

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

## ปฏิญานิพนธ์

ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม

Small Satellite for Satellite Control System Demonstration



นิพนธ์ ฤทธิบูรณ์  
วัชรพงศ์พันธุ์ อุบนันท์  
เกรียงสิทธิ์ จันทวดี  
อรรณพผล ทองเอียด

๑๗๖  
๒๕๔๙  
๑๖/๕

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

75196

24 ต.ค. 2550

b. 41816326  
i.....

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม  
Small Satellite for Satellite Control System Demonstration

ชื่อนักศึกษา 1. นายนิพล ฤทธิบุรณ์ รหัสประจำตัว 48035377  
2. นายวัชรพงศ์พันธ์ อุปนันท์ รหัสประจำตัว 48035620  
3. นายเกรียงสิทธิ์ จันทวดี รหัสประจำตัว 48035623  
4. นายอรรถพล ทองเอียด รหัสประจำตัว 48035624

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต  
สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม  
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ประเสริฐ เคนพันธ์  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.โกศล ตราชู

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อ.อมรชัย ชัยชนะ	
2. อ.ประเสริฐ เคนพันธ์	
3. ผศ.วรวีทย์ สมหา	
4. ผศ.สุชิน อาจหาญ	
5. อ.โกศล ตราชู	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันศุกร์ที่ 27 เดือนเมษายน พ.ศ. 2550 เวลา 14.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(รศ.สุรสิทธิ์ รัตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
วันที่ 4 เดือน พ.ค. พ.ศ. 50



<BT491372>

ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปริญญาโท

**เรื่อง** ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม  
Small Satellite for Satellite Control System Demonstration

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเรียนรู้เกี่ยวกับดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม
2. เพื่อออกแบบโครงสร้างและตัวถังของดาวเทียม
3. เพื่อสร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม
4. เพื่อทดลองดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม
5. เพื่อนำดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียมไปใช้งาน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม
2. ได้โครงสร้างและตัวถังของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุม
3. ได้ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม
4. ได้ผลการทดลองเพื่อสร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม
5. ได้ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียมเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวเรื่อง	ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม	
นักศึกษา	นายนิพล	ฤทธิ์บูรณ์
	นายวัชรพงศ์พันธุ์	อุปันันท์
	นายเกรียงสิทธิ์	จันทวดี
	นายอรรถพล	ทองเอียด
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ประเสริฐ	เคนพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์โกศล	ตราชู
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2549	

### บทคัดย่อ

ปริญญาโทฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม โดยดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียมนี้นี้จัดทำขึ้น เพื่อสาธิตการทำงานของระบบควบคุม เสมือนดาวเทียมจริงที่ทำงานนอกอวกาศ ซึ่งการออกแบบและสร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม จะเริ่มจากการออกแบบและสร้างรูปทรงของดาวเทียมให้เป็นลักษณะหกเหลี่ยม และการออกแบบระบบควบคุม โดยวงจรหลักๆ จะมีวงจรสวิตช์แบบไร้สายและวงจรสวิตช์ทำงานด้วยแสง ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ขนาด 12 V การควบคุมดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียมจะควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรลคือ ควบคุมให้เคลื่อนที่ไปหน้า ถอยหลัง โคจรเป็นวงกลม การปรับมุมรับแสงอัตโนมัติ การทรงตัวโดยการหมุนรอบตัวเอง 360 องศา และการจำลองการถ่ายภาพบนพื้นดิน ซึ่งการจำลองการถ่ายภาพบนพื้นดินจะควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ การควบคุมดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม สามารถควบคุมการทำงานได้จากคู่มือการใช้งานดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม

<b>Thesis Title</b>	Small satellite for Satellite Control System Demonstration	
<b>Students</b>	Mr.Nipon	Rittiboon
	Mr.Wacharapongpan	Upanan
	Mr.Kriangsit	Chantavadee
	Mr.Attapon	Tongaiad
<b>Advisor</b>	Mr.Prasert	Kenpankho
<b>Co-Advisor</b>	Mr.Koson	Trachu
<b>Education Level</b>	Bachelor of Science in Industrial Education	
<b>Program in</b>	Industrial Instrumentation Technology	
<b>Academic Year</b>	2006	

**ABSTRACT**

The thesis of compose academic present the model and set up the small satellite for satellite control system demonstration. This satellite set up for accomplished how does the satellite 's system work like virtual reality in the out side of space. The model and set up the small satellite for satellite control system demonstration start from to design and set up the satellite 's shape become the hexagon and modeled the control 's system of satellite. The main circuit will have Wireless and LDR switching the energy from battery 12 volt size. The control 's system of this satellite will control by remote control! The Satellite can be controlled the movement forwards, backwards, circular orbit ,the automatic adjustment of the corner absorb light, the balance by orbit 360 degree and the reproduction of the photography on the surface. The control of the small satellite for satellite control system demonstration, you can control it by control patel box that use for the small satellite for satellite control system demonstration.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาพันธฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดีนั้น เนื่องจากความร่วมมือร่วมใจของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อและอาจารย์โกศล ตราชูและอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านเป็นอย่างมาก ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนถึงข้อมูลและอุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทดลองโครงการงานและการจัดทำปริญญาพันธฉบับนี้ ขอขอบพระคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ และสำนักหอสมุดกลาง ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการใช้ค้นคว้าหาข้อมูลต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านสำหรับพวกเราที่ได้ให้การสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างทางด้านการศึกษาดลอดมาจนถึงปัจจุบันและสุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกท่านที่คอยให้ความร่วมมือช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้กันตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ	1
1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงการ	1
1.4 ขีดความสามารถของโครงการ	2
1.5 ขั้นตอนการทำงาน	2
1.6 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ดาวเทียม	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ดาวเทียม	4
2.2.1 หลักการส่งดาวเทียม	4
2.2.2 การนำดาวเทียมขึ้นไปโคจรรอบโลก	6
2.2.3 วิธีโคจรแบบต่างๆ ของดาวเทียม	6
2.2.4 ดาวเทียมประเภทต่างๆ	7
2.2.5 การสร้างดาวเทียม	10
2.2.6 ขั้นตอนในการสร้างดาวเทียม	11
2.2.7 การใช้ประโยชน์จากกิจการดาวเทียมเบื้องต้น	23
2.3 สเต็ปมอเตอร์	26
2.3.1 ลักษณะการนำไปใช้งาน	27
2.3.2 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์	27
2.3.3 การสั่งงานควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์	28
2.3.4 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4 โซล่าเซลล์	31
2.4.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบ่งตามลักษณะการผลิต	32
2.4.2 หลักการทำงานและการใช้งานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์	32
2.4.3 เทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์	33
2.4.4 การเกิดไฟฟ้าในแผ่นโซล่าเซลล์	34
2.4.5 การบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอายุการใช้งาน	34
2.5 แบตเตอรี่	35
2.5.1 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่	35
2.5.2 แรงเคลื่อนของเซลล์	36
2.5.3 ปฏิกิริยาทางเคมีในเซลล์แบตเตอรี่	36
2.5.4 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า	37
2.5.5 แรงดันกับความต้านทาน	37
2.5.6 กำลังงานต่อชั่วโมง	37
2.5.7 การประจุไฟใหม่ให้กับแบตเตอรี่	38
2.5.8 เซลล์แบบตะกั่ว - กรด	40
2.6 อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง	42
2.6.1 LDR ตัวต้านทานไวแสง	42
2.6.2 โครงสร้าง LDR	42
2.6.3 สมบัติทางแสง LDR	43
2.7 กล้องวงจรปิด	45
2.7.1 ตัวกล้อง	45
2.7.2 อุปกรณ์รวมและจัดการสัญญาณภาพ	45
2.7.3 อุปกรณ์บันทึกภาพ	45
2.7.4 จอมอนิเตอร์	45
2.7.5 ระบบการบันทึกภาพ	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน	47
3.1 กล่าวนำ	47
3.2 การออกแบบโครงสร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม	48
3.2.1 การทำงานเบื้องต้นของ ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตการควบคุมดาวเทียม	49
3.2.2 ชุดแสดงการทรงตัวของดาวเทียม	49
3.2.3 ชุดควบคุมการขับเคลื่อนการโคจรของดาวเทียม	50
3.2.4 ชุดควบคุมปีกโซลาร์เซลล์ของดาวเทียม	51
3.2.5 ชุดแสดงผลหลอดLED	52
3.2.6 แหล่งจ่ายแรงดัน	52
3.3 ส่วนวงจรควบคุม	53
3.3.1 วงจรควบคุมสวิตช์แบบไร้สาย	53
3.3.2 วงจรสวิตช์ทำงานด้วยแสง	54
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	55
4.1 กล่าวนำ	55
4.2 การทดลองการทำงานของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม	55
4.2.1 การทดลองควบคุมการเคลื่อนที่ไปยังหน้าและถอยหลัง ของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม	55
4.2.2 การทดลองควบคุมการหมุนรอบตัวเองของดาวเทียมขนาดเล็ก สำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม	56
4.2.3 การทดลองการปรับมุมรับแสงอัตโนมัติของดาวเทียมขนาดเล็ก สำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม	57
4.2.4 การทดลองควบคุมการจำลองถ่ายภาพบนพื้นดิน ของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม	58
บทที่ 5 บทสรุป	60
5.1 สรุป	60
5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข	61
5.3 แนวทางการพัฒนา	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บรรณานุกรม	62
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	63
ภาคผนวก ข รายละเอียดดวงจรและแผนวงจรพิมพ์	66
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	69
ภาคผนวก ง รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	72
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	102
ประวัติผู้แต่ง	106



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ดาวเทียมที่โคจรอยู่ห่างจากโลกและระยะทางในการโคจร	5
2.2 ขั้นตอนการทำงานแบบเวฟ (Wave)	28
2.3 ลำดับการกระตุ้นของขดลวดแบบ 2 เฟส	29
2.4 ลำดับการทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งเฟส	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบโดยทั่วไปของดาวเทียม	10
2.2 ส่วน Bus Elements และ Payload Elements ของดาวเทียมโดยทั่วไป	11
2.3 Platform ของดาวเทียม	12
2.4 ดาวเทียมที่ออกแบบในลักษณะสปินเนอร์	13
2.5 โครงสร้างของดาวเทียมแบบสปินเนอร์	14
2.6 ดาวเทียมที่ออกแบบในลักษณะทรีแอกซิส สเตโลเซชั่น	14
2.7 การควบคุมของดาวเทียมที่ออกแบบในลักษณะทรีแอกซิส สเตโลเซชั่น	15
2.8 ระบบการสื่อสารของตัวดาวเทียม	16
2.9 แผนผังการทำงานของระบบพลังงานของดาวเทียม	16
2.10 โครงสร้างภายในของแผงโซลาร์เซลล์	17
2.11 หลักการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์เมื่อต่อกับดาวเทียม	17
2.12 ตัวอย่างของแผงโซลาร์เซลล์	18
2.13 Nickel Cadmium (Ni-Cd)	18
2.14 Nickel Hydrogen (Ni-H <sub>2</sub> )	19
2.15 วงจรระบบพลังงานของดาวเทียม	19
2.16 ส่วนการขับเคลื่อนของดาวเทียม	20
2.17 ส่วนการแสดงตำแหน่งความเร็วและเวลาของดาวเทียม	20
2.18 การทดสอบการแพร่กระจายคลื่น และการรับส่งสัญญาณของดาวเทียม	22
2.19 สเต็ปมอเตอร์	26
2.20 โครงสร้างภายในสเต็ปมอเตอร์	26
2.21 การขจัดลวดบนสเต็ปมอเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์	27
2.22 ลักษณะของแผงโซลาร์เซลล์	31
2.23 แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	31
2.24 กราฟการเปรียบเทียบความจุของเซลล์แบบต่างๆ	38
2.25 การต่อแบตเตอรี่	39
2.26 ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างแผ่นบวกกับแผ่นลบระหว่างการจ่ายไฟออก	39
2.27 ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างแผ่นบวกกับแผ่นลบขณะที่ได้รับการประจุไฟฟ้า	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 โครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว - กรด	40
2.29 ไอออนบวกของตะกั่วจะออกจากแอโนด	41
2.30 โครงสร้าง LDR	42
2.31 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน	43
2.32 ลักษณะของโฟโตคอนดักทีฟเซลล์ หรือ LDR	44
2.33 ลักษณะคุณสมบัติของโฟโตคอนดักทีฟเซลล์	44
2.34 การต่อใช้งานโฟโตคอนดักทีฟเซลล์	45
3.1 ขนาดและลักษณะตัวถังของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตการควบคุมดาวเทียม	48
3.2 ขนาดและลักษณะแกนกลางของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตการควบคุมดาวเทียม	48
3.3 ลักษณะตัวถังดาวเทียมที่ได้ออกแบบ	50
3.4 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่การโคจรของดาวเทียม	51
3.5 ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตการควบคุมดาวเทียม	52
3.6 แบตเตอรี่ 12 V 5 A	52
3.7 วงจรควบคุมสวิทช์ทำงานแบบไร้สาย	53
3.8 วงจรสวิทช์ทำงานด้วยแสง	54
4.1 การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลังของดาวเทียมขนาดเล็ก สำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม	55
4.2 การหมุนรอบตัวเองของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม	56
4.3 การรับมูรับแสงอัตโนมัติของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม	57
4.4 การจำลองถ่ายภาพบนพื้นดินของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม	58

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในการเรียนการสอน จะต้องใช้สื่อการเรียนการสอนให้ผู้เรียนได้เข้าถึงรายละเอียด ที่ผู้สอนได้ตั้งจุดประสงค์เอาไว้ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบควบคุมดาวเทียมได้ง่าย และเห็นลักษณะการทำงานได้อย่างชัดเจน เพราะหากนักศึกษาได้เห็นการทำงานของดาวเทียม จะทำให้นักศึกษาได้เรียนรู้ทฤษฎีไปพร้อมกับเห็นการทำงานของดาวเทียม ซึ่งปัจจุบันสื่อการเรียนการสอนเกี่ยวกับดาวเทียมมีน้อยมาก มีแต่รูปภาพ หรือ MODEL กระดาษ ดังนั้นจึงได้สร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียมเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์และสื่อในการเรียนการสอนให้ดียิ่งขึ้น

### 1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ

คณะผู้จัดทำได้สร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียมขึ้นมา เพื่อให้นักศึกษาและผู้สนใจได้ศึกษาเรียนรู้เกี่ยวกับดาวเทียม ซึ่งสามารถจำลองการถ่ายภาพบนพื้นดินได้ สามารถปรับมุมรับแสงได้อัตโนมัติ และสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม สามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถอยหลัง และการโคจรเป็นลักษณะวงกลม เพราะการเรียนการสอนนั้นไม่ควรพึ่งแต่ทฤษฎีเพียงอย่างเดียว ควรใช้สื่อการเรียนการสอนประกอบด้วย จะได้สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายและเห็นลักษณะการทำงานได้อย่างชัดเจน

### 1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงการ

เมื่อผ่านการทดลองในโครงการนี้จนสามารถนำไปใช้งานจริงได้แล้ว ผู้เรียนสามารถเห็นถึงการทำงานของดาวเทียม ผู้เรียนจะมีความคิดและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการเรียนการสอน และพัฒนาสื่อการเรียนการสอนขึ้นดีให้ดียิ่งขึ้น ส่วนปัจจุบันทำได้แค่นำโครงการนี้ไปใช้เพื่อที่จะได้มองเห็นภาพการทำงาน โดยใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอน โครงการนี้จะผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิในระดับผลการประเมินดีขึ้นไป

## 1.4 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. ดาวเทียมสามารถหมุนรอบตัวเองได้ 360 องศา
2. ดาวเทียมสามารถจำลองการถ่ายภาพบนพื้นดินได้
3. ดาวเทียมสามารถปรับมุมรับแสงได้อัตโนมัติ
4. ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียมสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าถอยหลังและการโคจรเป็นลักษณะวงกลม
5. มวลของดาวเทียมน้ำหนักของตัวถังไม่เกิน 30 กิโลกรัม ความสามารถรับอุปกรณ์เพิ่ม (Payload) ได้ 15 กิโลกรัม
6. ดาวเทียมมีรูปทรงทรงแท้เหลี่ยม

## 1.5 ขั้นตอนการทำงาน

โครงการนี้ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์ ซึ่งการทำงานในระยะแรกเริ่มจากการศึกษาค้นคว้าและศึกษาข้อมูลแล้วรวบรวมข้อมูลที่ได้มาในระดับหนึ่งเพียงพอสำหรับวางผังรายละเอียดโครงสร้าง ก็จะเริ่มทำโครงสร้างพร้อมกับส่วนอื่นๆ เพิ่มเติม ในขณะเดียวกันนี้ก็จัดทำบริญญานิพนธ์ควบคู่กันไปด้วย และเมื่อทำโครงการเสร็จเรียบร้อยแล้วจะให้ผู้ทรงคุณวุฒิทำการประเมินประสิทธิภาพของโครงการต่อไป

## 1.6 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในบริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของบริญญานิพนธ์ ขีดความสามารถของโครงการและเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วยทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับหลักการทำงานของดาวเทียม โซล่าเซลล์ สเต็ปมอเตอร์ แบตเตอรี่ อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง และกล้องวงจรปิด

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับ แผนผังการทำงานของโครงการผังวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงการ ตลอดจนการออกแบบและการสร้างส่วนประกอบต่างๆ เช่น โครงสร้างของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียมพร้อมทั้งการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ โดยละเอียด

