสงอาทิตย์ในปริมาณเท่ากันทั้งคู่ มอเตอร์จึงหยุดทำงาน หลักการดังกล่าวเป็นการเปรียบเทียบความเข้มแสงโดยใช้แอลดีอาร์ 2 ตัว คือถ้าแอลดีอาร์ทางทิศตะวันตกได้รับแสงในปริมาณความเข้มแสงมากกว่า มอเตอร์ก็จะหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันตก และจะหยุดหมุนต่อเมื่อแอลดีอาร์ทิศตะวันออกได้รับแสงในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ในทางกลับกัน ถ้าแอลดีอาร์ทิศตะวันออกได้รับแสงในปริมาณความเข้มแสงมากกว่า มอเตอร์ก็จะหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันออกจนกว่าแอลดีอาร์ทิศตะวันตกได้รับแสงในปริมาณที่ใกล้เคียงกันจึงจะหยุดทำงาน และจะทำงานเช่นนี้เรื่อยไป เพื่อปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เคลื่อนที่ตั้งฉากทำมุมที่เหมาะสมกับแสงอาทิตย์ตลอดเวลา และกรณีที่แอลดีอาร์ตัวที่ไม่เคลื่อนที่ตามแสงตรวจพบว่ามีความเข้มแสงน้อย (ช่วงกลางคืน) มอเตอร์จะหมุนเคลื่อนที่ปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก และหยุดทำงานเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แตะกับลิมิตสวิตช์ทิศตะวันออกเพื่อรอรับแสงในวันต่อไป ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.42 ในทำนองเดียวกันชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบสองแกน ก็มีการทดสอบเช่นเดียวกัน เพื่อทดสอบการติดตามดวงอาทิตย์ทั้งในทิศทางด้านตะวันออก-ตก และทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งสามารถทำงานได้ดี



รูปที่ 3.42 การทดสอบการเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบแกนเดียวที่นำเสนอ

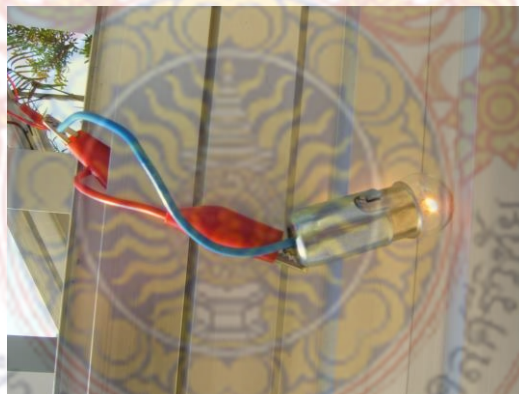
(2) การทดสอบการควบคุมการเก็บประจุไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปจัดเก็บในแบตเตอรี่

ในการทดสอบการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าหรือการประจุพลังงานไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่นั้น จะใช้วิธีการ วัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าด้วยดิจิตอลมิเตอร์มาตรฐาน เมื่อแสงอาทิตย์ที่ระดับความเข้มค่าต่างๆ ตลอดจนการบ่อนโหลด (ใช้หลอดไฟฟ้า) ให้กับชุดทดสอบฯ ที่นำเสนอ ทั้งสามแบบ โดยการต่อเข้ากับชุดควบคุมการเก็บประจุไฟฟ้า

จากการทดสอบพบว่า ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ สามารถจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ 3.43 และรูปที่ 3.44 ตามลำดับ



รูปที่ 3.43 การทดสอบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ระดับความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีความแตกต่างกัน



รูปที่ 3.44 การต่อโหลดเข้ากับเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ

(3) การทดสอบชุดควบคุมการทำงานของระบบ

ชุดควบคุมการทำงานของระบบ ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า และการจัดเก็บข้อมูล/ส่งข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า จะถูกออกแบบให้มีการทำงานทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์นั้น จากนั้นเป็นการทดสอบเพื่อทราบว่าชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบขึ้น มีเสถียรภาพมากน้อยเพียงใด โดยการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระหว่างชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ออกแบบขึ้นกับมิเตอร์

มาตรฐาน และนำค่าเฉลี่ยมาคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดต่อไป หลังจากนั้นจะเป็นการทดสอบการจัดเก็บข้อมูลของชุดเก็บข้อมูลและชุดส่งข้อมูล โดยในการทดสอบชุดเก็บข้อมูลและส่งข้อมูลจะทำการทดสอบโดยการทดลองส่งข้อมูลที่บันทึกไว้ในแต่ละช่วงเวลา ไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตการสื่อสารอนุกรม (RS232) และแสดงผลบนโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper terminal)

(4) วิธีการทดสอบชุดรับข้อมูลจากพอร์ตการสื่อสารอนุกรม (RS232)

หลังจากการทดสอบชุดรับข้อมูลและชุดส่งข้อมูลจนเป็นผลสำเร็จแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดสอบในส่วนของการรับข้อมูลผ่านพอร์ตการสื่อสารอนุกรม (RS232) ด้วยโปรแกรมวิซวลเบสิก ที่ได้ทำการออกแบบฟอร์มสำหรับการติดต่อไว้แล้วก่อนหน้านี้ เพื่อทราบว่าโค้ดและฟอร์มที่ออกแบบไว้ นั้น ตอบสนองและมีเสถียรภาพอย่างไรเมื่อใช้งานจริง

(5) การทดสอบเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้า

การเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้า กระจาทำบริเวณ ลานหน้าอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา มท.ศรีวิชัย สงขลา เนื่องจากพื้นที่บริเวณดังกล่าวมีแสงอาทิตย์ส่องถึงตลอดทั้งวัน ครอบคลุมขอบเขตของการทดสอบเก็บผล (07.00 – 17.00 น.) ซึ่งจะได้ทราบถึงพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแบบ ทั้งในสภาวะที่ความเข้มของแสงน้อย และค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งถึงสภาวะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงเต็มพิกัด และสำหรับข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้วยชุดวัดที่ออกแบบขึ้น จะนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดด้วยมิเตอร์ที่ทำการสุ่มวัดทุก ๆ 20 นาที เพื่อทราบว่าชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ออกแบบขึ้นมานั้น มีเสถียรภาพมากน้อยเพียงใด เมื่อใช้งานกับสภาพการณ์จริง

3.6 บทสรุป

ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ ถูกออกแบบให้มีเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ คือแบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกนตามลำดับ โดยมีการออกแบบให้มีขนาดและน้ำหนักเบา มีรูปแบบและลักษณะเช่นเดียวกัน สามารถเปรียบเทียบค่าข้อมูลได้ กรณีที่การเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์นั้น จะใช้วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์โดยใช้แอลดีอาร์ทำงานร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการเปรียบเทียบแสง ซึ่งทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอสามารถทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้

บทที่ 4

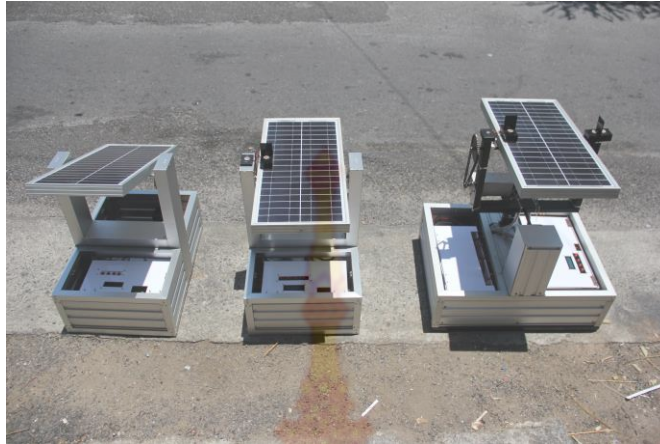
ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

4.1 กล่าวนำ

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าสะอาดทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์นั้น ในปัจจุบันได้มีการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง ทั้งในรูปแบบของประสิทธิภาพและต้นทุนการผลิตที่มีแนวโน้มที่ต่ำลง สำหรับประเทศไทยนั้น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ มีการนำมาพัฒนาใช้งานเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีลักษณะภูมิประเทศอยู่ในภูมิภาคเขตร้อน ใกล้เส้นศูนย์สูตร มีแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี ดังนั้นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์จึงมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดอย่างหนึ่งที่ถูกนำมาใช้แทนพลังงานที่ได้จากฟอสซิล ไม่ว่าจะเป็น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ หรือแม้แต่ถ่านหิน ซึ่งส่งผลกระทบต่อมลพิษ มลภาวะของโลก และพลังงานเหล่านั้นนับวันที่จะลดลงและมีราคาที่สูงขึ้น ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ จะมีราคาลดลงและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แม้ว่าในปัจจุบันการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะมีราคาต้นทุนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพลังงานอย่างอื่นที่ใช้ในประเทศไทย อย่างไรก็ตามได้มีนักวิจัยหลายๆ ท่านพยายามออกแบบพัฒนาระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถใช้งานง่าย มีความทนทาน สามารถใช้งานได้ยาวนานและต้นทุนในการผลิตลดลงตามลำดับ

ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกสร้างขึ้น เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบเพื่อหาค่าความเหมาะสมในการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการนำไปผลิตไฟฟ้า ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่และเลือกใช้งานแบบใด ซึ่งในปัจจุบัน ได้มีการออกแบบใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งแบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน ตามลำดับ เนื่องจากแต่ละแบบนี้ มีต้นทุนการผลิตและประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจึงมีความสำคัญ โดยในงานวิจัยนี้ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ ถูกนำมาทดสอบการทำงานของทั้งส่วนของชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ ชุดควบคุมการทำงานของระบบ และชุดรับข้อมูลจากพอร์ตการสื่อสารอนุกรม (RS232) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพว่าเป็นไปตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ในบทที่ 1 หรือไม่ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ในบทนี้ ได้นำชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ ทั้งแบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน มาทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงาน โดยการเปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดกำลังวัตต์เดียวกัน ในสถานที่เดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบที่ได้นำเสนอ

ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ ทั้ง 3 แบบ ได้ถูกนำมาทดสอบ ณ บริเวณลานอาคารสำนักวิทยบริการ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ตั้งแต่เวลา 07.30 น. จนถึงเวลา 17.30 น. โดยทำการเก็บข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันขณะที่ไม่ต่อโหลด ขณะต่อโหลด และขนาดกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ภายใต้เงื่อนไขชนิดและขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ ระยะเวลาและสถานที่เดียวกัน (ทดสอบโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์)

4.2 ผลการทดสอบชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหมุนตามแสงอาทิตย์

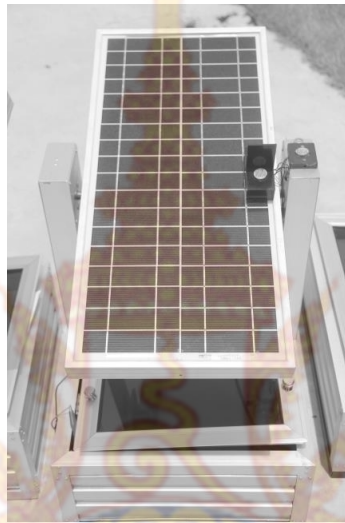
เพื่อให้มีความมั่นใจในการทำงานของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ ในหัวข้อนี้จะแสดงการทดสอบการเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยวและสองแกน จากการดำเนินการทดสอบวงจรชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์นั้น ผลการทดสอบสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.2.1 ชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยว

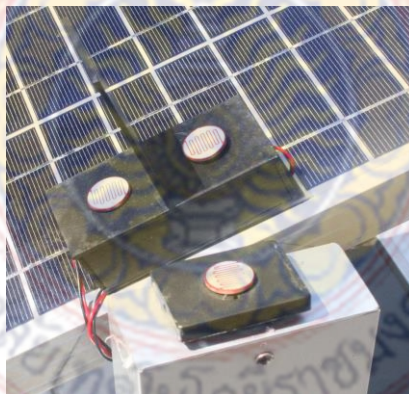
จากการออกแบบวงจรควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยวดังที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 นั้น ถูกนำมาทำการทดสอบวงจรร่วมกับชุดโครงสร้าง ผลการทดสอบ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

จากการทดสอบชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยว พบว่า ระบบสามารถทำงานตามเป้าหมายที่วางไว้ กล่าวคือ เมื่อแอลดีอาร์ตัวที่ไม่เคลื่อนที่ตามแสง (LDR fix) ตรวจพบที่มีความเข้มแสงมาก (ช่วงกลางวัน) มอเตอร์จะหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้แอลดีอาร์ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก เมื่อได้รับแสงทั้งคู่จึงจะหยุดหมุน หลักการดังกล่าวเป็นการเปรียบเทียบความเข้มแสงโดยใช้แอลดีอาร์ 2 ตัว คือถ้าแอลดีอาร์ทางทิศตะวันตกได้รับแสงในปริมาณความเข้มแสงมากกว่า มอเตอร์ก็จะหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันตก และจะหยุดหมุนต่อเมื่อแอลดีอาร์ทิศตะวันออกได้รับแสงในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ในทาง

กลับกัน ถ้าแอลดีอาร์ทิศตะวันออกได้รับแสงในปริมาณความเข้มแสงมากกว่า มอเตอร์ก็จะหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันออกจนกว่าแอลดีอาร์ทิศตะวันตกได้รับแสงในปริมาณที่ใกล้เคียงกันจึงจะหยุดหมุน และจะทำงานเช่นนี้เรื่อยไป เพื่อปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน และกรณีที่แอลดีอาร์ตัวที่ไม่เคลื่อนที่ตามแสงตรวจพบว่ามีค่าความเข้มแสงน้อย (ช่วงกลางคืน) มอเตอร์จะหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก และหยุดหมุนเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละมิติสวิตช์ทิศตะวันออกเพื่อรอรับแสงอาทิตย์ในวันต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.2



(ก)



(ข)

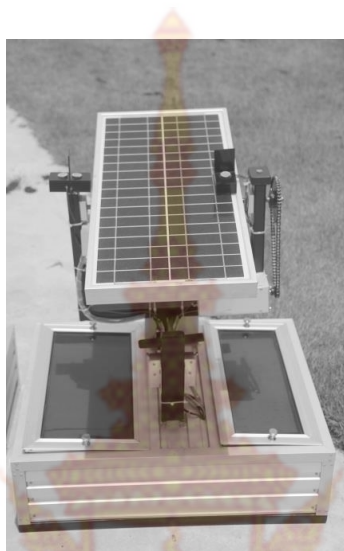
รูปที่ 4.2 การทดสอบชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว

(ก) เครื่องต้นแบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว

(ข) แอลดีอาร์ชุดตรวจสอบและติดตามแสงอาทิตย์ ชนิดแกนเดียว (ทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก)

4.2.2 ชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน

จากการออกแบบวงจรควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกนแล้วในบทที่ 3 จึงได้ทำการทดสอบวงจรร่วมกับชุดโครงสร้าง ซึ่งผลที่ได้นั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 การทดสอบชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน

- (ก) เครื่องต้นแบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน
 (ข) แอลดีอาร์ชุดตรวจสอบและติดตามแสงอาทิตย์ ชนิดสองแกน (ทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และ ทิศเหนือ-ทิศใต้)

จากการทดสอบชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกนพบว่า ระบบสามารถทำงานตามเป้าหมายที่วางไว้ กล่าวคือ เมื่อแอลดีอาร์ตัวที่ไม่เคลื่อนที่ตามแสงตรวจพบที่มีความเข้มแสงมาก (ช่วงกลางวัน) มอเตอร์จะหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้แอลดีอาร์ ทิศตะวันออก-ตะวันตก และแอลดีอาร์ทิศเหนือ-ใต้ ได้รับแสงในปริมาณที่ใกล้เคียงกันทั้งคู่ จึงจะหยุดหมุน คือถ้าแอลดีอาร์ทางทิศตะวันตกและทิศใต้ได้รับแสงมากกว่า มอเตอร์ก็จะหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันตกและทิศใต้ และจะหยุดหมุนต่อเมื่อแอลดีอาร์ทิศตะวันออกและทิศเหนือได้รับแสงด้วย ในทางกลับกันถ้าแอลดีอาร์ทิศตะวันออกและทิศเหนือได้รับแสง

มากกว่า มอเตอร์ก็จะหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันออกและทิศเหนือจนกว่าแอลดีอาร์ทิศตะวันตกและทิศใต้ได้รับแสงด้วยจึงจะหยุดหมุน และทำงานเช่นนี้เรื่อยไป เพื่อปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน และกรณีที่แอลดีอาร์ตัวที่ไม่เคลื่อนที่ตามแสงตรวจพบว่ามีความเข้มแสงน้อย (ช่วงกลางคืน) มอเตอร์จะหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก และจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ และหยุดหมุนเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละมิติ สวิตช์ทิศตะวันออกและมิติสวิตช์ทิศเหนือเพื่อรอรับแสงในวันต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.3

จากการสังเกตระนาบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์หยุดหมุนเนื่องจากแอลดีอาร์ทั้งสองตัวได้รับแสงเท่ากัน พบว่าระนาบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์เท่าที่ควร เนื่องจากระยะระหว่างแอลดีอาร์ทั้งสองกับฉากกันแสงมีระยะห่างกันเล็กน้อย ซึ่งในความเป็นจริง การวางแอลดีอาร์ควรชิดกับฉากกันแสงมากที่สุด จึงได้มีการปรับการวางตำแหน่งให้มีความเหมาะสมโดยเป็นไปตาม สมการที่ 3.1 (รายละเอียดในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.2.1)



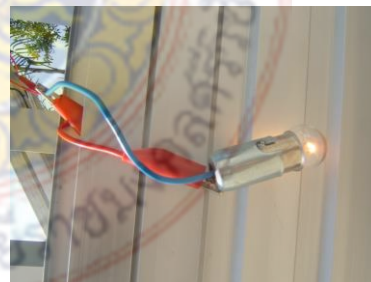
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.4 การทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- (ก) ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการวัดด้วยดิจิตอลมิเตอร์ (ข) ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการวัดด้วยดิจิตอลมิเตอร์ (ค) ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการวัดด้วยชุดวัดที่ถูกออกแบบขึ้น (ง) การต่อโหนดให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4.3 ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดสอบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดด้วยมิเตอร์มาตรฐานเปรียบเทียบผลการวัดที่ได้จากวงจรชุดวัดค่าค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้ออกแบบจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยในการทดสอบจะใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ของ FLUKE 83 ซึ่งได้รับการยอมรับในด้านความถูกต้องเที่ยงตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ในการทดสอบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ได้มีการต่อโหลด โดยเลือกใช้หลอดไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ 15 วัตต์ จำนวน 2 หลอด เพื่อให้มีการจ่ายกระแสไม่ให้แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้าเต็ม

จากการทดสอบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ด้วยดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบ พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดด้วยดิจิตอลมัลติมิเตอร์เปรียบเทียบกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ถูกออกแบบ มีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ± 1 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดด้วยดิจิตอลมัลติมิเตอร์เปรียบเทียบกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้นำเสนอ มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ± 5 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.5 การทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่
 (ก) การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าด้วยดิจิตอลมิเตอร์ (ข) การวัดค่ากระแสไฟฟ้าด้วยดิจิตอลมิเตอร์
 (ค) การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้วยชุดวัดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.6 การทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตาม
แสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยว

(ก) การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าด้วยดิจิตอลมิเตอร์ (ข) การวัดค่ากระแสไฟฟ้าด้วยดิจิตอลมิเตอร์

(ค) การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้วยชุดวัดวงจรรออิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.7 การทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตาม
แสงอาทิตย์ชนิดสองแกน

(ก) การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าด้วยดิจิตอลมิเตอร์ (ข) การวัดค่ากระแสไฟฟ้าด้วยดิจิตอลมิเตอร์

(ค) การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้วยชุดวัดวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่นำเสนอ

4.4 ผลการจับเก็บข้อมูลดาต้าล็อกเกอร์และการรับส่งข้อมูลจากพอร์ตการสื่อสารอนุกรม

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดสอบการเก็บค่าข้อมูลที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะมีการจับเก็บค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าวัน เดือน ปี และเวลา ในขณะที่มีการจับเก็บ โดยจับเก็บลงในหน่วยความจำอีอีพรอมในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์ ในการออกแบบได้มีการสุ่มและเก็บค่าได้ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ในโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ดังที่ได้แสดงในบทที่ 3 ซึ่งมีการจับเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 07.00 น. ถึงเวลา 17.00 น. โดยในขณะที่มีการจับเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำชนิดอีอีพรอมนั้น ได้มีการแสดงผลการจับเก็บข้อมูลผ่านจอแอลซีดี ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ในการจับเก็บข้อมูลนั้น สามารถจะเคลียร์ค่าข้อมูลในการจับเก็บได้ ซึ่งส่งผลให้มีการเริ่มจับเก็บข้อมูลใหม่ สำหรับการเคลียร์

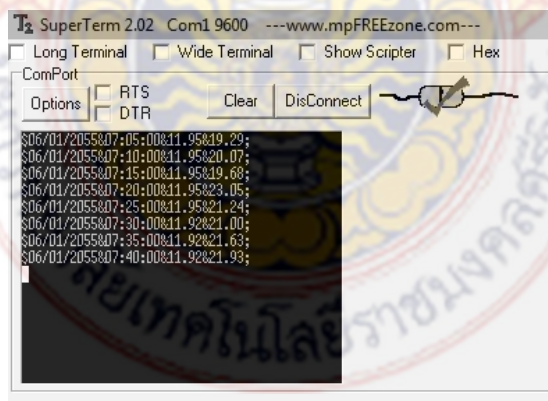
ข้อมูลในหน่วยความจำ สามารถทำได้โดยการกดสวิทช์เพิ่ม (Up) และลด (Down) พร้อมกันค้างไว้ ประมาณ 2 วินาที

ข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ จะถูกนำมาคำนวณเป็นค่าข้อมูลพลังงานไฟฟ้าในรูปของค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่จัดเก็บไว้ในหน่วยความจำ สามารถเข้าดูผ่านทางจอแสดงผลแอลซีดีได้โดยผ่านฟังก์ชันแสดงข้อมูล (Show data logger) โดยจะแสดง ว/ด/ป เวลา ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ที่ถูกสุ่มเก็บค่าไว้ทุก ๆ ระยะเวลา 5 นาที



รูปที่ 4.8 ผลการจัดเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมและการแสดงผลผ่านจอแอลซีดี

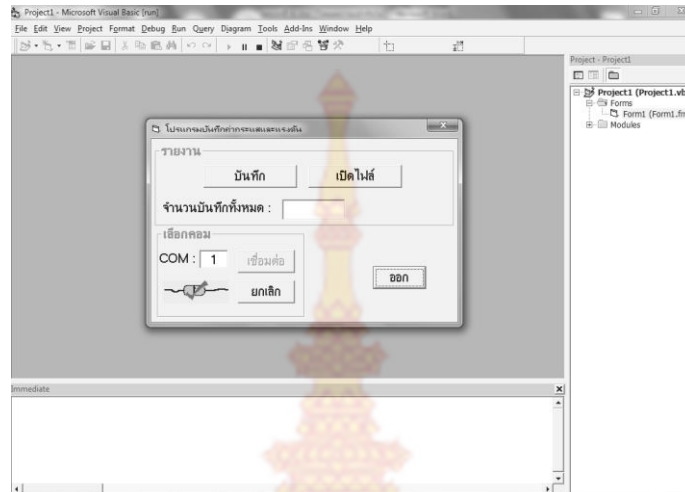
หลังจากที่มีการจัดเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำเรียบร้อยแล้ว จำเป็นต้องมีการนำข้อมูลดังกล่าวมาแสดงผลหรือพล็อตกราฟ โดยสามารถส่งผลข้อมูลดังกล่าวไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ ผ่านการสื่อสารชุดรับข้อมูลจากพอร์ตการสื่อสารอนุกรม (RS232) สำหรับการทดสอบขั้นต้นในการติดต่อกับพอร์ตสื่อสารอนุกรม (RS232) จะเป็นการทดสอบการติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper terminal Program)



รูปที่ 4.9 การแสดงผลข้อมูลที่บันทึกได้ในโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล

รูปที่ 4.9 แสดงการทดสอบการติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล จะเห็นได้ว่าสามารถติดต่อสื่อสารเพื่อดึงข้อมูลจากหน่วยความจำมาแสดงผ่านจอคอมพิวเตอร์ได้ และเมื่อการทดสอบผ่านเรียบร้อยแล้ว ต่อมาเป็นการทดสอบด้วย

โปรแกรมมิชวลเบสิก ตามที่ได้ถูกออกแบบไว้แล้วในบทที่ 3 หัวข้อการออกแบบชุดรับข้อมูลจากพอร์ตการสื่อสารอนุกรม RS232



รูปที่ 4.10 การเลือกคอมพอร์ตเพื่อติดต่อสื่อสารอนุกรมผ่านพอร์ต RS232

จากรูปที่ 4.10 เป็นหน้าต่างของโปรแกรมที่ได้ถูกออกแบบโดยการเขียนโปรแกรมมิชวลเบสิกไว้เพื่อการติดต่อสื่อสารอนุกรมผ่าน RS232 สำหรับการรับข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ โดยขั้นแรกเป็นการเลือกคอมพอร์ต โดยจะต้องเลือกให้ตรงกับที่เซตไว้สำหรับการติดต่อผ่านพอร์ต RS232 ก่อนหน้านี้แล้ว (ในที่นี้เซตไว้เป็น COM1) เมื่อกดปุ่มเชื่อมต่อแล้ว ถ้ารูปไอคอนแสดงการเชื่อมต่อแสดงเป็นเครื่องหมายถูกแสดงว่าการเชื่อมต่อสมบูรณ์ (ดูรายละเอียดในรูปที่ 4.10) คือ การเลือกคอมพอร์ตตรงกับที่ตั้งค่าไว้ จากนั้นกดบันทึกเพื่อส่งผ่านข้อมูลการจัดเก็บไปยังโปรแกรมเอ็กเซล ดังรูปที่ 4.11

	A	B	C	D	E	F	G
1	ลำดับที่	เดือน/วัน/ปี	เวลา	แรงดัน(โวลต์)	กระแส(แอมป์)		
2	1	1/6/2015	7:05:00	11.95	19.2		
3	2	1/6/2015	7:10:00	11.95	20		
4	3	1/6/2015	7:15:00	11.95	19.6		
5	4	1/6/2015	7:20:00	11.95	23		
6	5	1/6/2015	7:25:00	11.95	21.2		
7	6	1/6/2015	7:30:00	11.92	21		
8	7	1/6/2015	7:35:00	11.92	21.6		
9	8	1/6/2015	7:40:00	11.92	21.9		
10	9	1/6/2015	7:45:00	11.92	22.6		
11	10	1/6/2015	7:50:00	11.92	19.5		
12							
13							
14							
15							

รูปที่ 4.11 ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ส่งผ่านจากไมโครคอนโทรลเลอร์มายังคอมพิวเตอร์ที่ถูกจัดเก็บและแสดงผลผ่านโปรแกรมไมโครซอฟเอ็กเซล

4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอทั้ง 3 แบบ ถูกนำมาทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยการทดสอบในพื้นที่และช่วงเวลาเดียวกัน มีการวางชุดทดสอบ ๓ ทั้ง 3 ตัว ในระยะที่ใกล้กัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด วางในแนวทิศตะวันออก - ตะวันตก และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่ถูกรับแผงให้เอียงไปทางทิศใต้ทำมุม 15 องศา กับแนวระนาบ (เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด) ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การทดสอบการเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้า ณ บริเวณลานหน้าอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

ในการทดสอบได้มีการเก็บข้อมูล ดังนี้ (1) ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่ต่อโหลด (V_{NL}) (2) ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะต่อโหลด (V_L) (3) ค่ากระแสไฟฟ้าขณะต่อโหลด (I) และ (4) ค่ากำลังงานไฟฟ้า (P_L) (ได้จากการนำค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้ามาคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า) โดยใช้ดิจิตอลมิเตอร์ทำการวัดค่า ทุกๆ ระยะเวลา 30 นาที ตั้งแต่เวลา 07.30 น. จนถึงเวลา 17.30 น. ตลอดเวลาทดสอบ 8 สัปดาห์

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่ต่อโหลด (V_{NL}) แรงดันไฟฟ้าขณะที่ต่อโหลด (V_L) กระแสไฟฟ้า (I) และค่ากำลังไฟฟ้า (P_L) เฉลี่ยที่ได้จากชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ แบบติดตั้งคงที่

เวลา (น.)	ผลการเก็บค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วย ดิจิตอลมัลติมิเตอร์				ผลการเก็บค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วย ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์			
	V_{NL} (V)	V_L (V)	I (A)	P_L (W)	V_{NL} (V)	V_L (V)	I (A)	P_L (W)
07.30	16.8	1.9	0.045	0.085	16.8	1.86	0.10	0.185
08.00	17.8	2.3	0.30	0.69	17.8	2.25	0.35	0.785
08.30	17.5	5.2	0.415	2.16	17.4	5.10	0.44	2.245
09.00	17.4	5.8	0.43	2.495	17.3	5.76	0.445	2.565
09.30	18.3	7.01	0.62	4.345	18.3	7.00	0.63	4.41
10.00	18.1	8.9	0.615	5.475	18.0	8.84	0.645	5.70
10.30	18.1	9.4	0.865	8.13	18.1	9.38	0.865	8.115
11.00	18.4	12.4	0.825	10.23	18.3	12.60	0.81	10.205
11.30	18.6	12.01	0.99	11.89	18.5	12.03	0.94	11.31
12.00	19.3	12.6	0.90	11.34	19.3	12.61	0.935	11.79
12.30	19.3	12.6	0.975	12.285	19.2	12.59	0.96	12.085
13.00	18.6	12.6	0.98	12.345	18.6	12.63	0.98	12.375
13.30	19.5	12.6	0.93	11.72	19.4	12.62	0.90	11.355
14.00	18.5	12.5	0.895	11.185	18.4	12.51	0.84	10.505
14.30	18.4	11.7	0.895	10.47	18.3	11.72	0.88	10.315
15.00	18.3	9.8	0.915	8.965	18.3	9.78	0.905	8.85
15.30	17.8	8.1	0.895	7.25	17.8	8.06	0.90	7.25
16.00	18.3	6.7	0.83	5.56	18.2	6.60	0.88	5.81
16.30	17.9	5.8	0.45	2.61	17.9	5.60	0.61	3.415
17.00	17.3	5.1	0.04	0.205	17.2	5.10	0.075	0.38
17.30	17.0	3.8	0.025	0.095	17.0	3.76	0.07	0.265

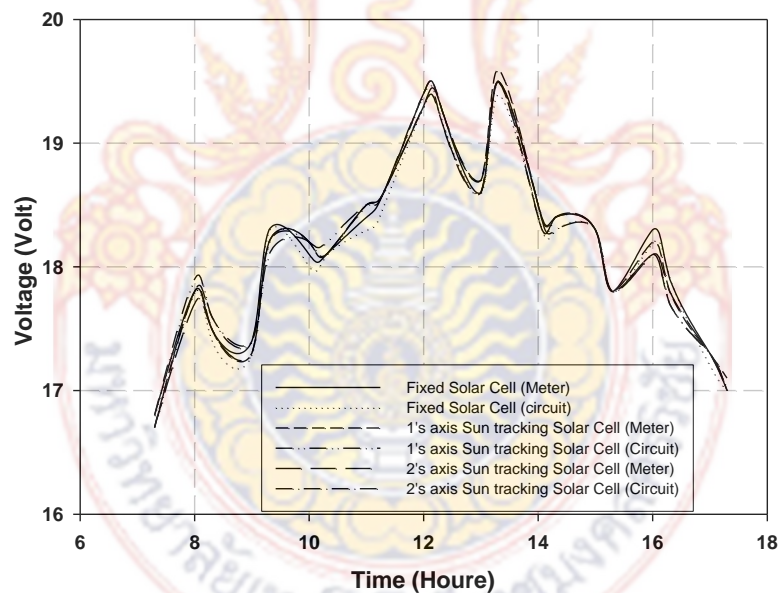
ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่ต่อโหลด (V_{NL}) แรงดันไฟฟ้าขณะที่ต่อโหลด (V_L) กระแสไฟฟ้า (I) และค่ากำลังไฟฟ้า (P_L) เฉลี่ยที่ได้จากชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว

เวลา (น.)	ผลการเก็บค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วย ดิจิตอลมัลติมิเตอร์				ผลการเก็บค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วย ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์			
	V_{NL} (V)	V_L (V)	I (A)	P_L (W)	V_{NL} (V)	V_L (V)	I (A)	P_L (W)
07.30	16.7	5.3000	0.325	1.72	16.8	5.20	0.45	2.34
08.00	17.8	7.6000	0.69	5.245	17.9	7.51	0.75	5.63
08.30	17.5	10.5000	1.025	10.76	17.6	10.42	1.085	11.305
09.00	17.3	11.5000	0.94	10.81	17.4	11.42	0.955	10.905
09.30	18.2	12.2500	0.995	12.19	18.2	12.20	1.005	12.26
10.00	18.2	12.7400	0.96	12.23	18.2	12.75	0.96	12.24
10.30	18.1	12.2000	0.915	11.165	18.2	12.22	0.915	11.18
11.00	18.5	12.4300	0.925	11.495	18.5	12.46	0.925	11.525
11.30	18.6	12.3000	0.98	12.055	18.6	12.30	0.97	11.93
12.00	19.4	12.8000	1.165	14.91	19.4	12.78	1.125	14.375
12.30	19.3	12.5000	0.985	12.31	19.2	12.48	0.975	12.17
13.00	18.7	12.8000	1.015	12.99	18.6	12.78	1.01	12.905
13.30	19.6	12.5500	0.97	12.175	19.5	12.54	0.96	12.04
14.00	18.5	12.6400	0.895	11.31	18.4	12.62	0.875	11.04
14.30	18.4	12.3000	0.94	11.56	18.4	12.30	0.92	11.315
15.00	18.3	12.0800	0.89	10.75	18.3	12.00	0.90	10.80
15.30	17.8	11.8200	0.935	11.05	17.8	11.75	0.945	11.105
16.00	18.2	12.2000	0.94	11.47	18.1	12.00	0.945	11.34
16.30	17.8	11.6000	0.90	10.44	17.7	11.40	0.92	10.49
17.00	17.3	8.6100	0.78	6.715	17.3	8.40	0.825	6.93
17.30	17.1	6.3000	0.35	2.205	17.0	6.10	0.455	2.775

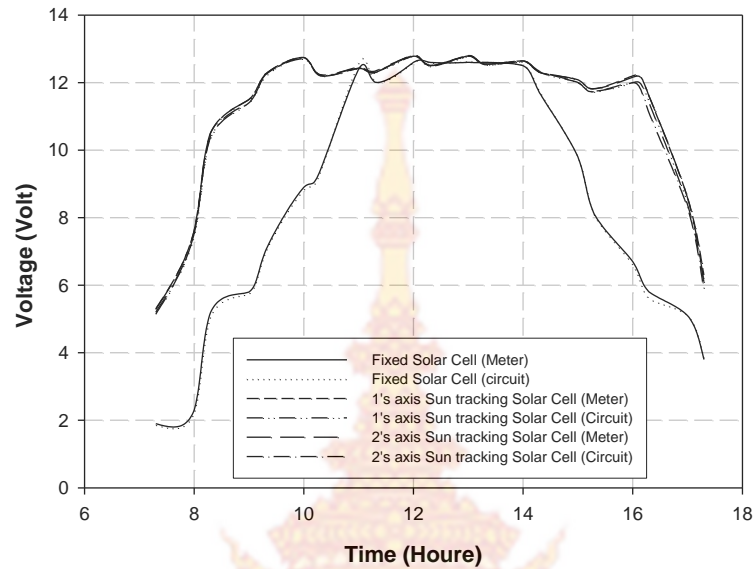
ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่ต่อโหลด (V_{NL}) แรงดันไฟฟ้าขณะที่ต่อโหลด (V_L) กระแสไฟฟ้า (I) และค่ากำลังไฟฟ้า (P_L) เฉลี่ยที่ได้จากชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน แกน

เวลา (น.)	ผลการเก็บค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วย ดิจิตอลมัลติมิเตอร์				ผลการเก็บค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วย ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์			
	V_{NL} (V)	V_L (V)	I (A)	P_L (W)	V_{NL} (V)	V_L (V)	I (A)	P_L (W)
07.30	16.7	5.2800	0.305	1.6100	16.7	5.14	0.395	2.03
08.00	17.7	7.6000	0.675	5.1300	17.8	7.50	0.79	5.925
08.30	17.5	10.5100	1.02	10.7200	17.6	10.38	1.07	11.105
09.00	17.3	11.5000	0.945	10.8650	17.4	11.40	0.955	10.885
09.30	18.2	12.2500	1.00	12.2500	18.1	12.23	1.00	12.23
10.00	18.2	12.7400	0.98	12.4850	18.2	12.70	0.97	12.32
10.30	18.1	12.2000	0.92	11.2250	18.1	12.23	0.925	11.31
11.00	18.5	12.4200	0.925	11.4900	18.5	12.44	0.92	11.445
11.30	18.6	12.3000	0.975	11.9900	18.6	12.34	0.98	12.095
12.00	19.4	12.8100	1.15	14.7300	19.3	12.80	1.15	14.72
12.30	19.3	12.5000	0.99	12.3750	19.2	12.51	0.99	12.385
13.00	18.7	12.7900	1.015	12.9800	18.6	12.78	1.00	12.78
13.30	19.5	12.5500	0.975	12.2350	19.5	12.53	0.965	12.09
14.00	18.5	12.6400	0.91	11.5000	18.4	12.63	0.895	11.305
14.30	18.3	12.3100	0.925	11.3850	18.4	12.33	0.905	11.16
15.00	18.3	12.0800	0.90	10.8700	18.3	12.00	0.90	10.80
15.30	17.8	11.8200	0.915	10.8150	17.8	11.73	0.915	10.73
16.00	18.1	12.1600	0.90	10.9450	18.1	12.00	0.91	10.92
16.30	17.8	11.6000	0.90	10.4400	17.7	11.10	0.90	9.99
17.00	17.3	8.6000	0.77	6.6200	17.3	8.30	0.85	7.055
17.30	17.0	6.1000	0.40	2.4400	17.0	5.84	0.48	2.805

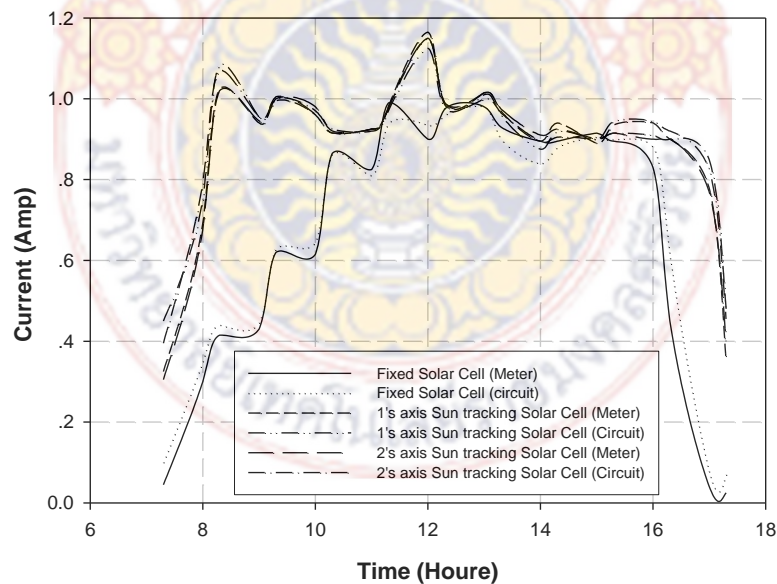
ตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.3 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลด (V_{NL}) ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่มีโหลด (V_L) ค่ากระแสไฟฟ้า (I) และค่ากำลังไฟฟ้า (P_L) ที่ได้จากชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ ทั้ง 3 แบบแบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน ตามลำดับ (ออกแบบเครื่องต้นแบบ ขนาด 40 วัตต์) จากตารางจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลด จะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่มีโหลดค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อมีแสงอาทิตย์มีความเข้มสูงขึ้น โดยค่าแรงดันไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบคงที่จะมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าแบบที่เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียวและสองแกน โดยค่าที่ได้จะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสงอาทิตย์ ในช่วงเช้า และค่อยๆ ลดลงในช่วงเย็น จากตารางจะสังเกตได้ว่า ค่าที่ได้เมื่อนำมาคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า จะมีค่าสูงกว่าแบบคงที่และการใช้งานช่วงเวลากำลังไฟฟ้าสูงจะมีจำนวนชั่วโมงที่สูงกว่าแบบคงที่ ค่าข้อมูลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.3 ถูกลำมาพล็อตกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.16 ตามลำดับ



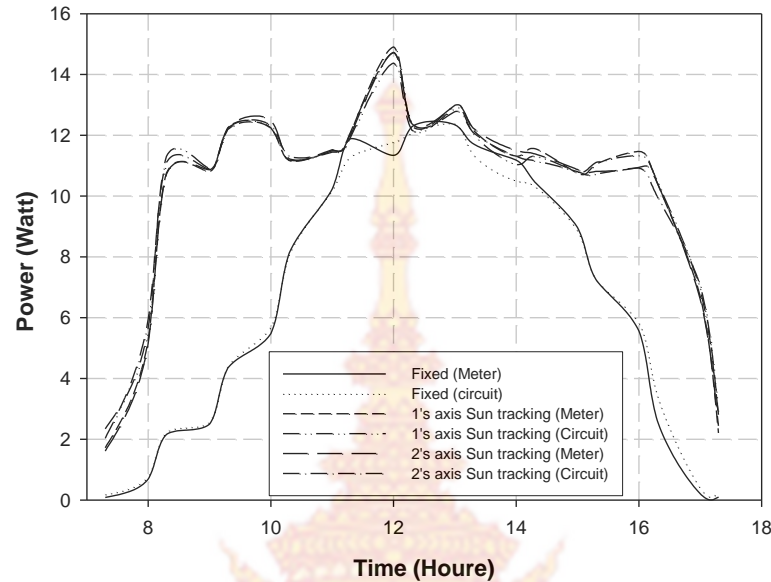
รูปที่ 4.13 ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยขณะที่ไม่มีโหลด ของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน



รูปที่ 4.14 ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยขณะที่ต่อโหลดของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน



รูปที่ 4.15 ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน



รูปที่ 4.16 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเอาต์พุตของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน

รูปที่ 4.13 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยขณะที่ไม่มีโหลดของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ (แบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และแบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดสองแกน) จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ฯ มีค่าใกล้เคียง รูปที่ 4.14 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยขณะที่มีโหลด ของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าต่ำที่ความเข้มของแสงอาทิตย์ต่ำ และจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มของแสงที่เพิ่มขึ้น จากรูปจะสังเกตได้ว่า ช่วงค่าแรงดันไฟฟ้าของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ฯ แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และแบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดสองแกน จะมีช่วงแรงดันไฟฟ้ากว้างกว่าเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ฯ แบบคงที่ ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 12 โวลต์ ของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าที่นำเสนออยู่ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 09.30 น. จนถึงเวลา 16.00 น. ในขณะที่แบบติดตั้งคงที่ จะอยู่ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 11.00 น. จนถึงเวลา 14.00 น. จะเห็นได้ว่าแบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และแบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดสองแกน จะมีช่วงระยะเวลาใช้กว้างกว่าประมาณ 4 ชั่วโมง ในขณะที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และแบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดสองแกนจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากในการทดสอบนั้นมีระยะเวลาที่น้อยทำให้ไม่สามารถเห็นค่า

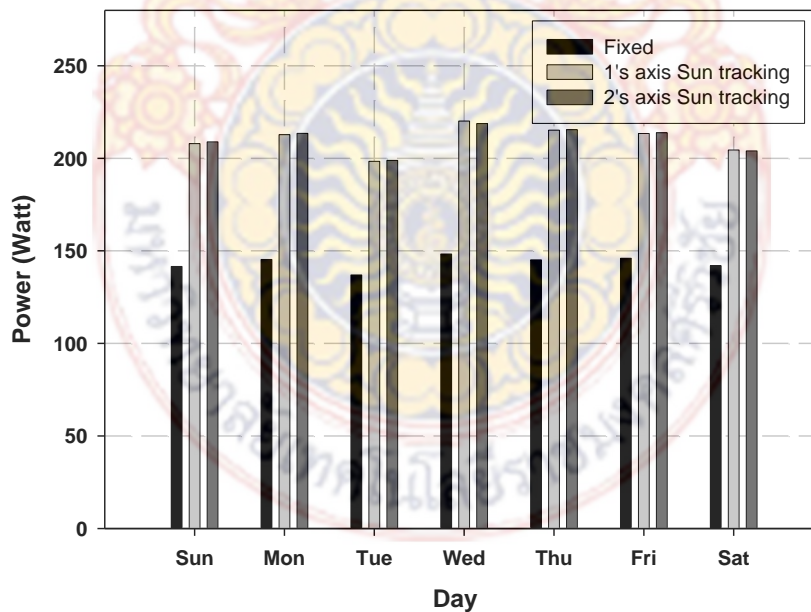
ความแตกต่างได้ รูปที่ 4.15 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากการวัดด้วยดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาตรฐาน และวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบ จากผลการทดลองพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ จะให้กระแสไฟฟ้าคงที่เฉลี่ยสูงกว่าแบบติดตั้งคงที่ รูปที่ 4.16 แสดงค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาตรฐาน ผลการทดสอบพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบคงที่จะมีกำลังไฟฟ้าค่อยๆ เพิ่มขึ้น ในช่วงเวลา 07.30 น. - 11.00 น. และกำลังไฟฟ้าค่อยๆ ลดลง ในช่วงเวลา 14.30 น. - 17.30 น. ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 08.00 น. - 08.30 น. และจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังช่วงเวลา 16.30 น. จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบคงที่ จะให้ค่ากำลังงานสูงมากกว่า 20 วัตต์ ในช่วงระยะเวลา 11.30 น. - 14.00 น. ในขณะที่กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามดวงอาทิตย์จะให้ค่ากำลังงานสูงมากกว่า 20 วัตต์ ในช่วงระยะเวลา 08.30 น. - 16.00 น.

ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ได้มีการนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ในแต่ละวันตลอดระยะเวลา 2 สัปดาห์ มาจัดเก็บพลังงานลงในแบตเตอรี่ และมีการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่มีการจัดเก็บในแต่ละวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ค่าที่ได้จากตารางที่ 4.4 ถูกนำมาพล็อตกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.17 จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ทั้งชนิดแกนเดี่ยวและชนิดสองแกน จะให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า แบบติดตั้งคงที่ โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยชุดควบคุมการเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยวจะมีกำลังสูญเสียประมาณ 3.5 วัตต์ ในขณะที่ชนิดสองแกนมีกำลังสูญเสียประมาณ 7 วัตต์ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการเก็บค่าข้อมูลพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้พบว่า ในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ทั่วไปนั้น ควรเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหมุนตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดี่ยว เนื่องจากให้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าเมื่อเทียบกับแบบคงที่ และโครงสร้างสามารถใช้งานกับเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ แผงโดยใช้ชุดควบคุมการหมุนเพียงชุดเดียวได้ ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหมุนตามดวงอาทิตย์ไม่เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับแผงเซลล์อาทิตย์หลายๆ แผงได้ถึงแม้จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดก็ตาม

ตารางที่ 4.4 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบที่นำเสนอ ที่สามารถจัดเก็บได้ในแต่ละวัน ตั้งแต่เวลา 07.30 น. - 17.30 น. (ข้อมูลเฉลี่ยตลอด 8 สัปดาห์)

วัน	กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ฯ แบบติดตั้งคงที่ (วัตต์)	กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ฯ แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว(วัตต์)	กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ฯ แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ชนิดสองแกน (วัตต์)
จันทร์	141.6	208.0	208.9
อังคาร	145.4	212.8	213.5
พุธ	137	198.4	198.9
พฤหัสบดี	148.3	220.1	218.8
ศุกร์	145.1	215.2	215.5
เสาร์	146	213.4	213.8
อาทิตย์	142	204.5	204.0



รูปที่ 4.17 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละวันของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ

4.5.1 การวิเคราะห์และวิจารณ์ผลที่ได้จากการทดลอง

1. ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยว และสองแกน

จากการทดสอบการทำงานจะสังเกตได้ว่า ระบายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์หยุดหมุนเนื่องจากแอลดีอาร์ที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบแสงอาทิตย์ทั้งสองได้รับแสงเท่ากันนั้น พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมไม่เหมาะสมกับแสงอาทิตย์เท่าที่ควร (ไม่ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์) ผลเนื่องจากการออกแบบระยะห่างระหว่างแอลดีอาร์ทั้งสองกับฉากกันแสงมีระยะห่างไม่เหมาะสม (ห่างกันเล็กน้อย) ดังนั้นในการออกแบบการวางตำแหน่งของแอลดีอาร์ จึงมีความจำเป็นที่จะทำให้การเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์มีความแม่นยำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรับแสงอาทิตย์ที่ดีกว่าเดิม

2. ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าและการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์

จากการทดสอบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ด้วยชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ถูกออกแบบขึ้นเปรียบเทียบกับชุดวัดค่าด้วยดิจิตอลมิเตอร์ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้มีความแตกต่างกันเล็กน้อย อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากตัวต้านทานที่ใช้ในวงจรมีความผิดพลาดต่างกัน รวมถึงเกิดจากค่าความต้านทานภายในสายไฟซึ่งเป็นผลที่ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ต่างกันด้วย ดังนั้นในการออกแบบควรเลือกใช้ค่าความต้านทานที่มีค่าความผิดพลาดต่ำ จะทำให้วงจรมีความผิดพลาดน้อยลง

จากการทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบด้วยชุดวัดกระแสที่ถูกออกแบบขึ้นเปรียบเทียบกับชุดวัดค่าด้วยดิจิตอลมิเตอร์ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้มีค่าที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่กระแสต่ำๆ เนื่องจากการวัดค่ากระแสไฟฟ้าด้วยชุดวัดที่ถูกออกแบบนั้น จะต้องมีการปรับค่าของตัวต้านทานที่ทำหน้าที่ขยายแรงดันไฟฟ้าของภาคออปแอมป์ เพื่อที่จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับมิเตอร์มากที่สุด แต่ผลที่ตามมาคือ เมื่อปรับค่าความต้านทานดังกล่าวแล้วค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุดจะไม่สามารถปรับให้ค่ากระแสไฟฟาลดลงถึง 0 แอมแปร์ได้ ในทางกลับกันถ้าปรับค่าของตัวต้านทานให้ค่ากระแสไฟฟ้าขณะไม่วัดเริ่มต้นที่ 0 แอมแปร์ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ในขณะวัด ก็มีค่าความผิดพลาดสูง ดังนั้นในการออกแบบควรปรับเปลี่ยนวิธีการวัดค่ากระแสไฟฟ้า ควรเลือกใช้วิธีการวัดค่ากระแสไฟฟ้าด้วยการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ฮอลล์ดีไวท์ (Hall Device) จะให้ค่าความแม่นยำสูงกว่า

สำหรับผลการทดสอบการเก็บค่าข้อมูลพลังงานไฟฟ้านั้น พบว่าการเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าช่วงแรกค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าไม่ถูกต้อง เนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้เก็บพลังงานไฟฟ้าเต็มพิกัดความจุกระแสไฟฟ้า ส่งผลให้ค่าที่ได้ไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง ดังนั้นในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจำเป็นต้องมีโหลดมาต่อให้กับชุดผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

3. ผลการรับข้อมูลจากพอร์ตการสื่อสารอนุกรม

จากการทดสอบการรับข้อมูลจากพอร์ตการสื่อสารอนุกรม โดยการติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์เพื่อดึงข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำอีอีพรอมมาวิเคราะห์ผลใน

คอมพิวเตอร์ ผลที่ได้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ คือสามารถดึงข้อมูลทุกเรคคอร์ดมาวิเคราะห์ผลการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าในโปรแกรมเอ็กซ์เซลได้อย่างถูกต้อง

4. ผลการวิเคราะห์ผลการเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าบริเวณลานหน้าอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

จากการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ในแต่ละวันมีค่าความแตกต่างกันมากเนื่องจากในบางวันแสงอาทิตย์มีปริมาณความเข้มแสงสูงตลอดทั้งวัน แต่บางวันมีฝนตกในช่วงของบางเวลาหรืออากาศครึ้มฟ้าครึ้มฝน จึงส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าลดลงอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของทั้ง 8 สัปดาห์ จะมีค่าประมาณ 28 วัตต์ (ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์)

โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ทั้งชนิดแกนเดียวและชนิดสองแกนจะให้กำลังไฟฟ้ามากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่ โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าแบบติดตั้งคงที่ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ถ้ามีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ทั้งชนิดสองแกน จะให้ค่าพลังงานมีความใกล้เคียงกันมาก อาจมีผลเนื่องมาจากการทดสอบใช้ระยะเวลาจำนวนน้อย (8 สัปดาห์) จึงไม่เห็นผลของความแตกต่าง ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบในระยะเวลา 1 ปี ซึ่งจะเห็นผลที่ชัดเจน

4.6 บทสรุป

ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ (แบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียวและแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน) พบว่าสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ สามารถนำมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ต่างๆ ได้โดยการจัดเก็บข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ซึ่งในพื้นที่ต่างๆ อาจมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความแตกต่างกันเหมาะสมให้เหมาะสมกับจุดคุ้มทุน ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการเลือกใช้พลังงานทางเลือกในผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นประเทศไทยที่มีแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี และต้นทุนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยในปัจจุบันมีค่าลดลง และต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานอื่นๆ มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญถูกนำมาใช้งานได้อย่างหลากหลาย เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ ระบบสื่อสารโทรคมนาคม ซึ่งอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันตลอดจน การผลิตสินค้าในภาคอุตสาหกรรม ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ถูกผลิตจากพลังงานที่ได้จากฟอสซิลไม่ว่าจะเป็น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ หรือแม้แต่ถ่านหินก็ตาม ซึ่งส่งผลกระทบต่อมลพิษ มลภาวะของโลก ยังมีจำนวนน้อยที่พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานธรรมชาติหรือพลังงานหมุนเวียนที่ลดผลกระทบต่อโลก ดังนั้นจึงมีความพยายามพัฒนาพลังงานทางเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานใต้พื้นพิภพ พลังงานคลื่น พลังงานชีวมวล ตลอดจนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นตัวเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจสำหรับประเทศไทย เนื่องจากเป็นประเทศที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร สามารถให้แสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี จึงเหมาะสมที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวมาใช้งานให้เต็มประสิทธิภาพ อีกทั้งในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้มีการพัฒนาด้านประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และต้นทุนในการผลิตมีแนวโน้มลดลงอีกด้วย นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานที่ได้จากฟอสซิล นับวันจะมีต้นทุนที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอ ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยได้ออกแบบเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน 3 รูปแบบ ให้มีคุณสมบัติและลักษณะโครงสร้างที่เหมือนกัน คือ (1) แบบติดตั้งคงที่ (2) แบบเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และ (3) แบบเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน ตามลำดับ ในการออกแบบการเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์นั้น ได้ออกแบบโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำงานร่วมกับแอลดีอาร์ในการติดตามแสงอาทิตย์ ทั้งชนิดแกนเดียวและสองแกน เนื่องจากเป็นวงจรที่ง่ายในการตรวจสอบแก้ไขและสามารถนำไปใช้งานได้ง่าย ต้นทุนต่ำ ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ถูกออกแบบให้สามารถสามารถจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์ ทำให้สะดวกในการเก็บข้อมูล สามารถส่งผ่านไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์และพล็อตกราฟได้สะดวกรวดเร็ว ผลการทดสอบการทำงานของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอแนะ พบว่าชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไว้ คือสามารถเคลื่อนที่ได้ตามแสงอาทิตย์ได้ถูกต้อง โดยหยุดหมุนเมื่อแสงอาทิตย์อยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น และในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ แผงเซลล์อาทิตย์สามารถหมุนกลับไปทางทิศตะวันออกสำหรับชนิดแกนเดียวและเอียงไปทางทิศเหนือเล็กน้อยสำหรับชนิดสองแกน เพื่อรอรับแสงอาทิตย์ในวันต่อไป และสามารถวัดค่าพลังงานได้อย่างถูกต้อง โดยมีค่าความผิดพลาดของค่าแรงดันไฟฟ้า ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ ค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ มีการจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์ ทุก 5 นาที ลงในหน่วยความจำอีอีพรอม

ตั้งแต่เวลา 07.00 น. -17.00 น. สามารถเก็บค่าพลังงานได้ ระยะเวลา 7 วัน ข้อมูลที่ได้สามารถส่งผ่านไปยังไม่โครคอมพิวเตอร์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำผ่านพอร์ตการสื่อสารอนุกรม เพื่อวิเคราะห์ต่อไป

จากการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ บริเวณลานหน้าอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์พบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากชุดวัตต์อิเล็กทรอนิกส์และดิจิตอลมิเตอร์มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่เดียวกันเมื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้า ระหว่างค่าที่ได้จากดิจิตอลมิเตอร์และชุดวัตต์อิเล็กทรอนิกส์ค่ามีความผิดพลาดค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามค่าส่วนใหญ่มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยผลการเก็บข้อมูลพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ทั้งชนิดแกนเดียวและชนิดสองแกนจะให้กำลังไฟฟ้ามากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่ โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าแบบติดตั้งคงที่ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ถ้ามีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ทั้งชนิดสองแกน จะให้ค่าพลังงานมีความใกล้เคียงกันมาก อาจมีผลเนื่องมาจากการทดสอบใช้ระยะเวลาจำนวนน้อย (8 สัปดาห์) จึงไม่เห็นผลของความแตกต่าง ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบในระยะเวลา 1 ปี ซึ่งจะเห็นผลที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยชิ้นนี้ยังมีข้อจำกัดในการออกแบบโครงสร้างที่ต้องมีการติดตั้งร่วมกับสวิทช์ เพื่อทำหน้าที่ในการกำหนดระยะเวลาการหมุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในการใช้งานจริงอาจประสบปัญหาในกรณีที่ใช้งานกลางแจ้งหากจัดวางตำแหน่งไม่เหมาะสม เพราะอาจจะโดนฝนทำให้หน้าสัมผัสมีปัญหาได้

ข้อเสนอแนะ

1. การจัดวางแอลดีอาร์ของชุดเปรียบเทียบแสงอาทิตย์ สำหรับการควบคุมการหมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามแสงอาทิตย์นั้น ควรมีการจัดวางแอลดีอาร์ทั้งสองตัวให้ระยะชิดกับฉากกัน แสงอาทิตย์มากที่สุด เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการรับแสงอาทิตย์ที่ดีขึ้น
2. การออกแบบในส่วนของวงจรชุดควบคุมการหมุนตามแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ควรเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีอัตราขยายกระแสไฟฟ้าและอัตราทนกระแสไฟฟ้าให้มีความเหมาะสม (คำนึงถึงความเหมาะสมในการใช้งาน) เนื่องจากต้องนำมาออกแบบใช้งานร่วมกับมอเตอร์ ซึ่งสามารถเลือกใช้กับขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
3. ควรปรับปรุงชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้า ให้สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้มีค่าเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งอาจปรับเปลี่ยนชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ใหม่ โดยใช้อุปกรณ์ฮอลล์ดีไวส์
4. ควรมีการพัฒนารูปแบบการส่งข้อมูลจากชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้อยู่ในรูปแบบไร้สายไปยังคอมพิวเตอร์ ไป เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, “ความมั่นคงด้านพลังงาน มุมมอง แนวนโยบาย และความเปลี่ยนแปลง”, วารสารนโยบายพลังงานฉบับที่ 41 เดือนกรกฎาคม-กันยายน 2541, เข้าถึงได้จาก <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS41.html> เข้าถึงเมื่อ 17 ตุลาคม 2554
- [2] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, “เส้นศูนย์สูตร” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.nstda.or.th/vdo-nstda/sci-day-techno/3175-equator> เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2554
- [3] กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายพัฒนาและแผนงานโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, “เทคโนโลยีแบตเตอรี่แสงอาทิตย์”, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm> เข้าถึงเมื่อ 17 ตุลาคม 2554
- [4] เต็มพงษ์ ศรีเทพ และคณะ, “วิวัฒนาการของเทคโนโลยีไดโอดเปล่งแสงและการประยุกต์ใช้กับโคมไฟส่องทางพลังงานแสงอาทิตย์”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33, pp. 337 - 340, 1-3 ธันวาคม 2553
- [5] สันติภาพ โดดทะเล และคณะ, “ระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประชาชนบทที่ใช้หลักการเกาะจุดกำลังสูงสุด”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33, pp. 385 - 388, 1-3 ธันวาคม 2553
- [6] ธวัชชัย สิมมา และคณะ, “ระบบควบคุมการประจุและจ่ายไฟแบตเตอรี่แบบพกพาด้วยเซลล์สุริยะ”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3, pp. 187 - 190, 9-11 มีนาคม 2554
- [7] สัญญา ผาสุก และคณะ, “ระบบควบคุมเซลล์แสงอาทิตย์ติดตามดวงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3, pp. 211 - 214, 9-11 มีนาคม 2554
- [8] ธนวัฒน์ พันธุ์ชัย, “ระบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดี่ยวด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3, pp. 203 - 206, 9-11 มีนาคม 2554
- [9] เฉลิมพล เรื่องพัฒนาวิวัฒน์, “การประยุกต์ใช้โฟโตทรานซิสเตอร์กับระบบติดตามสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3, pp. 235 - 238, 9-11 มีนาคม 2554
- [10] รศ.ดร.ชาลี เจริญลาภนพรัตน์, “หลังคาผลิตไฟฟ้าของ SIIT”, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.siit.tu.ac.th/announcedetail.php?id=388&Page=.> เข้าถึงเมื่อ 13 ตุลาคม 2554
- [11] สุวัฒน์ เต็มเต็ม และคณะ, “ระบบควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์”, ปริญญาานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ศรีวิชัย, 2552

[12] พรสฐา คงบัว และคณะ, “Solar Cell Movable”, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.htc.ac.th/invent/web5135/p5c1.html>., เข้าถึงเมื่อ 28 ตุลาคม 2554.

[13] ชัชวาล เขียววิทย์พันธ์ และคณะ, “เซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามตำแหน่งดวงอาทิตย์”, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://student.chandra.ac.th/~solar_tracking/index.htm., เข้าถึงเมื่อ 15 กรกฎาคม 2554.

[14] ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์., “ทางโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์”, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://202.143.160.21/LM/Sci@/space/celes_sphere_index/ecliptic/ecliptic.htm., เข้าถึงเมื่อ 15 ตุลาคม 2554.

[15] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน, “สเปกตรัมของแสงอาทิตย์”, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.ces.kmutt.ac.th/PV_text/Designer_CH1toCH5.pdf., เข้าถึงเมื่อ 28 พฤษภาคม 2554.

[16] European Photovoltaic Industry Association. 2011. Solar Generation 6: Solar photovoltaic electricity empowering the world. Brussels: Belgium. 2011. ได้จาก: <http://www.epia.org> สืบค้นเมื่อ มกราคม 2555.

[17] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, “เซลล์แสงอาทิตย์”, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/virtual2/solar-cell/index2.html> , เข้าถึงเมื่อ: 21 สิงหาคม 2554.

[18] ธนาวุฒิ ไกรฤทธิกุล, “ตัวต้านทานไวแสง” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://electronics.seed.com/contents/041s060/041s060_p01.asp. เข้าถึงเมื่อ 29 กรกฎาคม 2554.

[19] วิจิตร บุญยธโรกุล, “ระบบควบคุมมอเตอร์”, กรุงเทพฯ: 23 บุ๊คเซนเตอร์, 2540.

[20] ดอนสัน ปงผาบ และทิพวัลย์ คำน้ำนอง, “ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และการประยุกต์ใช้งาน”, พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ, 2552.

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก.

