



แผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์ 2

SOLAR TRACKING 2



นายดิเรก พุทธรศรี รหัส 43362466

นายสุทิน ยอดสันเทียะ รหัส 43362755

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 25 พ.ค. 2553 /.....
เลขทะเบียน..... 502.1377
เลขเรียกหนังสือ..... ๒๘.
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ 0554 ๘

2546

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2546



## ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ      แผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์ 2  
ผู้ดำเนินโครงการ      นายคิเรก พุทศรี      รหัส 43362466  
                                 นายสุทิน ยอคสันเทียะ      รหัส 43362755  
อาจารย์ที่ปรึกษา      อาจารย์พนัส นัถฤทธิ์  
สาขาวิชา      วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา      วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา      2546

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะกรรมการสอบ โครงการวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ  
(อาจารย์พนัส นัถฤทธิ์)

.....กรรมการ  
(อาจารย์นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ศุภวรรณ คำคงศักดิ์)

หัวข้อโครงการ	แผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์ 2	
ผู้ดำเนินโครงการ	นายศิเรก พุทธศรี	รหัส 43362466
	นายสุทิน ขอดสันเทียะ	รหัส 43362755
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์พนัส นัถฤทธิ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2546	

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและการสร้างแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ที่สามารถปรับทิศทางรับแสงอาทิตย์ได้ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนางานทางด้านพลังงานที่ได้มาจากแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพและนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุด โดยใช้โฟโตเซลล์เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับทิศทางแสงจาก จากนั้นที่มีระนาบตัดกันเป็นมุมจากตามแนวแผงโซลาร์เซลล์ โฟโตเซลล์จะแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าและจะส่งสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าเข้าไปเปรียบเทียบกับโดยใช้ฮอปแอมป์ โดยที่ฮอปแอมป์จะส่งสัญญาณให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล ซึ่งโครงการได้ใช้ภาษาซีในการพัฒนาโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ และเอาต์พุตที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกนำมาขยายโดยวงจรบัฟเฟอร์ จากนั้นจะถูกส่งไปขับมอเตอร์ 2 ชุด ซึ่งสามารถหมุนได้ทั้งรอบแกนแนวนอนและแกนแนวตั้ง

ผลที่ได้จากการทำโครงการนี้คือแผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์ซึ่งสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยได้มากกว่าแบบยึดอยู่กับที่ นอกจากนี้โครงการนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ที่ต้องการใช้พลังงานแสงอาทิตย์แทนพลังงานรูปอื่น ๆ

**Project Title** Solar Tracking 2  
**Name** Mr. Direk Buddhasri ID. 43362466  
Mr. Suthin Yodsanthia ID. 43362755  
**Project Advisor** Mr. Panus Nattharith  
**Major** Electrical Engineering  
**Department** Electrical and Computer Engineering  
**Academic Year** 2003

---

### ABSTRACT

This project focused on studying and constructing a solar tracking system and subjected to develop research in the field of solar energy utilization. Photo cells with rectangular partition acted as light sensor. Photo cells convert solar energy into electrical energy and then send voltage signal to a comparator consisting of OpAmp. After that, signal will be sent from OpAmp to a microprocessor where the signal is processed. Program in the microprocessor was written in C language. Output of the microprocessor is amplified by a buffer and will be then used to control two motors, which can rotate in both horizontal and vertical axes.

The result of the project is the solar tracking system which provides higher average energy output than the system with fixed solar panels. This project can be applied to any systems

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ที่กรุณาให้คำแนะนำและวิธีการแก้ปัญหา ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ ที่กรุณาให้ยืมใช้ทดลองแผงพลังงานแสงอาทิตย์ อุปกรณ์ชาร์จ และให้คำปรึกษาในการทำโครงการ ขอขอบคุณอาจารย์และครูช่างภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ทำโครงสร้างของโครงการ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ พร้อมทั้งขอขอบคุณอีกหลายต่อหลายท่านที่ช่วยเหลือจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงลง ได้นี้ด้วย



ดิเรก พุทธิศรี

สุทิน ยอดสันเทียะ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบข่ายของงาน.....	1
1.4 วิธีการดำเนินการ.....	1
1.5 กิจกรรมการดำเนินงาน.....	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.7 งบประมาณที่ต้องใช้.....	3
<b>บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานการสร้าง</b>	
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.2 Sensor.....	7
2.3 ระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง.....	7
2.4 อุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้า.....	8
2.5 แบตเตอรี่.....	9
2.6 ออปแอมป์.....	11
2.7 รีเลย์.....	13
2.8 มอสเฟต.....	14
2.9 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช.....	22

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างแผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์	
3.1 ระบบการทำงานของแผงโซลาร์ตามแสงอาทิตย์ .....	29
3.2 การออกแบบวงจรและการควบคุม .....	30
3.3 Flow chart แสดงการทำงาน.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและทำการทดลอง	
4.1 เปรียบเทียบระบบแผงโซลาร์เซลล์แบบอยู่กับที่และระบบติดตามดวงอาทิตย์ .....	32
4.2 การทดลองระบบตรวจจับและเปรียบเทียบทิศทาง.....	34
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 สรุปผล.....	36
5.2 ประเมินผลและข้อเสนอแนะ.....	36
5.3 ปัญหา และแนวทางแก้ไข.....	36
เอกสารอ้างอิง .....	38
ภาคผนวก (ก) .....	39
ภาคผนวก (ข) .....	44
ประวัติผู้เขียนโครงการ .....	49

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดโดยสรุปบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่ Atmel ผลิตขึ้นและใช้ในการอ้างอิง.....	24
2.2 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชของ Atmel .....	27
4.1 เปรียบเทียบระบบแผงโซลาร์เซลล์แบบอยู่กับที่และระบบติดตามดวงอาทิตย์ .....	32





## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ทิศทางของแสงและพื้นที่การรับแสง.....	5
2.2 สัญลักษณ์และชื่อขาใช้งานพื้นฐานของออปแอมป์.....	6
2.3 การติดตั้งแผงแสงอาทิตย์ติดตามแบบอิมแพคเตอร์.....	6
2.4 แสดงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์แบบอิมพัท.....	7
2.5 สัญลักษณ์และชื่อขาใช้งานพื้นฐานของออปแอมป์.....	11
2.6 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน.....	12
2.7 รูปแสดงลักษณะการใช้งาน.....	12
2.8 ลักษณะการทำงานของรีเลย์.....	14
2.9 โครงสร้างของคีมอสเฟตแบบเซนแนล n.....	15
2.10 แสดงการทำงานและคุณสมบัติเบื้องต้น.....	16
2.11 แสดงการทำงานในโหมดคัตลิ้น.....	16
2.12 โครงสร้างของคีมอสเฟตแบบเซนแนล p.....	17
2.13 โครงสร้างเบื้องต้นของอิมอสเฟตแบบเซนแนล n.....	18
2.14 ลักษณะการทำงานเบื้องต้น.....	19
2.15 แสดงการไหลของกระแส.....	20
2.16 แสดงคุณลักษณะการถ่ายโอน.....	21
2.17 แสดงโครงสร้างของอิมอสเฟตแบบเซนแนล p.....	22
2.18 รายละเอียด โครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลช ของ Atmel.....	25
2.19 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C5x.....	25
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน.....	29
3.2 แสดงวงจรทั้งหมด.....	30
3.3 Flow chart แสดงการทำงาน.....	31
4.1 กราฟแสดงแรงดันตามเวลาต่างๆ.....	33
4.2 กราฟแสดงกระแสที่วัดได้เปรียบเทียบกัน.....	33
4.3 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า.....	34
4.4 แสดงการติดตั้งตำแหน่งของระบบตรวจจับ.....	34

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ปราศจากมลภาวะ มีอยู่อย่างมากมายสามารถนำมาใช้ได้ไม่มีวันหมดและไม่ต้องเสียค่าพลังงาน นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรทั่วโลกจึงได้พยายามค้นคว้าวิจัยเพื่อเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญ การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์นั้นสามารถกระทำได้โดยผ่านขบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้า กระแสตรงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานได้ด้วยการปรับพื้นที่รับแสงให้ตั้งฉากกับทิศทางของแสงอาทิตย์

### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาโครงการ Solar Tracking ของปีการศึกษา 2545
- 2) เพื่อศึกษาปรับเปลี่ยนเซนเซอร์ ปรับความแม่นยำของเซนเซอร์
- 3) เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยการทำงานของแอมพลิไฟด์แบบพัลส์วิดท์โมดูเลชั่น
- 4) เพื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเมื่อติดตั้ง Solar Tracking 2 กับแบบยึดอยู่กับที่

### 1.3 ขอบข่ายของงาน

- 1) ศึกษาทฤษฎีและหลักการของไมโครคอนโทรลเลอร์
- 2) ศึกษาปรับเปลี่ยนเซนเซอร์ เพื่อปรับความแม่นยำของเซนเซอร์
- 3) ศึกษาวิธีการขับ DC Motor แบบพัลส์วิดท์โมดูเลชั่น
- 4) วิเคราะห์และเปรียบเทียบค่ากำลังงานเมื่อติดตั้ง Solar Tracking 2 กับแบบยึดอยู่กับที่

### 1.4 วิธีดำเนินการ

- 1) ศึกษาข้อมูล คุณลักษณะและองค์ประกอบของแผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์

ก. Photo cell

ข. MOSFET

ค. ไมโครคอนโทรลเลอร์

- 2) ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้แผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์

ก. ออกแบบวงจรและโปรแกรมการควบคุมการทำงาน



## 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถนำไปใช้งานได้จริง
- 2) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของแผง โซลาร์เซลล์ได้
- 3) มีความเข้าใจในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ดีซี

## 1.7 งบประมาณที่ต้องใช้

1) ค่าวัสดุอุปกรณ์	1000 บาท
2) ค่าเอกสาร	500 บาท
3) ค่าเช่าเล่มโครงการ	800 บาท
4) อื่นๆ	1200 บาท
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการทำโครงการ	3500 บาท



## บทที่ 2

# ความรู้พื้นฐานของการสร้าง

### 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (หรือแสงจากหลอดแสงสว่าง) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง และไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใดๆ ขณะใช้งาน

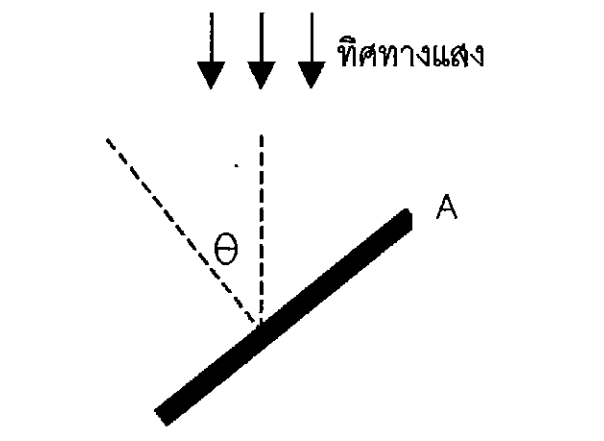
#### 2.1.1 หลักการทำงานและการใช้งานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและประจุบวกขึ้นซึ่งได้แก่ อิเล็กตรอน และ โฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบ และทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องไฟฟ้า (เช่น หลอดแสงสว่าง มอเตอร์ ฯลฯ) จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร

เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว จะให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 3 แอมแปร์ และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.5 โวลต์ ถ้าต้องการให้ได้กระแสไฟฟ้ามากๆ ก็ทำได้โดยการนำเซลล์มาต่อขนานกัน หรือถ้าต้องการให้แรงดันไฟฟ้าสูงๆ ก็ทำได้โดยการนำเซลล์มาต่ออนุกรมกัน เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดจะถูกออกแบบให้อยู่ในกรอบอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งเรียกว่า “แผง” (Panels) หรือ “มอดูล” (Modules) ถ้าต้องการใช้ไฟฟ้าในเวลากลางวันด้วย จะต้องมีแบตเตอรี่และกล่องควบคุมการประจุไฟฟ้าเพิ่มเข้ามาในระบบด้วย

#### 2.1.2 กำลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์

กำลังงานแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับทิศทางของแสงที่ตกกระทบและพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถแสดงในทิศทางต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.1 และแสดงถึงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.1)



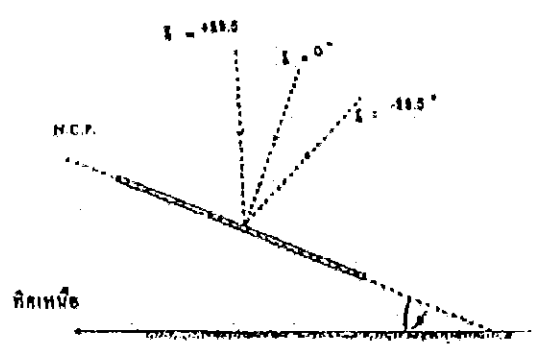
รูปที่ 2.1 ทิศทางของแสงและพื้นที่รับแสง

$$P_i = (I_s) \cdot (A_n) = IA \cos \theta \quad (2.1)$$

- เมื่อ  $P_i$  คือ กำลังงานแสงที่ตกกระทบแผง โซลาร์เซลล์ (W)  
 $I$  คือ ความเข้มแสง ( $W/m^2$ )  
 $s$  คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยของแสง โดยมีทิศทางจากดวงอาทิตย์ไปยังเซลล์แสงอาทิตย์  
 $n$  คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยของพื้นที่รับแสง โดยมีทิศทางตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นที่ผิว  
 $A$  คือ ขนาดของพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $m^2$ )  
 $\theta$  คือ มุมตกกระทบของแสง กับระนาบตั้งฉากของแผง โซลาร์เซลล์

### 2.1.3 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่นี้ จะต้องให้แกนของแผงนั้นทำมุมเอียงในทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งจะเอียงในทิศทางเหนือ-ใต้ โดยการเอียงนั้นขึ้นอยู่กับว่าพื้นที่นั้นๆ อยู่ ณ บริเวณซีกโลกใด



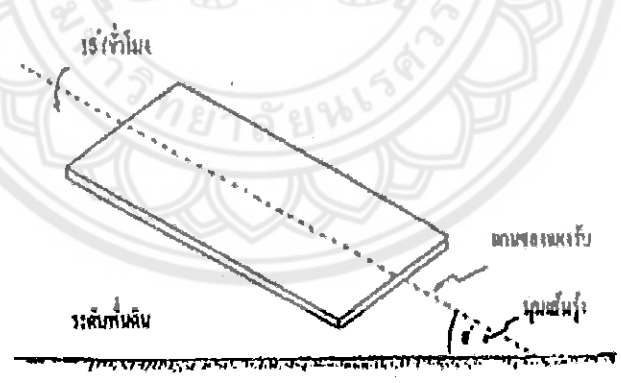
รูปที่ 2.2 แสดงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

2.1.4 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์

ระบบนี้ใช้การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่ง โดยตรวจจับทิศทางของดวงอาทิตย์ว่าอยู่ที่ตำแหน่งใด แล้วก็ทำการเปรียบเทียบตำแหน่งแล้วส่งสัญญาณไปควบคุมแผงให้ติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งในระบบนี้จะแบ่งได้อยู่ 2 ระบบ คือ

1. ระบบอิกวาทอร์ (Equatorial Mounting)

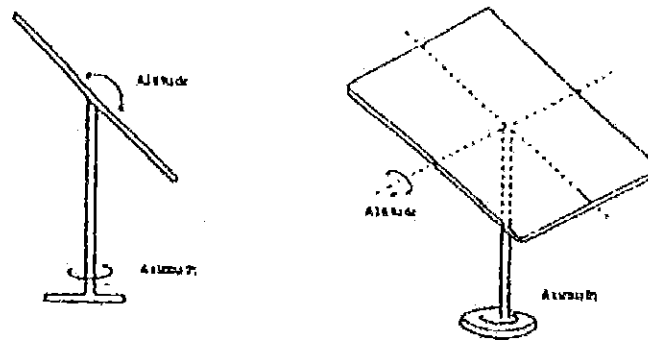
ระบบนี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะหมุนได้เพียง 1 แกน ก็จะหมุนรอบๆ แกน เหนือ-ใต้ หรือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะหันไปในทิศตะวันออก-ตะวันตก



รูปที่ 2.3 การติดตั้งแผงแสงอาทิตย์ติดตามแบบอิกวาทอร์

2. ระบบอซิมุท (Azimuth Mounting)