บทที่ 4 ประกอบด้วยการทดลองและผลการทดลอง แสดงการทดลองควบคุมการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถอยหลังและการโคจรเป็นวงกลม การทดลองการปรับมุมรับแสงอัตโนมัติ และการจำลองการถ่ายภาพของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจัดทำโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข รวมทั้งแนวทางในการพัฒนา

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข รายละเอียดวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาปริญญาโทฉบับนี้เป็นทฤษฎีและหลักการที่จะนำมาใช้ประกอบโครงการโดยประกอบด้วย ดาวเทียม สเต็ปมอเตอร์ โซล่าเซลล์ แบตเตอรี่ อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง และกล้องวงจรปิด

#### 2.2 ดาวเทียม

ดาวเทียม คือ ห้องทดลองที่นักวิทยาศาสตร์บรรจุอุปกรณ์ต่างๆ เอาไว้แล้วส่งขึ้นไปโคจรรอบโลก เพื่อประโยชน์ในด้านต่างๆ มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันแล้วแต่ความมุ่งหมายของแต่ละโครงการ ดาวเทียม อาจมีรูปร่างเป็นทรงกลม รูปกล่องหรือทึบก็ได้ และไม่จำเป็นต้องมีรูปร่างเพรียวลมเหมือนยานอวกาศต่างๆ ที่เราใช้อยู่บนโลก เพราะในอวกาศไม่มีอากาศที่จะมาปะทะเป็นแรงต้านทาน ขนาดของดาวเทียมบางดวงมีขนาดเล็กมาก มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียง 2-3 นิ้ว หรือ 2-3 ฟุต แต่บางดวงอาจใหญ่โตจนมีเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นร้อยๆ ฟุต เช่น ดาวเทียมเอกโก (Echo) เป็นต้น ดาวเทียมที่ถูกส่งออกไปสู่อวกาศ อาจมีระยะเวลาในการโคจรรอบโลกเป็นเวลานานมากน้อยต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและระยะห่างของวงโคจร ถ้าเข้ามาใกล้โลกมากๆ จะเกิดแรงต้านทานทำให้ความเร็วของดาวเทียมลดลง เมื่อมีความเร็วน้อยกว่าที่กำหนด ดาวเทียมก็จะตกลงสู่โลกและถูกเผาไหม้ในบรรยากาศของโลก โดยทั่วไปดาวเทียมที่มีขนาดใหญ่และมีวงโคจรต่ำจะสลายตัวไปเร็วกว่าดาวเทียมที่มีขนาดเล็กแต่มีวงโคจรสูง เช่น ดาวเทียมเวเนการ์ดหมายเลข 1 (Vanguard1) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียง 6 นิ้ว โคจรห่างจากโลก 400 ไมล์ ส่งไปเมื่อ พ.ศ. 2501 ซึ่งคาดว่าจะมีอายุได้เป็นร้อยๆ ปี

##### 2.2.1 หลักการส่งดาวเทียม

###### 2.2.1.1 การส่งดาวเทียมออกนอกโลก

อาศัยกฎเกณฑ์ธรรมชาติที่มนุษย์ได้ศึกษาจนพบความจริง เช่น กฎของนิวตัน เช่น กฎเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ (Law of Motion) และกฎแห่งความโน้มถ่วง (Law of Gravitational) การที่จะส่งดาวเทียมขึ้นไปได้จะต้องมีความเร็วที่พอเหมาะ คือ ความเร็ว 5 ไมล์ต่อวินาที หรือ 18,000 ไมล์ต่อชั่วโมง วัตถุก็จะเคลื่อนที่เป็นวงกลม และวัตถุจะไม่มีโอกาสตกถึงพื้นดินอีกเลย และจะเคลื่อนที่อยู่ในความสูงประมาณ 200-300 กิโลเมตร หรือ 124-186 ไมล์ จากพื้นผิวโลก ถ้าวัตถุเริ่มเคลื่อนที่มีความเร็วมากกว่า 5 ไมล์ต่อวินาที จะได้ว่าโคจรแบบวงรีซึ่งใช้สำหรับส่งยานอวกาศไปสำรวจดวงจันทร์ ถ้าหากมีความเร็วเพิ่มขึ้นถึง 7 ไมล์ต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้วงโคจรที่เรียกว่า พาราโบลา ถ้ามีความเร็วมากกว่า 7 ไมล์ต่อวินาที วงโคจรจะเป็นแบบ ไฮเพอร์โบลา ความเร็ว 7 ไมล์ต่อวินาที ที่ทำให้วัตถุหลุดออกไปจากโลก เรียกว่า ความเร็วหลุดพ้น (Escape Velocity)

2.2.1.2 ดาวเทียมโคจรรอบโลกได้เพราะมีแรง 2 แรงที่สมดุลกันพอดี คือ ในขณะที่ดาวเทียมเคลื่อนที่เป็นทางโค้ง จะมีแรงสู่ศูนย์กลาง (Centripetal Force) และ แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) เกิดขึ้น

1. แรงสู่ศูนย์กลาง เป็นแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างโลกกับดาวเทียมตามกฎแห่งความโน้มถ่วงของกฎนิวตัน ที่กล่าวไว้ว่า “แรงดึงดูดระหว่างวัตถุที่มีมวลสาร 2 ชิ้นจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับผลคูณของมวลทั้งสอง และเป็นปฏิกิริยากลับกับกำลังสองของระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสอง”

2. แรงหนีศูนย์กลาง เกิดจากวัตถุเคลื่อนที่เป็นทางโค้งหรือเป็นวงกลม ถ้าหากดาวเทียมโคจรอยู่ห่างจากโลกมากๆ ความเร็วของดาวเทียมก็จะลดลงด้วยความเร็วที่ต้องการเพื่อให้ดาวเทียมขึ้นไปโคจรตามระยะห่างที่ต้องการนั้นเรียกว่า ความเร็วตามวงทางโคจร (Orbital Velocity)

**ตารางที่ 2.1** ดาวเทียมที่โคจรอยู่ห่างจากโลกและระยะทางในการโคจร

ระยะทางจากโลก (ไมล์)	ความเร็วที่ต้องโคจรรอบโลก (ไมล์ต่อชั่วโมง)	เวลาซึ่งโคจรได้ในเวลา 1 รอบ	
		ชั่วโมง	นาที
100	17,500	1	28
200	17,255	1	31
300	17,060	1	34
500	16,665	1	41
1,000	15,820	1	58
2,000	14,415	2	36
3,000	13,335	3	17
4,000	12,485	4	00
5,000	11,780	4	46
6,000	11,175	5	38
7,000	10,675	6	25
8,000	10,200	7	25
9,000	9,780	8	20
10,000	9,415	9	20
20,000	7,185	21	0
22,300	6,870	24	0
240,000	2,268	27.3	วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วและเวลา ที่บอกไว้ตามตารางข้างบนนี้ใช้สำหรับวิถีโคจรซึ่งเป็นวงกลม ถ้าวิถีโคจรเป็นวงรี เล็กน้อยค่าจะไม่เปลี่ยนไปมากนัก แต่ถ้าวิถีโคจรเป็นรูปวงรีมากๆ ค่าก็จะเปลี่ยนไปมาก

## 2.2.2 การนำดาวเทียมขึ้นไปโคจรรอบโลกนั้น มีหลักอยู่ 2 ประการ คือ

### 2.2.2.1 จรวด

จรวดที่ใช้ดันขึ้นจะต้องนำเอาดาวเทียมไปถึงความสูงที่ต้องการ ถ้าจะส่งดาวเทียมให้มีวงทางโคจร เกือบจะเป็นวงกลม จรวดจะต้องนอนราบขนานกับพื้นโลกถ้าจะให้วงทางโคจรเป็นรูปวงรีมากๆ จรวดจะต้อง ตั้งฉากกับผิวโลก

### 2.2.2.2 ความเร็วของดาวเทียม

ความเร็วของดาวเทียมในขณะที่ถูกปล่อยออกจากจรวดก่อนสุดท้ายต้องพอเหมาะกับความสูงนั้น ความเร็วของดาวเทียมจะต้องถูกต้องตามที่ต้องการพอดีหากมากหรือน้อยไปเพียง 2-3 ฟุต วิถีโคจรก็จะ เปลี่ยนไป

## 2.2.3 วิถีโคจรแบบต่างๆ ของดาวเทียม

### 2.2.3.1 วิถีโคจรแบบวงกลม

ใช้ส่งดาวเทียมขึ้นไปโคจรรอบโลกในระยะที่ไม่ห่างออกไปมากนัก แต่จะให้วิถีโคจรเป็นรูปวงกลมจริงๆ นั้นทำได้ ยาก เพราะโลกไม่ได้เป็นทรงกลมเลยทีเดียว ตรงขั้วเหนือและใต้จะแบนและป่องตรงเส้นศูนย์สูตร

### 2.2.3.2 วิถีโคจรแบบวงรี

ใช้สำหรับส่งดาวเทียมขึ้นไปโคจรในระยะสูง ซึ่งวิถีโคจรนี้นักคณิตศาสตร์และดาราศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อ โจฮันส์เคปเลอร์ ได้ค้นพบกฎซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ เรียกว่า กฎการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ เคปเลอร์ (Kepler's Laws of Planetary Motion) การส่งดาวเทียมที่โคจรเป็นรูปวงรีนั้นจะมีตำแหน่งที่ ดาวเทียมเข้าใกล้โลกมากที่สุดเรียกว่า เพอริจี (Perigee) และมีตำแหน่งที่ดาวเทียมอยู่ห่างจากโลกมากที่สุด เรียกว่า อะโปจี (Apogee) ทำให้การเคลื่อนที่ตามทางวงโคจรเปลี่ยนแปลงไป วิถีโคจรแบบวงรีนี้ใช้เมื่อนักวิทยาศาสตร์ต้องการเรียนรู้สิ่งต่างๆ ที่อยู่ห่างออกไปมากๆ เช่น วิถีโคจรของยานอวกาศเอ็กซ์พลอเรอร์ที่ 6 (Explorer VI) ซึ่งถูกส่งขึ้นไปวัดการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ (Radiation) ในอวกาศ มีตำแหน่งเพอริจีห่างจากโลก 156 ไมล์ ส่วนตำแหน่งอะโปจี ห่างออกไปจากโลก 26,300 ไมล์ ความเร็วของยานอวกาศ ขณะที่เข้าใกล้ตำแหน่งเพอริจีคือ 23,031 ไมล์ต่อชั่วโมง แต่เมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งอะโปจีความเร็วจะเหลือเพียง 3,126 ไมล์ต่อชั่วโมง

### 2.2.3.3 วิถีโคจรที่เข้าจังหวะกับโลกหรือวิถีโคจรที่อยู่กับที่

ซึ่งดาวเทียมจะอยู่ห่างจากโลก 22,300 ไมล์ ดาวเทียมจะต้องใช้เวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเดินทางรอบโลก ซึ่งเท่ากับเวลาที่โลกหมุนรอบตัวเอง 1 รอบ ซึ่งวิถีโคจรแบบนี้ใช้กับดาวเทียมซินคอม (Syncom) ซึ่งเป็นดาวเทียมที่บรรจุเครื่องมือสื่อสาร ในการส่งขึ้นไปจะใช้จรวดเดลต้ายิงดาวเทียมให้อยู่ในวิถีโคจรรูปวงรีก่อน ตำแหน่งเพอริจีอยู่ห่างจากโลก 100 ไมล์ และตำแหน่งอะโปจีอยู่ห่างจากโลก 22,300 ไมล์ ขณะนั้นดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความเร็วเพียง 3,275 ไมล์ต่อชั่วโมง หลังจากนั้นมอเตอร์เล็กๆ ซึ่งใช้เชื้อเพลิงแข็งจะเริ่มต้นทำงานเพิ่มความเร็วดาวเทียมขึ้นเป็น 6,870 ไมล์ต่อชั่วโมง ดาวเทียมซินคอมก็จะมีวิถีโคจรใหม่ตามต้องการ การผลักดันครั้งสุดท้ายเรียกว่าอะโพีจิกคิก (Apogee Kick)

#### 2.2.3.4 วิถีโคจรข้ามขั้วโลก (Polar Orbit)

วิถีโคจรแบบนี้ดาวเทียมจะถูกส่งไปทางทิศเหนือหรือใต้ ทำให้วิถีโคจรของดาวเทียมข้ามทั้งขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ ซึ่งจะสามารถมองเห็นโลกทั้งโลกได้ภายในเวลา 1 วัน

### 2.2.4 ดาวเทียมประเภทต่างๆ

#### 2.2.4.1 ดาวเทียมสื่อสาร

ทำหน้าที่ถ่ายทอดข่าวสารรอบโลก ระหว่างพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลมากจนเชื่อมโยงถึงกันด้วยสายเคเบิลธรรมดาได้ลำบาก ดาวเทียมสื่อสารทำหน้าที่คล้ายกับหอส่งสัญญาณออกอากาศลงมาจากอวกาศ หรือเป็นสถานีถ่ายทอดอัตโนมัติที่ส่งสัญญาณลงมายังรอยเท้าของตน ดาวเทียมสื่อสารส่วนใหญ่จะโคจรในวงโคจรที่อยู่หนึ่งเทียบกับโลก ทำให้ดาวเทียมอยู่เหนือจุดคงที่บนโลกเสมอ ดาวเทียมสื่อสารสามารถนำสัญญาณจากเหตุการณ์ทั่วโลกมาสู่ผู้ชมได้สดๆ เช่น ภาพการแข่งขันกีฬาซีเกมส์ เป็นต้น หรืออาจเชื่อมโยงระบบโทรศัพท์ของประเทศต่างๆ ได้โดยตรงและประหยัดค่าใช้จ่าย ธุรกิจการเงินส่วนมากมักจะใช้บริการที่รวดเร็วของดาวเทียมในรูปแบบของการส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์ หรือส่งภาพของเอกสารดาวเทียมสื่อสารมายังอาจใช้ในการกระจายการศึกษาไปยังพื้นที่ห่างไกล เช่น ประเทศอินโดนีเซียเป็นประเทศที่ประกอบไปด้วยเกาะมากมายติดต่อกันลำบาก แต่ได้ใช้ดาวเทียมปลาปาในการสอนนักเรียนตามเกาะต่างๆ ด้วยครูเพียงคนเดียวที่ศูนย์กลาง เป็นต้น

#### 2.2.4.2 ดาวเทียมสื่อสารภายในประเทศ

ตามปกติเราจะใช้ดาวเทียมในการรับส่งสัญญาณโทรศัพท์ข้ามประเทศ แล้วจึงส่งออกอากาศโดยเสาอากาศโทรศัพท์บ้านธรรมดาไปตามบ้าน แต่ขณะนี้ประเทศที่มีพื้นที่กว้างใหญ่จะมีดาวเทียมของตนเอง เพื่อส่งรายการไปยังสถานีภาคพื้นดิน ในพื้นที่ที่ห่างไกลภายในประเทศ แล้วจึงส่งสัญญาณต่อไปทางเสาอากาศธรรมดา หรือทางสายเคเบิลไปตามบ้านต่างๆ หรืออาจใช้วิธีส่งรายการโดยตรงจากดาวเทียมไปยังจานรับสัญญาณตามบ้านก็ได้

#### 2.2.4.3 ดาวเทียมออกอากาศตรง

จานสายอากาศขนาดเล็กบนตึกหรือในสวน อาจรับสัญญาณจากดาวเทียมสื่อสารได้โดยตรง ถ้าจานนั้นอยู่ภายในรอยเท้าของดาวเทียม จัดเป็นการรับสัญญาณออกอากาศโดยตรงจากดาวเทียมทำให้ผู้ชมโทรศัพท์ที่มีอุปกรณ์ครบเครื่องสามารถรับโทรศัพท์ได้มากสูงขึ้นทั้งนี้จานสายอากาศจะต้องหันชี้ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องเหนือเส้นศูนย์สูตรของโลก ในบางประเทศประชาชนอาจติดตั้งระบบรับสัญญาณจากดาวเทียมได้อย่างอิสระ แต่ในบางประเทศประชาชนจะต้องมีใบอนุญาตถึงจะติดตั้งสถานีภาคพื้นดินได้อย่างไรก็ตามในอนาคตทุกประเทศคงเปิดเสรีมากขึ้น เพราะวาระระบบดาวเทียมจะแพร่หลายไปทั่วโลก โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านทางดาวเทียมออกอากาศตรง ที่ส่งสัญญาณด้วยกำลังสูง ทำให้สามารถใช้งานรับสัญญาณขนาดเล็กได้ ในปัจจุบันจะเห็นว่าจันรับสัญญาณดาวเทียมบนหลังคาบ้านต่างๆ เป็นภาพปกติที่เห็นได้ทั่วไปในหลายประเทศ

#### 2.2.4.4 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Weather Satellites)

เป็นดาวเทียมที่ทำหน้าที่ตรวจความแปรปรวนของลมฟ้าอากาศเพื่อการพยากรณ์อากาศ เช่น ดาวเทียม GSM-3 ของประเทศญี่ปุ่นอยู่สูงจากพื้นโลก 35,800 กิโลเมตร ดาวเทียม NOAA-8 และดาวเทียม NOAA-9 ของอเมริกา ซึ่งอยู่สูงจากพื้นโลก 840-960 กิโลเมตร ดาวเทียมแวนการ์ดหมายเลข 2 ดาวเทียมซูดไทรอส (ไทรอสหมายเลข 1-8)