ข้อมูลรายละเอียดอุปกรณ์ (Data sheet)



ภาคผนวก ข
ซอร์สโค้ดโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ

```

#include <16f877A.h>
#device adc=10           // กำหนดความละเอียดโมดูล ADC เป็น 10 บิต
#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES HS              //High speed Osc (> 4mhz for PCM/PCH) (>10mhz for
PCD)
#FUSES NOPUT          //No Power Up Timer
#FUSES PROTECT        //Code protected from reads
#FUSES NODEBUG        //No Debug mode for ICD
#FUSES NOBROWNOUT    //No brownout reset
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used
for I/O
#FUSES NOCPD          //No EE protection
#FUSES NOWRT          //Program memory not write protected
#use delay(clock=2000000)
#use rs232(baud=9600,xmit=pin_c6,rcv=pin_c7)
#define TIME 300 // (5 minute) * (60 sec) // กำหนดเวลาการสุ่มเก็บข้อมูล (5
นาทีกี่ครั้ง)
#include "24lc32.c"
#include "ds1307.c"
#include "lcd16x2.c"
#define Max_Record 2000
// _____ BUTTONS _____ // กำหนดพอร์ตใช้งานกับสวิตช์
#define bbtn_up() input(pin_b1)
#define bbtn_dw() input(pin_b2)
#define bbtn_ok() input(pin_b3)
#define bbtn_cl() input(pin_b4)
// _____ TIME & DATE _____ // กำหนดตัวแปร วัน เวลา
#define sc 0
#define mn 1
#define hr 2
#define dy 3
#define dt 4
#define mt 5
#define yr 6
int td[7] = {0,0,0,1,1,1,0};

```

```

int cmd;
int1 cmd_flag = 0;
//___ VOLT & CURRENT ___//          // กำหนดตัวแปร แรงดัน กระแส
float current = 0;
float voltage = 0;
long v,c;
int1 ds1307_flag;
unsigned int16 ch=0;
unsigned int16 time_ok;
unsigned int16 time_cl;
unsigned int16 time_up;
unsigned int16 time_dw;
const char day_text[7][4] = {"Sun","Mon","Tue","Wen","The","Fri","Sat"};
/* FUNCTION Prototypes*/          // ชื่อฟังก์ชัน Prototypes ทั้งหมด
void setting(void);
void read_time_date(int *data);
void write_time_date(int *data);
void read_data(unsigned long channel);
void record_data(unsigned long channel);
void read_voltage(void);
void read_current(void);
void check_and_display(void);
void show_data_logger(void);
void setting_time(void);
unsigned long read_channel(void);
void write_channel(unsigned long channel);
/* FUNCTION : main()*/          // ฟังก์ชันหลัก (Main function)
void main (void)
{
    unsigned long channel;
    port_b_pullups(true);
    //_____ Setup ADC module _____//          // ตั้งค่าโมดูล ADC
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL|ADC_CLOCK_DIV_8);
    setup_adc_ports(AN0_AN1_AN3);

```

```

// _____ Setup Interrupt _____ //           // ตั้งค่าการใช้งาน
อินเทอร์รัพท์
enable_interrupts(INT_RDA);
enable_interrupts(INT_EXT);
enable_interrupts(GLOBAL);
// _____ Initial Device _____ //
lcd_init();
init_DS1307();
init_ext_eeprom();
if(read_eeprom(0)!=0xBB)
{
    write_eeprom(0,0xBB);
    //----- Display On LCD -----//
    lcd_gotoxy(1,1); printf(lcd_putc,"  Clear  ");
    lcd_gotoxy(1,2); printf(lcd_putc,"  Memory! ");
    //----- Set default time -----//
    td[hr] = 6; // Hour : 6
    td[mn] = 59; // Minute : 59
    td[sc] = 50; // Second : 50
    td[dt] = 1; // Date : 1
    td[mt] = 1; // Month : 1
    td[yr] = 55; // Year : 55
    td[dy] = 1; // Day : Sun
    //----- Write Time & Date into DS1307 -----//
    write_time_date(td); // เขียนวัน เวลาให้กับ RTC ตามตัวแปร
td
    //----- Clear channel -----//
    write_channel(0); // บันทึกจำนวนช่องเป็น 0
    //----- Clear All Record -----//
    channel = 0;
    do
    {
        write_ext_eeprom(1+(channel*14),0xFF);
    }
    while(++channel<Max_Record);

```



```

}
ch = read_channel();
while(true)
{
    check_and_display();
    //----- Press button OK -----// ถ้ากดปุ่ม OK
    if(!bbtn_ok())
    {
        if(time_ok==50000)
        {
            setting();
        }
        else time_ok++;
    }
    //----- Release button OK -----// ถ้าปล่อยปุ่ม
OK
    if(bbtn_ok())
    {
        time_ok=0;
    }
    //----- Check button Up and button Dw for clear memmory -----
---//
    if((!bbtn_up())&&!bbtn_dw())&&(time_up<=65000))
    {
        // ถ้ากดปุ่ม UP และ DOWN พร้อมกันให้เคลียร์หน่วยความจำ
        if(time_up==65000)
        {
            lcd_gotoxy(1,1); printf(lcd_putc," Clear ");
            lcd_gotoxy(1,2); printf(lcd_putc," Memory!
");
            write_channel(0);
            ch = 0;
            channel = 0;
            do
            {
                write_ext_eeprom(1+(channel*14),0xFF);

```

```

        }
        while(++channel<2000);
    }
    time_up++;
}
if(btnn_up()||btnn_dw())
{
    time_up=0;
}
if(cmd_flag==1) // ถ้ามีคำสั่งส่งมาจากคอมพิวเตอร์
{
    cmd_flag = 0;
    switch(cmd)
    {
        // ตรวจสอบคำสั่งที่ส่งมา
        //-----
        ----- Show record on rs232 -----//
        case 1: for(channel = 0;channel < ch;
channel++)
        {
            // กรณี 1 แสดงข้อมูลบนจอคอมพิวเตอร์
            read_data(channel);
            if(td[dt]!=0xFF)
            {
                v = voltage*100;
                c = current*100;
                printf("$%d%d/%d%d/20%d%d&%d%d
:d%d:d:%d%d&%lu%lu.%lu%lu&%lu.%
lu%lu;\n\r"
,td[dt]/10,td[dt]%10
,td[mt]/10,td[mt]%10
,td[yr]/10,td[yr]%10
,td[hr]/10,td[hr]%10
,td[mn]/10,td[mn]%10
,td[sc]/10,td[sc]%10
,(v/1000)
,(v%1000)/100

```



```

switch(stat)
{
    //----- Get Header -----//
    case 0: if(rcv=='$')
    {
        stat = 1;
    }
    break;
    //----- Get Command -----//
    case 1: switch(rcv)
    {
        case 'R': cmd = 1; stat = 2; break; // Read Record
        case 'C': cmd = 2; stat = 2; break; // Clear Record
        default : cmd = 0; stat = 0; break;
    }
    break;
    //----- Get End command -----//
    case 2: if(rcv==';')
    {
        cmd_flag = 1;
    }
    stat = 0;
    break;
}
}
/* FUNCTION : ext_isr()*/ // ฟังก์ชันอินเตอร์รัพท์จากภายนอก
#INT_EXT
void ext_isr(void)
{
    ds1307_flag = 1;
}
/* FUNCTION : setting()*/ // ฟังก์ชันตั้งค่า
void setting(void)
{
    int1 exit=1;
}

```

```

int mode=1;
while(exit)
{
    lcd_gotoxy(1,1); printf(lcd_putc," Show Data Loger");
    lcd_gotoxy(1,2); printf(lcd_putc," Setting Time  ");
    lcd_gotoxy(1,mode); lcd_putc('>');
    while(!bbtn_ok()||!bbtn_cl()||!bbtn_up()||!bbtn_dw());delay_ms(100);
    while( bbtn_ok()&& bbtn_cl()&& bbtn_up()&&
bbtn_dw());delay_ms(100);
    if(!bbtn_ok())
    {
        switch(mode)
        {
            case 1:show_data_loger(); break; // เข้าสู่
            case 2:setting_time(); break;
        }
    }
    if(!bbtn_cl())
    {
        exit=0;
    }
    if(!bbtn_up())
    {
        mode = 1;
    }
    if(!bbtn_dw())
    {
        mode = 2;
    }
}
}

/* FUNCTION : read_data(unsigned long channel) */ฟังก์ชันอ่านข้อมูลที่บันทึกใน
หน่วยความจำ
/* Channel : 0 - 1999 (2000 record) */

```

```

void read_data(unsigned long channel)
{
    int i;
    td[dt] = read_ext_eeprom(1+(channel*14));
    td[mt] = read_ext_eeprom(2+(channel*14));
    td[yr] = read_ext_eeprom(3+(channel*14));
    td[hr] = read_ext_eeprom(4+(channel*14));
    td[mn] = read_ext_eeprom(5+(channel*14));
    td[sc] = read_ext_eeprom(6+(channel*14));
    for(i=0;i<=3;i++) // Current
        *((unsigned int8 *)&current + i) = read_ext_eeprom(i+7+(channel*14));
    for(i=0;i<=3;i++) // Voltage
        *((unsigned int8 *)&voltage + i) = read_ext_eeprom(i+11+(channel*14));
}
/* FUNCTION : record_data(unsigned long channel) */ ฟังก์ชันบันทึกข้อมูลลง
หน่วยความจำ
/* Channel : 0 - 1999 (2000 record) */
void record_data(unsigned long channel){
int i;
    write_ext_eeprom(1+(channel*14),td[dt]); // Date // Date
    write_ext_eeprom(2+(channel*14),td[mt]); // Month
    write_ext_eeprom(3+(channel*14),td[yr]); // Year
    write_ext_eeprom(4+(channel*14),td[hr]); // Hour // Time
    write_ext_eeprom(5+(channel*14),td[mn]); // Minute
    write_ext_eeprom(6+(channel*14),td[sc]); // Second
    for(i=0;i<=3;i++) // Current
        write_ext_eeprom(i+7+(channel*14),*((unsigned int8 *)&current+i));
    for(i=0;i<=3;i++) //
        Voltage
        write_ext_eeprom(i+11+(channel*14),*((unsigned int8 *)&voltage+i));
}
/* FUNCTION : read_time_date(int *data) */ // ฟังก์ชันอ่าน วัน เวลา จาก RTC
void read_time_date(int *data)
{
    int i;

```

```

        for(i=0;i<7;i++) *data++ = rm_bcd(read_DS1307(i));
    }
    /* Function : write_time_date(int *data) */           // ฟังก์ชันเขียน วัน เวลา ไปยัง RTC
    void write_time_date(int *data)
    {
        int i;
        for(i=0;i<7;i++) write_DS1307(i,get_bcd(*data++));
    }
    /* Function : unsigned long read_channel()*/   ฟังก์ชันอ่านจำนวนช่องที่บันทึกจาก
    หน่วยความจำ
    unsigned long read_channel(void)
    {
        unsigned long channel;
        *((unsigned int8 *)&channel + 0) = read_eeprom(1);
        *((unsigned int8 *)&channel + 1) = read_eeprom(2);
        return(channel);
    }
    /* Function : write_channel(unsigned long channel) */   ฟังก์ชันเขียนจำนวนช่องลง
    หน่วยความจำ
    void write_channel(unsigned long channel)
    {
        write_eeprom(1,*((unsigned int8 *)&channel)+0));
        write_eeprom(2,*((unsigned int8 *)&channel)+1));
    }
    /* Function : show_data_logger()*/           // ฟังก์ชันโชว์ข้อมูลที่บันทึก
    void show_data_logger(void)
    {
        int1 exit=1;
        unsigned long channel = 0;
        unsigned long update_channel=3000;
        while(exit)
        {
            if(channel!=update_channel)
            {
                update_channel = channel;
            }
        }
    }

```

```

    read_data(channel);
    if(td[dt]!=0xFF)
    {
        lcd_gotoxy(1,1);
        printf(lcd_putc,"%d%d/%d%d/20%d%d %d%d:%d%d"
            ,td[dt]/10,td[dt]%10
            ,td[mt]/10,td[mt]%10
            ,td[yr]/10,td[yr]%10
            ,td[hr]/10,td[hr]%10
            ,td[mn]/10,td[mn]%10);
        lcd_gotoxy(1,2); printf(lcd_putc,"V:%2.2fV I:%1.2fA
            ",voltage,current);
    }
    Else
    {
        lcd_gotoxy(1,1); printf(lcd_putc,"--/--/---- --:--");
        lcd_gotoxy(1,2); printf(lcd_putc,"V:---V I:---A ");
    }
}
if(!bbtn_cl())
{
    delay_ms(100);
    if(!bbtn_cl())
    {
        exit=0;
    }
}
if(!bbtn_up()) // Press Button "Up"
{
    if(time_up==30000)
    {
        if(channel<2000)
        {
            channel++;
        }
    }
}

```



```
        delay_ms(50);
    }
    Else
    {
        time_up++;
    }
}
if(bbtn_up())
{
    if((time_up>1000)&&(time_up<30000))
    {
        if(channel<2000)
        {
            channel++;
        }
    }
    time_up=0;
}
if(!bbtn_dw()) // Press Button "Dw"
{
    if(time_dw==30000)
    {
        if(channel>1)
        {
            channel--;
        }
        delay_ms(50);
    }
    Else
    {
        time_dw++;
    }
}
if(bbtn_dw())
{
```

```

        if((time_dw>1000)&&(time_dw<30000))
        {
            if(channel>1)
            {
                channel--;
            }
        }
        time_dw=0;
    }
}

/* Function : setting_time()*/ // ฟังก์ชันตั้งค่า วัน เวลา
void setting_time(void)
{
    int1 exit = 1;
    int stat = 0;
    int32 tmr_display = 0;
    read_time_date(td);
    while(exit)
    {
        if(tmr_display==0)
        {
            lcd_gotoxy(1,1); printf(lcd_putc," %d%d/%d%d/20%d%d "
            ,td[dt]/10,td[dt]%10
            ,td[mt]/10,td[mt]%10
            ,td[yr]/10,td[yr]%10);
            lcd_gotoxy(1,2); printf(lcd_putc,"day:%s %d%d:%d%d:%d%d"
            ,day_text[td[dy]-1]
            ,td[hr]/10,td[hr]%10
            ,td[mn]/10,td[mn]%10
            ,td[sc]/10,td[sc]%10);
        }
        if(tmr_display==30000)
        {
            switch(stat)

```

```

        {
            case 0:lcd_gotoxy( 4,1); printf(lcd_putc," ");break;
            case 1:lcd_gotoxy( 7,1); printf(lcd_putc," ");break;
            case 2:lcd_gotoxy(12,1); printf(lcd_putc," ");break;
            case 3:lcd_gotoxy( 5,2); printf(lcd_putc," ");break;
            case 4:lcd_gotoxy( 9,2); printf(lcd_putc," ");break;
            case 5:lcd_gotoxy(12,2); printf(lcd_putc," ");break;
            case 6:lcd_gotoxy(15,2); printf(lcd_putc," ");break;
        }
    }
    if(++tmr_display>=60000)
    {
        tmr_display = 0;
    }
    if(!bttm_ok()&&(time_ok<=5000)) // Press Button "OK"
    {
        if(time_ok==5000)
        {
            stat++;
            if(stat==7)
            {
                write_time_date(td);
                lcd_gotoxy(1,1); printf(lcd_putc," Save
");
                lcd_gotoxy(1,2); printf(lcd_putc," Time & Date
");
                delay_ms(2000);
                exit = 0;
            }
        }
        time_ok++;
    }
    if(bttm_ok())
    {
        time_ok=0;
    }
}

```

```

}
if(!bttm_cl()&&(time_cl<=5000))           // Press Button "Cancel"
{
    if(time_cl==5000)
    {
        exit=0;
    }
    time_cl++;
}
if(bttm_cl())
{
    time_cl=0;
}
if(!bttm_up())                             // Press Button "Up"
{
    if(time_up>=10000)
    {
        switch(stat)
        {
            case 0:if(td[dt]<31){td[dt]++;}break;
            case 1:if(td[mt]<12){td[mt]++;}break;
            case 2:if(td[yr]<99){td[yr]++;}break;
            case 3:if(td[dy]< 7){td[dy]++;}break;
            case 4:if(td[hr]<23){td[hr]++;}break;
            case 5:if(td[mn]<59){td[mn]++;}break;
            case 6:if(td[sc]<59){td[sc]++;}break;
        }
        delay_ms(50);
        tmr_display = 0;
    }
    else
        time_up++;
}
if(bttm_up())
{

```

```

if((time_up>1000)&&(time_up<10000))
{
    switch(stat)
    {
        case 0:if(td[dt]<31){td[dt]++;}break;
        case 1:if(td[mt]<12){td[mt]++;}break;
        case 2:if(td[yr]<99){td[yr]++;}break;
        case 3:if(td[dy]< 7){td[dy]++;}break;
        case 4:if(td[hr]<23){td[hr]++;}break;
        case 5:if(td[mn]<59){td[mn]++;}break;
        case 6:if(td[sc]<59){td[sc]++;}break;
    }
    tmr_display = 0;
}
time_up=0;
}
if(!btn_dw()) // Press Button "Down"
{
    if(time_dw>=10000)
    {
        switch(stat)
        {
            case 0:if(td[dt] >1){td[dt]--;}break;
            case 1:if(td[mt] >1){td[mt]--;}break;
            case 2:if(td[yr]>=1){td[yr]--;}break;
            case 3:if(td[dy] >1){td[dy]--;}break;
            case 4:if(td[hr]>=1){td[hr]--;}break;
            case 5:if(td[mn]>=1){td[mn]--;}break;
            case 6:if(td[sc]>=1){td[sc]--;}break;
        }
        delay_ms(50);
        tmr_display = 0;
    }
    else
        time_dw++;
}