ระบบนี้จะหมุนรอบแกนถึง 2 แกน ซึ่งจะหมุนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกในแต่ละวันและจะหมุน ในทิศเหนือ-ใต้ ตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาล



รูปที่ 2.4 แสดงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์แบบอซิมูท

## 2.2 Sensor

ในระบบคอนโทรลจะใช้เซ็นเซอร์ โดยวางเงื่อนไขให้ตรวจสอบตำแหน่งองศาปรับแสง เนื่องจากเซ็นเซอร์รับแสงจะมีค่าผิดพลาดอยู่ค่าหนึ่ง โครงการงาน Solar tracking 2 จึงนำโฟโตเซลล์ซึ่งใช้หลักการเดียวกันกับเซลล์แสงอาทิตย์ในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยมีค่าผิดพลาดน้อยมาก

## 2.3 ระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง

ระบบขับเคลื่อนทำหน้าที่ปรับปรุงและขยายสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะป้อนไปขับมอเตอร์กระแสตรงซึ่งอาจแบ่งแยกเป็นลิเนียร์เพาเวอร์แอมพลิไฟร์และพัลส์วิดท์โมดูเลชัน

### 2.3.1 ลิเนียร์เพาเวอร์แอมพลิไฟร์

เป็นการควบคุมมอเตอร์แบบต่อเนื่อง แต่จะมีความสูญเสียทาง พาวเวอร์สูงเนื่องจากกำลังงานส่วนใหญ่จะสูญเสียใน Output Transistor เป็นจำนวนมาก เพราะขณะมอเตอร์ไม่ทำงานทรานซิสเตอร์ ส่วนนี้ก็ต้องแบกรับภาระเนื่องจากมีกระแสไหลผ่านตัวมัน

### 2.3.2 พัลส์วิดท์โมดูเลชัน

เป็นสวิทชิงแอมพลิไฟร์ คือ การควบคุมโวลต์เตจของมอเตอร์โดยการปรับ Duty Cycle ของโวลต์เตจที่จ่ายให้กับมอเตอร์ และให้มันทำงานทุก ๆ ภาวะอิมตัว (ON) หรือภาวะไม่นำกระแส (OFF) ด้วยเหตุนี้กำลังสูญเสียน้อย เนื่องจากเมื่อ ทรานซิสเตอร์ นำกระแสโวลต์เตจตกคร่อมตัวมันจะน้อยจนตัดทิ้งได้ และเมื่อหยุดนำกระแสโวลต์เตจตกคร่อมจะประมาณ VCC ดังนั้นกระแสไหลผ่านจึงน้อยมากประมาณศูนย์ แต่จะใช้กับความเร็วสูงได้ไม่ดี และความเร็วที่ต้องคงที่ถ้าไม่เช่นนั้นอาจเกิดออสซิลเลชันได้



## 2.4 อุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้า

อุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอุปกรณ์นั้นๆ อุปกรณ์ควบคุมที่สามารถควบคุมการประจุหรือชาร์จได้เที่ยงตรง มีระบบที่ควบคุมให้การประจุหรือชาร์จเร็ว เมื่อแบตเตอรี่ไม่มีไฟหรือไฟอ่อน (Boost Charge) และตัดการประจุหรือการชาร์จเมื่อแบตเตอรี่เต็มหรือแรงดันแบตเตอรี่สูงจนถึงระดับที่ตั้งเอาไว้ จากนั้นก็จะควบคุมรักษาระดับการประจุ หรือชาร์จให้แรงดันของแบตเตอรี่อยู่คงที่ (Float Charge) ในจุดที่ตั้งไว้ อีกทั้งยังมีการควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ (Temperature Compensation) เพื่อให้แน่ใจว่าแบตเตอรี่เต็มจริงก่อนที่ระบบจะทำการตัดประจุ ซึ่งในอุปกรณ์ควบคุมที่ไม่มีตัวควบคุมอุณหภูมิ จะทำการตัดการประจุหรือชาร์จ เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ขึ้นสูง ซึ่งบ่อยครั้งแรงดันของแบตเตอรี่ขึ้นสูงไม่ใช่เนื่องจากแบตเตอรี่เต็ม แต่เนื่องจากอุณหภูมิของแบตเตอรี่สูง เพราะอากาศร้อน ทำให้ประจุหรือชาร์จแบตเตอรี่ไม่ได้ประสิทธิภาพสูงสุด อุปกรณ์ควบคุมบางชนิดยังมีคุณสมบัติพิเศษสามารถต่อเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลต่างๆ ตามที่ต้องการได้ ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมที่มีคุณสมบัติครบถ้วนทุกอย่างย่อมมีราคาแพงกว่าอุปกรณ์ควบคุมประจุนormalที่ไม่มีระบบดังกล่าวมาก เพราะฉะนั้นแม้ราคาจะแตกต่างกันมาก แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติแล้ว จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างมากเช่นกัน ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าต้องการคุณสมบัติเช่นไร

สำหรับการต่ออุปกรณ์ตัวควบคุมการประจุเข้ากับระบบนั้น จะต้องทำการต่อสายจากแบตเตอรี่เข้าอุปกรณ์ควบคุมการประจุก่อนเสมอ แล้วจึงต่อสายจากแผงแสงอาทิตย์เข้า เพราะมีฉะนั้นอุปกรณ์ควบคุมการประจุนั้นที่ไม่มีตัวป้องกันไฟเกินอาจเสียหายได้เนื่องจากแรงดันหรือโวลท์จากแผงแสงอาทิตย์ในระบบ 12 โวลท์นั้นจะสูงถึงประมาณ 21 โวลท์ ในขณะที่ยังไม่ต่อไปใช้งานหรือยังไม่ต่อกับแบตเตอรี่ ซึ่งแรงดันสูงขนาดนี้จะทำให้อุปกรณ์ควบคุมการประจุเสียหายได้ เพราะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในส่วนมากจะทนแรงดันได้เพียง 15 โวลท์เท่านั้น ในการถอดสายไฟออกจากตัวแบตเตอรี่เพื่อเปลี่ยนหรือทำความสะอาดตัวแบตเตอรี่ก็เช่นกัน จะต้องถอดสายที่มาจากแผงโซลาร์เซลล์ออกก่อนเสมอ แล้วจึงถอดสายที่มาจากแบตเตอรี่ ถ้าจะให้ง่ายต่อการทำงาน ในการติดตั้งตัวอุปกรณ์ควบคุมการประจุควรติดตั้งสวิทช์เบรกเกอร์ก่อน เวลาจะถอดแบตเตอรี่ ก็ปิดสวิทช์เบรกเกอร์ก่อน เมื่อทำความสะอาดหรือทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่เสร็จแล้ว และต่อสายแบตเตอรี่เข้าตัวควบคุมการประจุแล้ว จึงค่อยเปิดสวิทช์เบรกเกอร์สำหรับอุปกรณ์ควบคุมการประจุนี้ ในบางกรณีอาจจะไม่ต้องใช้ก็ได้ เนื่องจากสาเหตุที่ต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมการประจุก็นั้นเนื่องจากกลัวว่าแบตเตอรี่จะได้รับการประจุเกินทำให้เสียได้ เพราะฉะนั้นในบางระบบที่ไม่ได้ใช้แบตเตอรี่ในระบบเลย ตัวควบคุมนี้ก็ไม่มีควมจำเป็นต้องใช้ หรือแม้แต่ในระบบที่มีแบตเตอรี่อยู่ร่วมในระบบถ้าหากผู้ใช้นั้นใจว่ามีการใช้ไฟอย่างสม่ำเสมอ เช่นใช้ในเวลากลางวันบ้าง หรือแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำการประจุในแต่ละวัน ทำการประจุได้พอดีกับการใช้ไฟในแต่ละวัน โอกาสที่จะเกิดกรณีแบตเตอรี่เสียเนื่องจากประจุไฟเกินมีน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้แผงโซลาร์เซลล์เพียงไม่กี่

แผง ซึ่งสามารถจ่ายกระแสได้น้อย และแบตเตอรี่ที่ใช้มีขนาดใหญ่ เพราะโดยความเป็นจริงแล้ว แสงอาทิตย์ที่มีในเวลากลางวันไม่ได้มีอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา ถูกเมฆบังบ้าง อุณหภูมิสูงบ้าง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะทำให้กระแสไฟหรือแรงดันของแผงลดลงทั้งสิ้น ทำให้โอกาสที่จะเกิดปัญหาแบตเตอรี่เสียหายเนื่องจากการประจุเกินมีน้อยมาก แต่ถ้าเป็นการใช้ในระบบใหญ่ หลายๆ แผง ก็ควรจะมีไว้ใช้ เพราะกระแสที่ได้จากแผงค่อนข้างสูง ข้อที่ควรระวังคือ ถ้าหากไม่ใช้ตัวควบคุมการประจุนั้น คือกรณีที่มีการใช้ไฟจนแบตเตอรี่อ่อนเกินไป แต่ถ้าผู้ใช้มีความระมัดระวังการใช้ไฟ ก็อาจจะใช้วิธีคิดมิเตอร์วัดแรงดันแทน เมื่อมิเตอร์แสดงให้เห็นว่าแรงดันของแบตเตอรี่ตกลงมากเกินไป เช่น แรงดันแบตเตอรี่เหลือ 10.8 โวลต์ ในระบบ 12 โวลต์ ก็ให้หยุดการใช้ไป ซึ่งถ้าหากทำได้ก็จะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายของตัวอุปกรณ์ควบคุมการประจะลงไป เพราะถ้าจะใช้อุปกรณ์ควบคุมการประจุที่มีคุณภาพดี ก็จะมีราคาสูงมาก แต่ถ้าใช้ชนิดคุณภาพไม่ดี ก็จะทำให้การตัดการประจุต่างๆ ที่แบตเตอรี่ยังไม่เต็ม อย่างที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น และจากประสบการณ์ที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะพบว่า ปัญหาแบตเตอรี่เสียหายเนื่องจากการประจุเกิน ในการใช้แผงโซลาร์เซลล์ในระบบเล็ก ไม่ก็แผงนั้นแทบจะกล่าวได้ว่าไม่เคยปรากฏเลยก็ว่าได้ แต่ปัญหาที่พบมากคือใช้ไฟเกินกำลังของแบตเตอรี่มากกว่า ซึ่งถ้าใช้วิธีมิเตอร์เพื่อควบคุมการใช้ไฟให้คิดแล้ว ปัญหานี้ก็จะสามารถแก้ได้

## 2.5 แบตเตอรี่

ชนิดและคุณภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ก็มีส่วนสำคัญที่จะทำให้ราคาของระบบสูงหรือต่ำจนแตกต่างกันมากได้เช่นกัน ซึ่งถ้าผู้ใช้พิจารณาเพียงราคาของแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันเพียงอย่างเดียว โดยไม่พิจารณาถึงคุณภาพที่แตกต่างกันอาจทำให้ผู้ใช้มีค่าใช้จ่ายในระยะยาวเพิ่มขึ้นด้วย อีกทั้งยังเป็นสาเหตุให้การคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ที่จะต้องใช้ใน ระบบผิดพลาด ไปด้วย เนื่องจากแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะระบุเงื่อนไขความจุของแบตเตอรี่แต่ละชนิดไม่เหมือนกัน เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปที่จะระบุความจุของแบตเตอรี่ว่าเป็นขนาด 50 แอมป์บ้าง 100 แอมป์ หรือ 200 แอมป์บ้าง แต่ถ้าไปดูถึงเงื่อนไขโดยละเอียด จะพบว่าส่วนใหญ่ แบตเตอรี่รถยนต์ที่มีจำหน่ายในตลาด จะระบุว่าเป็นแบตเตอรี่ที่มีความจุขนาด 100 แอมป์ หรือ 200 แอมป์ ที่ C20 ซึ่งข้อกำหนดนี้เองเป็นเงื่อนไขว่า แบตเตอรี่จะมีความจุตามที่กำหนด ก็ต่อเมื่อมีการเฉลี่ยการใช้ไฟเป็นเวลา 20 ชั่วโมง นั่นคือถ้าแบตเตอรี่ระบุว่าเป็นขนาดความจุ 200 แอมป์ ที่ C20 หมายความว่า จะต้องใช้ไฟจากแบตเตอรี่เฉลี่ยไม่เกินชั่วโมงละ 10 แอมป์ เป็นเวลา 20 ชั่วโมง รวมแล้วแบตเตอรี่ลูกนั้นจะมีความจุรวม 200 แอมป์ แต่ถ้าหากมีการใช้ไฟเกิน 10 แอมป์ต่อชั่วโมงแล้ว แบตเตอรี่ลูกนั้นจะมีความจุรวมไม่ถึง 200 แอมป์ เช่น ถ้ามีการใช้ไฟชั่วโมงละ 20 แอมป์ หรือที่เรียกว่าอัตรา C10 แล้ว แบตเตอรี่ลูกนั้นอาจจะใช้ได้เพียง 6 ชั่วโมงเท่านั้น หรือน้อยกว่านั้นอีกซึ่งเมื่อรวมกระแสไฟที่ใช้ในแต่ละชั่วโมง ตามตัวอย่างนี้คือ 20 แอมป์ กับจำนวนชั่วโมงที่ใช้ได้ ซึ่งในที่นี้คือ 6 ชั่วโมงแล้วจะพบว่าแบตเตอรี่ลูกเดียวกันนั้นจะมีความจุเพียง 120 แอมป์ เท่านั้น เป็นที่น่า

เสียดายที่แบตเตอรี่รถยนต์ที่มีในตลาด มักจะไม่มีข้อมูลหรือรายละเอียดเรื่องเหล่านี้ให้ผู้ใช้งานได้พิจารณา การคำนวณขนาดของแบตเตอรี่จึงต้องใช้วิธีประมาณการว่า ให้ใช้ไฟไม่เกิน 25% ของขนาดแบตเตอรี่ในระบบ ตัวอย่างเช่น กระแสไฟที่ต้องการใช้ต่อวันรวม 267 แอมป์ ซึ่งเป็นการใช้ไฟเฉลี่ย 6 ชั่วโมงต่อวันในการคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ต้องใช้วิธีประมาณว่า ให้ใช้ประมาณ 25% คือ 4 เท่าของกระแสไฟที่ต้องการใช้ต่อวันซึ่งในที่นี้คือ 1,068 แอมป์ ( $267 \times 4$ ) หรือเท่ากับการใช้แบตเตอรี่ ขนาด 200 แอมป์ จำนวน 5 ลูก ต่อขนานกัน ซึ่งจะได้ความจุรวม 1,000 แอมป์ ใกล้เคียงกับที่ต้องการ เมื่อนำข้อมูลต่างๆมาคิด โดยใช้ข้อจำกัด เรื่อง C20 มาคิด ก็จะได้ดังนี้

ใช้ไฟรวมวันละ	267 แอมป์
ชั่วโมงใช้เฉลี่ยต่อวัน	6 ชั่วโมง
แสดงว่าใช้ชั่วโมงละ	44.5 แอมป์ (267/6)