#### 2.2.4.5 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ

เป็นดาวเทียมที่ใช้เป็นสถานีเคลื่อนที่สำรวจดูพื้นผิวโลกและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนโลก เช่น ดาวเทียมแลนดแซต ดาวเทียมสปอต ดาวเทียมมอส-1

#### 2.2.4.6 ดาวเทียมนำร่อง

นักเดินเรือได้สังเกตดาวฤกษ์เพื่อหาตำแหน่งและทิศทางของเรือในการนำร่องมาหลายร้อยปีแล้ว แต่ในปัจจุบันเราใช้ดาวเทียมนำร่องแทนดาวจริง ดาวเทียมจะส่งสัญญาณวิทยุเพื่อบอกค่าตำแหน่งของดาวเทียม นั้น และบอกเวลาที่ถูกต้องลงมาให้แก่เรือ จากนั้นนักเดินเรือจะต้องใช้ข้อมูลจากสัญญาณของดาวเทียมพร้อมกัน 4 ดวง เพื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งของเรือบนโลก ประเทศรัสเซีย สหรัฐ และประเทศในยุโรป กำลังวางแผนโครงการและกำลังทดสอบระบบดาวเทียมนำร่องระบบใหม่ เพื่อปรับปรุงข้อมูลให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

#### 2.2.4.7 ดาวเทียมวิทยาศาสตร์

ดาวเทียมวิทยาศาสตร์มีหน้าที่สำรวจโลก หรือระบบสุริยะ หรือสำรวจอวกาศในห้วงลึกมากออกไป ดาวเทียมประเภทนี้เป็นสถานสังเกตการณ์เหนือชั้นบรรยากาศซึ่งเต็มไปด้วยเมฆและฝุ่นที่จะบดบังสังเกตการณ์จากพื้นโลก และทำให้กล้องโทรทรรศน์บนโลกไม่อาจเห็นวัตถุในอวกาศได้ชัดเจน นอกจากนี้ชั้นบรรยากาศยังบดบังแสงจากวัตถุท้องฟ้าทำให้ปรากฏมิติลดลงจนเห็นได้ยาก ดังนั้นดาวเทียมซึ่งขึ้นไปอยู่เหนือชั้นบรรยากาศ จึงสามารถเห็นภาพได้ชัดเจนขึ้นและส่งภาพนั้นลงมาให้เราดูได้

#### 2.2.4.8 ดาวเทียมทหาร

ดาวเทียมทั่วไปอาจใช้ประโยชน์ในทางทหารได้ด้วย เช่น ดาวเทียมสื่อสาร อาจใช้ในการติดต่อระหว่างกองทัพกับฐานทัพและใช้ในการรับสัญญาณจากสายลับหรือจากอุปกรณ์สอดแนมอัตโนมัติที่ตั้งทิ้งไว้ในแดนข้าศึก สัญญาณจากสายลับและอุปกรณ์เหล่านี้จะต้องเข้ารหัส ซึ่งผู้รับสัญญาณจะถอดรหัสได้ก็ต่อเมื่อมีเครื่องรับชนิดพิเศษที่ทำไว้เพื่อการนี้โดยเฉพาะเท่านั้น นอกจากนี้ทางการทหารยังอาจใช้ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาธรรมชาติในการบอกสภาพอากาศที่เหมาะสมสำหรับปฏิบัติการ เช่น เสนาธิการจะต้องทราบข้อมูลจากดาวเทียมว่าพื้นที่ไหนจะแจ่มใสปราศจากเมฆ เพื่อจะได้ส่งดาวเทียมจารกรรมให้ไปทำการถ่ายภาพ ณ ที่นั้น ดาวเทียมทหารล้วนๆ มักจะเป็นความลับของทุกประเทศและบางทีดาวเทียมพลเรือนก็อาจมีการติดตั้งอุปกรณ์พิเศษเสริมเข้าไปเพื่อใช้งานทางทหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.2.4.9 ดาวเทียมถ่ายภาพจารกรรม

ดาวเทียมสามารถสืบความลับของข้าศึกได้โดยไม่เป็นอันตราย ดาวเทียมบางดวงจะถ่ายภาพด้วยกล้องโทรทัศน์ แล้วส่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าลงมา แต่ดาวเทียมบางดวงใช้ฟิล์มในการถ่ายภาพ เพราะจะได้ภาพที่มีรายละเอียดมากกว่า เสร็จแล้วดาวเทียมจะทิ้งฟิล์มลงมาในกล่องกันความร้อน เส้นทางเข้าสู่บรรยากาศของกล่องจะมีการคำนวณไว้อย่างละเอียด จนสามารถส่งเครื่องบินขึ้นไปดักเก็บลงมาได้ ดาวเทียมจารกรรมบางดวงก็อาจติดตั้งเครื่องรับรังสีได้แดง ซึ่งจะถ่ายภาพและส่งภาพลงมาเป็นสัญญาณดิจิตอล ดาวเทียมจารกรรมที่มีชื่อว่า ดาวเทียมบิกเบิร์ด มีกล้องถ่ายภาพที่ทรงอำนาจมาก ขนาดสามารถเห็นคนบนพื้นดินได้จากความสูงถึง 161 กิโลเมตร ฟิล์มถ่ายภาพของดาวเทียมนี้จะถูกทิ้งลงมาในกล่องดักที่กล่าวแล้ว

#### 2.2.4.10 ดาวเทียมจารกรรมที่ใช้เรดาร์

ดาวเทียมเรดาร์สามารถติดตามเป้าที่เคลื่อนที่อยู่เสมอได้ เช่น เรือรบ ดาวเทียมเรดาร์บางชนิดจะต้องใช้เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้แก่ระบบเรดาร์ หลังจากเลิกใช้งานแล้ว ดาวเทียมประเภทนี้จะต้องไม่ให้ตกเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ เพราะจะเกิดรังสีที่เป็นอันตรายมาก ดังนั้นจะต้องมีจรวดภายในตัว ยิงให้ดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรที่สูงขึ้น ซึ่งดาวเทียมจะโคจรอยู่ได้อีกหลายร้อยปี ดาวเทียมจารกรรมอีกแบบหนึ่งจะติดตั้งเครื่องรับวิทยุ เพื่อดักฟังสัญญาณวิทยุและเรดาร์จากข้าศึก ดาวเทียมประเภทนี้มีชื่อว่า เพอร์เทซ ซึ่งแปลว่านักสืบ

#### 2.2.4.11 อาวุธเลเซอร์

ดาวเทียมเป็น “เพชรฆาต” ในการทำลายอุปกรณ์ของข้าศึก โดยวิธีการต่างๆ เช่น ดาวเทียมอาจพุ่งเข้าไปใกล้เป้าหมาย แล้วระเบิดตัวเองพร้อมทั้งเป้าหรือดาวเทียมอาจใช้ลำแสงเลเซอร์ทำลายดาวเทียมอื่นหรือขีปนาวุธของข้าศึก ลำแสงเลเซอร์ที่วุ่นนี้คือ ลำแสงที่มีพลังงานเข้มข้นมาก นอกจากนี้เรายังอาจทำลายดาวเทียมข้าศึกได้โดยยิงขีปนาวุธจากเครื่องบิน ซึ่งเป็นขีปนาวุธที่สามารถแสวงหาแหล่งความร้อนในตัวดาวเทียมได้ ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์กำลังทำการทดลองเพื่อสร้าง “ดาวเทียมมืด” ที่ไม่แผ่แสงสว่างหรือความร้อนให้ข้าศึกจับได้เลย

#### 2.2.4.12 ระบบเตือนภัย

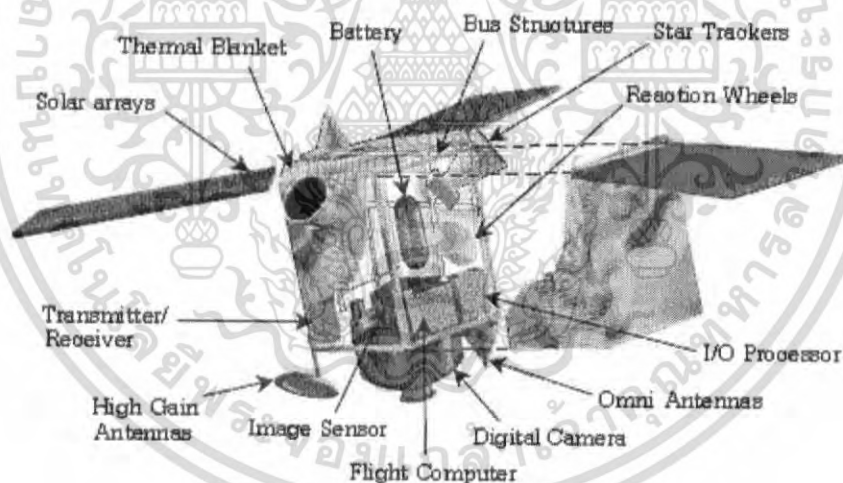
ดาวเทียมบางดวงทำหน้าที่เตือนภัยล่วงหน้าของอาวุธนิวเคลียร์ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับรังสีความร้อนที่สามารถจับไอร้อนของขีปนาวุธนิวเคลียร์ได้ ขณะเดียวกันดาวเทียมก็อาจถ่ายภาพของขีปนาวุธได้ด้วย เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดของระบบตรวจจับความร้อน ดาวเทียมชนิดนี้สามารถตรวจจับขีปนาวุธได้เกือบจะทันทีที่ขีปนาวุธเริ่มจุดติด นอกจากใช้ดาวเทียมเตือนภัยต่างหากแล้ว ระบบเตือนภัยทั้งระบบยังอาจติดตั้งไปกับดาวเทียมทางทหารดวงอื่นหรือดาวเทียมพลเรือนธรรมดาาก็ได้

### 2.2.4.13 ดาวเทียมไทยคม ดาวเทียมไทยคม 1A และดาวเทียมไทยคม 2

ดาวเทียมไทยคม 1A และดาวเทียมไทยคม 2 เป็นดาวเทียมรุ่นแรกของโครงการดาวเทียมไทยคม ดาวเทียมทั้ง 2 ดวงเป็นดาวเทียมรุ่น HS-376 ผลิตโดย บริษัท ฮิวจ์ แอร์คราฟท์ ประเทศสหรัฐอเมริกาหรือบริษัทโบอิงในปัจจุบัน พื้นที่การให้บริการย่านความถี่ C-Band ของดาวเทียมไทยคม 1A และดาวเทียมไทยคม 2 ครอบคลุมประเทศไทย ลาว กัมพูชา เมียนมาร์ เวียดนาม มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ เกาหลี ญี่ปุ่น และชายฝั่งตะวันออกของประเทศจีน โดยมีความแรงของสัญญาณด้านขาลง (Down Link) ณ ประเทศไทย 36 dBW (เดซิเบลวัตต์) ส่วนพื้นที่การให้บริการในย่านความถี่ Ku-Band ของดาวเทียมไทยคม 1A และดาวเทียมไทยคม 2 ครอบคลุมประเทศไทยและประเทศในแถบอินโดจีน โดยมีความแรงของสัญญาณด้านขาลง (Down Link) 50 dBW (เดซิเบลวัตต์)

### 2.2.5 การสร้างดาวเทียม

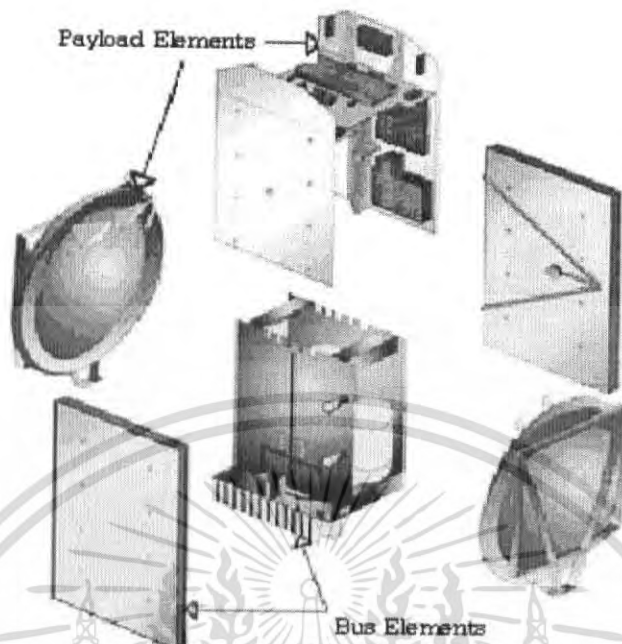
การสร้างดาวเทียมนั้นไม่ใช่เรื่องง่าย แต่เป็นการรวมเอาศาสตร์ความรู้ทางวิศวกรรม และทางฟิสิกส์เข้าด้วยกัน การสร้างดาวเทียมนั้นต้องการให้ดาวเทียมมีอายุการใช้งานตั้งแต่ 1-15 ปี หรือ มากกว่านั้นขึ้นไป ขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งาน และงบประมาณที่มีอยู่ โดยทั่วไปแล้วดาวเทียมจะมีองค์ประกอบตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบโดยทั่วไปของดาวเทียม

แต่อย่างไรก็ตามในการที่จะสร้างดาวเทียมดวงหนึ่งขึ้นมา นั้น บริษัทผู้สร้างดาวเทียมจะต้องใช้บุคลากรผู้ที่มีความชำนาญ และเชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสาขาต่างๆ วิศวกรรมเครื่องกลสาขาต่างๆ และผู้เชี่ยวชาญทางการทดสอบและควบคุมมาตรฐานต่างๆ ทางด้านวิศวกรรม ในองค์ประกอบหลักของดาวเทียมเราจะเรียกว่า Bus Elements ส่วนองค์ประกอบย่อยๆ ที่ขึ้นอยู่กับการสร้างตามการใช้งานของดาวเทียมเราจะเรียกว่า Payload Elements

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ส่วน Bus Elements และ Payload Elements ของดาวเทียมโดยทั่วไป

## 2.2.6 ขั้นตอนในการสร้างดาวเทียม

### 2.2.6.1 Mission (มิสชั่น)

มิสชั่น คือ การกำหนดประเภทการทำงานของดาวเทียม ผู้สร้างดาวเทียมจะต้องทำความเข้าใจอย่างถูกต้องว่า ดาวเทียมที่จะสร้างนั้นจะสร้างมาเพื่อการใช้งานในด้านใด ผู้ใช้ต้องการให้ดาวเทียมทำงานอะไรบ้าง อายุการใช้งานกี่ปี โดยทั่วไปแล้วประเภทการทำงานของดาวเทียม สามารถกำหนดเป็นกรอบกว้างๆ ได้ 5 ประเภท คือ

1. Imaging (อิมเมจจิงค์) คือ ดาวเทียมที่ใช้ในการถ่ายภาพแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการถ่ายภาพจริงจากกล้องที่มีการขยายในอัตราที่สูง การถ่ายภาพโดยการอาศัยเทคนิคของการสะท้อนกลับของสัญญาณย่านความถี่ที่แตกต่าง เป็นต้น
2. Science (ไซน์แอนด์) คือ ดาวเทียมที่ใช้ในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ เช่น การสำรวจภาวะโลกร้อน การละลายของน้ำแข็งของขั้วโลก เป็นต้น
3. Technology (เทคโนโลยี) คือ ดาวเทียมที่ใช้ในการทดลองทางด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่ อย่างเช่น ดาวเทียมที่มีขนาดเล็ก สร้างได้ง่าย ราคาถูก สามารถที่จะใช้เพื่อการวัดการรบกวนสัญญาณย่านความถี่ Ka Band จากฝนได้
4. LEO (Low Earth Orbit) คือ ดาวเทียมที่ใช้ทำงานในด้านการสื่อสารเพื่องานต่างๆ แต่เป็นวงโคจรระดับต่ำ งบประมาณในการสร้างไม่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. GEO (Geostationary Earth Orbit) คือ ดาวเทียมที่ใช้งานในการสื่อสารเพื่องานต่างๆ มีวงโคจรค้างฟ้า หรือ วงโคจรแบบคงที่ มีอายุการใช้งานนาน แต่งบประมาณในการสร้างก็ย่อมสูง

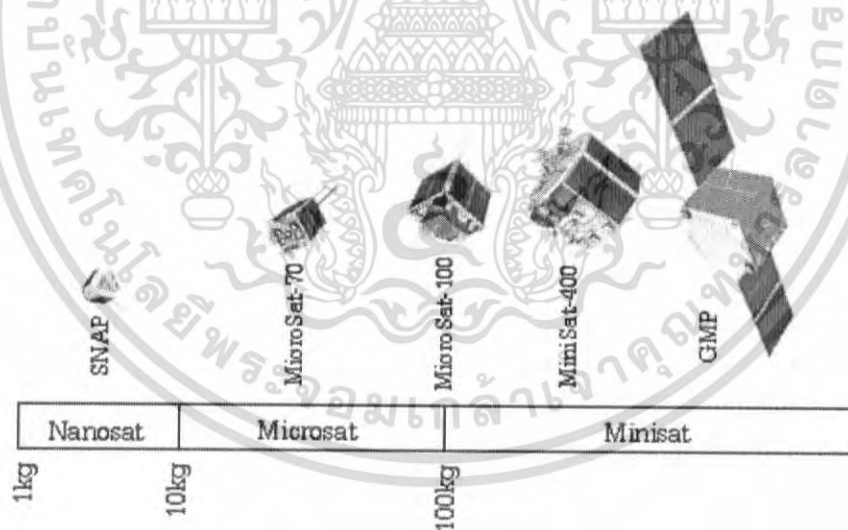
#### 2.2.6.2 Platform (แพลตฟอร์ม)