```

```

    }
    if(bttm_dw())
    {
        if((time_dw>1000)&&(time_dw<10000))
        {
            switch(stat)
            {
                case 0:if(td[dt] >1){td[dt]--;}break;
                case 1:if(td[mt] >1){td[mt]--;}break;
                case 2:if(td[yr]>=1){td[yr]--;}break;
                case 3:if(td[dy] >1){td[dy]--;}break;
                case 4:if(td[hr]>=1){td[hr]--;}break;
                case 5:if(td[mn]>=1){td[mn]--;}break;
                case 6:if(td[sc]>=1){td[sc]--;}break;
            }
            tmr_display = 0;
        } time_dw=0;
    }
}
}
/* Function : read_voltage()*/ // ฟังก์ชันอ่านค่าแรงดันจากพอร์ต ADC
void read_voltage(void)
{
    set_adc_channel(0);
    delay_ms(15);
    voltage = (float)read_adc()*0.0244379276637341;
}
/* Function : read_current()*/ // ฟังก์ชันอ่านค่ากระแสจากพอร์ต ADC
void read_current(void)
{
    float v;
    set_adc_channel(1);
    delay_ms(15);
    v = (float)read_adc()*0.00488758553274682; // Volt
    current = (v-0.197)/0.1; // current = (volt - ofset)/0.1; //Sen: 100 mv/A
}

```


```

}
/* Function : check_and_display()*/ // ฟังก์ชันแสดงผลและตรวจสอบเวลาการสุ่มเก็บข้อมูล
void check_and_display(void)
{
    static int cnt = 0;
    static int16 sampling = 0;
    if(ds1307_flag)
    {
        ds1307_flag = 0;
        read_time_date(td);
        read_voltage();
        read_current();
        if(((td[hr]==7)&&(td[mn]==0)&&(td[sc]>0))||((td[hr]==7)&&(td[mn]>0))||((
        td[hr]>7)&&(td[hr]<17))||((td[hr]==17)&&(td[mn]==0)&&(td[sc]==0)))
        {
            if(++sampling>=TIME)
            {
                sampling = 0;
                if(ch<2000)
                {
                    record_data(ch);    ch++;
                    write_channel(ch);
                }
            }
        }Else
        {
            sampling = 0;
        }
        if(cnt<15)
        {
            lcd_gotoxy(1,1); printf lcd_putc,"    %d%d:%d%d:%d%d    "
            ,td[hr]/10,td[hr]%10
            ,td[mn]/10,td[mn]%10
            ,td[sc]/10,td[sc]%10);
        }
    }
}

```

```
if(cnt>15)
{
    lcd_gotoxy(1,1); printf(lcd_putc," %d%d/%d%d/20%d%d "
    ,td[dt]/10,td[dt]%10
    ,td[mt]/10,td[mt]%10
    ,td[yr]/10,td[yr]%10);
}
if(++cnt==21)
{cnt=0;}
lcd_gotoxy(1,2); printf(lcd_putc,"V:%2.2fV I:%1.2fA ",voltage,current);
}
}
```





ภาคผนวก ง.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

การประชุมวิชาการ พะเยาวิจัย ครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ ๑๗-๑๘ มกราคม ๒๕๕๖
ณ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา

1. เสนอ สะอาด ตรุณี ชายทอง และรุ่งลาวัลย์ ชูสวัสดิ์ “ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์” การประชุมวิชาการพะเยาวิจัย ครั้งที่ 2, pp. 329-342, 17-18 มกราคม 2556

ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

The testing of solar energy suitability in electrical power generation from solar cell panels

เสนอ สะอาด^{1*}, ดรุณี ชายทอง¹ และ รุ่งลาวัลย์ ชูสวัสดิ์¹
Saner Sa-ad^{1*}, Darunee chaythong¹ and Runglawan Chusawad¹

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบหาความเหมาะสมในการเลือกใช้เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแบบ เพื่อนำไปใช้งานในแต่ละพื้นที่ให้มีความเหมาะสม ชุดทดสอบประกอบด้วยเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แบบ คือ (1) แบบติดตั้งคงที่ (2) แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว และ (3) แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน ตามลำดับ วงจรควบคุมถูกออกแบบให้ควบคุมการหมุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ โดยอาศัยเทคนิคการตรวจวัดแสงจากแอลดีอาร์ร่วมกับวงจรถวลีทรอนิกส์ เพื่อสั่งการให้มอเตอร์หมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำมุมที่เหมาะสมตลอดเวลา ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์สูงสุด โดยค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแบบ จะถูกปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าและถูกจัดเก็บลงในหน่วยความจำชนิดอีอีพรอมในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก่อนที่ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ถูกจัดเก็บนั้น จะถูกดึงไปยังไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป

คำสำคัญ: เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า, ดาต้าล็อกเกอร์, แผงเซลล์แสงอาทิตย์, การหมุนติดตามแสงอาทิตย์

Abstract

The purpose of this research was to study and analyze methods in storing solar energy by means of testing solar energy suitability for generation of electricity from solar cell panels. Moreover, this research aimed to find most practical methods in operating a generation of electricity from solar cell panels in different areas. The testing kit provided 3 types of electrical generators from solar cell panels: fixed electrical generator, turn-around single axial sunlight tracking generator, and turn-around 2-axial sunlight tracking generator. The turn-around single axial sunlight tracking generator was modeled and constructed using LDR and electronic circuit as materials. The circuit-controlled motor generates functions to pilot the generator to turn to track the sunlight all the time. This type of generator allows the power to constantly refill in the solar cell panels to the maximum level. The volume of electric energy is gauged by a circuit and a microcontroller set.

¹หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

¹Department of Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya (RMUTSV).

E-mail: s_saner@hotmail.com , saner.s@rmutsv.ac.th

The data would be stored in EEPROM, transferred to a data logger form, and sent to a computer. Finally, the computer will analyze and compare data.

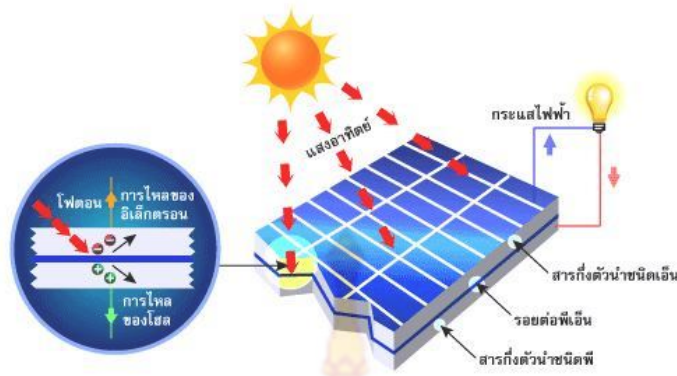
Keywords: Electrical Power Generation, Data logger, Solar cell, Sun tracking

บทนำ

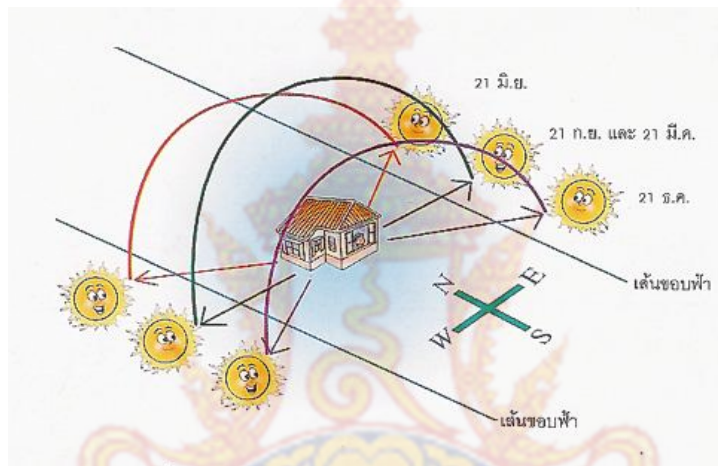
ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในแต่ละปีนั้นรัฐบาลจะต้องใช้งบประมาณหลายหมื่นล้านบาท เพื่อจัดหาเชื้อเพลิงให้เพียงพอต่อการนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าและมีแนวโน้มว่าค่าใช้จ่ายจะต้องเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ รวมถึงปัญหาของแหล่งพลังงานต่างๆ ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ที่จะนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น มีจำนวนลดน้อยลงและมีอยู่อย่างจำกัด ในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น ต้องอาศัยความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ การใช้พลังงานดังกล่าวก่อให้เกิดผลกระทบต่างๆ ตามมามากมาย เช่น โรงผลิตไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ทำให้เกิดภาวะฝนกรด หมอกควันพิษ เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ก็ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหากเกิดการรั่วไหลของเตาปฏิกรณ์ หรือแม้แต่การผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยพลังน้ำจากเขื่อน ก็มีความจำเป็นต้องสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำ ซึ่งเป็นการทำลายระบบนิเวศทางธรรมชาติ ถึงแม้ว่าเป็นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดก็ตาม [1]

พลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานที่ไม่มีที่สิ้นสุด ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปอย่างรวดเร็วและถูกนำมาใช้งานในด้านต่างๆ อย่างหลากหลาย การผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นนับเป็นกระบวนการที่สะอาดและไร้มลภาวะ และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งในด้านการลงทุนเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานโดยรวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยแล้ว จะเห็นได้ว่าต้นทุนพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาถูกกว่าแหล่งพลังงานประเภทอื่น และประการสำคัญก็คือพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานที่มีความยั่งยืนไม่มีที่สิ้นสุดและมีแนวโน้มที่จะมีราคาถูกลง [2] นอกจากนี้ยังเหมาะสมที่จะนำใช้งานในประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรของโลก ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าประเทศอื่นๆ และยังมีแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปีสามารถนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างจริงจัง ซึ่งจะช่วยลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงได้เป็นจำนวนมากในแต่ละปี [3] ทำให้ได้มีการออกแบบและพัฒนาแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนมากเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งแบบติดตั้งคงที่ และแบบเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยว หรือแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน ควบคุมการทำงานด้วยวงจรถ่ายโอนิกส์หรือแม้กระทั่งกับไมโครคอนโทรลเลอร์ [4]-[8] อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าว ยังขาดการเก็บรวบรวมข้อมูลพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพเพื่อเลือกใช้เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสม สำหรับพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ บางพื้นที่เหมาะสมกับแบบติดตั้งคงที่ บางพื้นที่เหมาะสมกับแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ คือ (1) แบบติดตั้งคงที่ (2) แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยว และ (3) แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าและความเหมาะสมในการเลือกใช้เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ ของแต่ละแบบเมื่อเทียบกับต้นทุนการผลิต โดยพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปกับระบบ โดยได้ออกแบบวิธีการจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์ ซึ่งทำให้มีความสะดวกในการจัดเก็บข้อมูลและนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้งานตามความเหมาะสมต่อไป



รูปที่ 1 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2 การเคลื่อนที่ของโลกที่ทำให้วิถีของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อโลก เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลาต่างๆในแต่ละปี

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เซลล์แสงอาทิตย์ [9]

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ทำจากสารกึ่งตัวนำมาวางซ้อนกันจนเกิดรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าขึ้นในสารกึ่งตัวนำจึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นจะขึ้นกับปัจจัย 3 ประการ คือ (1) ชนิดและพื้นที่ของวัสดุที่นำมาใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ (2) ปริมาณความเข้มของแสง และ (3) อุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าหากเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมที่เหมาะสมกับดวงอาทิตย์จะสามารถทำให้การผลิตกำลังงานไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น เซลล์แสงอาทิตย์ถูกนำมาต่อเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็นแถวหรือเป็นชุด (Solar Array) เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้ากำลังวัตต์ใช้งานตามที่ต้องการ โดยการต่อกันแบบอนุกรมเพื่อจะเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และการต่อกันแบบขนานเพื่อจะเพิ่มกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 1

ดวงอาทิตย์และการเคลื่อนที่ของโลก

โลกมีสัณฐานกลม โดยไปงออกที่เส้นศูนย์สูตรและแบนที่ขั้วโลกมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา มีการเคลื่อนที่ใน 2 ลักษณะคือ หมุนรอบตัวเองรอบละ 1 วันและโคจรรอบดวงอาทิตย์รอบละ 1 ปี วันและปีจึงเกิดจากการเคลื่อนที่ของ

โลก การหมุนรอบตัวเองของโลกทำให้เกิดการขึ้น-ตกของดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ ตลอดทั้งดวงดาวทั้งหลายบนฟ้าด้วยเส้นทางการขึ้น-ตกของดวงอาทิตย์ในประเทศไทยจะไม่ตั้งฉากกับขอบฟ้า แต่จะเอียงไปทางทิศใต้ โดยแกนของโลก หมุนรอบซึ่งผ่านขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ จะเอียงจากแนวตั้งฉากเป็นมุมประมาณ 23.5 องศา การเอียงของแกนโลกเช่นนี้จะทำให้ขั้วโลกเหนือ หันเข้าหาดวงอาทิตย์ในเดือนมิถุนายน และหันออกจากดวงอาทิตย์ในเดือนธันวาคม โดยการเคลื่อนที่ของโลกที่หมุนรอบดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปีจะมีลักษณะเป็นวงรี ทำให้ดวงอาทิตย์มีตำแหน่งอยู่ที่จุดโฟกัสของวงรีไม่ได้อยู่บริเวณจุดศูนย์กลางอย่างวงกลมทั่วไป จึงทำให้การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีตำแหน่งที่ห่างไกลจากดวงอาทิตย์มากที่สุดและในขณะเดียวกัน บางช่วงเวลาโลกก็เคลื่อนเข้าหาดวงอาทิตย์ที่ตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดเช่นกัน ประกอบกับความเอียงของแกนโลกที่ส่งผลให้บางส่วนของโลกยื่นล้ำเข้าไปใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่าเดิมในขณะที่บางส่วนทำมุมหนีห่างออกจากดวงอาทิตย์มากกว่าเวลาอื่นๆ

จากการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ และแกนโลกที่เอียงเพื่อพิจารณาถึงวงโคจรของโลก กับเส้นสมมติในแนวระนาบของดวงอาทิตย์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูปที่ 2

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) [10]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ควบคุมที่มีขนาดเล็กภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมที่มีความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ ได้รวมเอาหน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู หน่วยความจำและส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหรือพอร์ตเข้าไว้ด้วยกันโดยทำการบรรจุเข้าไปไว้ในตัวถึงเดียวกัน สามารถต่อร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกและสั่งงานโดยการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน ส่งผลทำให้การทำงานของระบบเป็นแบบอัตโนมัติ โครงสร้างโดยทั่วไปของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F877

การจัดเก็บข้อมูลแบบดาต้าล็อกเกอร์ (Data logger)

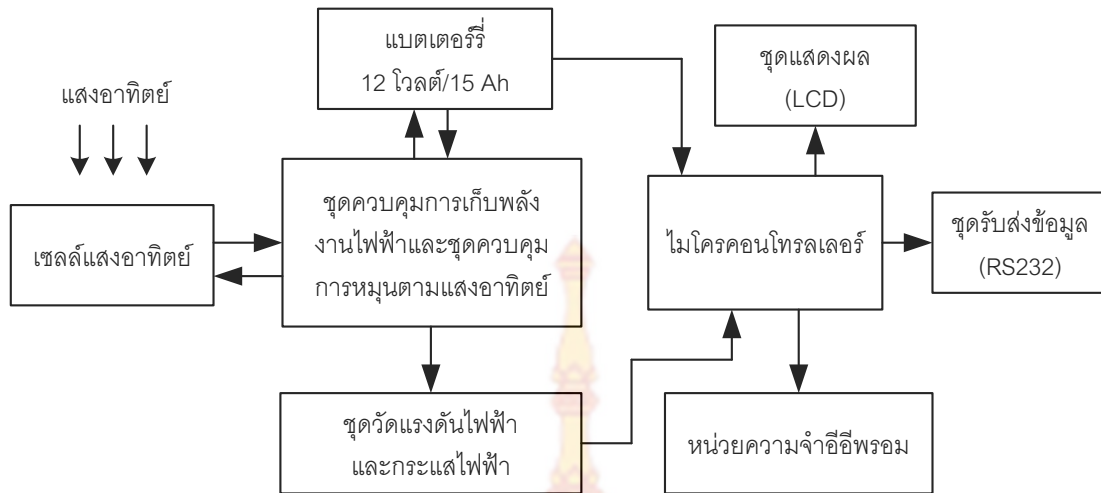
ดาต้าล็อกเกอร์ คือ ระบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการและเก็บข้อมูลที่ได้จากพื้นฐานของระบบ ดาต้าล็อกเกอร์ประกอบไปด้วยสแกนเนอร์หรือดิจิตอลโวลต์มิเตอร์และตัวบันทึกข้อมูล ซึ่งรับอินพุตที่ได้จากตัวตรวจรู้ แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลเป็นระบบดิจิตอล และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อการนำไปใช้ต่อไป การทำงานของการจัดเก็บข้อมูลแบบดาต้าล็อกเกอร์ จะถูกควบคุมการทำงานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งใช้ระบบบัสข้อมูล บัสของตำแหน่งและโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของ ฮาร์ดดิสก์ ยูเอสบีแฟลชไดรฟ์ หรืออีอีพรอม เป็นต้น โดยข้อมูลที่ได้อาจเก็บสามารถนำมาแสดงผลในรูปแบบต่างๆได้ เช่น รูปแบบตาราง รูปแบบกราฟ หรือใช้โปรแกรมอื่นในการนำเสนอ เช่น ไมโครซอฟท์เอกซ์เซล เป็นต้น

การออกแบบชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการออกแบบชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จำเป็นต้องมีกรออกแบบให้ เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะโครงสร้างและอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการและมีการออกแบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าอยู่ในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์ ก่อนดึงข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อไป หลักการทำงานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแบบสามารถแสดงดังในรูปที่ 4 มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 4 ส่วน คือ (1) ชุดควบคุมการจัดเก็บพลังงานและควบคุมการหมุนตามแสงอาทิตย์ (2) ชุดวัดแรงดันไฟฟ้าและชุดวัดกระแสไฟฟ้า (3) ชุดควบคุมการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์ทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และ (4) ส่วนแสดงผลและการรับส่งผ่านข้อมูล ตามลำดับ มีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์จะทำการเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีการออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน 3 รูปแบบ (แบบติดตั้งคงที่ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์แกนเดียว และแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ 2 แกน) พลังงานไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกจัดเก็บยังแบตเตอรี่โดยชุดควบคุมการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า ขณะเดียวกันจะมีชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่ตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า เพื่อนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ไปจัดเก็บลงในหน่วยความจำอีอีพรอมผ่านการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีชุดแสดงผลแอลซีดีทำหน้าที่แสดงผลการทำงานของระบบ และข้อมูลดังกล่าวสามารถดึงไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 ได้ในภายหลัง

การออกแบบโครงสร้างเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การออกแบบโครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบจะถูกออกแบบให้ใช้งานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังไฟฟ้า 20 วัตต์ ความกว้าง 0.30 เมตรและความยาว 0.60 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 5 โครงสร้างของชุดทดสอบฯ แบบติดตั้งคงที่ ในส่วนของแขนจับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกออกแบบให้ตัวจับแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถปรับมุมเอียงอยู่ในช่วงระหว่าง ± 45 องศา โดยผู้ใช้ เนื่องจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่นั้น จะต้องปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำมุมเอียงประมาณ 15 - 30 องศากับแนวระนาบ และหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ เพื่อประสิทธิภาพการรับแสงอาทิตย์สูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) โครงสร้างของชุดทดสอบฯ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียวถูกแสดงในรูปที่ 5 (ข) จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่า โครงสร้างมีลักษณะเช่นเดียวกับแบบติดตั้งคงที่ แต่ในส่วนของแขนจับแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นได้ออกแบบให้มีชุดมอเตอร์เพื่อใช้หมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่แกนหมุนของโครงสร้างฯ โดยออกแบบให้แกนหมุนสามารถเคลื่อนที่ได้ทำมุมได้มากถึงประมาณ 120 องศา (ระนาบด้านซ้ายและด้านขวาประมาณ 60 องศา) สำหรับวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์เพื่อให้หมุนตามแสงอาทิตย์นั้น จะใช้เทคนิคการรับแสงของแอลดีอาร์ร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยการออกแบบให้แอลดีอาร์ถูกติดตั้งบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป ในส่วนของโครงสร้างของชุดทดสอบฯ แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกนนั้น ได้ถูกออกแบบให้มีมอเตอร์ควบคุมการหมุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งในแนวแกน x และแกน y โดยมีวงจรควบคุมการทำงานเช่นเดียวกับแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว ดังรูปที่ 5 (ค)



รูปที่ 4 โดอะแกรมการทำงานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์และวงจรควบคุมการหมุนของเซลล์แสงอาทิตย์

ในการตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์นั้น บทความนี้เลือกใช้อุปกรณ์แอลดีอาร์หรือความต้านทานไวแสง ทำหน้าที่ในการตรวจจับแสงอาทิตย์ เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะทำให้ประจุพาหะ (อิเล็กตรอนและโฮล) เกิดการเคลื่อนที่ส่งผลให้แอลดีอาร์มีความต้านทานลดลง การลดลงของความต้านทานจะแปรผันตรงกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ จากหลักการดังกล่าว จึงเลือกใช้แอลดีอาร์จำนวน 3 ตัว ในการควบคุมการหมุนในแต่ละแกน สามารถแยกได้เป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 (แอลดีอาร์ตัวที่ 1) ถูกออกแบบให้ติดตั้งอยู่กับที่เพื่อตรวจสอบปริมาณของแสง ในขณะที่แอลดีอาร์ชุดที่ 2 ประกอบด้วยแอลดีอาร์จำนวน 2 ตัว (แอลดีอาร์ตัวที่ 2 และตัวที่ 3) ถูกติดตั้งบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะมีแผ่นกั้นกลางระหว่างแอลดีอาร์ทั้ง 2 ตัว โดยหากดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้แอลดีอาร์มีค่าความต้านทานเท่ากัน แต่หากดวงอาทิตย์เปลี่ยนตำแหน่งไม่ตั้งฉากกับเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้เกิดเป็นเงาบังแอลดีอาร์ตัวใดตัวหนึ่ง ส่งผลให้แอลดีอาร์มีค่าความต้านทานไม่เท่ากัน เป็นผลทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำงานไปขับเคลื่อนแกนหมุนของเซลล์แสงอาทิตย์ให้เคลื่อนที่ที่มุมที่เหมาะสมกับดวงอาทิตย์ส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่ที่มุมที่เหมาะสมกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 6

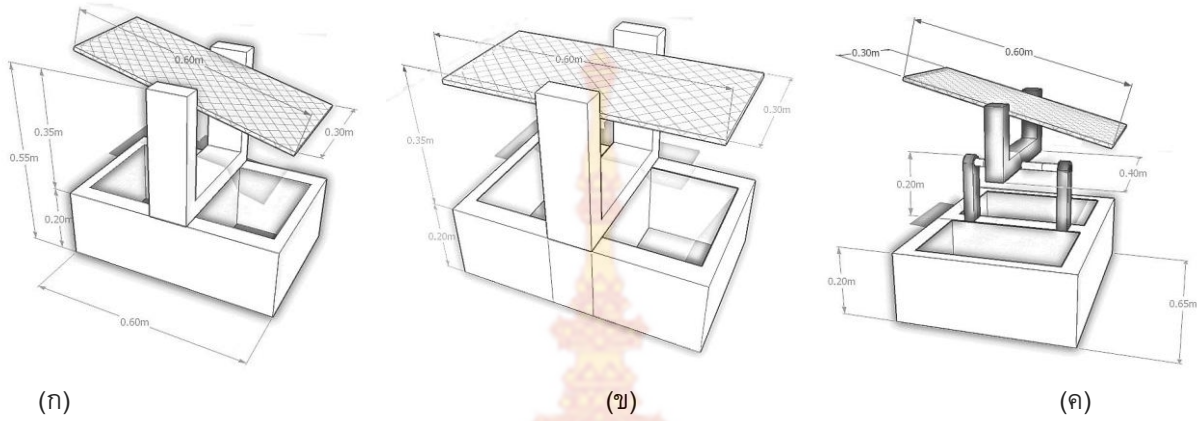
ความสูงของฉากกัน Y หาได้จากสมการที่ 1 คือ

$$Y = \frac{X}{\tan \theta} \tag{1}$$

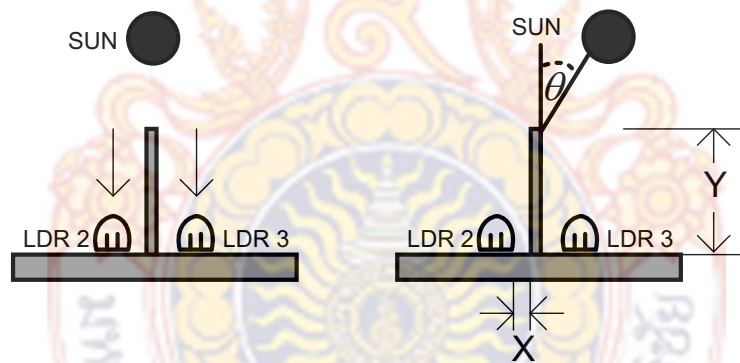
เมื่อ X คือ ระยะห่างระหว่างฉากกันกับแอลดีอาร์ และ θ คือ มุมที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จากแนวเดิมที่ทำให้เกิดเงา

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าสามารถนำมาออกแบบวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทั้งแบบเดี่ยวและแบบสองแกน ดังแสดงในรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ตามลำดับ จากวงจรชุดควบคุมการหมุนของเซลล์แสงอาทิตย์แบบชนิดแกนเดี่ยวสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ เมื่อได้รับแสง (ตอนกลางวัน) และเมื่อไม่ได้รับแสง (ตอนกลางคืน) สามารถอธิบายการทำงานของวงจรแต่ละส่วนได้ดังนี้ ในช่วงเวลากลางวัน วงจรชุดควบคุมจะส่งการให้มอเตอร์หมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมที่เหมาะสมกับแสงอาทิตย์ตลอดเวลา และช่วงเวลากลางคืน วงจรชุดควบคุมจะส่งการให้มอเตอร์หมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากทิศตะวันตก กลับไปยังทิศตะวันออกเพื่อรอรับแสงอาทิตย์ในวันต่อไป ในกรณีวงจรชุดควบคุมการหมุนของเซลล์แสงอาทิตย์แบบชนิดสองแกน จะมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับวงจรชุดควบคุมแบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยว คือ เมื่อมีแสงอาทิตย์ (ตอนกลางวัน) วงจรชุดควบคุมจะส่งการให้มอเตอร์หมุนปรับ

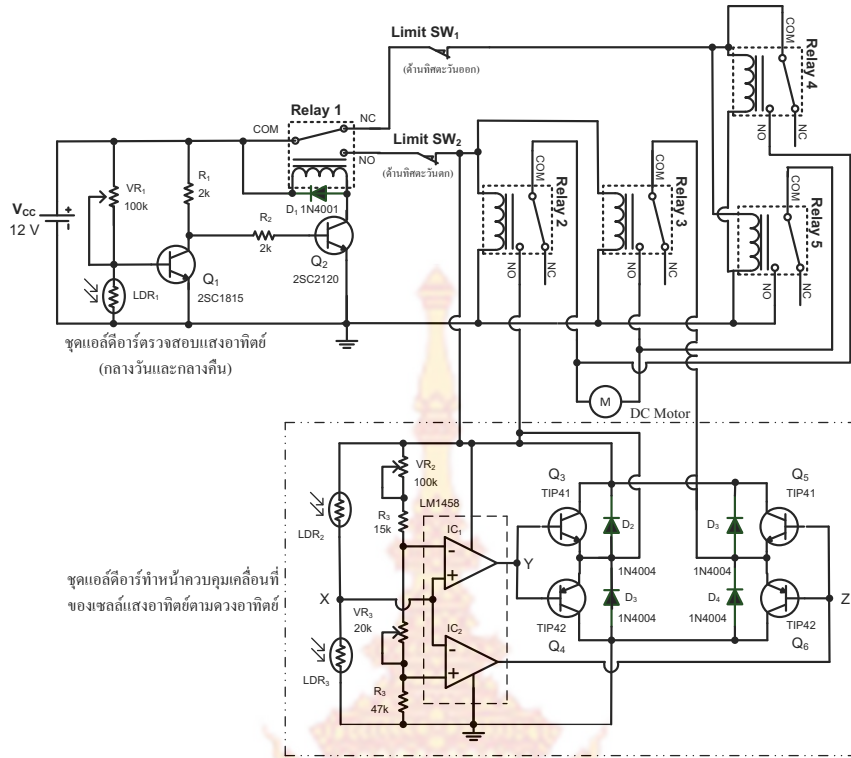
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ตลอดเวลาในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกและแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมที่เหมาะสมกับระนาบของแสงอาทิตย์มากที่สุด และช่วงเวลากลางคืน วงจรชุดควบคุมจะสั่งการให้มอเตอร์หมุนปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากทิศตะวันตก กลับไปยังทิศตะวันออก และเอียงระนาบแผงไปทางทิศเหนือเล็กน้อยเพื่อรอรับแสงอาทิตย์ในวันต่อไป



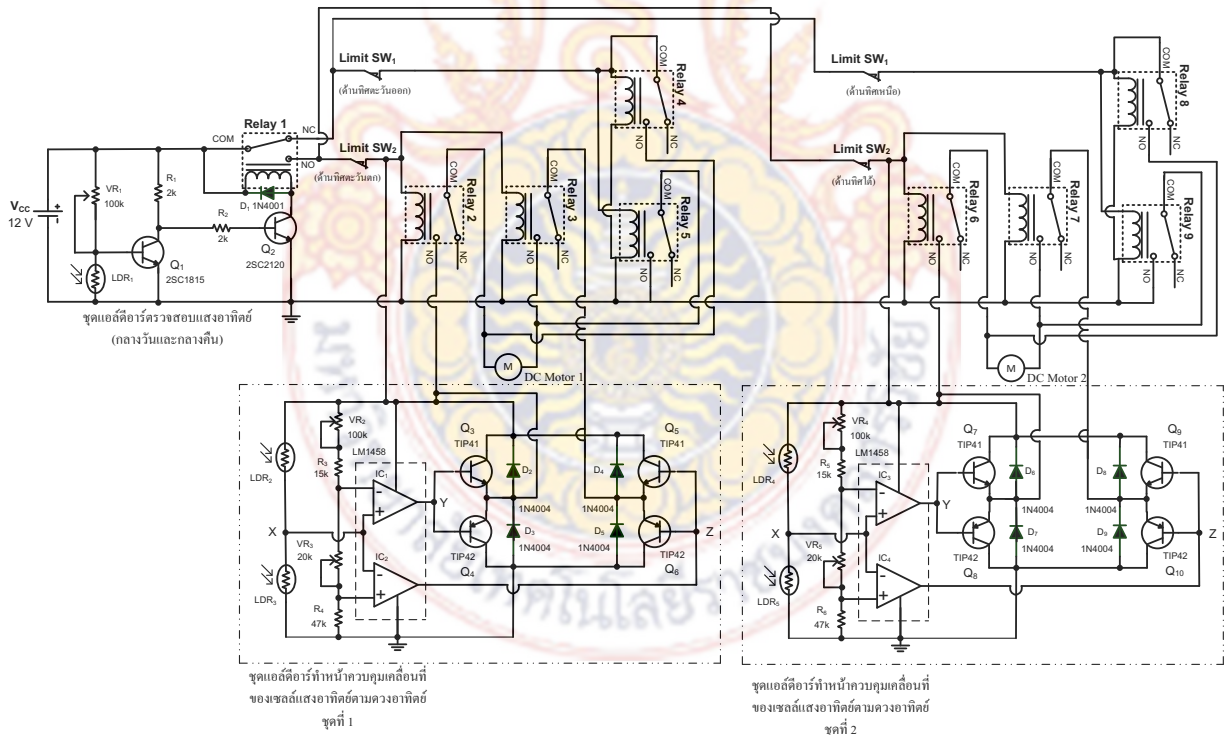
รูปที่ 5 โครงสร้างของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ (ก) แบบติดตั้งคงที่ (ข) แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว (ค) แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน



รูปที่ 6 การตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้แอลดีอาร์จำนวน 2 ตัว