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ตามตัวอย่างนี้คือ 1,000 แอมป์ ที่ C20 ซึ่งหมายความว่าให้ใช้ได้ชั่วโมงละ 50 แอมป์ ( $1,000/20$ ) ก็แสดงว่าใช้ได้ แต่ถ้าหากการใช้กระแสไฟต่อชั่วโมงสูงขึ้น เนื่องจากจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานน้อยลง เช่นจากข้อมูลข้างต้น ถ้าเปลี่ยนจำนวนชั่วโมงการใช้เฉลี่ยต่อวัน เหลือ 3 ชั่วโมง ขณะที่ยังใช้ไฟรวมต่อวันเท่าเดิม คือ 267 แอมป์ กระแสไฟที่ใช้ต่อชั่วโมงจะเพิ่มขึ้นเป็น 89 แอมป์ ต่อชั่วโมง ( $267/3$ ) หรือเท่ากับประมาณ C11 ซึ่งเป็นอัตราที่ต่ำกว่าอัตรา C20 ของแบตเตอรี่ที่กำหนดไว้ แบตเตอรี่ชุดที่ต่อขนานกันให้ได้ 1,000แอมป์ ส่วนจะได้เท่าไรนั้นไม่สามารถบอกได้ เนื่องจากแบตเตอรี่รถยนต์ส่วนใหญ่ที่มีในตลาดไม่ได้ระบุรายละเอียดไว้ และถ้าสมมุติว่า ณ อัตราการใช้ที่ C10 หรือ C11 ทำให้แบตเตอรี่ขนาด 1,000 แอมป์ เหลือเพียง 700 แอมป์ ก็เท่ากับว่าอัตราการใช้กระแสไฟรวมต่อวันที่กำหนดไว้ที่ 267 แอมป์ จะคิดเป็น  $38\% (267/700) \times 100$  ของขนาดแบตเตอรี่ในระบบซึ่งถือว่าสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแบตเตอรี่รถยนต์ ซึ่งคุณภาพไม่ดีนัก การใช้อัตราสูงขนาดนี้ ก็ไม่แน่ใจว่าจะสามารถใช้ได้หรือไม่หรือถ้าหากใช้ได้อายุการใช้งานจะเป็นอย่างไร เนื่องจากแบตเตอรี่รถยนต์ที่มีในตลาดไม่มีข้อมูลให้ทราบว่าการใช้กระแสไฟระดับไหน จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่เป็นอย่างไร เพราะฉะนั้นบางครั้งการใช้แบตเตอรี่รถยนต์ที่หาได้ง่ายในตลาด อาจจะมีปัญหาการทำงานของระบบได้ ถ้าหากอัตราการใช้ไฟสูงเกินกว่าที่แบตเตอรี่จะรับได้ เพราะฉะนั้นในการคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ ถ้าหากเป็นแบตเตอรี่รถยนต์ จึงต้องคำนวณเพื่อให้มากกว่าปกติ มิฉะนั้นค่าใช้จ่ายที่จะต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่ชุดใหม่จะบ่อยและสูงมาก เพราะแม้ว่าจะคำนวณการใช้ที่ระดับ 25% อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ประเภทนี้โดยเฉลี่ยยังอยู่ที่ประมาณ 2 ปีเท่านั้น เพราะฉะนั้นในกรณีใช้อัตราการใช้งานต่อวันอยู่ที่ 267 แอมป์ และเป็นการใช้งานโดยเฉลี่ยเพียง 3 ชั่วโมงต่อวันแล้ว ถ้าหากจะรักษาอัตราการใช้งานไม่ให้เกิน 25% ก็ต้องเพิ่มขนาดของแบตเตอรี่ขึ้นอีกเกือบเท่าตัวเพื่อลดอัตราการใช้จาก 44.5% ให้ลงเหลือ 25% ซึ่งจะทำให้แทนที่จะเสียค่าใช้จ่ายแบตเตอรี่ขนาด 1,000 แอมป์ ก็จะกลายเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ขนาดประมาณ 1,800 แอมป์แทน เพราะอัตรา C20 ของ

แบตเตอรี่ขนาด 1,800 แอมป์ คือ  $1800/20 = 90$  แอมป์ ซึ่งใกล้เคียงกับความต้องการใช้งานที่ 89 แอมป์ต่อชั่วโมง

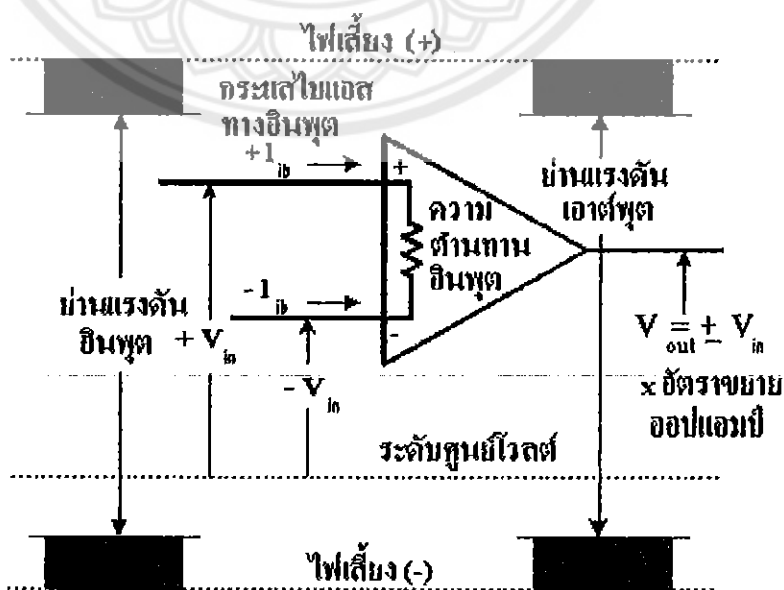
### 2.6 ออปแอมป์(Operational Amplifier)

วงจรรขยายทั่ว ๆ ไป ที่ใช้ขยายสัญญาณทางไฟฟ้า นั้นมีวงจรรขยายที่รวบรวมคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมของวงจรรขยายทั่วไปไว้ในตัวมัน คือ ออปเปอร์เรชันนัล แอมพลิฟายเออร์ (Operational Amplifier) คำว่า ออปเปอร์เรชันนัล แอมพลิฟายเออร์ หรือเรียกย่อว่า ออปแอมป์ เริ่มแรกใช้เรียกเฉพาะวงจรรขยายสัญญาณความแตกต่างที่มีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมที่ออกแบบเพื่อใช้ในอนาล็อกคอมพิวเตอร์ ออปแอมป์ ถูกใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เช่น การบวก การลบ การคูณ ด้วยตัวคงที่ และการรวมสัญญาณแบบต่อเนื่อง เป็นต้น ซึ่งราคาในสมัยนั้นยังแพงมาก

ในระยะหลัง ได้มีผู้ผลิตออปแอมป์เป็นตัวไอซีที่มีขนาดเล็กและราคาถูกลง จึงมีผู้นิยมใช้กันมากขึ้น ประโยชน์ของออปแอมป์จึงเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ออปแอมป์ยังเหมาะที่จะนำมาใช้สร้างฟังก์ชันต่าง ๆ เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า หรือใช้ออปแอมป์ทำการจำลองรูปแบบวงจรหรืออุปกรณ์เครื่องมือใช้เพื่อศึกษาหรือออกแบบได้เป็นอย่างดี ออปแอมป์จึงเป็นอุปกรณ์ไอซีที่เป็นที่รู้จักกันดี

ออปแอมป์ (Operational Amplifier) เป็น ไอซี (Integrated Circuit) ที่ทำหน้าที่ได้หลายอย่าง แต่โดยพื้นฐานแล้วออปแอมป์ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อขยายสัญญาณ สัญลักษณ์และข้อหาใช้งานพื้นฐานของ ออปแอมป์แสดงดังรูปที่ 2.5

ออปแอมป์มีขาใช้งานพื้นฐานอยู่ 3 ประเภทคือ มีอินพุต 2 อินพุตคือ อินพุตกลับเฟส (Inverting Input) และขาอินพุตไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input) มีเอาต์พุต 1 เอาต์พุต และขาต่อไฟเลี้ยง



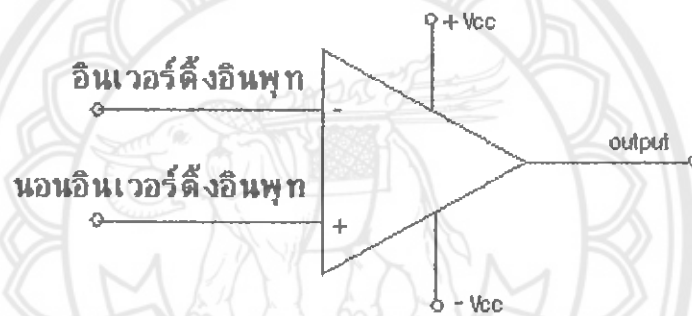
รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์และข้อหาใช้งานพื้นฐานของออปแอมป์

### 2.6.1 คุณสมบัติในทางอุดมคติของออปแอมป์

1. มีอัตราขยายแรงดัน
2. มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ หรือค่าความต้านทานทางอินพุตเป็นอนันต์ กระแสอินพุตมีค่าเท่ากับศูนย์
3. มีค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์
4. สามารถตอบสนองความถี่ได้ตั้งแต่ระดับไฟตรงไปจนถึงความถี่ที่มีค่าเป็นอนันต์

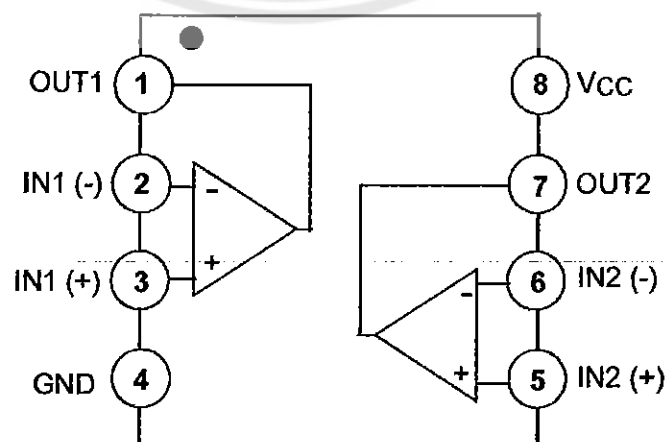
### 2.6.2 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

วงจรของรูปที่ 2.6 ทำการเปรียบเทียบค่าแรงดัน อินเวอร์ตติ้ง กับ แรงดัน นอนอินเวอร์ตติ้ง และเพราะอัตราขยายวงจรเปิดมีค่าใหญ่มาก ค่า Output ของออปแอมป์จะเป็น  $+V_{cc}$  ถ้าแรงดัน อินเวอร์ตติ้ง มากกว่า แรงดันนอนอินเวอร์ตติ้ง หรือ ค่า Output ของออปแอมป์จะเป็น  $-V_{cc}$  ถ้าแรงดัน อินเวอร์ตติ้ง น้อยกว่า แรงดันนอนอินเวอร์ตติ้ง



รูปที่ 2.6 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

### 2.6.3 ออปแอมป์ LM 358



รูปที่ 2.7 รูปแสดงลักษณะการใช้งาน

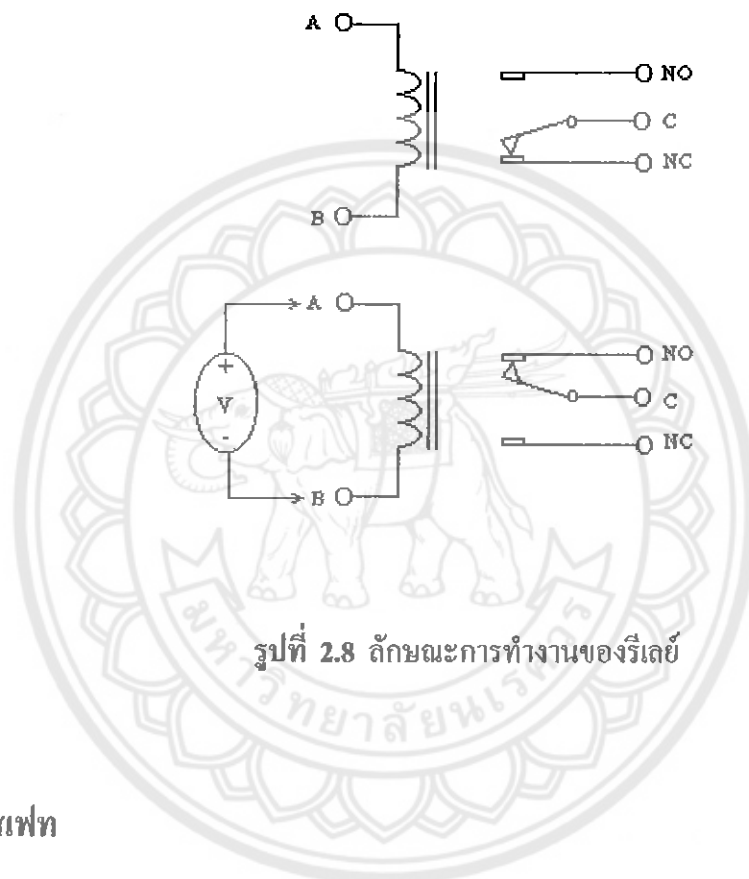
## 2.7 รีเลย์

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ควบคุมอย่างหนึ่งที่ใช้กระแสจำนวนน้อยในวงจรหนึ่งเพื่อควบคุมกระแสจำนวนมากในวงจรอื่นๆ และขณะเดียวกันมีการแยกโดดทางไฟฟ้า (Electrical Isolation) ของวงจรดังกล่าวด้วย ส่วนประกอบที่สำคัญของรีเลย์ได้แก่ ขดลวดพันรอบแท่งเหล็กอ่อน (Soft Iron) โดยมีแผ่นเหล็กแผ่นหนึ่งเป็นอาร์เมเจอร์ (Armature) แขนงอยู่และเคลื่อนที่ได้ ค้างไว้ด้วยสปริง มันจะถูกดูดเข้าหาขั้วแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไหลผ่านในขดลวด แต่ขณะที่ไม่มีกระแสไหลในขดลวด สปริงจะทำหน้าที่ค้ำรีเลย์อาร์เมเจอร์ออกจากขั้วแม่เหล็ก รีเลย์มีหน้าสัมผัส (ทางไฟฟ้า) ติดตั้งอยู่ ซึ่งอาร์เมเจอร์ทำงานเมื่อรีเลย์ได้รับการกระตุ้น (Energize) โดยมี หน้าสัมผัสร่วม (Common Contact) ติดตั้งอยู่ระหว่างหน้าสัมผัสอื่นๆ เมื่ออาร์เมเจอร์เคลื่อนที่จะไปทำให้หน้าสัมผัสตัดหรือต่อ (หรือทั้งตัดและต่อในวงจร) และอาจมีชุดหน้าสัมผัส ปกติปิด (NC) และปกติเปิด (NO) ได้หลายๆ ชุด รีเลย์ที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีมากมายหลายชนิดและรูปแบบแล้วแต่ความเหมาะสม รีเลย์สามารถทำงานได้ทั้งกระแสตรงและสลับ โดยแรงดันที่มากกระตุ้นให้ทำงานนั้นอาจเป็นกระแสตรงต่ำๆ ซึ่งจะไปควบคุมแรงดันกระแส สลับสูงๆ โดยผ่านหน้าสัมผัสของมันได้หรือในทางกลับกัน ในกรณีที่ เป็นรีเลย์แลตซ์ (Latching Relay) มันจะคงล็อก (ทางกล) อยู่ในสภาพเดิมได้แม้จะตัดกระแสที่ กระตุ้นออกแล้วก็ตาม จากนั้นการจะปล่อยให้มันกลับคืนสภาพเดิมก่อนทำงานหรือแลตซ์ (Latch) ทั้งนี้จำเป็นต้องป้อนพัลส์กระแส (Current Pulse) บางอย่างเข้าไปบังคับ นอกจากนี้ที่กล่าวมาแล้ว ยังมี รีเลย์อีกบางแบบที่อาจพบเห็นได้ในวงจร ไฟฟ้า - อิเล็กทรอนิกส์ เช่น หรีด รีเลย์ (Reed Relay) แรงดันต่ำที่มีการทำงานคล้ายกับหรีด สวิต (Reed Switch) รีเลย์ บางตัวมีลักษณะเป็นแบบ DIP (Dual-In line Package) หรือ แบบตัวถังตั้งตะเข็บเพื่อใช้ติดตั้งบนแผ่นปริ้นท์ (PCB) โดยเฉพาะ และบางชนิดมีชื่อเรียกเฉพาะของมัน และต้องมีการติดตั้งเป็นพิเศษด้วย

เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์มีหลักการทำงานคล้ายกับ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโซลินอยด์ (Solenoid) รีเลย์ใช้ในการควบคุมวงจร ไฟฟ้าได้อย่างหลากหลาย รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภทคือ

- 1) รีเลย์กำลัง ( Power Relay) หรือมักเรียกกันว่าคอนแทกเตอร์ (Contactor or Magnetic Contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา
- 2) รีเลย์ควบคุม (Control Relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนัก หรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุมบางทีเรียกกันง่ายๆ ว่า "รีเลย์"

หน้าที่ของคอนแทกเตอร์ คือ การใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนน้อยเพื่อไปควบคุมการตัดต่อกำลังไฟฟ้าจำนวนมาก คอนแทกเตอร์ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งอื่นๆ ของระบบไฟฟ้าได้ สายไฟควบคุมให้รีเลย์กำลังหรือคอนแทกเตอร์ทำงานเป็นสายไฟฟ้าขนาดเล็กต่อเข้ากับสวิทช์ควบคุมและคอยล์ของของคอนแทกเตอร์ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอยล์อาจจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบการใช้คอนแทกเตอร์ทำให้สามารถควบคุมวงจรจากระยะไกล (Remote) ได้ ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 ลักษณะการทำงานของรีเลย์