แพลตฟอร์ม คือ ลักษณะรูปร่างเฉพาะของดาวเทียม ที่แต่ละบริษัทออกแบบ และจดลิขสิทธิ์ของดาวเทียม บางบริษัทจะแบ่งตามขนาดและน้ำหนักของดาวเทียม ถ้าแบ่งตามบริษัท Surrey Satellite Technology จะแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. Nano Satellite (Nanosat)
2. Micro Satellite (Microsat)
3. Mini Satellite (Minisat)

ถ้าแบ่ง Platform ตามบริษัท Orbital จะแบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ

1. PicoStar
2. MicroStar
3. MiniStar
4. MidStar



รูปที่ 2.3 Platform ของดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

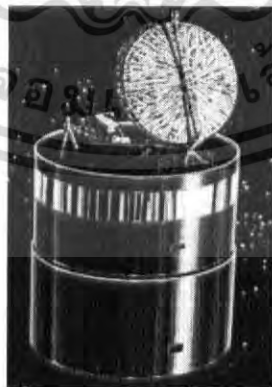
ในการออกแบบ Platform ของดาวเทียม แต่ละบริษัท หรือ องค์กรที่ผลิตดาวเทียม จะออกแบบมาไม่เหมือนกัน ชื่อเรียกแต่ละ Platform ก็แตกต่างกันไป ไม่มีอะไรที่ตายตัวและแน่นอน เหตุเพราะเทคโนโลยีในการออกแบบมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ตลอดจนความต้องการในการใช้งานของดาวเทียมก็แตกต่างกันไป แต่เพื่ออำนวยความสะดวกของผู้อ่าน ผู้แต่งขอสรุปว่า ถ้าเราแบ่งตามขนาดของดาวเทียมแล้วจะแบ่ง Platform ได้ 3 ประเภท คือ

1. Small Platform
2. Medium Platform
3. Large Platform

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากขั้นตอนหนึ่งเพราะเป็นขั้นตอนที่ วิศวกรจะสร้างส่วนระบบการทำงานต่างๆ ของดาวเทียม หรือที่เราเรียกว่า Subsystem (ซัพซิสเต็ม) ส่วนระบบการทำงานของดาวเทียมมีดังนี้ คือ

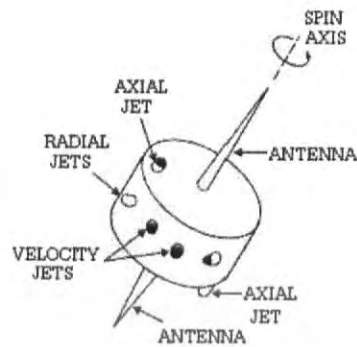
1. Attitude Determination and Control Subsystem (ADCS) (แอตติจูด ดีเทอร์มีเนน แอนคอนโทรล ซัพซิสเต็ม) ส่วนการควบคุมต่างๆ ที่จะสนับสนุนและบังคับหรือทำให้ดาวเทียมอยู่ในตำแหน่งส่วนสูงของดาวเทียมได้ตามที่ต้องการ มีอยู่ 2 แนวทางที่จะทำให้ดาวเทียมอยู่ในตำแหน่งที่สามารถควบคุมบนอวกาศได้ คือ

- 1.1 การทำให้ดาวเทียมหมุนรอบตัวเอง 30 ถึง 100 rpm (Revolutions Per Minute) รอบต่อนาที และรักษาการหมุนให้อยู่ในทิศทางเดียวกัน จะต้องออกแบบให้ดาวเทียมอยู่ในลักษณะซึ่งเรียกว่า Spinners (สปินเนอร์) โครงสร้างภายในของดาวเทียมที่ใช้หลักการของสปินเนอร์ จะมีการใช้แรงของมอเตอร์ และแรงจากท่อไอพ่นเล็กๆ ที่ใช้เป็นตัวช่วยในการหมุน โดยจะอาศัยแกนกลางของสายอากาศเป็นตัวช่วยในการทรงตัว และเกิดแรงที่ใช้ในการหมุน ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างดังรูปที่ 2.4



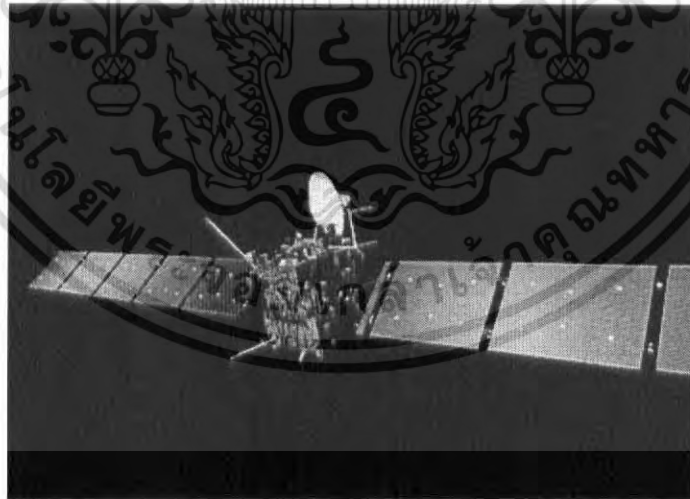
รูปที่ 2.4 ดาวเทียมที่ออกแบบในลักษณะสปินเนอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



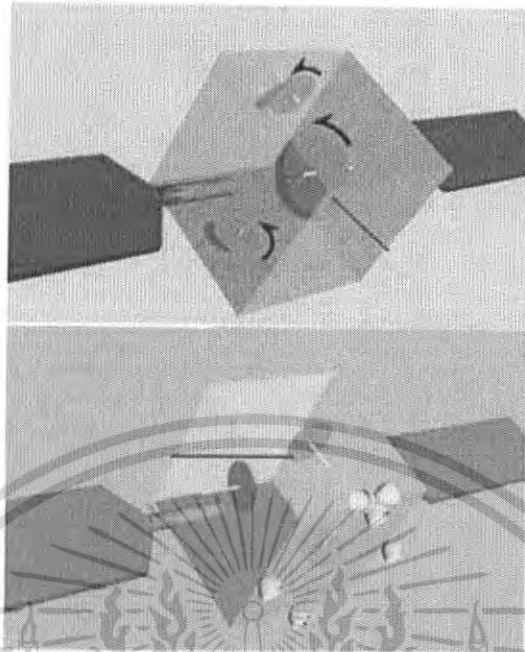
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของดาวเทียมแบบสปีนเนอร์

1.2 การใช้ระบบการหมุนแบบสามแกนสมดุล โดยการให้หลักการของระบบโมเมนต์สามแกน ซึ่งจะทำให้การหมุนมอเตอร์ไปที่แกนใดแกนหนึ่งหรือ หมุนพร้อมๆ กันเพื่อทำให้เกิดความสมดุลให้มากที่สุด ซึ่งจะเรียกว่า Three Axis Stabilization (ทรีแอกซิส สเตโลเซชั่น) โครงสร้างของดาวเทียมที่ออกแบบในลักษณะทรีแอกซิส สเตโลเซชั่น จะมีการระบุตำแหน่งของแต่ละแกนโดยอ้างอิงกับระบบจุดโคออร์เนทของวงโคจรรอบโลก รูปแบบการควบคุมของดาวเทียมที่ออกแบบในลักษณะ ทรีแอกซิส สเตโลเซชั่น จะแสดงรายละเอียดตามรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ดาวเทียมที่ออกแบบในลักษณะทรีแอกซิส สเตโลเซชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



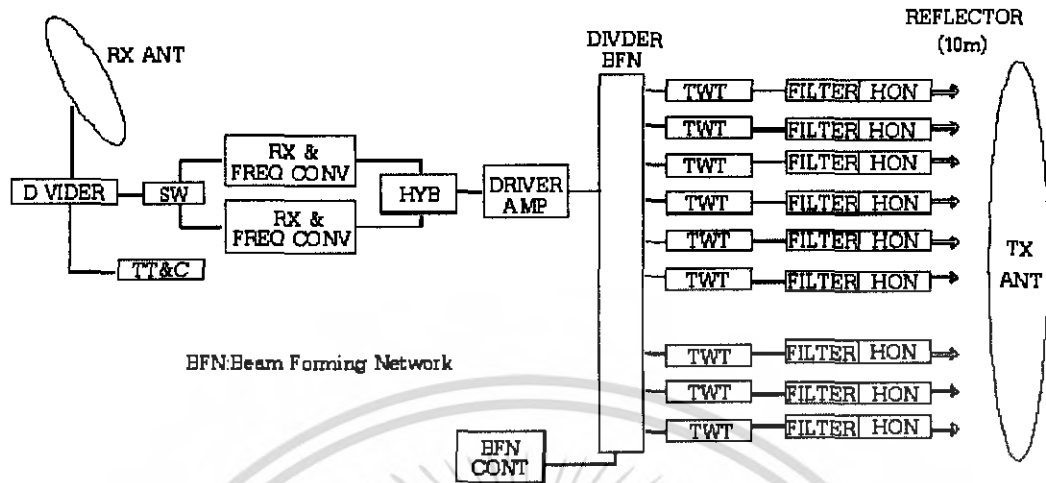
**รูปที่ 2.7** การควบคุมของดาวเทียมที่ออกแบบในลักษณะทรีแอกซิส สเตโลเซชั่น

2. On-Board Computing and Data Processing Subsystem (OBPS) (ออนบอร์ด คอมพิวเตอร์ ห้าง แอน เดต้าโปรเซสซิง ซัพซิสเต็ม) ส่วนการประมวลผลข้อมูลของดาวเทียม ระบบการสั่งงานในส่วนต่างๆ ของดาวเทียมซึ่งจะมี 4 ขั้นตอน

1. สัญญาการยินยอมให้มีการใช้งานระบบการสั่งการจะถูกส่งไปยังดาวเทียม
2. สัญญาคำสั่งการสั่งงานของดาวเทียมจะถูกส่งและเก็บที่ดาวเทียม
3. ดาวเทียมจะส่งสัญญาณการตรวจสอบสัญญาณคำสั่งการสั่งงานที่ได้รับเรียบร้อยแล้วไปยังสถานีภาคพื้นดิน
4. ดาวเทียมทำการแปลงสัญญาณคำสั่ง และทำงานตามคำสั่งที่ได้

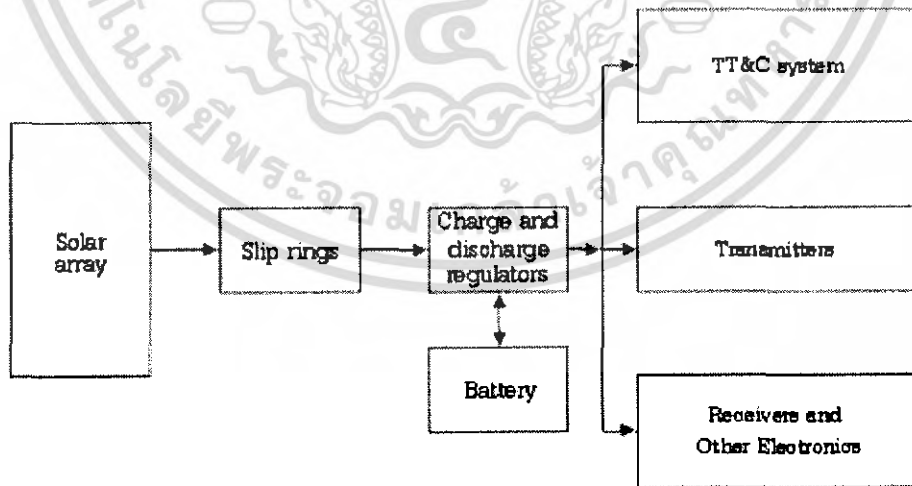
3. Communications Uplinks and Downlinks Subsystem (CUDS) (คอมมูนิเคชั่น อัปลิงก์ แอน ดาวท์ลิงก์) ส่วนการสื่อสารด้านรับ (ความถี่ขาขึ้น) และส่ง (ความถี่ขาลง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ระบบการสื่อสารของดาวเทียม

4. Power Generation, Storage, Conditioning and Distribution Subsystem (PSDS) (เพาเวอร์ เจนเนอเรชั่น, สตอเรจ, คอนดิชันนิ่ง, แอน ดิสทริบิวชัน ซัพพลาย) ส่วนแหล่งกำเนิดกำลังงาน เก็บข้อมูล การจ่ายกำลังงาน จะเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของดาวเทียมและเป็นระบบที่ให้กำลังงานแก่ดาวเทียม โดยจะทำหน้าที่ ผลิต และป้อนพลังงานไปให้วงจรหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่กระจายอยู่บนตัวของดาวเทียม องค์ประกอบใหญ่ๆ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.9

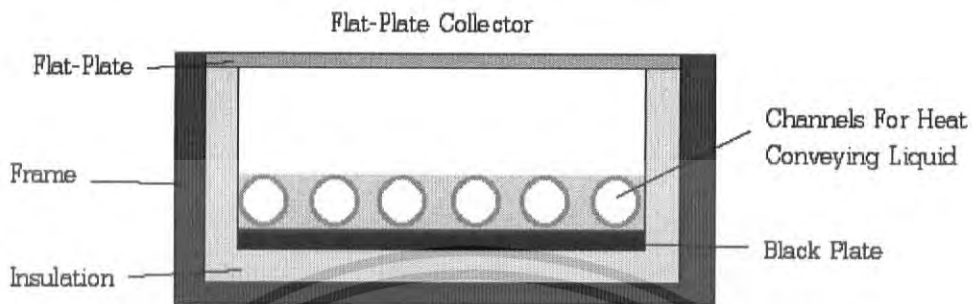


รูปที่ 2.9 แผนผังการทำงานของระบบพลังงานของดาวเทียม

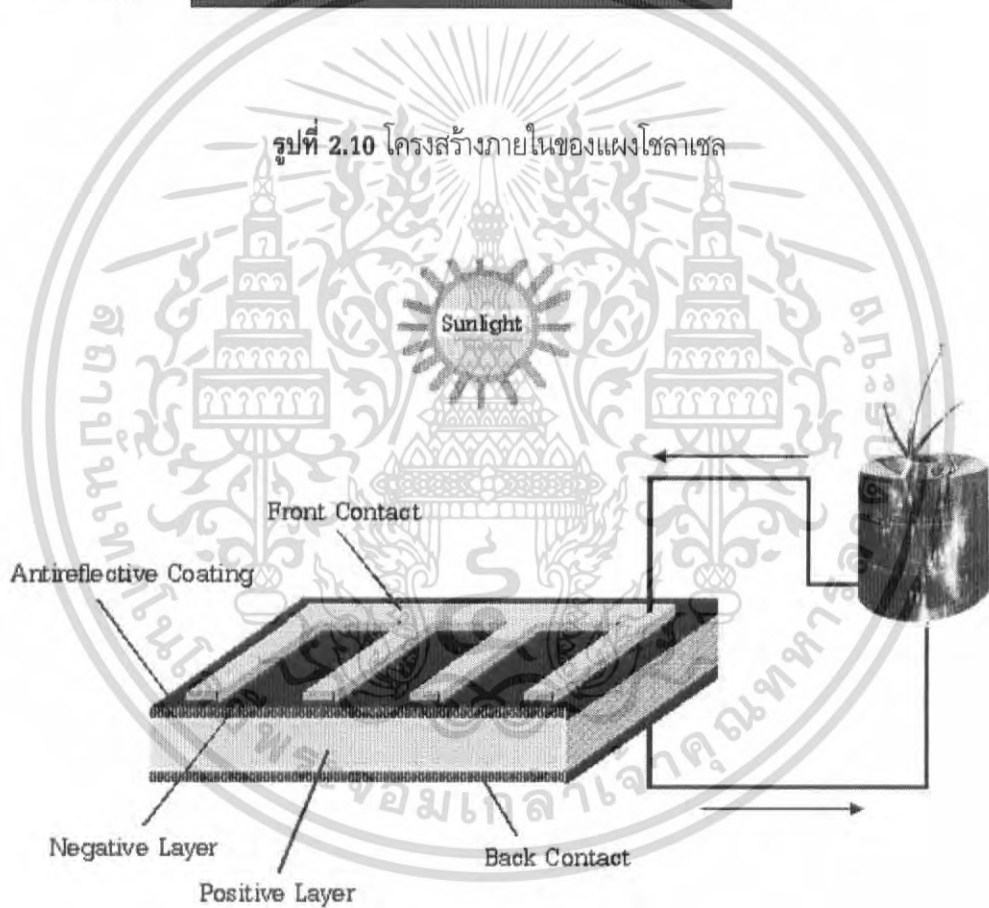
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวเทียมจะมีพลังงานที่ได้ 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์หรือแผงโซลาร์เซลล์