รูปที่ 7 วงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแกนเดียว

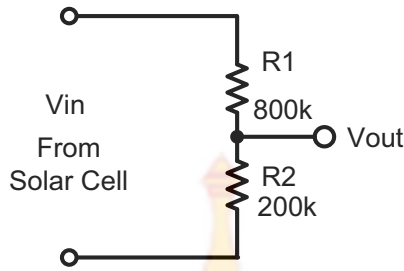


รูปที่ 8 วงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสองแกน

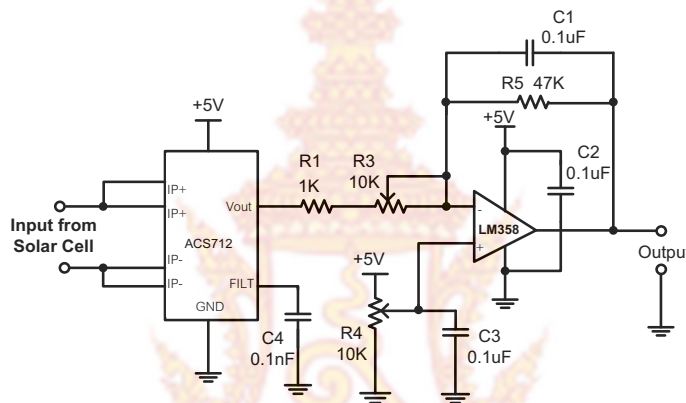
ชุดวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

หลังจากที่เซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าจะถูกนำไปจัดเก็บลงในแบตเตอรี่ ในขณะที่เดียวกันก็จะทำการเก็บค่าข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งจะทำการจัดเก็บ

ในลักษณะของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เพื่อนำไปจัดเก็บลงในหน่วยความจำอีพียูพรอมควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแสดงดังในรูปที่ 9 และ รูปที่ 10 ตามลำดับ

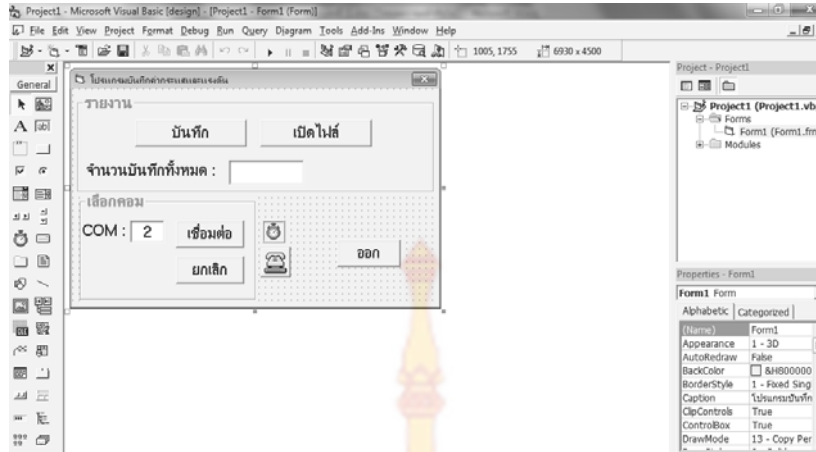


รูปที่ 9 วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 10 วงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้า

จากวงจรรูปที่ 9 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า หลังจากนั้นจะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นสัญญาณดิจิตอลและเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก่อนจัดเก็บไปยังหน่วยความจำอีพียูพรอมต่อไป รูปที่ 10 เป็นวงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จากเซลล์แสงอาทิตย์เช่นเดียวกับแรงดันไฟฟ้า โดยใช้ไอซีเบอร์ ACS712 ก่อนนำส่งเข้าไปจัดเก็บไปยังหน่วยความจำอีพียูพรอมเช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่าการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกจัดเก็บในรูปของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์ ลงในอีพียูพรอมซึ่งเลือกใช้เบอร์ 24LC32 ซึ่งมีค่าความจุขนาด 32 กิโลไบต์ ผ่านการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการออกแบบได้ทำการจัดเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าทุก ๆ 5 นาที ระหว่างเวลา 07.30 น. ถึง 17.30 น. สามารถเก็บข้อมูลได้นาน 7 วัน ข้อมูลดังกล่าวสามารถส่งผ่านไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ได้ผ่านพอร์ตอนุกรมด้วยการเขียนโปรแกรมวิซวลเบสิก และแสดงผลข้อมูลด้วยโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 การเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม



รูปที่ 12 ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ การประกอบวงจรเข้ากับโครงสร้างและการทดสอบการทำงาน

จากวงจรควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและการจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าลงในหน่วยความจำ ถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 12 จากรูปจะเห็นได้ว่าโครงสร้างที่ออกแบบมีคุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพที่เหมือนกัน เพื่อให้การจัดเก็บข้อมูลมีค่าถูกต้องเที่ยงตรงมากที่สุด โดยชุดควบคุมการทำงานและชุดจัดเก็บข้อมูลพลังงานจะถูกจัดเก็บไว้ในส่วนฐานของโครงสร้าง

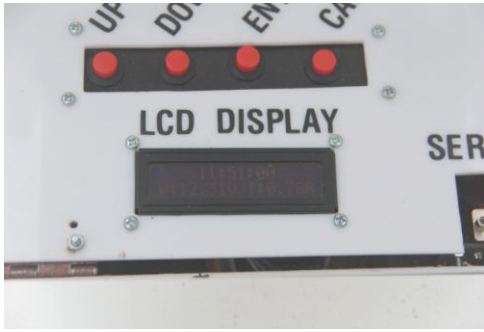
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

จากชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบที่ได้นำเสนอ 5 ถูกนำมาทดสอบการทำงานเพื่อหาความถูกต้องแม่นยำตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์ ระหว่างเวลา 07.30 น. ถึง 17.30 น. จากการทดสอบพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ได้ตลอดเวลา และเคลื่อนที่กลับมายังจุดเริ่มต้นเพื่อรับแสงในวันใหม่เมื่อสิ้นแสงอาทิตย์ ทั้งแบบแกนเดียวและแบบสองแกน และสามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้องครบถ้วน นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบความถูกต้องในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐานตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่รูปที่ 13

รูปที่ 14 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ คือ แบบติดตั้งคงที่ แบบเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยว และแบบเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน ที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชุดวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับ การวัดค่าจากมิเตอร์มาตรฐานที่เวลาต่างๆ จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์และจากมิเตอร์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 2.7 เปอร์เซ็นต์ รูปที่ 15 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชุดวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับ การวัดค่าจากมิเตอร์มาตรฐานที่เวลาต่างๆ จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จะมีลักษณะที่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาจากความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดค่าและวงจรที่นำเสนอจะมีค่าค่อนข้างสูงถึง 25 เปอร์เซ็นต์ รูปที่ 15 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชุดวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับ การวัดค่าจากมิเตอร์มาตรฐานที่เวลาต่างๆ จากรูปจะเห็นได้ว่าค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ได้มิเตอร์และชุดวัดจะมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จะพบว่าแบบคงที่จะให้กำลังไฟฟ้าเต็มประสิทธิภาพประมาณ 3 ชั่วโมง ในขณะที่แบบชนิดหมุนตามดวงอาทิตย์ทั้งแบบแกนเดี่ยวและแบบสองแกนจะให้กำลังไฟฟ้าเต็มประสิทธิภาพสูงถึงประมาณ 6 ชั่วโมง โดยจากการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าพลังงานไฟฟ้าของชุดทดสอบฯ ชนิดหมุนตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดี่ยวและแบบสองแกนจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการเก็บค่าข้อมูลเพียง 4 สัปดาห์ ดังนั้นหากต้องการให้เห็นค่าความแตกต่าง ก็ควรมีการทดสอบการทำงานเป็นระยะเวลาครบรอบ 1 ปี เพื่อให้เห็นความแตกต่างๆ ระหว่างการเคลื่อนที่แบบแกนเดี่ยวและแบบสองแกน อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ก็สามารถอธิบายถึงความแตกต่างๆ ของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบได้ โดยแบบที่มีการเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์นั้นจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าแบบติดตั้งคงที่ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยมิได้รวมผลของพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบบติดตั้งคงที่ต้องมีกำลังสูญเสียประมาณ 3.5 วัตต์ ในขณะที่แบบสองแกนใช้กำลังงานมีกำลังสูญเสียประมาณ 7 วัตต์ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการเก็บค่าข้อมูลพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้พบว่า ในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ทั่วไปนั้น ควรเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหมุนตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดี่ยว เนื่องจากให้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าเมื่อเทียบกับแบบคงที่ และโครงสร้างสามารถใช้งานกับเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ แผงโดยใช้ชุดควบคุมการหมุนเพียงชุดเดียวได้ ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหมุนตามดวงอาทิตย์ไม่เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับแผงเซลล์อาทิตย์หลายๆ แผงได้ถึงแม้จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดก็ตาม

สรุปผล

ชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ ถูกออกแบบให้มีลักษณะการทำงานในผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ 3 ลักษณะ คือ (1) แบบติดตั้งคงที่ (2) แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดแกนเดี่ยว และ (3) แบบหมุนตามแสงอาทิตย์ชนิดสองแกน ตามลำดับ โดยชุดทดสอบฯ ที่นำเสนอ ได้ถูกออกแบบให้คุณสมบัติอื่นๆ มีลักษณะเช่นเดียวกัน และได้ถูกออกแบบให้สามารถจัดเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ ลงในหน่วยความจำในรูปแบบของดาต้าล็อกเกอร์ จึงสามารถนำค่าข้อมูลพลังงานไฟฟ้างกล่าว มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมในการเลือกใช้เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ ในพื้นที่ต่างๆ ที่มีความแตกต่างกันได้

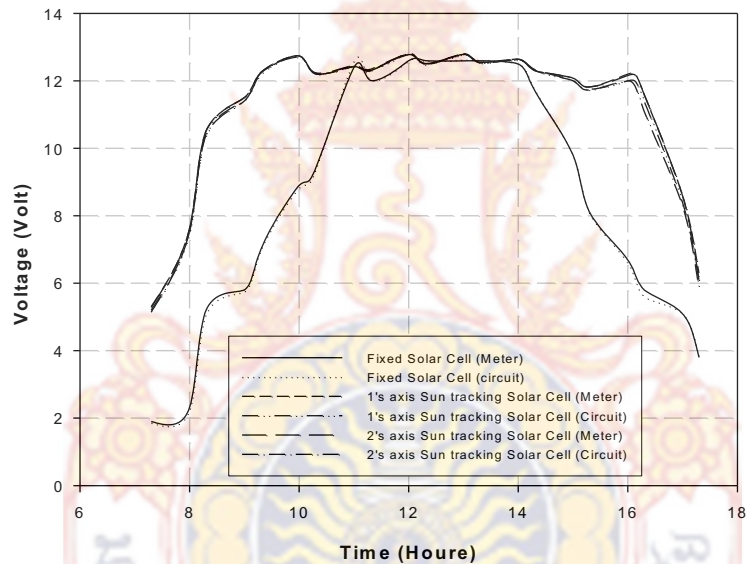


(ก)

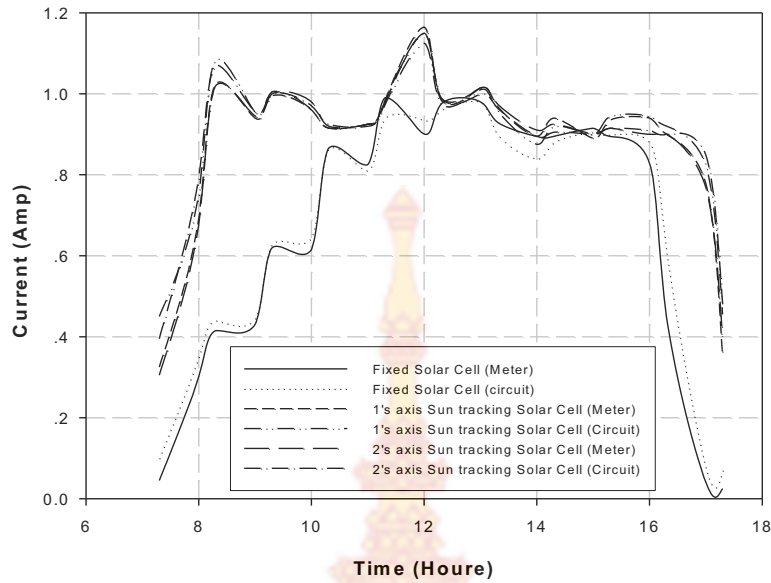


(ข)

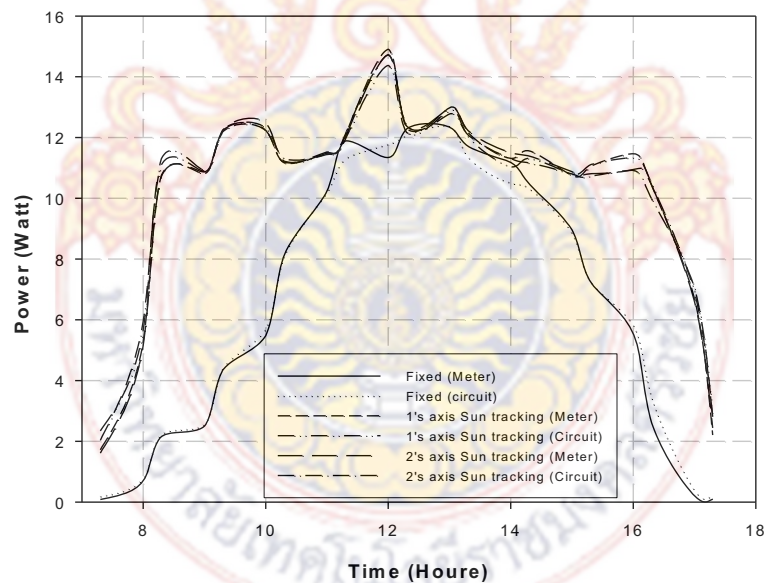
รูปที่ 13 การทดสอบการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากวงจรถออิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน
(ก) การแสดงผลค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากวงจรถออิเล็กทรอนิกส์ (ข) การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากมิเตอร์



รูปที่ 14 ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการทำงานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากวงจรถออิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน



รูปที่ 15 ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน



รูปที่ 16 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเอาต์พุตของชุดทดสอบหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยชิ้นนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และขอขอบคุณนักศึกษาหลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ที่เป็นผู้ช่วยในการเก็บข้อมูลและมีส่วนร่วมในการดำเนินงานอย่างขยันขันแข็ง ทำให้งานชิ้นนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. ความมั่นคงด้านพลังงาน มุมมอง แนวนโยบายและความเปลี่ยนแปลง. วารสารนโยบายพลังงาน ฉบับที่ 41. 2541. ได้จาก: <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS41.html> สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554.
2. European Photovoltaic Industry Association. 2011. Solar Generation 6: Solar photovoltaic electricity empowering the world. Brussels: Belgium. 2011. ได้จาก: <http://www.epia.org> สืบค้นเมื่อ มกราคม 2555.
3. กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายพัฒนาและแผนงานโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. เทคโนโลยีแบตเตอรี่แสงอาทิตย์. 2545. ได้จาก: <http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm> สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554.
4. เต็มพงษ์ ศรีเทพ ศศิธร กอเจริญ วรพงษ์ ไพรินทร์ เพชร นันทิวัฒนาและปรีชา กอเจริญ. วิวัฒนาการของเทคโนโลยีไดโอดเปล่งแสงและการประยุกต์ใช้กับโคมไฟส่องทางพลังงานแสงอาทิตย์. ใน: การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33. 2553. หน้า 337 – 340.
5. สันติภาพ โดดทะเล ทะนงศักดิ์ ยาทะเล และอุดม เครือเทพ. ระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประชาชนบทที่ใช้หลักการเกาะจุดกำลังสูงสุด. ใน: การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33. 2553. หน้า 385 – 388.
6. ธวัชชัย สิมมา เกษม เนื้อแก้ว และขุนแผน ปฏิมาปรการ. ระบบควบคุมการประจุและจ่ายไฟแบตเตอรี่แบบพกพาด้วยเซลล์สุริยะ. ใน: การประชุมวิชาการเครือข่ายวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3. 2554. หน้า 187 – 190.
7. สัญญา ผาสุก สุภชัย อรุณพันธ์ และพรชัย แคล้วอ้อม. ระบบควบคุมเซลล์แสงอาทิตย์ติดตามดวงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. ใน: การประชุมวิชาการเครือข่ายวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3. 2554. หน้า 211 – 214.
8. ธนวัฒน์ พันธุ์ต้อย. 2554. ระบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดี่ยวด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. ใน: การประชุมวิชาการเครือข่ายวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3. 2554. หน้า 203 – 206.
9. Simon, R. Solar Electricity. 2nd ed. London: Prentice Hall. 1991.
10. ดอนสัน ปงผาบ และทิพวัลย์ คำน้ำนอง. ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และการประยุกต์ใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: 2552.