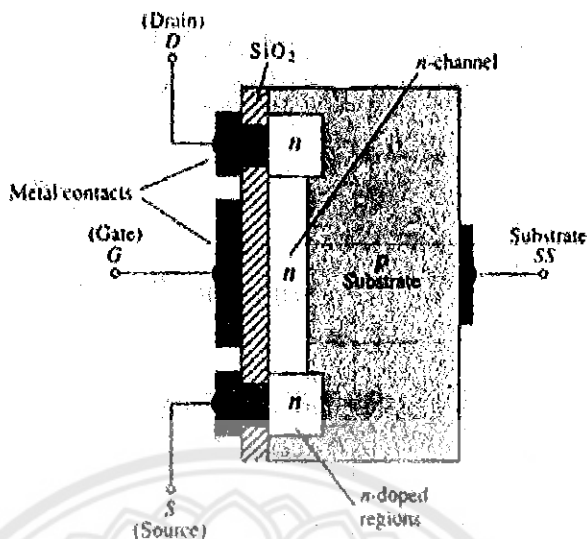
## 2.8 มอสเฟต

มอดเฟตแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

### 2.8.1 ดีมอสเฟต (D-MOSFET)

ดีมอสเฟตแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบเซนแนต n และแบบเซนแนต p

1) คีโมสเฟทแบบแซนแนล n



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของคีโมสเฟทแบบแซนแนล n

คีโมสเฟทแบบแซนแนล n ประกอบขึ้นจากแผ่นผลึกฐาน p (p-substrate) ที่เป็นสารกึ่งตัวนำทำจากซิลิกอนขั้ว D และขั้ว S ต่อกับบริเวณที่มีการกระตุ้นหรือโด๊ปให้เป็นบริเวณสารกึ่งตัวนำ n (n-doped region) ทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมกับแซนแนล n สำหรับขั้ว G จะต่อกับวัสดุฉนวนที่เป็นโลหะ โดยมีซิลิกอนไดออกไซด์ ( $SiO_2$ ) กั้นแซนแนล n กับขั้ว G (ซิลิกอนไดออกไซด์เป็นฉนวนประเภทไดอิเล็กทริก) เมื่อมีสนามไฟฟ้าจ่ายเข้ามาที่ชั้นของ  $SiO_2$  ก็จะสร้างสนามไฟฟ้าด้านและสร้างชั้นฉนวน ขึ้นภายในตัวเองเพื่อกันขั้วเกตกับแซนแนล แสดงว่า ไม่มีการต่อโดยตรงระหว่างขั้ว G กับแซนแนลของมอสเฟท ชั้นที่เป็นฉนวน  $SiO_2$  จะทำให้  $Z_i$  มีค่าสูงตามความต้องการได้

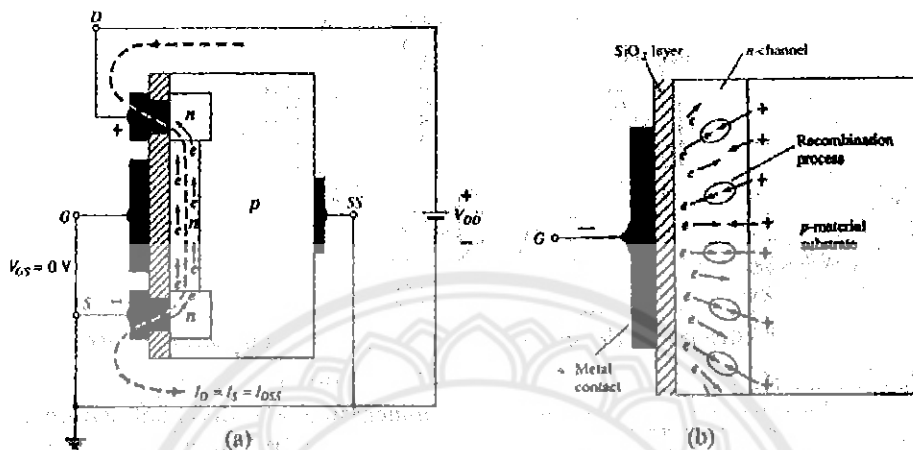
นอกจากนี้บางครั้งจะต่อแผ่นผลึกจากฐานเข้ากับแหล่งจ่ายจึงมีขั้วเพิ่มขึ้นมาเรียกว่า ขั้วผลึกฐาน SS (Substrate: SS) ทำให้มีขั้วเพิ่มเป็น 4 ขั้ว และจากข้างต้น จึงสรุปความหมายของคำว่า MOS ในชื่อมอสเฟท (ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าโลหะออกไซด์สารกึ่งตัวนำ) ได้ดังนี้

- โลหะ (Metal, M) หมายถึง บริเวณสำหรับการต่อขั้ว D, S และ G กับวัสดุฉนวน
- ออกไซด์ (Oxide, O) หมายถึง ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $SiO_2$ )
- สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor, S) หมายถึง โครงสร้างพื้นฐานในบริเวณแพร่กระจายของสารกึ่งตัวนำชนิด p และสารกึ่ง ตัวนำชนิด n



**การทำงานและคุณสมบัติเบื้องต้น (Basic Operation and Characteristics)**

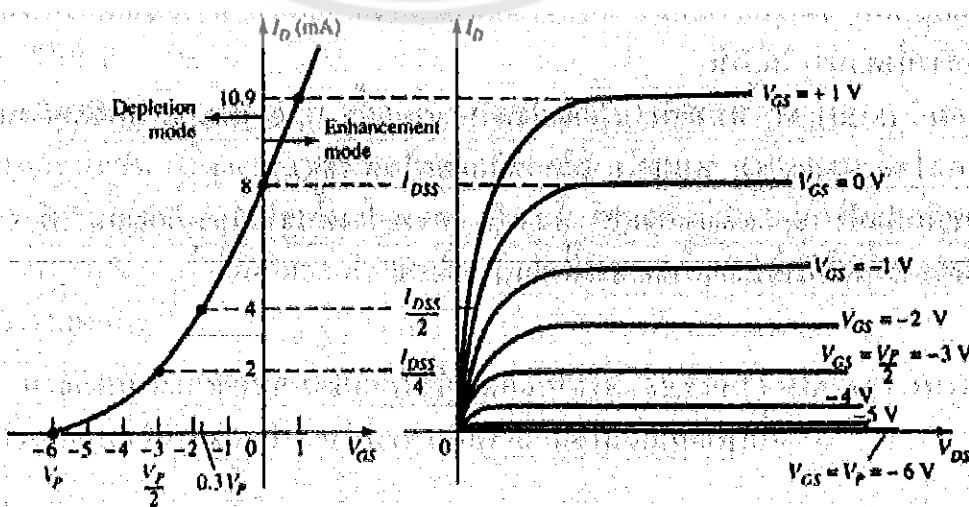
กำหนดให้  $V_{GS}$  ในรูป (a) มีค่าเป็นศูนย์ แล้วจ่าย  $V_D$  ที่ขั้ว D และ S ขั้ว D สามารถดึงดูดอิเล็กตรอนอิสระ (e) ผ่านแชนแนล n และทำให้กระแส  $I_D = I_S = I_{DSS}$  ไหลผ่านแชนแนล n ได้ (คล้ายกับการไหลของกระแสไฟฟ้าในแชนแนลของเจฟเฟทขณะ  $V_{GS} = 0 V$ )



รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานและคุณสมบัติเบื้องต้น

ถ้าจ่าย  $V_{GS}$  ที่มีค่าเป็นลบให้กับขั้วเกต (รูป b) เช่น  $-1 V$  ความต่างศักย์ที่ขั้วเกตจะผลักดันให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนไปยังแผ่นผลึกฐาน p และดึงดูดโฮลจากแผ่นผลึกฐาน p ทำให้อิเล็กตรอนและรวมตัวกันใหม่ (Recombination Process) จึงเกิดการลดจำนวน อิเล็กตรอนอิสระในแชนแนล n ที่มีไว้สำหรับการนำกระแส เมื่อมีค่า  $V_{GS}$  เป็นลบมากเท่าใดก็จะเกิดการรวมตัวกันใหม่มากขึ้นเท่านั้นและอิเล็กตรอนอิสระที่แชนแนล n ก็จะมีจำนวนลดลง จึงกล่าวได้ว่าถ้า  $V_{GS}$  เป็นลบมากขึ้น  $I_D$  จะมีค่าน้อยลง เขียนเป็นเส้นโค้งคุณลักษณะได้ การทำงานขณะ  $V_{GS}$  เป็นลบนี้ เราเรียกว่า

**การทำงานในโหมดคัตลิ้น**

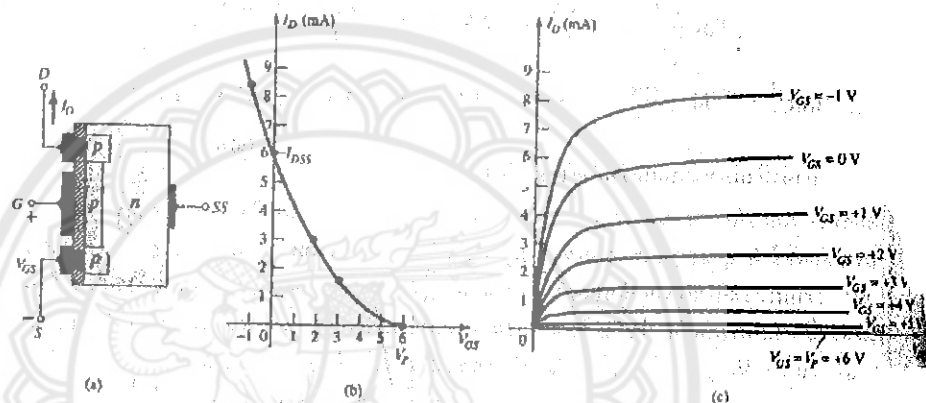


รูปที่ 2.11 แสดงการทำงานใน โหมดคัตลิ้น

ถ้าจ่าย  $V_{GS}$  ที่มีค่าเป็นบวกให้กับขั้วเกตความต่างศักย์ที่ขั้วเกตจะดึงคู่อิเล็กตรอนจากผลึกฐาน p มายังบริเวณชั้น  $SiO_2$  ทำให้ พาหะนำกระแสและสภาพนำกระแสของแชนแนลเพิ่มขึ้น ดังนั้น กระแส  $I_D$  จึงเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่า  $I_{DSS}$  การทำงานขณะ  $V_{GS}$  เป็นบวกนี้เราเรียกว่า การทำงานใน โหมดเอนทรานซ์เมนต์

## 2) ดิโอมอสเฟตแบบแชนแนล p

โครงสร้างของดิโอมอสเฟตแบบแชนแนล p มีลักษณะตรงข้ามกับรูปของดิโอมอสเฟตแบบแชนแนล n คือประกอบด้วยแผ่นผลึกฐาน n และแชนแนล p



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของดิโอมอสเฟตแบบแชนแนล p

จากการเปรียบเทียบคุณลักษณะของดิโอมอสเฟตแบบแชนแนล กับดิโอมอสเฟตแบบแชนแนล p (ตามรูป b และ c) เราพบว่า ทิศทางของกระแสขั้วแรงดันต่าง ๆ กลับกันทำให้คุณลักษณะกลับกัน ด้วย  $I_D$  จะเริ่มเพิ่มขึ้นจากจุด Cutoff ที่  $V_{GS} = V_p$  และขณะที่  $V_{GS}$  มีค่าเป็นบวกลดลง  $I_D$  จะเพิ่มขึ้นจนถึง  $I_{DSS}$  และเพิ่มอย่างต่อเนื่องจนเลยค่า  $I_{DSS}$  เมื่อ  $V_{GS}$  มีค่าเป็นลบเพิ่มขึ้นยังคงใช้สมการของชอคเลย์ได้แต่ ควรระวังเครื่องหมาย  $V_{GS}$  และ  $V_p$  ในสมการให้ถูกต้อง (คือจะต้องมีเครื่องหมายเป็นบวก)

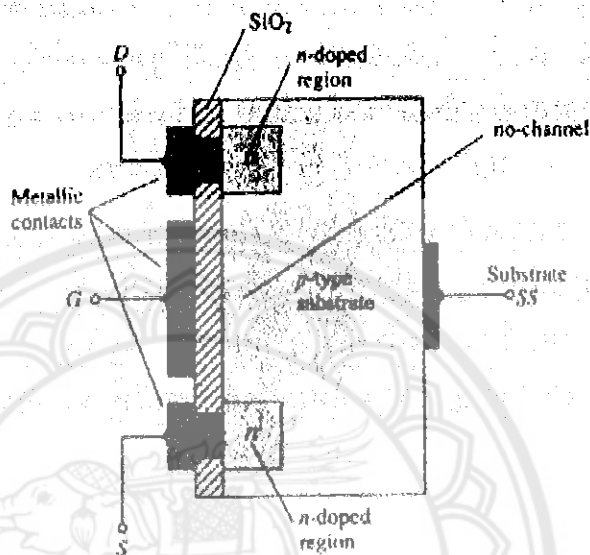
### 2.8.2 อิมอสเฟต (EMOSFET)

แม้ว่าโครงสร้างและขอบเขตการทำงานของดิโอมอสเฟตกับอิมอสเฟตจะมีลักษณะคล้ายกันอยู่บ้าง แต่เส้นโค้งคุณลักษณะของอิมอสเฟตจะแตกต่างออกไปโดยสิ้นเชิง กล่าวคือไม่สามารถนำสมการของชอคเลย์มาเขียนเส้นโค้งถ่ายโอนของอิมอสเฟตได้ และกระแส  $I_D$  ยังไม่เกิดขึ้นจนกระทั่ง  $V_{GS}$  มีค่าสูงถึงค่าเฉพาะค่าหนึ่ง

อิมอสเฟตแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. อิมอสเฟตแบบเซนแนล n
2. อิมอสเฟตแบบเซนแนล p

อิมอสเฟตแบบเซนแนล n



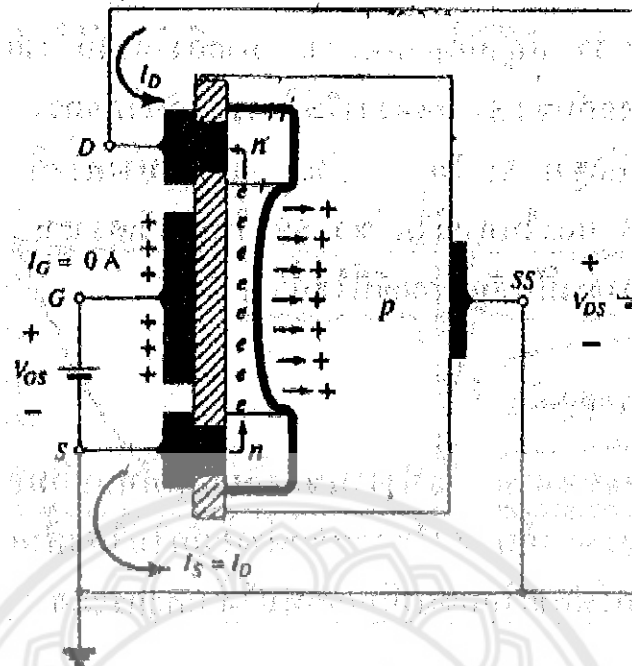
รูปที่ 2.13 โครงสร้างเบื้องต้นของอิมอสเฟตแบบเซนแนล n

อิมอสเฟตแบบเซนแนล n ประกอบขึ้นจากแผ่นผลึกฐาน p ที่เป็นสารกึ่งตัวนำทำจากซิลิคอน ขั้ว D และขั้ว S ต่อกับ บริเวณที่มีการกระตุ้น n โดยผ่านวัสดุผิวนอกที่เป็นโลหะ นอกจากนี้บางครั้งจะต่อแผ่นผลึกฐาน p เข้ากับแหล่งจ่ายจึง มีขั้ว SS เพิ่มขึ้นมากคล้ายกับคิมอสเฟต ถ้า

สังเกตรูป ให้ดูจะเห็นได้ว่าไม่มีเส้นทางเชื่อมหรือไม่มีเซนแนล (no-channel) ระหว่างบริเวณที่มีการกระตุ้น n ทั้ง 2 แห่ง นี่คือการแตกต่างเบื้องต้นระหว่างโครงสร้างของอิมอสเฟตและคิมอสเฟต