รูปที่ 2.10 โครงสร้างภายในของแผงโซลาร์เซลล์



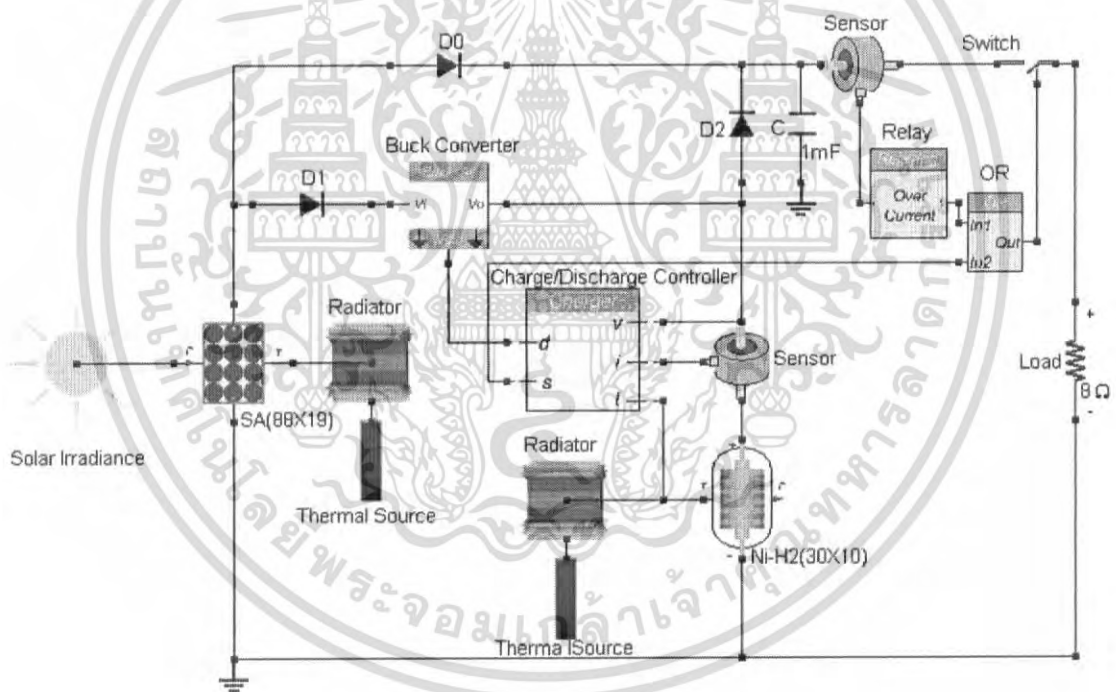
รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์เมื่อต่อกับดาวเทียม

75196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



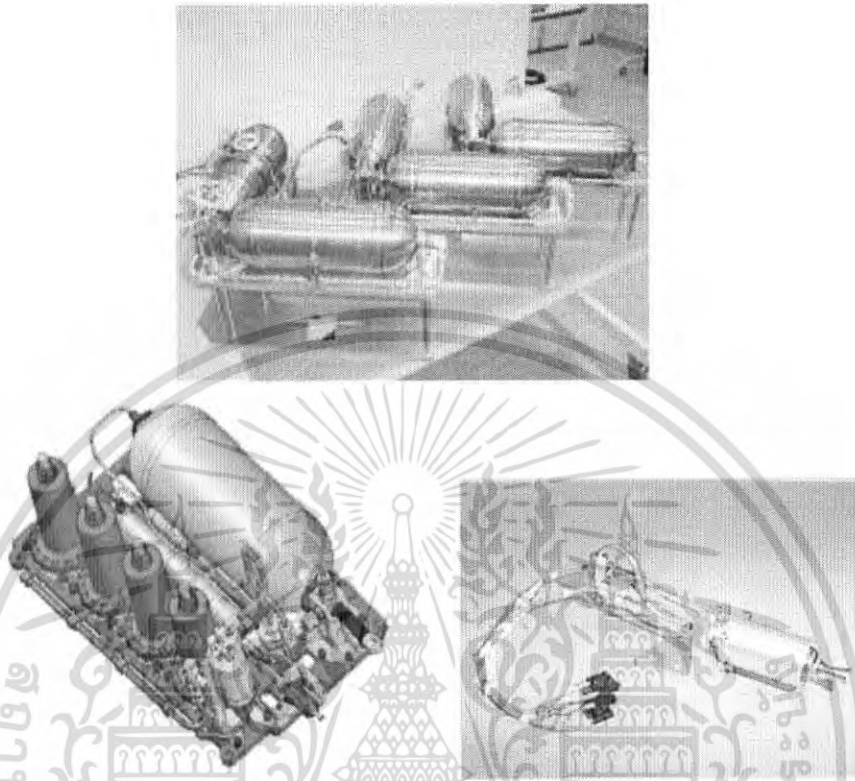
รูปที่ 2.14 Nickel Hydrogen (Ni-H2)



รูปที่ 2.15 วงจรระบบพลังงานของดาวเทียม

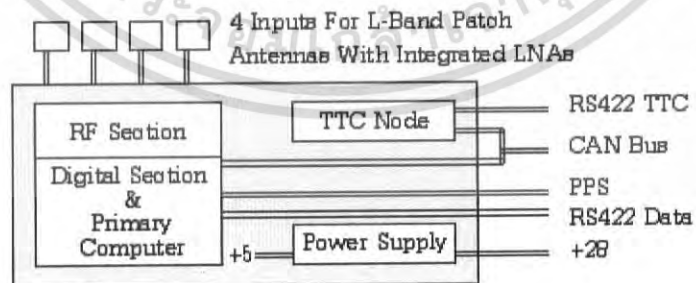
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Propulsion Subsystem (PS) (โพรพัลชัน ซัพซิสเต็ม) ส่วนการขับเคลื่อนของดาวเทียม



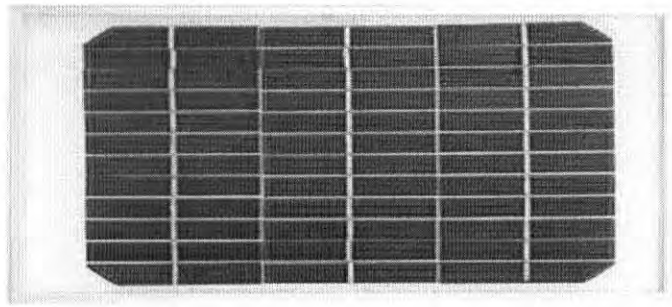
รูปที่ 2.16 ส่วนการขับเคลื่อนของดาวเทียม

6. Position, Velocity and Time Subsystem (PVTs) (สเปซคราฟ โพรซิชั่น เวลโลซิตี แอนทามส์ ซัพซิสเต็ม) ส่วนการแสดงตำแหน่งความเร็วและเวลาของดาวเทียม



รูปที่ 2.17 ส่วนการแสดงตำแหน่งความเร็วและเวลาของดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างของแผงโซลาร์เซลล์

2. พลังงานที่ได้จากแบตเตอรี่ของดาวเทียม แบตเตอรี่ของดาวเทียม มีการใช้งานส่วนใหญ่  
อยู่ 2 ประเภทคือ

2.1 แบบ Nickel Cadmium (Ni-Cd) ใช้กับดาวเทียมที่ต้องการกำลังงานต่ำ  
และมีขนาดเบา



รูปที่ 2.13 Nickel Cadmium (Ni-Cd)

2.2 Nickel Hydrogen (Ni-H<sub>2</sub>) ใช้กับดาวเทียมที่ต้องการกำลังงานสูง และอายุ  
การใช้งานนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.6.3 Engineering Laboratory (เอ็นจีเนียลิ่ง แล็บอราทอรี)

บริษัทที่สร้างดาวเทียมจะมีโรงงานที่มีห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมในสร้างดาวเทียม ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนด้วยกันคือ

#### 1. Electrical Engineering Laboratories

1.1 Avionics Laboratory ห้องปฏิบัติการทางด้านระบบการบินในส่วนนี้จะดูแลเรื่องการสร้าง

1.1.1 On-board Data Systems, Computers, Interfaces, และ communications ส่วนของการข้อมูลติดต่อสื่อสารของดาวเทียม

1.1.2 On-board payload data processing systems ส่วนของการประมวลผลของเพย์โหลด

1.1.3 Navigation and guidance systems ส่วนของการนำวิถีของดาวเทียม

1.1.4 Attitude control systems and sensors ส่วนของการควบคุมระดับความสูงของดาวเทียม

1.1.5 Microelectronics ส่วนของวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์

1.2 Software and Simulation Laboratory ห้องปฏิบัติการในการจำลองทุกระบบในการสร้างดาวเทียมโดยการใช้โปรแกรมในการออกแบบดาวเทียม

1.3 Electromagnetics and Space Environment Computing Facility ห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับการแพร่กระจายพลังงานทางไฟฟ้าและทางแม่เหล็ก การเปลี่ยนแปลงชั้นบรรยากาศของโลกและชั้นบรรยากาศ

1.4 Compact Antenna Test Range ห้องปฏิบัติการในการสร้างและทดสอบเสาอากาศของดาวเทียม

1.5 Compact Payload Test Range ห้องปฏิบัติการในการประกอบส่วนของเพย์โหลด

1.6 Telecom and Navigation Systems Laboratory ห้องปฏิบัติการการสร้างวงจรการสื่อสาร และระบบนำทางของดาวเทียม

1.7 Power Laboratory ห้องปฏิบัติการทางด้านแหล่งจ่ายกำลัง

1.8 Space Battery Test Laboratory ห้องปฏิบัติการทางด้านสร้างและทดสอบแบตเตอรี่

#### 2. Mechanical Engineering Laboratories

2.1 Mechanical Systems Laboratory ห้องปฏิบัติการในการสร้างโครงของดาวเทียม

2.2 Thermal and ECLS Computing Facility ห้องปฏิบัติการในการคำนวณระบบถ่ายเทความร้อนของดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Structure and Mechanisms Analysis Facility ห้องปฏิบัติการในการสร้างแพลตฟอร์มของดาวเทียม

2.4 Automation and Robotics Laboratory ห้องปฏิบัติการในการควบคุมระบบกลไกของดาวเทียม

2.5 Opto-electronics and Optics Laboratory ห้องปฏิบัติการในการสร้างอุปกรณ์ทางแสงที่ใช้กับดาวเทียม

2.6 Electric Propulsion Laboratory ห้องปฏิบัติการในการขับเคลื่อนของดาวเทียม

2.7 Aerothermodynamics Computing Facility ห้องปฏิบัติการในการทดสอบการคงสภาพของดาวเทียมในชั้นบรรยากาศและอวกาศ

2.8 Testing Support Facility ห้องปฏิบัติการในการทดสอบส่วนสนับสนุนต่างๆ เช่น สายไฟ ข้อต่อของสายสัญญาณ วัสดุที่ใช้ในการสร้างดาวเทียม

2.9 Microgravity Laboratory ห้องปฏิบัติการในการสร้างและทดสอบแรงโน้มถ่วงของดาวเทียมเมื่ออยู่ชั้นบรรยากาศและอวกาศ

### 3. Product Assurance & Safety Laboratories

3.1 Components Laboratory ห้องปฏิบัติการในการทดสอบส่วนประกอบทั้งหมดของดาวเทียม

3.2 Materials and Processes Laboratories ห้องปฏิบัติการในการทดสอบวัสดุทั้งหมดที่ใช้สร้างดาวเทียม ระบบการควบคุมทั้งหมดของดาวเทียม



รูปที่ 2.18 การทดสอบการแพร่กระจายคลื่น และการรับส่งสัญญาณของดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากองค์ประกอบทั้งหมดซึ่งในแต่ละห้องปฏิบัติการสร้างดาวเทียม ส่วนใหญ่แล้วจะถูกสร้างให้อยู่ในโรงงานสร้างดาวเทียมเดียวกันเพื่อง่ายต่อการเคลื่อนย้าย ทดสอบ แก้ไข ปรับปรุง ดาวเทียม และเพื่อป้องกันความผิดพลาดหรือความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวดาวเทียม นอกเหนือจากนั้นความสะอาดของห้องปฏิบัติการสร้างดาวเทียมต่างๆ ก็เป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง จะเป็นตัวอย่างในการวางแผนห้องปฏิบัติการสร้างดาวเทียมในส่วนต่างๆ

## 2.2.7 การใช้ประโยชน์จากกิจการดาวเทียมเบื้องต้น

ปัจจุบันมีดาวเทียมจำนวนมากถูกส่งขึ้นสู่อวกาศ โดยมีวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกันเราสามารถแบ่งตามประเภทการใช้งานได้ดังนี้

### 2.2.7.1 ดาวเทียมสื่อสาร (Communication Satellite)

ดาวเทียมในยุคแรกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ในการสื่อสาร เช่น วงจรโทรศัพท์ทางไกลระหว่างประเทศและการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ข้ามทวีป เป็นต้น ดาวเทียมประเภทนี้มักมีวงโคจรแบบค้างฟ้า ทำให้สะดวกและสามารถใช้งานได้ตลอดเวลา เพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารได้รอบโลกจะต้องใช้ดาวเทียมทั้งสิ้น 3 ดวง คือ

1. ดาวเทียมเหนือมหาสมุทรอินเดีย เพื่อติดต่อระหว่างทวีปยุโรปและทวีปเอเชีย
2. ดาวเทียมเหนือมหาสมุทรแปซิฟิก เพื่อติดต่อระหว่างทวีปเอเชียและทวีปอเมริกา
3. ดาวเทียมเหนือมหาสมุทรแอตแลนติก เพื่อติดต่อระหว่างทวีปอเมริกาและทวีปยุโรป

โดยมีองค์การอินเทลแซท (Intelsat - International Telecommunication Satellite Consortium) ซึ่งจัดตั้งในปี พ.ศ. 2507 เป็นผู้ให้บริการโดยได้จัดสร้างดาวเทียมอินเทลแซทและมีการสร้างดาวเทียมใหม่ทดแทนเมื่อดวงเก่าหมดอายุการใช้งาน ปัจจุบัน คือ ดาวเทียมอินเทลแซท 8 สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินในระยะแรกจะต้องใช้จานสายอากาศขนาดใหญ่และอุปกรณ์ราคาแพงจำนวนมาก สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินแห่งแรกของประเทศไทยอยู่ที่ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ซึ่งยังคงใช้งานมาจนถึงปัจจุบันนี้ เพื่อให้บริการโทรศัพท์ระหว่างประเทศ ปัจจุบันมีดาวเทียมสื่อสารจำนวนมากที่มีวงโคจรค้างฟ้า เช่น ดาวเทียมไทยคม ดาวเทียมปาลาปา ดาวเทียมเอเชียแซท เป็นต้น ซึ่งดาวเทียมเหล่านี้สามารถส่งสัญญาณโทรทัศน์ไปถึงบ้านผู้ชมได้โดยตรงโดยใช้อุปกรณ์หรือจานสายอากาศขนาดเล็กในการรับสัญญาณโทรทัศน์ โดยอาศัยสถานีดาวเทียมขนาดใหญ่ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ขึ้นไปยังดาวเทียมเพียงสถานีเดียว นอกจากนี้ยังมีดาวเทียมที่ให้บริการสื่อสารประเภทอื่น เช่น บริการโทรศัพท์ในเรือเดินทะเล บริการโทรศัพท์บนเครื่องบินโดยสาร บริการโทรศัพท์ผ่านดาวเทียมสำหรับพื้นที่ห่างไกล บริการอินเทอร์เน็ตผ่านดาวเทียม เป็นต้น

### 2.2.7.2 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Satellite)

ดาวเทียมประเภทนี้จะถ่ายภาพก่อนเมฆ ที่ปกคลุมโลกและวัตถุบนผิวของชั้นบรรยากาศ ติดตามการก่อตัวและเคลื่อนที่ของพายุ ซึ่งนักพยากรณ์อากาศจะนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ เพื่อรายงานสภาพ

อากาศและพยากรณ์อากาศให้ประชาชนทั่วไปได้รับทราบ ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบ่งตามลักษณะการโคจรได้ 2 ประเภทคือ

1. ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาประเภทวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Meteorological Satellite) ได้แก่ ดาวเทียม GOES-W ดาวเทียม GOES-E ดาวเทียม METEOSAT ดาวเทียม GMS-5 ดาวเทียม INSAT ดาวเทียม FY-2 เป็นต้น

2. ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาประเภทวงโคจรวงกลม (Near Polar Orbit Meteorological Satellite) ได้แก่ ดาวเทียม NOAA ดาวเทียม FY-1 ดาวเทียม METEOR-2 เป็นต้นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่มีวงโคจรค้างฟ้าจะถ่ายภาพลักษณะก้อนเมฆและส่งภาพกลับมาเป็นระยะ ซึ่งเมื่อนำภาพเหล่านี้มาทำ Animation จะทำให้เห็นลักษณะและทิศทางการเคลื่อนที่ของพายุได้อย่างชัดเจน ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่มีวงโคจรแบบวงกลม จะเคลื่อนที่ผ่านจุดเดิมบนพื้นโลกวันละ 2 ครั้งๆ ละไม่เกิน 15 นาที โดยจะถ่ายภาพและส่งสัญญาณข้อมูล ณ ช่วงเวลาที่โคจรผ่าน (Real Time) ถ้าดาวเทียมโคจรผ่านเหนือประเทศไทยเราจะได้ภาพถ่ายจากมหาสมุทรอินเดียไปจนถึงอ่าวตังเกี๋ยประเทศเวียดนาม เริ่มต้นจากตอนล่างของประเทศจีนไปจนถึงประเทศสิงคโปร์ ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาจะถ่ายภาพของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนกลับจากผิวโลก โดยจะถ่ายภาพในช่วงคลื่นที่สามารถมองเห็นด้วยตาและคลื่นพลังงานความร้อนในช่วงอินฟราเรดเพื่อใช้ในการตรวจวัดไอน้ำในบรรยากาศ ดาวเทียม NOAA จะส่งสัญญาณภาพแบบ APT ซึ่งเป็นภาพขาวดำ 2 ภาพ คือ ภาพที่มองเห็นด้วยตาและภาพรังสีอินฟราเรด มีขนาดความละเอียดของภาพเท่ากับ 4 กิโลเมตร โดยใช้ความถี่ 137 MHz และจะส่งสัญญาณภาพแบบ HRPT มีขนาดความละเอียดของภาพเท่ากับ 1.1 กิโลเมตร โดยใช้ความถี่ 1,691 MHz และแยกช่องสัญญาณของภาพสำหรับแต่ละช่วงคลื่นของแถบสี การรับสัญญาณแบบ APT สามารถดัดแปลงได้จากเครื่องวิทยุสื่อสารและมีต้นทุนไม่สูงมากในการรับสัญญาณ