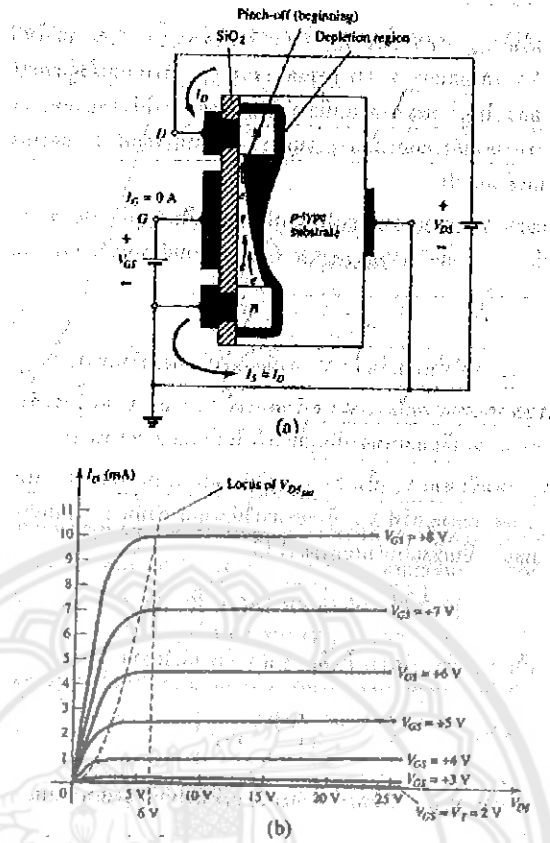
#### การทำงานและคุณลักษณะเบื้องต้น

กำหนดให้  $V_{GS} = 0 \text{ V}$  และจ่าย  $V_{DS}$  ที่มีค่าเป็นบวกให้กับขั้ว S กับขั้ว D โดยขั้ว SS ต่อรวมกับขั้ว S ดังรูป จะเกิดจากไบอัสกลับที่รอยต่อ p-n (บริเวณที่มีการกระตุ้น n กับผลึกฐาน p) เนื่องจากไม่มีเส้นทางเชื่อมหรือเซนแนลระหว่างขั้ว D และขั้ว S ทำให้เกิดการต้านการไหลของอิเล็กตรอนกระแส  $I_D = 0$  ต่างจาก คิมอสเฟตและเจเฟตซึ่งมี  $I_D = I_{DSS}$



รูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานเบื้องต้น

ถ้าจ่าย  $V_{DS}$  และ  $V_{GS}$  ที่มีค่าเป็นบวกคงรูป ทำให้ขั้ว D และขั้ว G มีความต่างศักย์เป็นบวก การที่ขั้ว G มีความต่างศักย์เป็น บวกนี้จะผลักดันให้โฮลในผลึกฐาน p เข้าไปสู่บริเวณภายในผลึกฐาน p และดึงคู่อิเล็กตรอนในผลึกฐาน p (เป็นพาหะข้างน้อยรวมตัวอยู่ในบริเวณใกล้กับผิวของ  $\text{SiO}_2$ ) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนและป้องกันอิเล็กตรอนไม่ให้วิ่งดูไปยังขั้วเกต ขณะที่  $V_{GS}$  เพิ่มขึ้น การรวมตัวของอิเล็กตรอนใกล้กับชั้นของ  $\text{SiO}_2$  ก็เพิ่มมากขึ้นตามลำดับขณะเดียวกันบริเวณที่มีการกระตุ้น n เกิดการเหนี่ยวนำจากแรงดัน  $V_{GS}$  ทำให้มีอิเล็กตรอนหรือ  $I_D$  (มีทิศทางตรงข้ามกับอิเล็กตรอน) ไหลระหว่างขั้ว D กับขั้ว S ระดับ  $V_{GS}$  ทำให้  $I_D$  ไหล เราเรียกว่า แรงดันเรสโฮล (Threshold Voltage;  $V_T$ ) ในสเปคกำหนดให้  $V_T$  เป็น  $V_{GS(th)}$



รูปที่ 2.15 แสดงการไหลของกระแส

ถ้าเพิ่ม  $V_{GS}$  ให้สูงขึ้น  $I_D$  ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้า  $V_{GS}$  มีค่าคงที่ และ เพิ่มค่า  $V_{DS}$  จะทำให้  $I_D$  ถึงจุดอิ่มตัว (เช่นเดียวกับไดโอดสเฟท) เนื่องจากขั้วบวกของ  $V_{DS}$  ดึงคู่อิเล็กตรอน จึงจะทำให้ปลายของช่องทางเหนี่ยวนำบริเวณใกล้ขั้ว D แคบลง ใกล้ระดับพินช์ออฟ [Pinch-Off (Beginning)] ดังรูป 2.15 (a) เมื่อนำ KVL มาร่วมพิจารณา จะได้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้ว D กับขั้ว G ( $V_{DG}$ ) ดังนี้

$$V_{DG} = V_{DS} - V_{GS} \tag{2.2}$$

ถ้ากำหนดให้  $V_{GS} = 8 \text{ V}$  และ  $V_{DS} = 2 \text{ V}$  ก็จะได้  $V_{DG} = -6 \text{ V}$  แต่ถ้าเพิ่ม  $V_{GS}$  เป็น  $5 \text{ V}$  ค่า  $V_{DG}$  จะเป็น  $-3 \text{ V}$  (ตาม สมการที่ 1) การลดลงของ  $V_{DG}$  ทำให้แรงดึงดูด (จากขั้วบวกของ  $V_{DS}$ ) ที่มีต่ออิเล็กตรอนอิสระในบริเวณช่องทางเหนี่ยวนำลดลงด้วย ทำให้ช่องทางเหนี่ยวนำแคบลง ถ้าความกว้างของช่องทางดังกล่าวลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดพินช์ออฟ  $I_D$  ก็จะถึงจุดอิ่มตัว

ดังที่ได้อธิบายในไดโอดสเฟท คุณสมบัติของขั้วครนของมอสเฟทในรูปที่ 2.15(a) เป็นดังรูปที่ 2.15(b) ขณะ  $V_T = 2 \text{ V}$  ที่  $V_{GS} = 8 \text{ V}$  ทำให้เกิด  $V_{DS}$  อิ่มตัว ( $V_{DSsat}$ ) =  $6 \text{ V}$  ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{DSsat}$  กับ  $V_{GS}$  ดังนี้

$$V_{DSsat} = V_{GS} - V_T \quad (2.3)$$

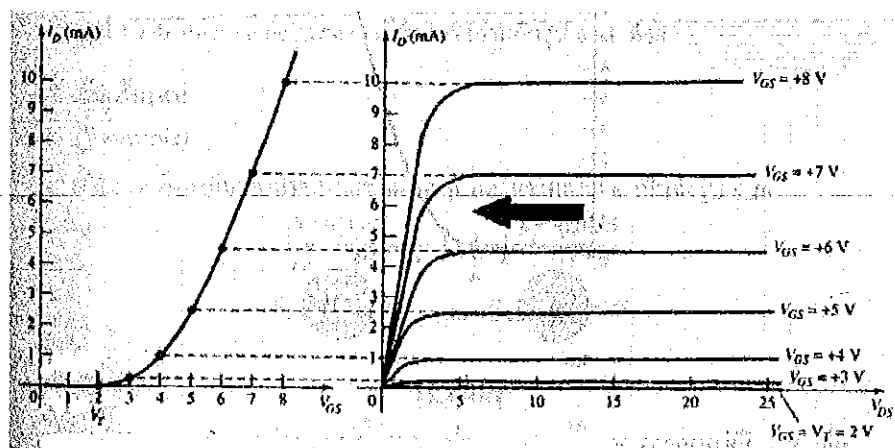
สมการที่ 2.3 ทำให้ทราบว่า เมื่อ  $V_T$  คงที่และ  $V_{GS}$  ยิ่งสูงขึ้นเท่าใด  $V_{DSsat}$  ก็ยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น ในรูป (b) ขณะที่  $V_T$  เป็น 2 V ณ ตำแหน่งนี้  $I_D = 0$  mA ดังนั้นจึงทำให้ทราบว่า ถ้า  $V_{GS}$  มีค่าต่ำกว่า  $V_T$  ค่า  $I_D$  ของ อิมอสเฟตจะเป็นศูนย์หรือไม่มีกระแสไหลนั่นเอง ถ้าค่า  $V_{GS}$  เพิ่มขึ้นจาก  $V_T$  เป็น 8 V จะทำให้ระดับการอิ่มตัวของ  $I_D$  เพิ่มขึ้นจาก 0 mA เป็น 10 mA แต่เนื่องจากช่วง ของเดอ์ฟ  $V_{GS}$  มีระยะห่างไม่เท่ากัน ดังนั้น  $I_D$  ที่เพิ่มขึ้น จึงมีความสัมพันธ์กับ  $V_{GS}$  ในลักษณะ ไม่เป็นเชิงเส้นดังสมการต่อไปนี้

$$I_D = k (V_{GS} - V_T)^2 \quad (2.4)$$

เมื่อ  $k$  เป็นค่าคงที่ของโครงสร้างอิมอสเฟต ซึ่งหาค่าได้จาก

$$k = I_{D(on)} / (V_{GS(on)} - V_T)^2 \quad (2.5)$$

เมื่อ  $I_{D(on)}$  และ  $V_{GS(on)}$  เป็นกระแสและแรงดันที่ทำให้เกิดจุดเฉพาะบนเส้นโค้งคุณลักษณะของมอสเฟต สมมติแทนค่า  $I_{D(on)} = 10$  mA ขณะ  $V_{GS} = 8$  V ลงในสมการที่ 4 จะได้  $k = 0.278 \times 10^{-3}$  A/V<sup>2</sup> แทนค่า  $k$  ในสมการที่ 2.4 เพื่อหาค่า  $I_D$  สำหรับคุณลักษณะในรูปที่ 2.15 (b) โดยสมมติ  $V_{GS} = 4$  V จะได้  $I_D = 1.11$  mA สำหรับการวิเคราะห์ไฟฟ้ากระแสตรงของอิมอสเฟต จะใช้คุณลักษณะถ่ายโอนดังรูปที่ 2.16 ในการแก้ปัญหา

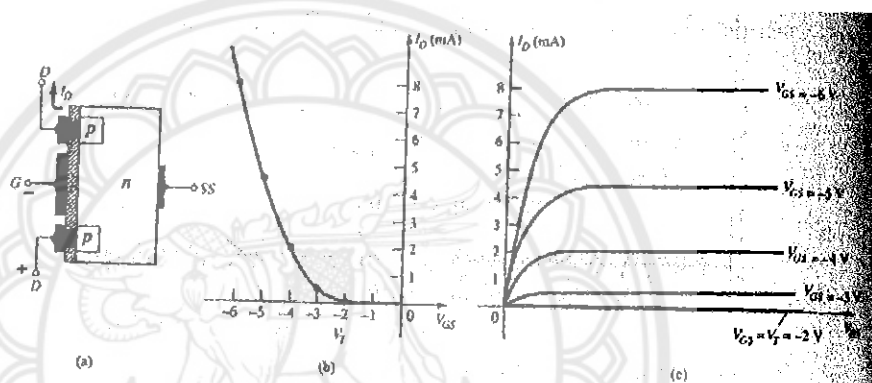


รูปที่ 2.16 แสดงคุณลักษณะการถ่ายโอน

เส้นโค้งถ่ายโอนในรูปแบบ แตกต่างจากเส้นโค้งถ่ายโอนที่กล่าวในตอนต้นๆ เพราะที่อิมอสเฟตแบบแซนแนล n จะมี  $I_D$  เพิ่มขึ้นไม่ได้จนกว่า  $V_{GS} = V_T$  สมมติว่าเราจะเขียนเคอร์ฟถ่ายโอนที่มี  $k = 0.5 \times 10^{-3} \text{ A/V}^2$  และ  $V_T = 4 \text{ V}$  เมื่อนำสมการที่ 3 มาร่วมพิจารณา จะได้

$$I_D = 0.5 \times 10^{-3} (V_{GS} - 4 \text{ V})^2 \quad (2.6)$$

### อิมอสเฟตแบบแซนแนล p



รูปที่ 2.17 แสดง โครงสร้างของอิมอสเฟตแบบแซนแนล p

กล่าวคือ ขั้ว D และขั้ว S ต่อกับผลึกฐาน n และบริเวณที่มีการกระตุ้น p (p-doped regions) แต่ขั้วของแรงดันและทิศทาง กระแสตรงข้ามกับแบบแซนแนล n นอกจากนี้คุณลักษณะของเส้นโค้งถ่ายโอน ก็จะแสดงค่าที่ด้านตรงข้าม

## 2.9 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 รุ่น AT89xx

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรมในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทเมอร์/คาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว

- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิป
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI สำหรับในอนุกรมแบบ AT89Sxx
- มีวอตซ์ค็อกไทเมอร์ในตัว สำหรับในอนุกรมแบบ AT89Sxx

เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89Cxx จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของ AT89Cxx จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 พื้นฐาน หากแตกต่างกันเฉพาะหน่วยความจำโปรแกรมแฟลชที่เพิ่มเติมเข้ามา หากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรม 87xx หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะเป็นแบบอีพรอม และบางหมายเลขสามารถโปรแกรมได้เพียงครั้งเดียว

และโครงสร้างพื้นฐานของ AT89Sxx จะเห็นได้ว่า มีส่วนประกอบที่เพิ่มเติมแตกต่างจาก AT89Cxx อยู่หลายส่วน อาทิ วงจรเชื่อมต่ออนุกรมแบบ SPI ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมนี้ใช้ในการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมโดยไม่ต้องถอดตัวชิปออกไปจากระบบ หรือเรียกว่าการโปรแกรมในวงจรไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต ที่เพิ่มเติมเข้ามาอีกหนึ่งตัวเป็นไทเมอร์ 2 และวงจรวอตซ์ค็อกที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานผิดพลาดของซีพียู

ในตารางที่ 2-1 แสดงรายละเอียดบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แต่ละหมายเลขที่ Atmel ผลิตขึ้น และมีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

### 2.9.1 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกหมายเลขจะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในรูป 2-3 และ 2-4 โดยมีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้

ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง + 5V

ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต (P0.0-P0.7) มีขา 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็น ได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขา ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียน "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอินพีแคนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วยเพื่อสลับการทำงานเป็น ได้ทั้งขาติดต่อกับแอดเดรสและขาข้อมูล



ตารางที่ 2-1 รายละเอียดโดยสรุปบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำโปรแกรม	หน่วยความจำข้อมูล	จำนวนไทมเมอร์/کان์เตอร์ 16 บิต
AT89C1051	แบบแฟลชขนาด 1 กิโลไบต์	แรม 64 ไบต์	1
AT89C2051	แบบแฟลชขนาด 2 กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	2
AT89C51	แบบแฟลชขนาด 4 กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	2
AT89C52	แบบแฟลชขนาด 8 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
AT89C55	แบบแฟลชขนาด 20 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
AT89S8252	แบบแฟลชขนาด 8 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์ อีอีพรอม 2 กิโลไบต์	3
AT89S53	แบบแฟลชขนาด 12 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3

ขาพอร์ต์ 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต์ใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียน "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต์ที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนั้นในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทมเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทมเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต์ 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต์ใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียน "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต์ที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนั้นในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทมเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทมเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต์ 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต์ใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียน "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต์ที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ต์นั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ต์อินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ต์ 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังรายละเอียดข้างต้นต่อไปนี้

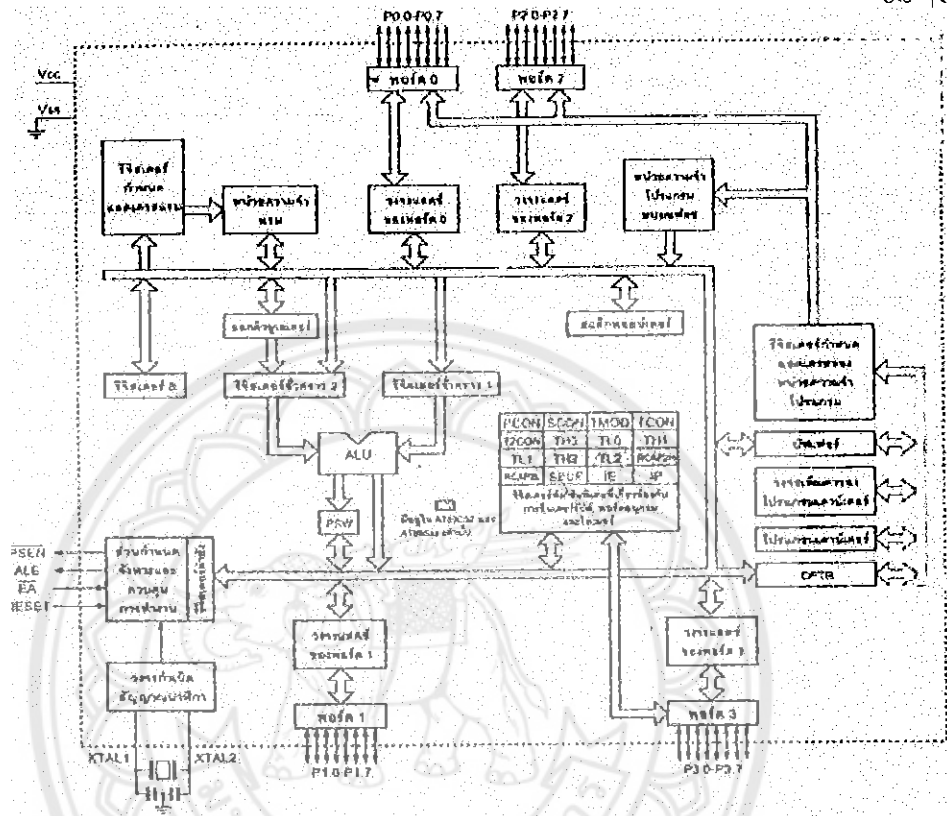
- P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD
- P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา INTO
- P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา INT1
- P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณ ไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0
- P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1

ปี ๒๐๒๑

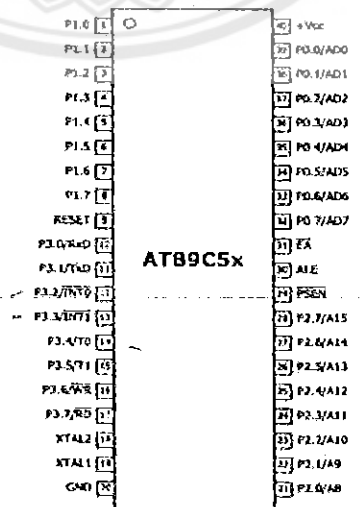
P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

๓๕  
๐๕๕๕๕  
๘๕๔๖



รูปที่ 2.18 รายละเอียดโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลช ของ Atmel



รูปที่ 2.19 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C5x

ขารีเซต (Reset) ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซตสถานะที่ขาที่ีต้องอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 แมกซ์ซินไซเกิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาายังคงทำงานอย่างต่อเนื่องไปอย่างปกติ

ขา  $\overline{\text{ALE/PROG}}$  (Address Latch Enable/Program pulse input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกนั้นขาที่ีนี้ยังใช้สำหรับพัลส์ของ

ขา PSEN (Program Store Enable) ขาที่ีใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะส่งสัญญาณออกมาที่ขาที่ี 2 ครั้ง ในแต่ละแมกซ์ซินไซเกิล แต่หากว่าติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขาที่ีจะไม่มีการส่งสัญญาณใดๆ ออกมา

ขา EA/Vpp (External Access enable/Programming voltage input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขาที่ีเป็น "0" เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่หากขาที่ีเป็น "1" เป็นการเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ที่ีขาที่ีนี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับแรงดันไฟฟ้าสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12V

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตัลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.9.2 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล "1" มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ีต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟลทที่ีใช้ในการจับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้เขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรถูกอับภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น "1" สามารถรับสัญญาณลอจิก "0" จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่ายสัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรับัพเฟอร์ภายในพอร์ตแล้วรอให้ซีพียูมาอ่านค่าเข้าไปเมื่อเป็นเช่นนี้อุปกรณ์ภายนอกที่ีเชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

แบบแฟลชควรถูกกำหนดให้ทำงานในสถานะลอจิก “0” จะดีและสะดวกที่สุด (ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก “0” แล้ว)

ตารางที่ 2-2 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชของ Atmel

ขา	เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน้าที่พิเศษ
P1.0	AT89C52/AT89Sxx	ขา T2 เป็นขาอินพุตนับค่าของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2
P1.1	AT89C52/AT89Sxx	ควบคุมทิศทางของสัญญาณ
P1.4	AT89Sxx	ขา SS (Slave Select) เป็นขาเลือกการติดต่อในกรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สเลฟ ในระบบการติดต่อแบบ SPI
P1.5	AT89Sxx	ขา MOSI (Master data output, Slave data input) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.6	AT89Sxx	ขา MOSI (Master data input, Slave data output) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.7	AT89Sxx	ขา SCK (Master clock output) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการติดต่อกับพอร์ต SPI

### 2.9.3 การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมา กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล “0” ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังวงจรวจรแลตซ์ ซึ่งก็จะส่งต่อไปจับเฟด ทำให้เฟดทำงาน ที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก “0” ขึ้น ในทางตรงข้ามหากต้องการส่งข้อมูล “1” ออกไป ก็ให้เขียนข้อมูล “1” ไปยังวงจรวจรแลตซ์ วงจรจับก็จะหยุดทำงาน ทำให้ที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรวจรลูปภายในเกิดเป็นลอจิก “1” ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งจะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมาก เพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าเป็นเอาต์พุตจะไม่มี การอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

เมื่อใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตแต่ละขา (หรือแต่ละบิต) ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสหรือที่เรียกว่า กระแสซอร์ส (Source Current) ได้สูงสุด 10 mA และทุกขารวมกันในแต่ละพอร์ต (ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 mA สำหรับพอร์ต 0 และ 15 สำหรับพอร์ต 1-3 ในกรณีที่ใช้งาน

ทุกพอร์ตเอาต์พุตจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71 mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงควรต่อวงจรบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุตเพื่อช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง

#### 2.9.4 การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถอ่านค่าลอจิกพอร์ตได้ 2 ลักษณะคือ อ่านจากขาพอร์ตโดยตรง และอ่านจากวงจรແຕັ້ซซ์ของแต่ละพอร์ต

ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวนั้นต่อลงกราวด์ หากมีการส่งข้อมูล "1" ไปยังทรานซิสเตอร์ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานสถานะลอจิกที่ขาพอร์ตจะเป็น "0" เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน จะเสมือนว่าขาพอร์ตนั้นถูกต่อลงกราวด์ ทำให้หากอ่านค่าลอจิกที่ขาพอร์ตจะได้ผลตรงข้ามกับที่ส่งออกมา แต่ถ้าหากทำงานอ่านค่าลอจิกที่วงจรແຕັ້ซซ์ จะได้ค่าที่ตรงกับค่าที่ต้องการส่งจริง ดังนั้นในการอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตจึงต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อด้วย

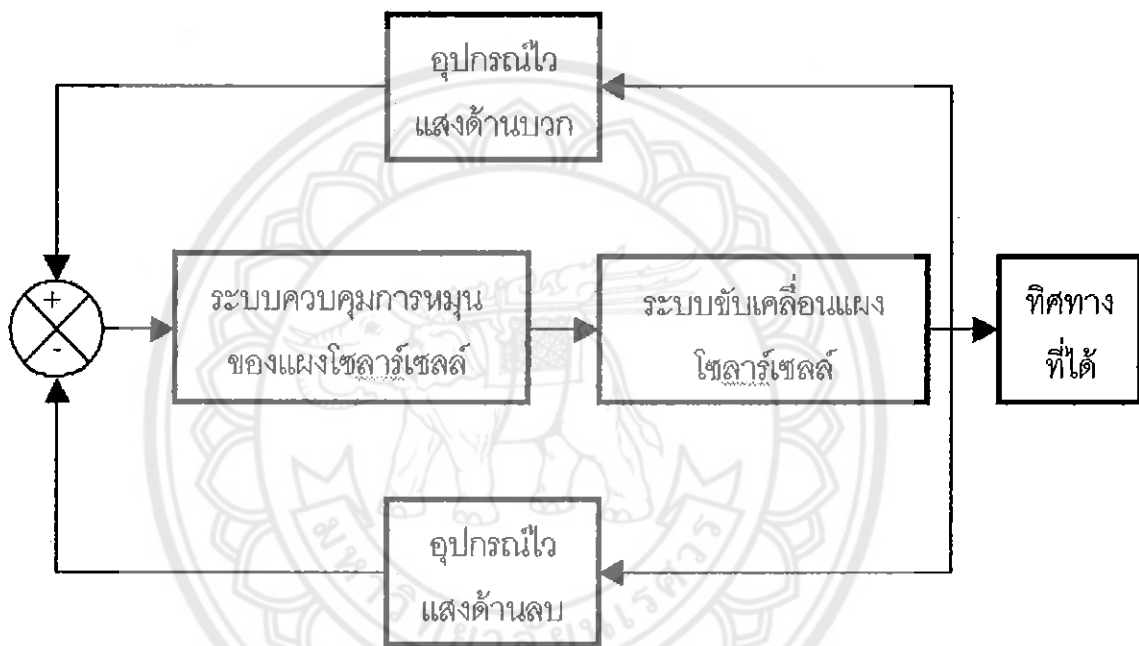


### บทที่ 3

## การออกแบบและการสร้างแผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์

### 3.1 ระบบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์

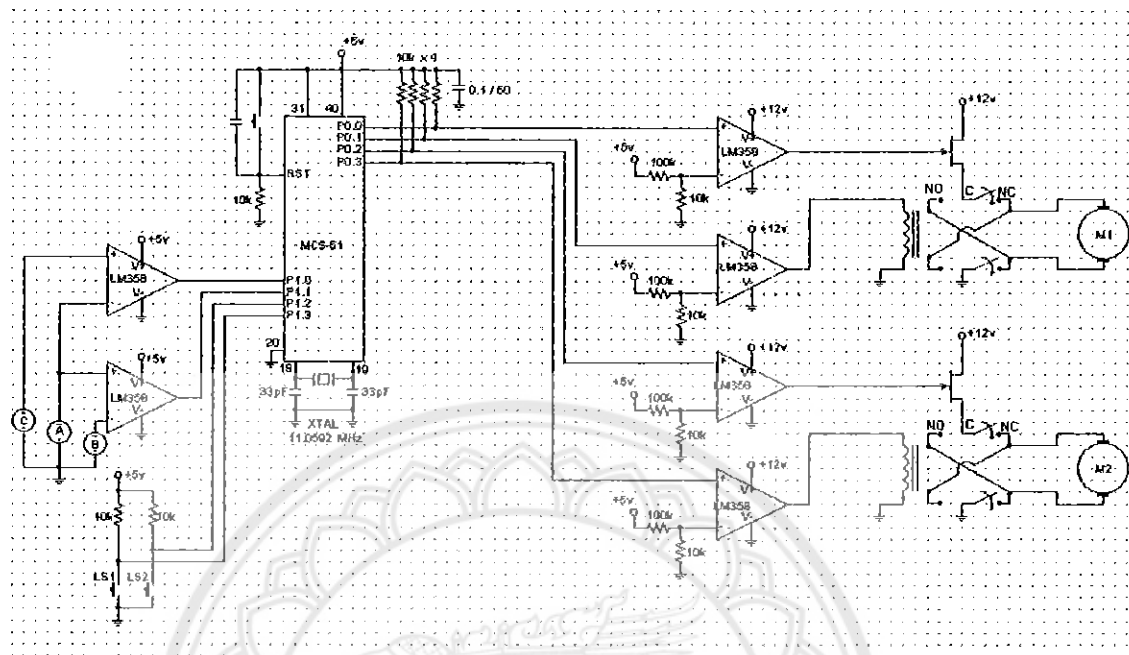
ระบบแผงโซลาร์เซลล์ตามดวงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนั้นประกอบด้วยส่วนต่างๆ โดยการทำงานนั้นสามารถอธิบายได้อย่างกว้างๆ ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

อุปกรณ์ไวแสงที่ใช้เลือกเป็น โฟโตเซลล์ ซึ่งมีหลักการทำงานเหมือนกับโซลาร์เซลล์โดยเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าและผ่านตัวเปรียบเทียบคือ ออปแอมป์ ถ้าแรงดันที่เกิดจากโฟโตเซลล์เข้าขั้วอินเวอร์ตติ้ง (ขั้วลบ) มีค่ามากกว่าแรงดันที่เข้าขั้วนอนอินเวอร์ตติ้ง (ขั้วบวก) ของออปแอมป์จะได้เอาต์พุตเป็น 0 โวลต์ และถ้าแรงดันที่เกิดจากโฟโตเซลล์เข้าขั้วนอนอินเวอร์ตติ้ง (ขั้วบวก) มีค่ามากกว่าแรงดันที่เข้าขั้วอินเวอร์ตติ้ง (ขั้วลบ) ของออปแอมป์จะได้เอาต์พุตเป็น 5 โวลต์ จากนั้นนำเอาต์พุตที่ได้เข้าไปประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์จะให้สัญญาณเอาต์พุตไปยังระบบขับเคลื่อนแผงโซลาร์เซลล์ จากนั้นโฟโตเซลล์จะวัดค่าใหม่และทำงานเช่นนี้จนกว่าจะได้ทิศทางที่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์

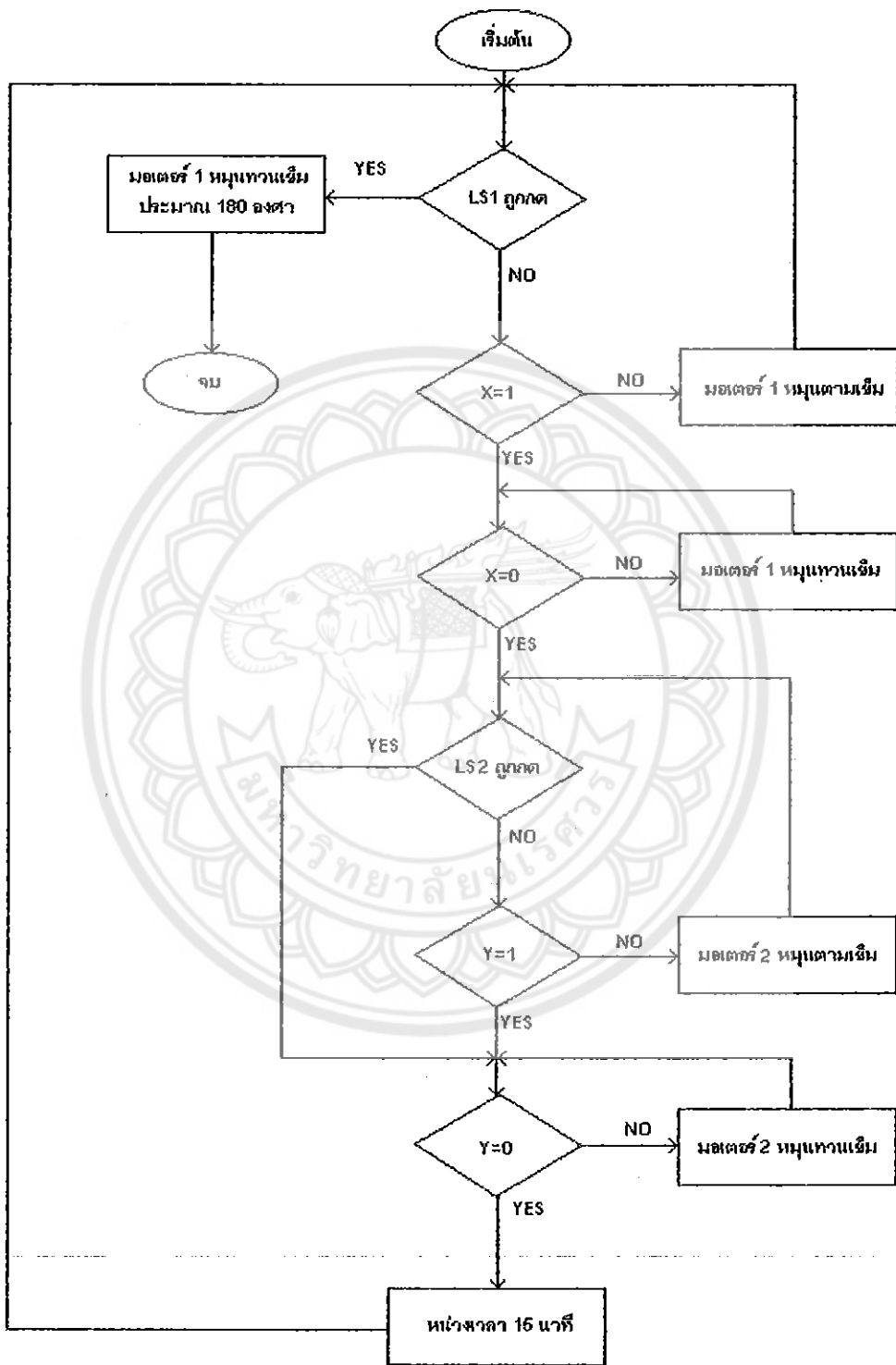
### 3.2 การออกแบบวงจรและการควบคุม



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรทั้งหมด

จากรูปที่ 3.2 จะเป็นการแสดงการต่อวงจรทั้งหมดในระบบของแผงไมโครคอนโทรลเลอร์ตามแสงอาทิตย์ โดยจะรับอินพุตเป็นระบบตรวจจับ และลิมิตสวิทช์ เพื่อไปประมวลผลและขับมอเตอร์เพื่อให้แผงไมโครคอนโทรลเลอร์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์