### 2.2.7.3 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร (Remote Sensing Satellite)

ดาวเทียมในกลุ่มนี้ใช้สำหรับหาข้อมูลหรือข่าวสารเกี่ยวกับวัตถุ สิ่งของ หรือพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งอยู่ไกลจากเครื่องมือที่ใช้วัด โดยที่เครื่องมือเหล่านั้นไม่ได้สัมผัสกับวัตถุหรือสิ่งของเป้าหมายดังกล่าวเลย ระบบการสำรวจระยะไกล แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. Passive Remote Sensing เป็นระบบบันทึกข้อมูลคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากแหล่งพลังงานภายนอกหรือจากธรรมชาติซึ่งได้แก่ ดวงอาทิตย์

2. Active Remote Sensing เป็นระบบที่ผลิตพลังงานเองแล้วส่งไปยังเป้าหมายและรับพลังงานที่สะท้อนกลับจากเป้าหมายนั้นได้แก่ ระบบเรดาร์ ตัวอย่างดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ได้แก่ ดาวเทียม IKONOS, ดาวเทียม QUICKBIRD, ดาวเทียม RADARSAT-1, ดาวเทียม LANDSAT-5, ดาวเทียม SPOT-5, ดาวเทียม LANDSAT-7, ดาวเทียม IRS-1C เป็นต้น การใช้ประโยชน์จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ได้แก่ การทำแผนที่ การวางแผนด้านการเกษตร สำรวจ ทรัพยากรน้ำ สำรวจการใช้ที่ดิน สำรวจทางธรณีวิทยา สำรวจพื้นที่ป่าไม้ ติดตามไฟไหม้ป่า สำรวจด้านสมุทรศาสตร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.2.7.4 ดาวเทียมกำหนดตำแหน่ง (Global Position System Satellite)

เป็นโครงการของกระทรวงกลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อให้ประโยชน์ทางการทหาร แต่อนุญาตให้พลเรือนสามารถใช้งานได้ด้วยข้อจำกัด เช่น มีความผิดพลาดของตำแหน่งที่วัดได้มากกว่าอุปกรณ์ทางการทหาร และไม่สามารถใช้ในขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมากได้ (เช่น ขีปนาวุธข้ามทวีป) ระบบ GPS หรือ Global Position System ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ

1. ส่วนอวกาศ (Space Segment) ประกอบด้วย ดาวเทียม 24 ดวง แบ่งวงโคจรออกเป็น 6 ระนาบๆ ละ 4 ดวง โคจรสูงจากพื้นโลก 20,200 กิโลเมตร มี Inclination = 55 องศา (มุมเอียงกับเส้นศูนย์สูตร 55 องศา)

2. สถานีควบคุมภาคพื้นดิน (Control Station Segment) ประกอบด้วยสถานีย่อย 5 แห่งกระจายอยู่ทั่วโลกและสถานีควบคุมหลักหนึ่งสถานี ตั้งอยู่เมืองโคโรลาโดสปริง รัฐโคโรลาโด ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อทำหน้าที่ปรับแก้ไขข้อมูลวงโคจรและข้อมูลเวลาของดาวเทียม

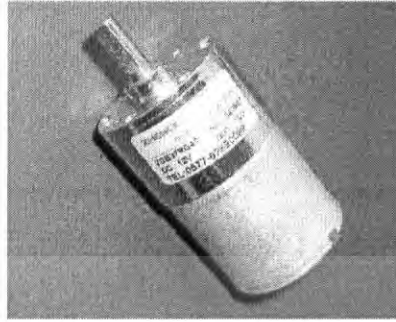
3. ส่วนผู้ใช้ (User Segment) แบ่งออกเป็นเครื่องรับ GPS ทางทหาร และเครื่องรับ GPS สำหรับพลเรือนในการคำนวณหาตำแหน่งที่ถูกต้องนั้นเครื่องรับจะต้องรับสัญญาณได้จากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง พร้อมๆ กัน เครื่องรับ GPS ที่มีขายในท้องตลาดสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้พร้อมกันถึง 12 ดวง ซึ่งจะสามารถบอกตำแหน่งได้ โดยมีความผิดพลาดไม่เกิน 6 เมตร ในแนวราบ ปัจจุบัน เครื่องรับ GPS มีราคาถูก (เริ่มต้นที่ 3,000 บาท) และมีขนาดเล็ก (เท่ากับเมาส์ของเครื่องคอมพิวเตอร์) ทำให้ เครื่องรับ GPS ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ช่วยนำทางในการเดินป่า ช่วยนำทางในการขับรถยนต์ ช่วยนำร่องอากาศยาน ช่วยนำร่องการเดินเรือ ใช้ในการติดตามยานพาหนะ หรือแม้กระทั่งการบอกตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการจัดทำแผนที่โดยละเอียดเพื่อใช้ร่วมกับเครื่องรับ GPS ซึ่งช่วยให้ใช้งานได้กว้างขวางยิ่งขึ้น

#### 2.2.7.5 ดาวเทียมในกิจการวิทยุสมัครเล่น (Radio Amateur Satellite)

ดาวเทียมในกิจการวิทยุสมัครเล่น มีชื่อเรียกว่า OSCAR - Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio โดยส่งดาวเทียมดวงแรกคือ OSCAR I ขึ้นสู่อวกาศเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2504 และปัจจุบันได้ปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศมากกว่า 50 ดวง โดยมีดาวเทียมที่สามารถใช้งานได้ในปัจจุบันประมาณ 10 ดวง ดาวเทียมในกิจการวิทยุสมัครเล่นมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการทดลองในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวกับการติดต่อสื่อสารและการพัฒนาดาวเทียมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยได้นำเสนอแนวคิดที่เป็นประโยชน์อย่างมากมาย เช่น โครงการ Microsat ซึ่งได้จัดสร้างดาวเทียมที่มีขนาดเล็ก คือ 1 ลูกบาศก์ฟุต ซึ่งสามารถส่งขึ้นอวกาศได้โดยใช้จรวดขนาดเล็ก เช่น ขีปนาวุธข้ามทวีปที่เล็กใช้งานแล้วหรือฝากส่งไปกับจรวดขนาดใหญ่ที่สามารถส่งดาวเทียมขนาดเล็กได้หลายดวงพร้อมกันหรือเป็นดาวเทียมที่ฝากส่งร่วมไปกับดาวเทียมอื่นหรือโครงการทดสอบกล้องถ่ายภาพบนดาวเทียมขนาดเล็ก ซึ่งต่อมาได้พัฒนาเป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่มีขนาดเล็ก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

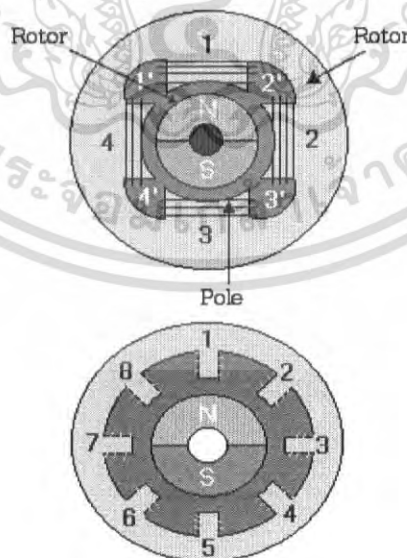
## 2.3 สเต็ปมอเตอร์



รูปที่ 2.19 สเต็ปมอเตอร์

Step Motor เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะการทำงานคือ เมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งต่างจากมอเตอร์ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลา เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า ข้อดีของสเต็ปมอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลข (องศาหรือระยะทาง) ได้อย่างละเอียด โดยใช้คอมพิวเตอรืหรือไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นเครื่องกำหนดและจัดเก็บตัวเลข

โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวน ที่มีซี่ยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้นๆ โดยที่แต่ละชั้นนั้นจะมีคอยล์ (ขดลวด) พันสวมอยู่ เมื่อมีการป้อนกระแสผ่านคอยล์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ซึ่งถ้าเราเพิ่มจำนวนของขั้วแม่เหล็กมากขึ้นจะเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อวงจรรอบมากขึ้นด้วย



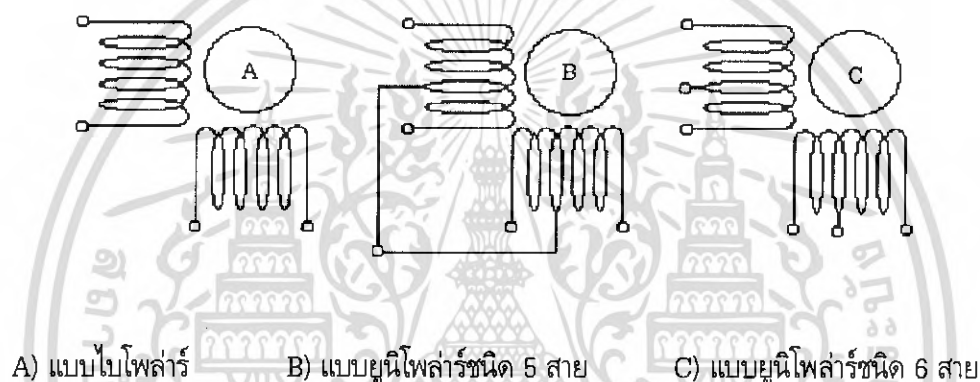
รูปที่ 2.20 โครงสร้างภายในสเต็ปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 ลักษณะการนำไปใช้งาน

สเต็ปมอเตอร์ ใช้งานลักษณะ Open Loop System แปลเป็นภาษาไทย ระบบเปิด คือ สเต็ปมอเตอร์สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการป้อนค่าพารามิเตอร์กลับมา (Feed back) แต่ทุกวิธีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งที่แน่นอน จะต้องการป้อนกลับไปยังระบบและตัวบอกตำแหน่งว่าถูกต้องหรือผิดพลาดให้ทราบ

ดังเช่นวิธีที่ใช้กับสเต็ปมอเตอร์ คือ เมื่อนำลิมิตสวิทช์ติดตามตำแหน่งที่จะตรวจจับ เมื่อสเต็ปมอเตอร์เริ่มหมุน จนถึงตำแหน่งของสวิทช์ตรวจจับสัญญาณ สวิทช์ทำงานก็จะป้อนกลับไปสู่ระบบ ซึ่งก็จะทำให้รู้การทำงานของสเต็ปมอเตอร์ตลอดจนตัววงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เองจะมีจุดอ้างอิงไว้ให้เริ่มต้นการทำงาน และอ้างอิงตำแหน่งได้ถูกต้อง



รูปที่ 2.21 การขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์

โดยแนวทางสเต็ปมอเตอร์เป็นอุปกรณ์จ่ายพลังเชิงกลทางไฟฟ้า โดยมีกรู๊ปของไมนารีโวลต์เททเป็น อินพุตและการเคลื่อนที่ แบบเชิงมุมเป็นเอาท์พุต หรือว่าหมุนที่ละสเต็ปซึ่งอยู่ระหว่าง 0.1 - 30 องศา อยู่ที่ โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์ โดยตามสัญญาณพัลส์ที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ทำให้เกิดแรงผลักแกโรเตอร์หมุนไป สเต็ปมอเตอร์มีขดลวดหลายชุดในที่นี้เราเรียกว่า Phase (เฟส) ดังนั้นสัญญาณที่ต่อเนื่องเป็น Sequence (ซีควีน) ลักษณะของ Binary (ไบนารี) ซึ่งจะต้องไปผ่านวงจร Driver (ไดรเวอร์) ก็จะทำให้โรเตอร์หมุนไปอย่างต่อเนื่อง

### 2.3.2 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์

การพันมีด้วยกัน 2 วิธี คือ แบบ Bipolar (ไบโพลาร์) กับ แบบ Unipolar (ยูนิโพลาร์)

1. แบบ Bipolar จะมีการพันขดลวด 1 ชุด (จำนวนรอบขึ้นอยู่กับใช้งาน) ในแต่ขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ โดยขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ จะถูกกำหนดโดยทิศทางของการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามได้เพียงการกลับทิศทางของการไหลในกระแสไฟฟ้า โดยมาจากการควบคุมของวงจรสวิทช์ซึ่งให้กลับขั้วไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบ Unipolar แบบนี้มี 2 ขดลวด แต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ทำให้แต่ละขดลวดเกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้าม เช่น กันการกลับทิศทางขั้วแม่เหล็กทำได้โดยใช้วงจรสวิทซ์ให้สลับหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งแทนกัน

การพันขดลวดทั้ง 2 แบบคือ แบบยูนิโพลาร์จะทำให้เกิดแรงบิดน้อยกว่าแบบไบโพลาร์การใช้งานสังเกตได้จากสายไฟที่ต่อมาจากตัวสเตปมอเตอร์ซึ่งแบบไบโพลาร์จะมี 4 สาย ส่วนเป็นแบบยูนิโพลาร์จะมี 5 สายหรือ 6 สาย

### 2.3.3 การสั่งงานควบคุมการหมุนของสเตปมอเตอร์

การควบคุมและสั่งงานให้สเตปมอเตอร์ทำงาน ไปทีละสเตปสามารถทำได้โดยการจ่ายกำลังไฟไปยังขดลวด ในแต่ละขดลวดบนสเตเตอร์ โดยการป้อนจะทำในลักษณะเป็นลำดับหรือเรียกว่า ซีควเอนเวียลในรูปที่ถูกต้อง ซึ่งจะแบบ ได้เป็น 3 รูปแบบ คือ แบบเวฟ (Wave) แบบ 2 เฟส (2 Phase) และแบบครึ่งสเตป (Half Step) ทั้ง 3 แบบนี้ก็มีข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไป

#### 2.3.3.1 แบบเวฟ (wave)

จะเป็นการกระตุ้นแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งจะทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งๆ เรียงกันไป ตัวอย่าง เช่น ขดที่ 1 , 2 , 3 , 4 , 1 , 2 , 3 , 4 เป็นลำดับอย่างนี้หรือ ขด 1 , 4 , 3 , 2 , 1 , 4 , 3 , 2 เป็นลำดับกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางที่เราต้องให้มอเตอร์หมุนไป วงจรที่นำมากระตุ้นนั้นจะมีราคาค่อนข้างจะสูงกว่าและง่ายกว่า

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการทำงานแบบเวฟ (Wave)

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON			
2		ON		
3			ON	
4				ON
5	ON			
6		ON		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3.2 แบบ 2 เฟส (2)

แบบนี้ก็จะคล้ายกับการกระตุ้นในแบบเวฟ แต่จะต่างกันตรงที่ แบบ 2 เฟส จะกระตุ้นทีละ 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันใน เวลาเดียวกัน และจะเรียงลำดับกันไป ดังเช่นแบบเดียวกับแบบเวฟ จะยกตัวอย่างการกระตุ้น ขดลวดในลักษณะ ซี่คววนให้ดูดังนี้ 12,23,34,41,12,23,34,41 เรียงลำดับกันไปเรื่อยๆ หรือจะเป็น 14,43,32,21,14,43,32,21 เรียงกันไปเรื่อยๆ เช่นกัน ถ้าจะมากล่าวถึงข้อดีข้อเสียของแบบ 2 เฟส แล้วมีดังนี้

**ข้อดี** การที่เราจะเพิ่มจำนวนขดลวดที่ถูกกระตุ้นจะทำให้แรงบิดได้มากกว่า แบบเวฟ ซึ่งโรเตอร์จะ หมุนด้วยแรง ดึงแม่เหล็ก แรงจาก ทั้ง 2 ขดลวดที่กระตุ้นพร้อมกัน

**ข้อเสีย** แบบ 2 เฟส จะกระตุ้นขดลวดนั้นต้องใช้กำลังไฟมากขึ้นเป็น 2 เท่าของแบบเวฟก็เป็นไปตาม ธรรมชาติได้อย่างก็ต้องเสียอย่าง

ตารางที่ 2.3 ลำดับการกระตุ้นของขดลวดแบบ 2 เฟส

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON	ON		
2		ON	ON	
3			ON	ON
4	ON			ON
5	ON	ON		
6		ON	ON	

### 2.3.3.3 แบบครึ่งสเต็ป

แบบนี้เป็นรูปแบบผสมผสานของการกระตุ้นระหว่าง แบบเวฟ กับ แบบ 2 เฟส เพื่อให้จำนวนรอบ ของสเต็ปให้มากขึ้นเป็น 2 เท่า ซึ่งในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเรื่อยๆ เป็นลำดับดังจะ ยกตัวอย่างต่อไปนี้ 1,12,2,23,3,34,4,41,1,12,2,23,3,34,4,41,1 เป็นลำดับอยู่อย่างนี้เรื่อยๆ ถ้าจะกลับทิศทาง การหมุนก็จะได้เป็นดังนี้ 1,41,4,43,3,32,2,21,1,41,4,43,3,32,2,21,1 เป็นลำดับ กันไป ข้อดีและข้อเสียของ การกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป

**ข้อดี** การกระตุ้นแบบนี้จะให้แรงบิดที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากช่วงสเต็ปที่มีระยะสั้นลงอีกประการหนึ่ง แต่ละ สเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกันเป็นผลให้ค่าตำแหน่งความถูกต้องมากขึ้นไป ด้วย