### 3.3 Flow chart แสดงการทำงาน



รูปที่ 3.3 Flow chart แสดงการทำงาน



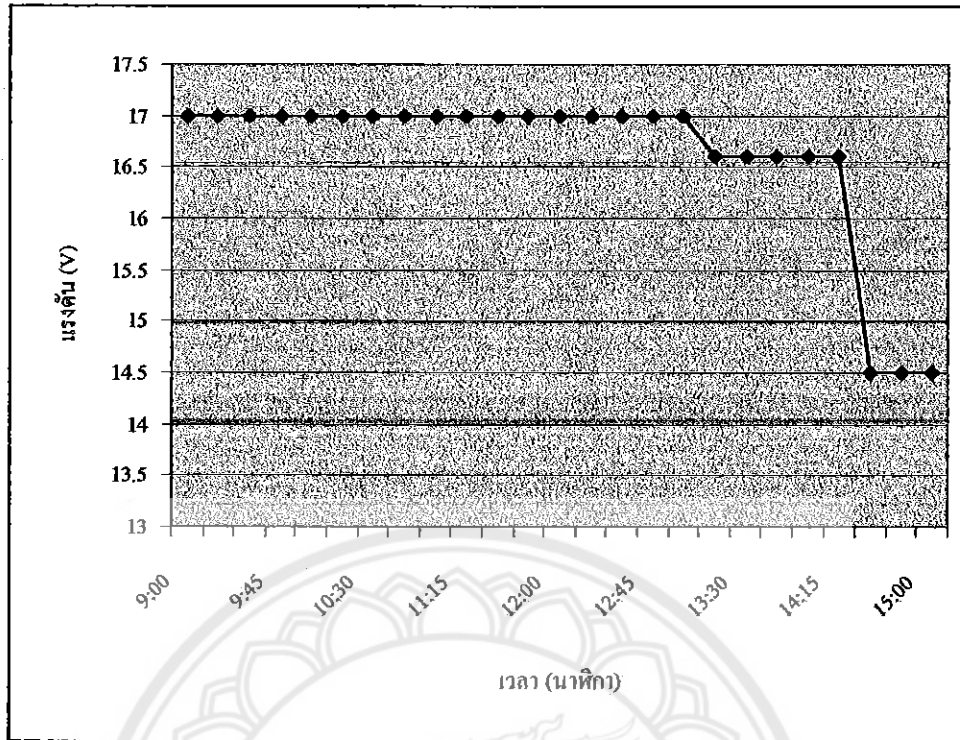
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

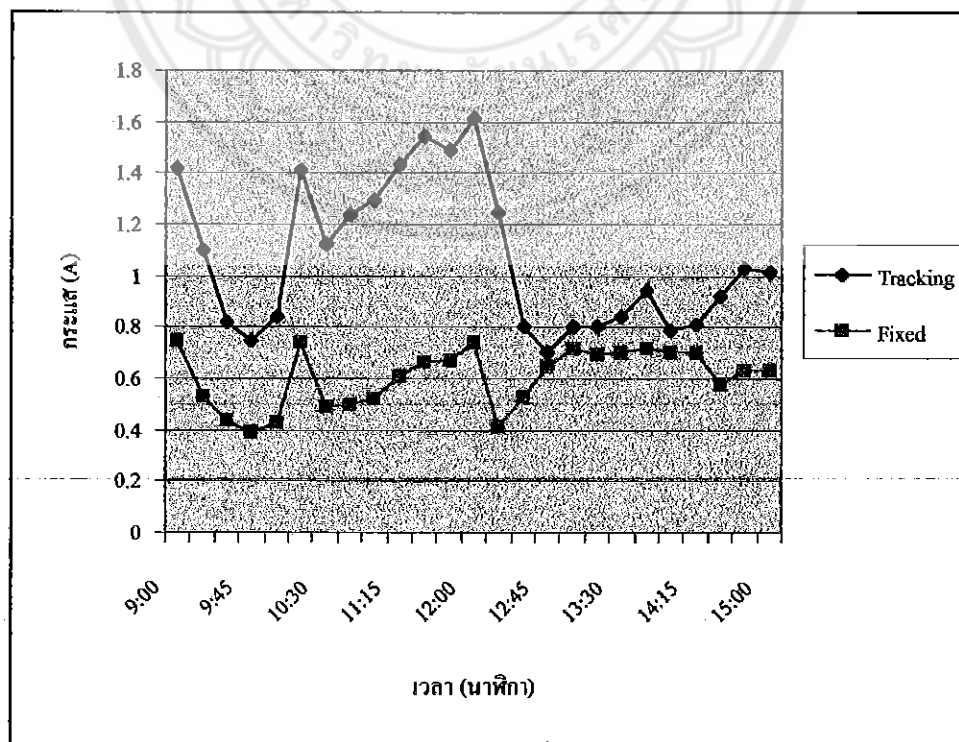
#### 4.1 เปรียบเทียบระบบแผงโซลาร์เซลล์แบบอยู่กับที่และระบบติดตามดวงอาทิตย์

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบระบบแผงโซลาร์เซลล์แบบอยู่กับที่และระบบติดตามดวงอาทิตย์

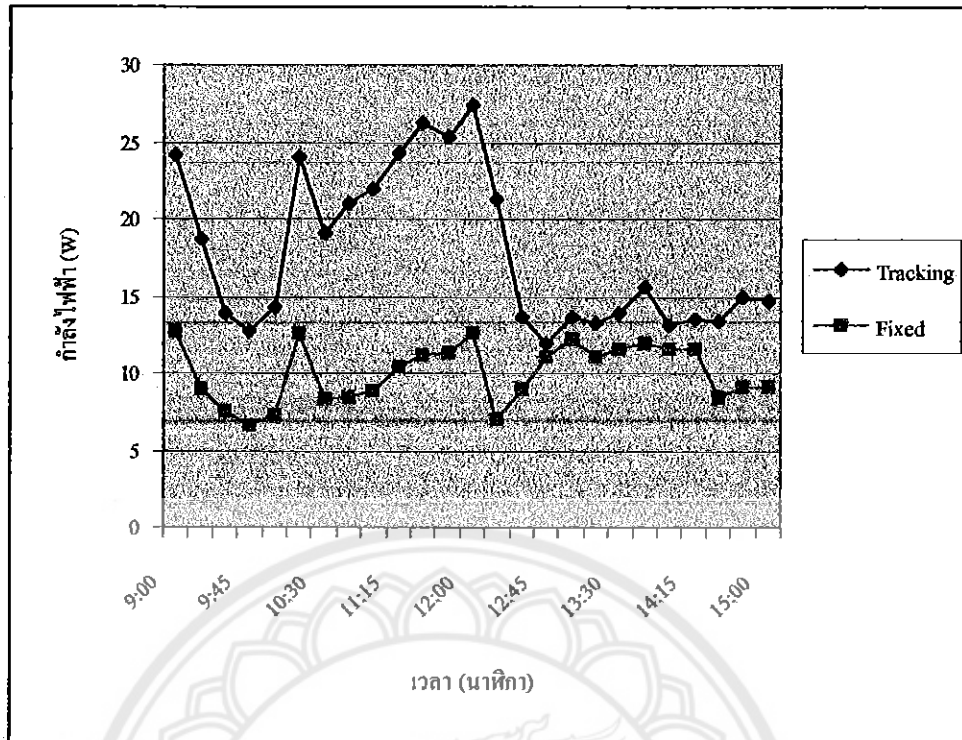
เวลา (นาฬิกา)	เคลื่อนที่			อยู่กับที่			
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	
9:00	17	1.42	24.14	17	0.75	12.75	
9:15	17	1.1	18.7	17	0.53	9.01	
9:30	17	0.82	13.94	17	0.44	7.48	
9:45	17	0.75	12.75	17	0.39	6.63	
10:00	17	0.84	14.28	17	0.43	7.31	
10:15	17	1.41	23.97	17	0.74	12.58	
10:30	17	1.12	19.04	17	0.49	8.33	
10:45	17	1.24	21.08	17	0.5	8.5	
11:00	17	1.29	21.93	17	0.52	8.84	
11:15	17	1.43	24.31	17	0.61	10.37	
11:30	17	1.54	26.18	17	0.66	11.22	
11:45	17	1.49	25.33	17	0.67	11.39	
12:00	17	1.61	27.37	17	0.74	12.58	
12:15	17	1.25	21.25	17	0.41	6.97	
12:30	17	0.8	13.6	17	0.53	9.01	
12:45	17	0.7	11.9	17	0.65	11.05	
13:00	17	0.8	13.6	17	0.72	12.24	
13:15	16.6	0.8	13.28	16.6	0.69	11.454	
13:30	16.6	0.84	13.944	16.6	0.7	11.62	
13:45	16.6	1.02	16.932	16.6	0.72	11.952	
14:00	16.6	0.79	13.114	16.6	0.7	11.62	
14:15	16.6	0.81	13.446	16.6	0.7	11.62	
14:30	14.5	0.92	13.34	14.5	0.58	8.41	
14:45	14.5	1.03	14.935	14.5	0.63	9.135	
15:00	14.5	1.01	14.645	14.5	0.63	9.135	
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย			17.88024	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย			10.04824



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ



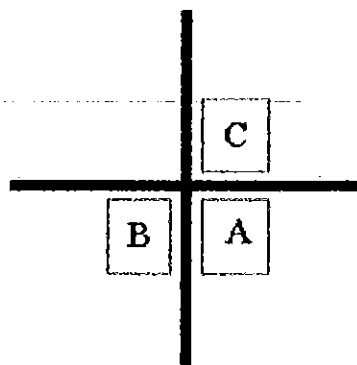
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสที่วัดได้



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า

จากตารางที่ 4.1 เป็นข้อมูลที่เปรียบเทียบระบบแผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์และแผงโซลาร์เซลล์แบบอยู่กับที่ในวันที่ 13 ตุลาคม 2546 ณ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก รูปที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แบบในเวลาต่างๆ โดยเริ่มตั้งแต่ 9.00 น. จนถึง 15.00 น. โดยวัดห่างกันครั้งละ 15 นาที รูปที่ 4.2 เป็นกราฟแสดงกระแสที่วัดได้ทั้ง 2 แบบ โดยนำมาเปรียบเทียบกันในเวลาต่างๆ เริ่มตั้งแต่ 9.00 น. จนถึง 15.00 น. โดยวัดห่างกันครั้งละ 15 นาที รูปที่ 4.3 เป็นกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าทั้ง 2 แบบในเวลาต่างๆ โดยเริ่มตั้งแต่ 9.00 น. จนถึง 15.00 น. โดยวัดห่างกันครั้งละ 15 นาที

#### 4.2 การทดลองระบบตรวจจับและเปรียบเทียบทิศทาง



รูปที่ 4.4 แสดงการติดตั้งตำแหน่งของระบบตรวจจับ

จากรูปที่ 4.4 เป็นการทดลองตรวจจับทิศทางของแสงที่ตกกระทบบนระบบตรวจจับโดยผลการทดลอง สามารถเปรียบเทียบทิศทางของแสงที่ตกกระทบซึ่งผลการทดลองที่ได้นั้นมีความสัมพันธ์ดังนี้

A และ B เปรียบเทียบในแนวแกนตั้ง

A และ C เปรียบเทียบในแนวแกนนอน



## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผล

จากการดำเนินการศึกษาและทำโครงการได้ผลสรุปดังนี้

- 1) การทำโครงสร้างของแผงโซลาร์เซลล์มีความแข็งแรงและรองรับน้ำหนักแผงโซลาร์เซลล์ 2 แผงได้ โดยมีน้ำหนักรวมประมาณ 10 กิโลกรัม
- 2) ระบบอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในกล่องปิดมิดชิด สามารถทำงานในสภาวะฝนตกได้
- 3) การติดตามทิศทางแสงมีความถูกต้อง
- 4) ได้กำลังไฟฟ้ามากกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่

#### 5.2 ประเมินผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงาน โครงการ เมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ ได้ผลดังนี้

- 1) ออกแบบโครงสร้างของแผงโซลาร์เซลล์ได้
- 2) ออกแบบวงจรควบคุมและตรวจจับทิศทางแสงได้
- 3) สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ได้โดยการปรับค่า Duty Cycle ถ้า Duty Cycle ค่ามอเตอร์จะหมุนช้า และมีแรงบิดน้อย และถ้า Duty Cycle มีค่ามากจะทำให้มอเตอร์หมุนเร็วและมีแรงบิดสูง ทั้งนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม
- 4) สามารถกำหนดคาบของ Duty Cycle ได้ ถ้าคาบมีค่ามากจะทำให้มอเตอร์หมุนเป็นจังหวะแผงโซลาร์เซลล์จะตื้น และถ้าคาบมีความยาวน้อยมากเกินไปจะไม่สามารถจับมอเตอร์ให้หมุนได้ เนื่องจากอุปกรณ์ในส่วนของ Amplifier ที่ใช้จับมอเตอร์ไม่สามารถทำงานที่ความถี่นั้นๆ ได้ ทั้งนี้ในส่วนของ โปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ช่วยลดการสั่นและมอเตอร์ยังสามารถทำงานได้

#### 5.3 ปัญหา และแนวทางแก้ไข

1) ความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์ในช่วงบ่ายจะทำให้อุณหภูมิของไฟโตเซลล์สูงขึ้นส่งผลให้ค่าแรงดันที่ใช้เปรียบเทียบกับทิศทางมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย สามารถแก้ไขได้โดยติดตั้งระบบระบายความร้อน

2) การวัดกำลังไฟฟ้าต้องวัดที่แรงดันเดียวกันทั้งแบบติดตามแสงอาทิตย์และแบบอยู่กับที่ โดยการปรับโหลดแล้ววัดกระแสเพื่อนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าต่อไป แต่เนื่องจากอุปกรณ์การวัดและโหลดไม่สามารถตอบสนองได้ การพัฒนาต่อไปต้องหาโหลดที่สามารถปรับค่าได้ในช่วงกว้างและเครื่องแอมป์มิเตอร์ที่สามารถวัดค่าได้สูง

3) การสร้างจุดหมุนในแนวนอนควรออกแบบให้จุดหมุนอยู่ในตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของระบบเคลื่อนที่ตามแนวนอนรวมทั้งแรงแซลาร์เซลล์ด้วย เพราะเมื่อมีความสมดุลจะทำให้มอเตอร์กินกระแสไฟน้อยลง

4) ควรเพิ่มความถี่ในการวัดเพื่อความถูกต้องมากที่สุด และระยะเวลาในการเก็บข้อมูลนานขึ้น



## เอกสารอ้างอิง

- [1] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล.เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลช, กรุงเทพมหานคร โนเวทีฟ เอ็ดจิวอร์เมนท์
- [2] สมชาย จิตะพันธ์กุล. วงจรไฟฟ้า. กรุงเทพฯ, แมคครอ-ฮิด:2540
- [3] สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. เทคโนโลยีแสงอาทิตย์. แก๊ซครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .2530







```

#include <reg51.h>
sbit pwm1= P0^7;
sbit m2  = P0^6;
sbit pwm2= P0^5;
sbit m1  = P0^4;
sbit ls1  = P1^3;
sbit ls2  = P1^2;
sbit ab   = P1^1;
sbit ac   = P1^0;