**ข้อเสีย** ก็คงจะเช่นเดียวกับแบบ 2 เฟส ที่ต้องจ่ายกำลังไฟเป็น 2 เท่าของแบบเวฟหรือจะใช้เท่ากับ แบบ 2 เฟส

## ตารางที่ 2.4 ลำดับการทำงานของสตีปมอเตอร์แบบครึ่งเฟส

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON			
2	ON	ON		
3		ON		
4		ON	ON	
5			ON	
6			ON	ON
7				ON
8	ON			ON
9	ON			
10	ON	ON		

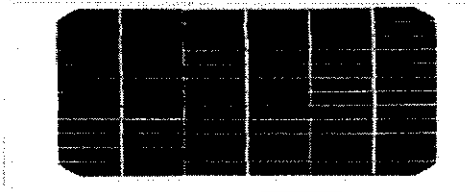
### 2.3.4 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

#### 2.3.4.1 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำได้ 2 วิธี คือ

1. การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของอาร์เมเจอร์ เนื่องจากความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะแปรผันตรงกับแรงดันที่ใส่ให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังนั้นเราจึงสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยการควบคุมแรงดันของอาร์เมเจอร์ วิธีการนี้ใช้ใน ช่วงความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วที่กำหนด (Base Speed) การควบคุมแบบนี้ จะทำให้แรงบิดสูงสุดส่วนกำลังออกของมอเตอร์ จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วเป็นเส้นตรงโดยจะมีกำลังออกสูงสุด การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง โดยทั่วไปจะใช้วิธีนี้เพราะให้แรงบิดสูง

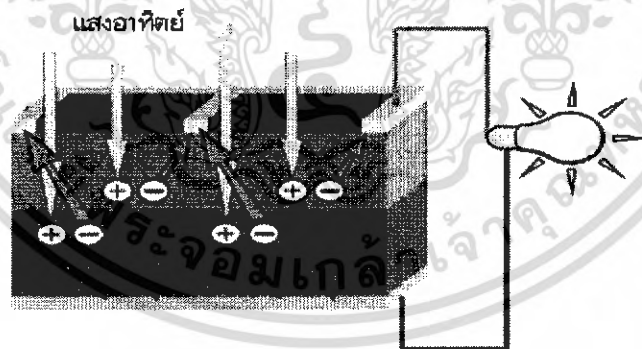
2. การควบคุมความเข้มของสนามแม่เหล็ก การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงในย่านความเร็วที่สูงกว่าความเร็วที่กำหนด จะทำได้โดยการควบคุมกระแสของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ เมื่อต้องการเพิ่มความเร็วจะต้องลดขนาดของกระแสของขดลวดลง การลดความเข้มของสนามแม่เหล็กของมอเตอร์จะมีผลทำให้แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ลดลง ขณะที่กำลังออกสูงสุดของมอเตอร์จะไม่เปลี่ยนแปลง วิธีนี้จะใช้กับโหลดที่ต้องการความเร็วสูงโดยที่แรงบิดของโหลดจะต้องลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ไม่เช่นนั้นจะเป็นการเกินกำลังของมอเตอร์

## 2.4 โซลาร์เซลล์ ( Solar Cell )



รูปที่ 2.22 ลักษณะของแผงโซลาร์เซลล์

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงและไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) นำมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และในทันทีที่มีแสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบ ที่เรียกว่า Proton จะถ่ายเทพลังงานให้กับ Electron ในสารกึ่งตัวนำ จนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของ Atom และสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่อ Electron มีการเคลื่อนที่ครบวงจรก็จะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) ที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใดๆ ขณะใช้งาน



รูปที่ 2.23 แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นพลังงานทดแทนประเภทหนึ่ง ที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ประเทศไทยเนื่องจากสภาพภูมิประเทศและสภาพอากาศในประเทศเรา ซึ่งโดยส่วนมากแล้วจะนิยมนำมาใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอุปกรณ์ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบ่งตามลักษณะการผลิต

### 2.4.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน

แบ่งตามลักษณะของรูปผลึกได้เป็น 3 รูปแบบ คือ แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) แบบผลึกรวม (Polycrystalline) และแบบไม่มีรูปผลึก (Amorphus) ซึ่งบางครั้งอาจเรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell)

1. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกโพลีซิลิกอน (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ประเทศไทยนำเข้าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนมาใช้งานมากที่สุด ข้อดีเด่นคือ ใช้ธาตุซิลิกอนซึ่งมีมากที่สุดในโลกและมีราคาถูกเป็นวัตถุดิบ

2. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในเครื่องคิดเลข ซึ่งมีลักษณะสีม่วงน้ำตาลมีความบางเบาราคาถูก ผลิตให้เป็นพื้นที่เล็กไปจนถึงใหญ่หลายตารางเมตรได้ใช้ธาตุซิลิกอนเช่นกัน แต่เคลือบให้เป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน หรือ 0.0005 มิลลิเมตรเท่านั้น

3. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกแกเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide Solar Cell) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงระดับร้อยละ 25 ขึ้นไป แต่มีราคาแพงมากไม่นิยมนำมาใช้งานบนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมเป็นส่วนมาก

### 2.4.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบ

เช่น สารประกอบแกเลียมอาร์เซไนด์ แคดเมียมเทลลูไรด์ คอปเปอร์อินเดียมไดอาเซไนด์ เป็นต้น ซึ่งมีทั้งแบบผลึกเดี่ยว และผลึกรวม ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพสูง ข้อเสียของเซลล์ชนิดนี้คือ มีราคาแพง บางชนิดทำจากสารที่เป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อม และยังมีปัญหาเรื่องอายุการใช้งานอีกด้วยในปัจจุบันได้มีการวิจัยพัฒนา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้น เช่น การเคลือบวัสดุลดการสะท้อนแสงที่ผิวหน้า การทำพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ขรุขระเพื่อเพิ่มพื้นที่รับแสง และการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบซ้อนกัน (Tandem Solar Cell) ซึ่งมีผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพขึ้นกว่าเดิมอีกร้อยละ 2-5

## 2.4.2 หลักการทำงานและการใช้งานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

1. โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำซึ่งวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลก ได้แก่ ซิลิกอน ซึ่งถลุงได้จาก ควอตไซต์หรือทรายและผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ตลอดจนการทำให้เป็นผลึก

2. เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผ่นอาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว) หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ด้านละ 5 นิ้ว) มีความหนา 200 - 400 ไมครอน (ประมาณ 0.2 - 0.4 มิลลิเมตร) และต้องนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนในเตาอุณหภูมิสูง (ประมาณ 1000 C) เพื่อสร้างรอยต่อ P-N ขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นผิวสัมผัสโลหะเต็มหน้าส่วน ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงจะมีลักษณะเป็นลายเส้นคล้ายกังปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบกับเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและประจุบวก ขึ้นซึ่งได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบและทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า ก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร

4. เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว จะให้กระแสไฟฟ้าในวงจรประมาณ 3 แอมแปร์ และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.5 โวลต์ ถ้าต้องการให้ได้กระแสไฟฟ้ามากๆ ก็ทำได้โดยการนำเซลล์มาต่อขนานกันหรือถ้าต้องการให้ได้แรงดันสูงๆ ก็นำเซลล์มาต่ออนุกรมกันเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขายในท้องตลาดจะถูกรอกแบบให้อยู่ในกรอบอลูมิเนียมเคลือบผิวกันน้ำ ซึ่งเรียกว่าแผงหรือโมดูล

5. เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้นถ้าผู้ต้องการนำไปจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าจากกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับก่อน

6. ถ้าจ่ายไฟฟ้าให้เฉพาะเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ในเวลากลางวัน เช่น หลอดแสงสว่างกระแสตรง สามารถต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรง

7. ถ้าจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ในเวลากลางวัน เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ ในระบบจะต้องมีอินเวอร์เตอร์ด้วย

8. ถ้าต้องการใช้ไฟฟ้าในเวลากลางคืน จะต้องมีแบตเตอรี่เข้ามาใช้ในระบบด้วย

9. อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่แปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสไฟฟ้าสลับในการแปลงดังกล่าว จะเกิดการสูญเสียขึ้นเสมอ โดยทั่วไปประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณร้อยละ 85-90 หมายความว่า ถ้าต้องการใช้ไฟฟ้า 85-90 วัตต์ เราควรเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ 100 วัตต์ เป็นต้น ในการใช้งานเราควรติดตั้งอินเวอร์เตอร์ในที่ร่มอุณหภูมิไม่เกิน 40 C ความชื้นไม่เกินร้อยละ 60 อากาศระบายได้ดีไม่มีสัตว์ เช่น หนู งู มารบกวนและมีพื้นที่ให้บำรุงรักษาได้เพียงพอ

10. สถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ควรเป็นที่โล่งไม่มีเงามาบังเซลล์ ไม่อยู่ใกล้สถานที่เกิดฝุ่น อาจอยู่บนพื้นดินหรือบนหลังคาบ้านก็ได้ ควรวางแผงเซลล์ให้มีความลาดเอียงประมาณ 10- 15 องศา จากระดับแนวนอนและหันหน้าไปทางทิศใต้ การวางแผงเซลล์ให้มีความลาดดังกล่าวจะช่วยให้เซลล์รับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดและช่วยระบายน้ำฝนได้รวดเร็ว

### 2.4.3 เทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์นั้นสามารถแบ่งออกได้ 3 แบบหลักๆ ดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ( PV Stand Alone System ) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระเป็นระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับใช้ในพื้นที่ที่ห่างไกล เช่น ในชนบทที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้ ก็สามารถติดตั้งระบบนี้เพื่อใช้ไฟฟ้าจากพลังแสงอาทิตย์ได้เลย โดยอาจต้องอาศัยอุปกรณ์ร่วมกับระบบดังกล่าวคือ แผงเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอาทิตย์ อุปกรณ์การเก็บประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่ และ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อให้ไฟฟ้าง่ายสามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่ว ๆ ไปได้

2. เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับระบบจำหน่าย ( PV Grid Connected System ) เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับระบบจำหน่าย เป็นระบบที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อต่อเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเดิมที่มีอยู่แล้วเพื่อเป็นการช่วยลดปริมาณไฟฟ้า ที่จะใช้จากระบบจำหน่าย ส่วนใหญ่แล้ว จะใช้กับพื้นที่ในเขตที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึงแล้ว ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบกับระบบดังกล่าวประกอบด้วย เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงกระแสสลับแบบต่อเข้ากับระบบจำหน่าย

3. เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ( PV Hybrid System ) ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าแบบนี้จะเป็นการออกแบบเฉพาะงานตามวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้งาน เพราะวาระบบนี้จะเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ระบบพลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานลมระบบแสงอาทิตย์กับเครื่องยนต์ หรือ อาจจะใช้ในวัตถุประสงค์อื่นๆ เช่น การพลังงานแสงอาทิตย์ในการปั้มน้ำอบแห้ง เป็นต้น

#### 2.4.4 การเกิดไฟฟ้าในแผ่นโซล่าเซลล์

ในแสงจะมีอนุภาคทาง Quantum Mechanic ที่เรียกว่า Photon อยู่ Photon เป็นอนุภาคที่มีพลังงานแต่มี Momentum น้อย (Room Temperature) และยังมีอนุภาคที่เรียกว่า Phonon ที่มีพลังงานต่ำแต่ทำให้ Momentum เปลี่ยนแปลงได้ เมื่อแสงตกกระทบ Silicon ซึ่งเป็น Indirect (Bandgap) Semiconductor ก็จะทำให้ Electron จาก Valence Band มีพลังงานและ Momentum ที่จะไปสู่ Conduction Band ได้และจะเหลือ Hole ไว้ที่ Valence Band ตอนนี้ Technology ของ Cell ในห้องวิจัย กำลังก้าวไปสู่ Third Generation first Generation = เซลล์ที่เป็น Wafer ปกติจะมีความหนา 400 Micron มีปัญหาเรื่องการสูญเสีย Silicon มากไปในการผลิตเซลล์ในห้องตลาดปัจจุบันอยู่ในขั้นนี้ Second Generation = จะเป็น Thin Film บน Substrate ซึ่งยังอยู่ใน Pilot Production Line อยู่ Third Generation = เป็น Thin Film ที่ทำบน Crystalline Silicon Superlattice ซึ่งเพิ่งเป็นที่สนใจไม่นานคาดว่าอีก 20-30 ปี จะพร้อมใช้

#### 2.4.5 การบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอายุการใช้งาน

1. อายุการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปยาวนานกว่า 20 ปี การบำรุงรักษาที่ง่ายเพียงแต่คอยดูแลว่ามีสิ่งสกปรกตกค้างบนแผงเซลล์หรือไม่เช่นฝุ่นมูลนกใบไม้ถ้าพบว่ามีสิ่งสกปรกก็ใช้น้ำทำความสะอาดปีละ 1-2 ครั้งก็เพียงพอห้ามใช้น้ำยาพิเศษล้างหรือใช้กระดาษทรายขัดผิวกระจกโดยเด็ดขาด เมื่อเวลาฝนตกน้ำฝนจะช่วยชำระล้างแผงเซลล์ได้ตามธรรมชาติ

2. สำหรับในระบบที่มีการใช้แบตเตอรี่ชนิดใช้น้ำกลั่น (Lead Acid) ห้ามใช้ไฟฟ้าจนแบตเตอรี่หมด แต่ควรใช้ไฟฟ้าเพียงร้อยละ 30 - 40 และเริ่มประจุไฟฟ้าใหม่ให้เต็มก่อนการใช้ครั้งต่อไปและต้องคอยหมั่นเติมน้ำกลั่นและเช็ดทำความสะอาดขั้วของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในกรณีที่มีการใช้อินเวอร์เตอร์ ควรสังเกตว่ามีเสียงดังผิดปกติหรือเกิดความร้อนผิดปกติหรือไม่ ถ้าพบความผิดปกติให้รีบตัดระบบไฟฟ้าออกจากอินเวอร์เตอร์และติดต่อบริษัทผู้ขาย เพื่อให้ตรวจหาสาเหตุ และแก้ไขให้ใช้งานได้ต่อไป

## 2.5 แบตเตอรี่ (The Storage Battery)

แบตเตอรี่ คือ กลุ่มของเซลล์หรือเซลล์เคมีทางไฟฟ้า (Electrochemical Cells) ที่ต่อเรียงกันในเปลือกหุ้ม โดยเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อต่อแบตเตอรี่เข้ากับอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟ วิทยุ เป็นต้น จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในแบตเตอรี่ระหว่างแผ่นธาตุ (Plates) และน้ำยานี้ ประกอบด้วยน้ำกรดและกำมะถัน ปฏิกิริยาทางเคมีนี้ทำให้อิเล็กตรอนไหลจากแบตเตอรี่เมื่อวงจรภายนอก ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ครบวงจร

ความจุของแบตเตอรี่ในการประจุกระแสไฟนั้นมีข้อจำกัด ตามปกติขึ้นอยู่กับเนื้อที่ของผิวหน้าธาตุที่ถูกกรด จำนวนแผ่นธาตุต่อเซลล์ และความเข้มข้นของกรดในน้ำยา หลังจากแผ่นธาตุได้ทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันหมดแล้ว แบตเตอรี่จะไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไปได้ นั่นคือ แบตเตอรี่อยู่ในสภาพไม่มีไฟหรือคายประจุ (Discharged) ดังนั้นการที่จะนำไปใช้งานใหม่อีก จะต้องทำการประจุใหม่ (Recharged) ในการประจุนี้ทำได้โดยใช้กระแสตรงจากแหล่งกำเนิดภายนอกให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแบตเตอรี่ในทิศทางตรงกันข้ามกับที่จ่ายออก การประจุนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้นภายในหม้อแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์เคมีไฟฟ้า (Electrochemical Device) สำหรับเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อแบตเตอรี่กำลังจ่ายกระแสไฟฟ้า ปฏิกิริยาเคมีนี้หมดไป แบตเตอรี่จะไม่หมดไฟ

### 2.5.1 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่

1. เซลล์ (Cell) ดังได้กล่าวแล้วว่าเซลล์ประกอบด้วยน้ำยาและแผ่นธาตุอยู่ในเปลือกหุ้ม แต่ละเซลล์มีฝาปิด (Vent Plug or Filler Cap) ซึ่งจะมีรูระบาย (Air Vent) เพื่อระบายแก๊สซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีและไฟฟ้า การเติมน้ำกลั่นทำได้โดยเปิดฝาปิดนี้ออกแล้วเติมให้ท่วมแผ่นธาตุ การต่อกันเป็นอันดับ (ขั้วบวกของเซลล์หนึ่งต่อกับขั้วลบของเซลล์ถัดไป) ของแบตเตอรี่จะทำให้กับแรงเคลื่อนเท่ากับผลบวกของแรงเคลื่อนแต่ละเซลล์ ก็คือ จำนวน ขนาด และการจัดลำดับของเซลล์เป็นตัวกำหนดแรงเคลื่อนแบตเตอรี่