```

```

void delay1(unsigned int t)
{
    unsigned int i ;
    for(i=0;i<t;i++)
    {
        TH0 = 0x00 ;
        TL0 = 0x00 ;
        TF0 = 0 ;
        TR0 = 1 ;
        while(TF0==0) ;
        TR0 = 0 ;
    }
}

```

```

void delay(unsigned int j)
{
    unsigned int i ;
    for(i=0;i<j;i++)
    {
        TH0 = 0xb0 ;
        TL0 = 0x00 ;
        TF0 = 0 ;
        TR0 = 1 ;
        while(TF0==0) ;
        TR0 = 0 ;
    }
}

```

```
main()
{
    unsigned int k,l,m,n    ;

    pwm1 = 0    ;
    pwm2 = 0    ;
    m1  = 1    ;
    m2  = 0    ;
    k   = 1    ;
    l   = 0    ;
    m   = 1    ;
    n   = 1    ;
    delay1(20)  ;

while (m==1)
{
    m1  = 1    ;
    delay1(20) ;

    while (l==0)
    {
        pwm1 = 1    ;
        delay(1)    ;
        pwm1 = 0    ;
        delay(10)   ;
        l    = ab   ;}

    m1  = 0    ;
    delay1(20)  ;
```

```

while (m==1&&l==1)
    {   pwm1 = 1   ;
        delay(1)   ;
        pwm1 = 0   ;
        delay(10)  ;
        l   = ab   ;
        m   = ls1  ;}

```

```

m2   = 1   ;
delay1(20) ;

```

```

while (k==1)
    {   pwm2 = 1   ;
        delay(3)   ;
        pwm2 = 0   ;
        delay(10)  ;
        k   = ac   ;}

```

```

m2   = 0   ;
delay1(20) ;

```

```

while (k==0&&n==1)
    {   pwm2 = 1   ;
        delay(3)   ;
        pwm2 = 0   ;
        delay(10)  ;
        k   = ac   ;
        n   = ls2  ;}

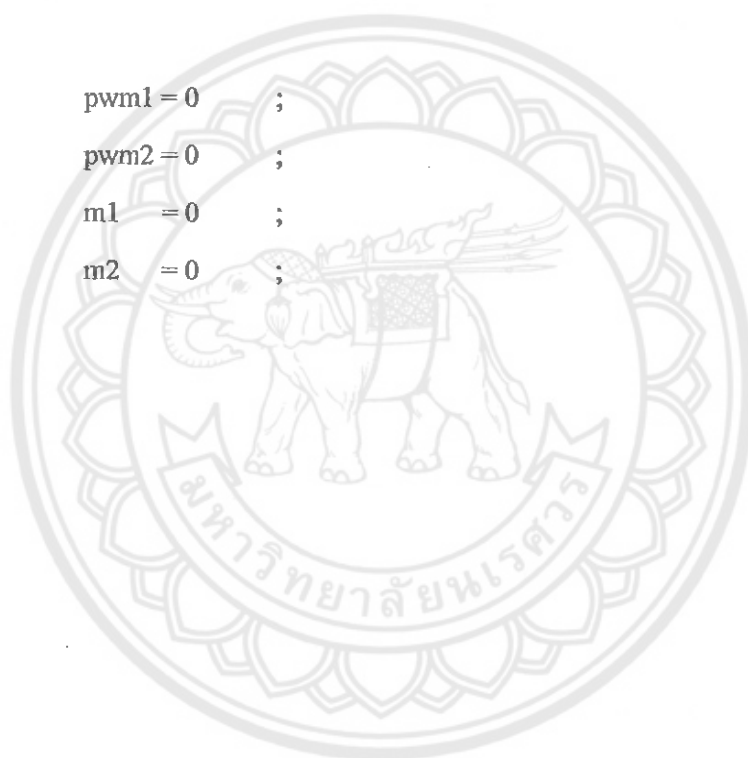
```

```
delay1(31579) ;  
delay1(31579) ;  
delay1(31579) ;}
```

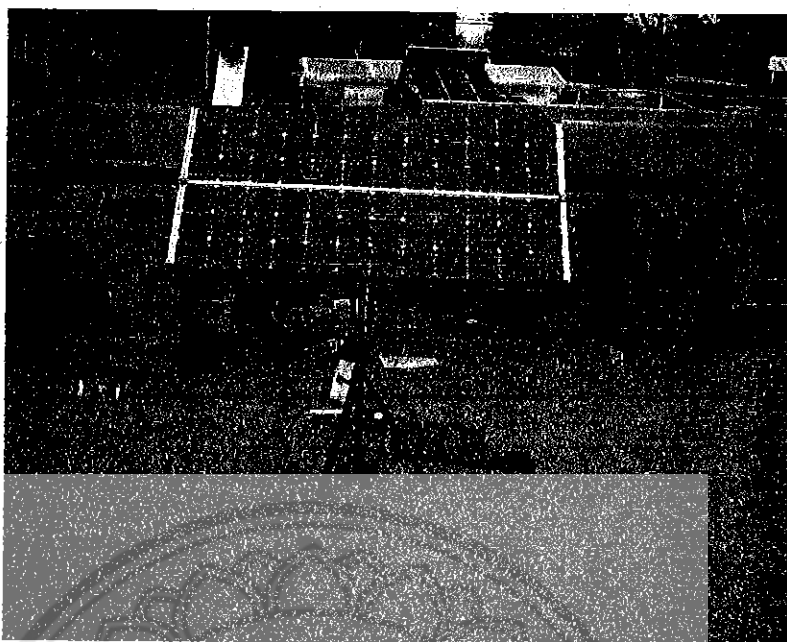
```
  pwm1 =1      ;  
  delay1(500)  ;
```

```
  pwm1 = 0      ;  
  pwm2 = 0      ;  
  m1   = 0      ;  
  m2   = 0      ;
```

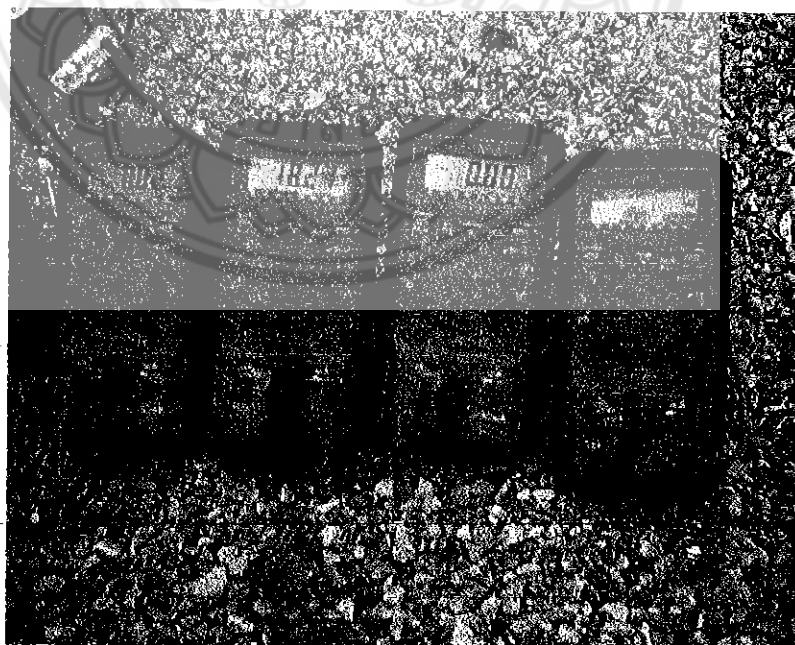
```
}
```



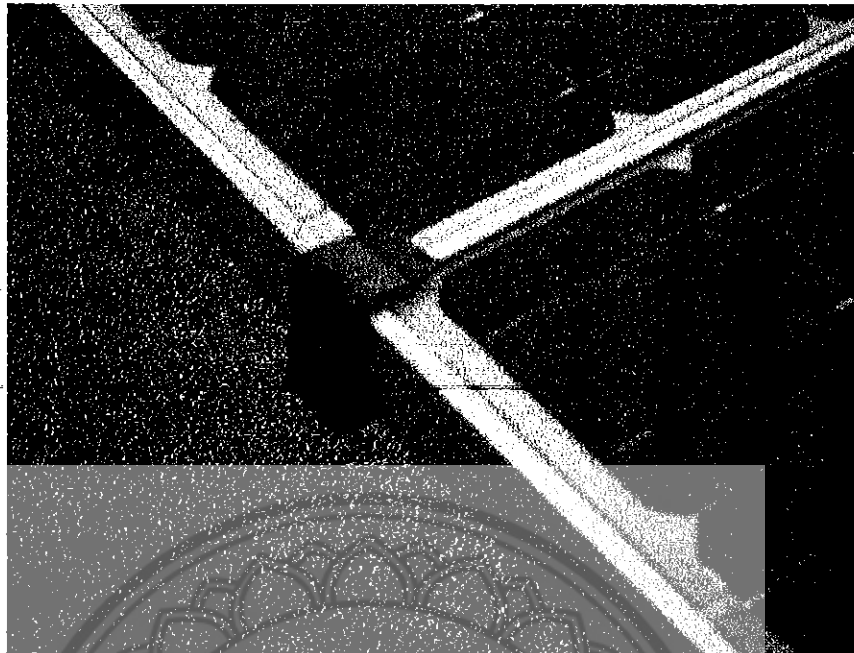




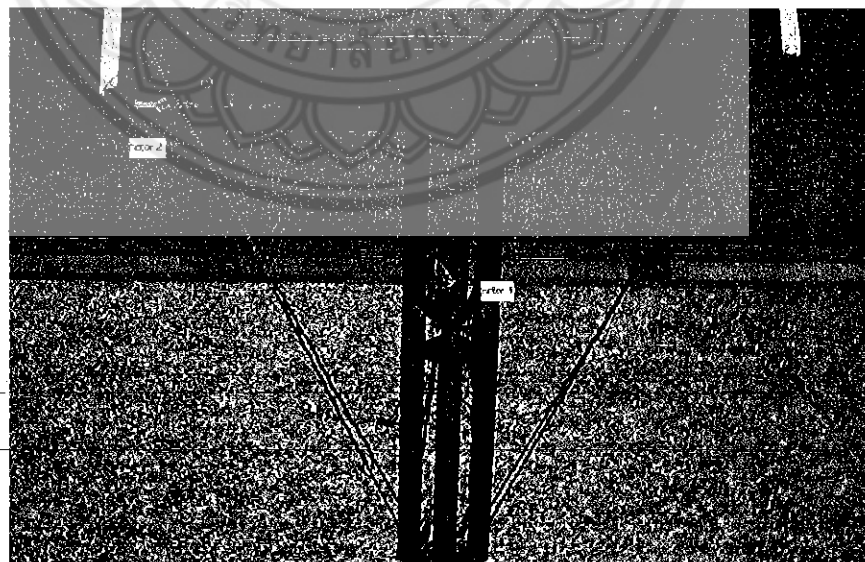
รูปที่ ข.1 แสดงด้านหน้าของแผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์ขณะทำงาน



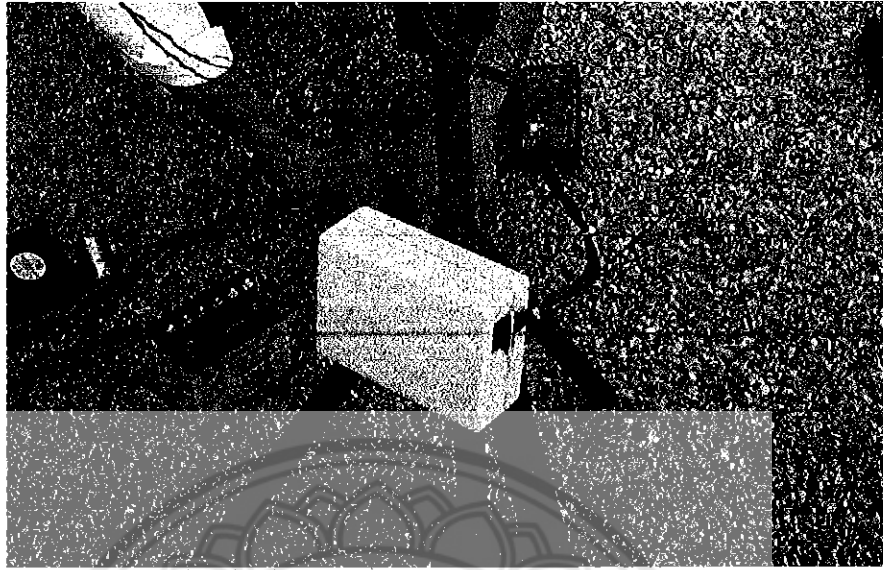
รูปที่ ข.2 แสดงเครื่องมือวัดแบบดิจิทัล



รูปที่ ข.3 อุปกรณ์ยึดแผง โซลาร์เซลล์ติดกับ โครงสร้าง



รูปที่ ข.4 มอเตอร์ที่ควบคุมในแนวแกนนอนและแนวแกนตั้ง



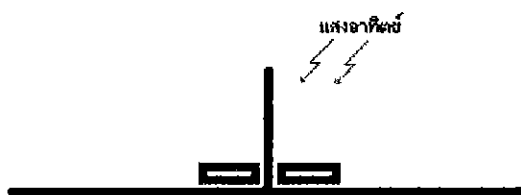
รูปที่ ข.5 กล้องใต้แสงวงจรควบคุมสามารถกันน้ำได้



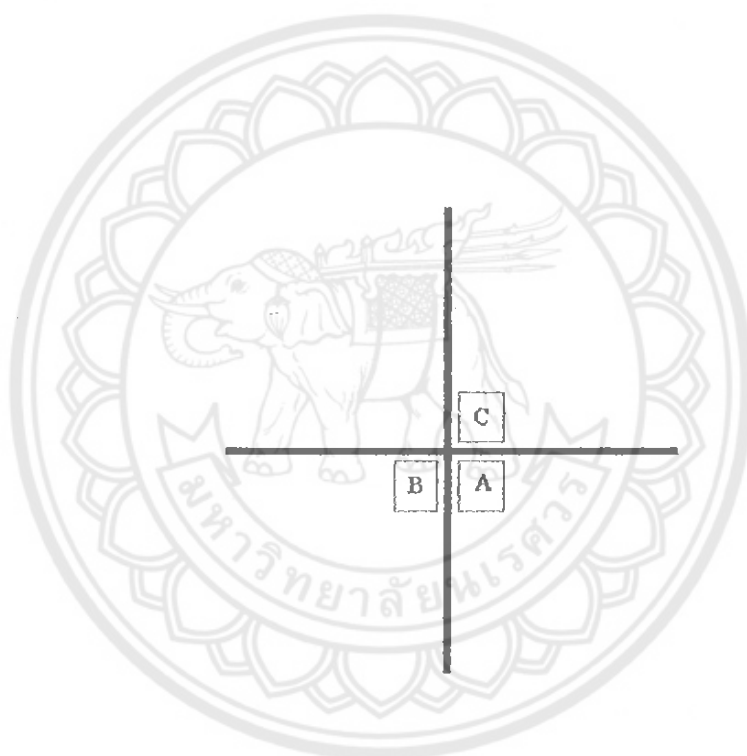
รูปที่ ข.6 อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ



## อธิบายการทำงาน



รูปที่ ข.7 แสดงทิศทางการบังเงา



รูปที่ ข.8 มองด้านบนของตำแหน่งเซ็นเซอร์และจากกันแสง

- ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบทิศทางแสงในตำแหน่ง A และ B เพื่อปรับแสงโซลาร์เซลล์ในแนวนอน
- ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบทิศทางแสงในตำแหน่ง A และ C เพื่อปรับแสงโซลาร์เซลล์ในแนวแกนตั้ง

## ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นายคิเรก พุทศรี  
 ภูมิลำเนา 21/1 หมู่ 6 ต.บ้านแก่ง อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000  
 ประวัติการศึกษา  
 -จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนนวมินทราชูทิศ มัชฉิม  
 -ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

e-mail: rek\_21@hotmail.com



ชื่อ นายสุทิน ยอดสันเทียะ  
 ภูมิลำเนา 399/2 หมู่ 3 ต.วังบ่อ อ.หนองบัว จ.นครสวรรค์ 60110  
 ประวัติการศึกษา  
 -จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนนครสวรรค์  
 -ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

e-mail: sut\_yod@chaiyo.com