2. แผ่นธาตุ (Element) แต่ละเซลล์ประกอบด้วยแผ่นธาตุ แผ่นธาตุทำด้วยตะกั่วหล่อเป็นตะแกรง (Grids) ใช้ผงตะกั่วซึ่งผสมด้วยกาวยึด (Binding Material) อยู่ตะแกรงซึ่งทำด้วยตะกั่วบริสุทธิ์ แผ่นธาตุมีสองชนิด คือ ชนิดแผ่นบวกและแผ่นลบสอดเข้าด้วยกัน ตามปกติแผ่นลบจะมีมากกว่าแผ่นบวกอยู่ 1 แผ่น เช่น เซลล์หนึ่งมี 17 แผ่น จะมีแผ่นลบ 9 แผ่น แผ่นบวก 8 แผ่น นั่นคือแผ่นบวกทุกแผ่นจะมีแผ่นลบอยู่ทั้งสองข้างของตัวมันเพราะว่าปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นกับแผ่นบวกมากกว่าแผ่นลบ แผ่นบวกจึงมีน้อยกว่าแผ่นลบได้ ระหว่างแผ่นธาตุแต่ละแผ่นจะมีฉนวนกัน (Insulator) คั่นอยู่ ฉนวนกันนี้ทำด้วย ไม้ ยาง แก้ว เซลลูโลส (Cellulose) โดยกรรมวิธีทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ฉนวนกัน (Insulator) มีแผ่นฉนวนกันอยู่ระหว่างแผ่นบวกแผ่นลบ ฉนวนกันจะอยู่ด้านข้างแต่ ละด้านของแผ่นบวก เพื่อป้องกันแผ่นบวกและลบสัมผัสกันจริงๆ แต่ฉนวนกันมีขนาดเล็กมากๆ ดังนั้น ของเหลวในเซลล์ (น้ำยา) รั่วซึมได้จึงสามารถวนเวียนระหว่างแผ่นธาตุได้ง่าย การหมุนเวียนของน้ำยาเป็น สิ่งจำเป็นเพราะน้ำยาต้องสามารถเข้าไปยังผิวหน้าแผ่นธาตุทุกแผ่นเพื่อการเกิดปฏิกิริยาของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่บางแบบอาจจะใช้ฉนวนกันมากกว่าหนึ่งชนิด เช่น ใช้ทั้งแบบแก้ว และไม้ ตามปกติตามแนวฉนวน กันจะทำให้เป็นลูกฟูกในการประกอบแบตเตอรี่ใช้ทางที่เป็นลูกฟูกหันไปทางแผ่นบวก เพื่อเพิ่มบริเวณ หรือเนื้อที่ สำหรับน้ำยาในการหมุนเวียนรอบแผ่นบวก

4. สะพานไฟ (Cell Connectors) หรือเครื่องต่อระหว่างเซลล์ แต่ละเซลล์ในแบตเตอรี่ต่ออันดับกัน ดังนั้นแรงเคลื่อนจะเพิ่มขึ้น สะพานไฟเป็นแท่งตะกั่วหนายึดอยู่กับขั้วของเซลล์แบตเตอรี่ แบตเตอรี่แบบ สะพานไฟติดตั้งอยู่ข้างบนหรือในฝาครอบเซลล์ ถ้าอยู่ในฝาครอบเซลล์จะมีสารผสมกันป้องกันอยู่ด้วย การ สร้างแบบนี้เป็นการลดการรั่วไหลของกระแสข้ามผ่านด้านบนของฝาครอบเซลล์ ตำแหน่งที่ขั้วของเซลล์โผล่ ขึ้นมาโดยไม่มีอะไรป้องกันฝุ่นผงและความชื้นพยายามทำให้เกิดทางเดินชั้นระหว่างขั้ว ทำให้เกิดการรั่วของ กระแสไฟขึ้นซ้ำๆ และในช่วงระยะเวลาหนึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ไม่มีไฟฟ้าหรือเก็บไฟฟ้าไม่ได้

5. เปลือกหม้อ ทำด้วยยางแข็ง (Hard Rubber) หล่อขึ้นรูปเปลือกหม้อเป็นตัวรองรับอุปกรณ์อื่นๆ ของแบตเตอรี่ไว้ทั้งหมด

### 2.5.2 แรงเคลื่อนของเซลล์ (Cell Voltage)

เมื่อวัตถุทั้งสอง คือ  $PbO_2$  (Lead Dioxide) และ  $Pb$  (Lead) จุ่มอยู่ในส่วนผสมของกรดกำมะถัน (Sulfuric acid =  $H_2SO_4$ ) และน้ำ (Water =  $H_2O$ ) ย่อมทำให้เกิดกำลังดันไฟฟ้า หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้า ประมาณ 2 โวลต์ ระหว่างวัตถุทั้งสอง แม้ว่าจะมีแผ่นบวก 1 แผ่น และแผ่นลบ 1 แผ่นก็จะมีค่า 2 โวลต์ เช่นเดียวกัน

การต่อเซลล์เป็นอนุกรม การต่อเซลล์แบตเตอรี่ 3 เซลล์อนุกรมกัน เป็นการรวมแรงเคลื่อนของแต่ละ เซลล์เข้าด้วยกันจะได้ 6 โวลต์ และถ้าต่อ 6 เซลล์อันดับกันจะได้ 12 โวลต์ แต่ผลรวมของกระแสจะไม่ เพิ่มขึ้นโดยการต่อแบบนี้ ในการเพิ่มผลรวมของแรงเคลื่อนจากการต่ออันดับกันนี้ กระแสจะถูกผลักดันเป็น จำนวน 3 – 6 เท่า ในวงจรที่มีความต้านทานซึ่งได้จัดไว้สำหรับเซลล์เพื่อส่งกระแสจำนวนมากนั้น

### 2.5.3 ปฏิกิริยาทางเคมีในเซลล์แบตเตอรี่ (Chemical Action in The Battery Cell)

กระแสที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างวัตถุในแผ่นธาตุและกรดกำมะถันในน้ำยาวัตถุที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาในแผ่นบวกคือ  $PbO_2$  และในแผ่นลบคือ  $Pb$  เมื่อแบตเตอรี่จ่ายไฟออก นั่นคือ ให้กระแสไฟ ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นดังรูปที่ 2.32 เมื่อเริ่มปฏิกิริยา โมเลกุลของกรดกำมะถันแยกออกเป็น  $H_2$  (Hydrogen) และ  $SO_4$  (Sulphate)  $SO_4$  อันหนึ่งรวมกับ  $Pb$  ในแผ่นลบ ส่วน  $SO_4$  อีกอันหนึ่งรวมกับ  $Pb$  ในแผ่นบวกเกิดเป็น  $PbSO_4$  หรือตะกั่วซัลเฟต (Lead Sulphate) ในแผ่นธาตุแต่ละแผ่นปฏิกิริยานี้ทำให้

ออกซิเจน ( $O_2$ ) 2 อะตอมเป็นอิสระจากแผ่นบวกจึงเข้าร่วมกับไฮโดรเจน ซึ่งเหลือภายหลังจาก  $SO_4$  โดยเข้าไปรวมกับแผ่นธาตุออกซิเจนและไฮโดรเจนรวมกันเข้าเป็นโมเลกุล ( $H_2O$ ) ซึ่งก็คือ น้ำธรรมดา ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในระหว่างที่จ่ายไฟออกตะกั่วซัลเฟต ( $PbSO_4$ ) เกิดขึ้นที่แผ่นธาตุทั้งสอง ในขณะที่กรดกำมะถันในน้ำยาถูกน้ำ ( $H_2O$ ) เข้ามาแทนที่  $PbO_4 + Pb + 2PbSO_4 + 2H_2O$  จากที่แสดงนี้เป็นเพียงไม่กี่โมเลกุลจริงๆ แล้วมีเป็นพันล้านโมเลกุลเป็นแผ่นธาตุและน้ำยา แต่ก็ไม่ใช่ทั้งหมดที่แยกตัวออกและรวมกันใหม่เมื่อแบตเตอรี่จ่ายไฟ

### 2.5.4 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า (Direction of Current Flow)

กระแสหรือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเกิดจากการเคลื่อนย้ายของ  $SO_4$  และ  $O_2$  ไปมาจากแผ่นธาตุ ในส่วนต่างๆ ของโมเลกุลที่เรียกว่า ไอออนส์ (Ions) นำอิเล็กตรอนจากแผ่นบวกไปยังแผ่นลบจากผลอันนี้ทำให้ขั้วลบมีอิเล็กตรอนเป็นจำนวนมาก ซึ่งในขณะที่ขั้วบวกทำการสร้างอิเล็กตรอนที่ขาดแคลนไปเมื่อวงจรภายนอกทั้งสองครบวงจร อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วลบไปยังวงจรภายนอกและเข้าไปยังขั้วบวก

ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นนานเท่าที่มีจำนวนโมเลกุลของ  $PbO_2$  และ  $H_2SO_4$  อยู่เพื่อแยกตัวและรวมตัวใหม่เป็นโมเลกุลของ  $PbSO_4$  และ  $H_2O$  เมื่อโมเลกุลทั้งหมดนี้หมดไปไม่สามารถแยกตัวและรวมตัวกันใหม่ได้ แบตเตอรี่นั้นจะไม่มีไฟฟ้าซึ่งต้องนำไปประจุไฟใหม่

### 2.5.5 แรงดันกับความต้านทาน

ความต่างศักย์ภายนอกของเซลล์นั้นเรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force หรือเรียกย่อๆ ว่า EMF) ค่าที่แน่นอนนั้น (โดยปกติจะอยู่ประมาณ 1.5 โวลต์) จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่นำมาเป็นแอโนดและคาโทดและชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอายุของเซลล์นั้นสำหรับเซลล์ใหม่ แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะสูงกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดอยู่เล็กน้อย คือ ประมาณ 1.6 โวลต์และจะตกลงมาเป็นค่าต่ำประมาณ 1.2 โวลต์ เมื่อเซลล์เก่าและคายประจุหมด

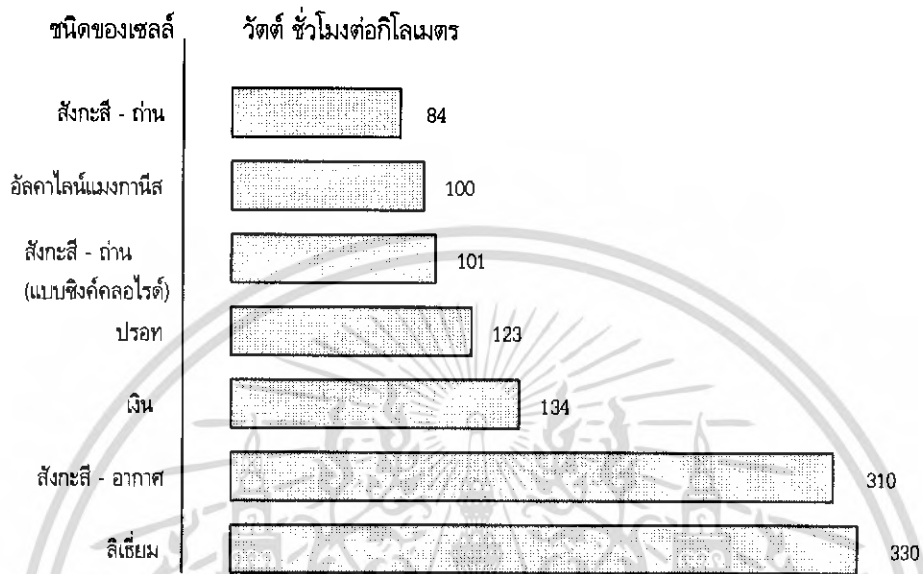
เซลล์ไฟฟ้าซึ่งมีตัวกำเนิดแรงดันค่า 1.5 โวลต์ และมีค่าความต้านทานภายใน ( $R^i$ ) ค่า 10 โอห์ม ต่ออยู่กับความต้านทานซึ่งเป็นวงจรภายนอกมีค่า 1.5 โวลต์ต่อกิโลโอห์ม

อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานภายในเซลล์ที่ต่ออนุกรมอยู่ ก็มีผลต่อค่ากระแสและต้องนำมาคิดด้วย เราจะเห็นตัวต้านทาน 2 ตัวต่อกันอยู่ในวงจรแบ่งแรงดัน

### 2.5.6 กำลังงานต่อชั่วโมง

คุณลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งเราจำเป็นต้องศึกษาเพื่อจะทราบชนิดของเซลล์แบบต่างๆ นั่นก็คือ ความจุของเซลล์ ซึ่งคือปริมาณของกระแสไฟฟ้าซึ่งเซลล์หนึ่งสามารถจ่ายออกไปได้ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ยกตัวอย่าง เช่น เซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่งมีความจุ 1,000 มิลลิแอมป์แอมป์ต่อชั่วโมงหมายความว่า (โดยการไม่คิดถึงค่าความต้านทานภายในเซลล์) เซลล์นี้สามารถจ่ายกระแสได้ 1,000 มิลลิ

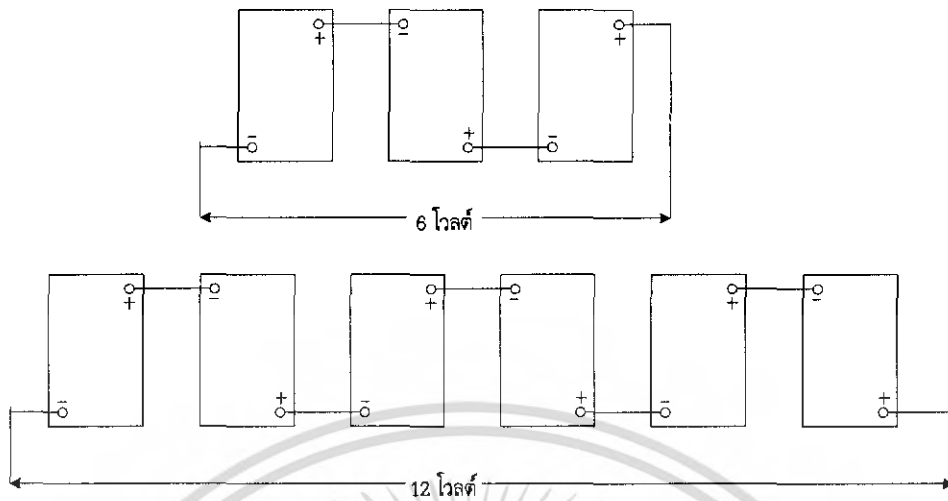
แอมป์แปร์ เป็นระยะเวลาหนึ่งชั่วโมงหรือจ่ายกระแสได้ 100 มิลลิแอมป์แปร์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมงหรือจ่ายกระแสได้ 20 มิลลิแอมป์แปร์เป็นเวลา 50 ชั่วโมง เป็นต้น



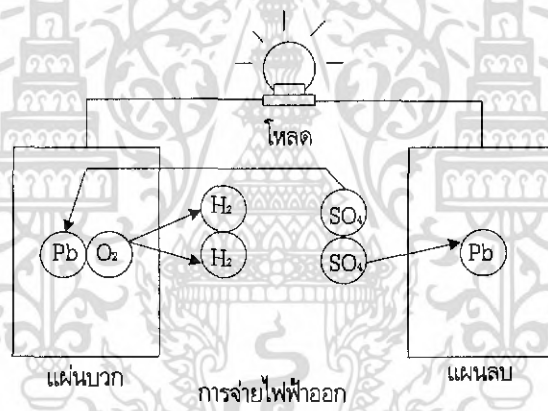
รูปที่ 2.24 กราฟการเปรียบเทียบความจุของเซลล์แบบต่างๆ

### 2.5.7 การประจุไฟใหม่ให้กับแบตเตอรี่ (Recharging The Battery)

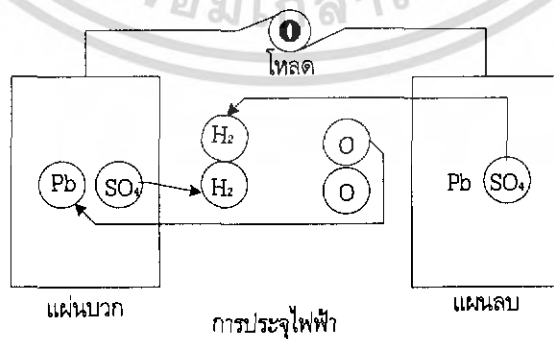
การประจุไฟใหม่ให้กับแบตเตอรี่จะต้องใช้แรงดันอิเล็กตรอนเข้าไปในแผ่นลบและกำจัดมันออกจากแผ่นบวกหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าใช้กระแสไฟฟ้าดันผ่านแบตเตอรี่กระแสไฟฟ้านี้จะต้องไหลผ่านแบตเตอรี่ในทิศทางตรงกันข้ามกับที่กระแสไหลในระหว่างแบตเตอรี่จ่ายไฟออกในระหว่างการประจุไฟใหม่ น้ำ ( $H_2O$ ) จะแตกตัวเป็นไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และออกซิเจน ( $O$ ) ส่วน  $SO_4$  เคลื่อนจากแผ่นธาตุกลับไปยังน้ำยา รวมตัวกับไฮโดรเจนเกิดเป็นกำมะถัน ( $H_2SO_4$ ) อีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่เดียวกันอะตอมของออกซิเจนจะกลับไปยังแผ่นบวกเป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์อีกครั้งหนึ่งพร้อมกันนั้นกรดกำมะถันปรากฏแทนน้ำ ส่วนตะกั่วซัลเฟตที่หายไปจากแผ่นธาตุทั้งสองจะทำให้แผ่นบวกกลายเป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์แผ่นลบเป็นตะกั่วธรรมดา เมื่อตะกั่วซัลเฟตหายไปจากแผ่นธาตุหมดก็กล่าวได้ว่าแบตเตอรี่ได้รับการประจุใหม่



รูปที่ 2.25 การต่อแบตเตอรี่



รูปที่ 2.26 ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างแผ่นบวกกับแผ่นลบระหว่างการจ่ายไฟฟ้้าออก

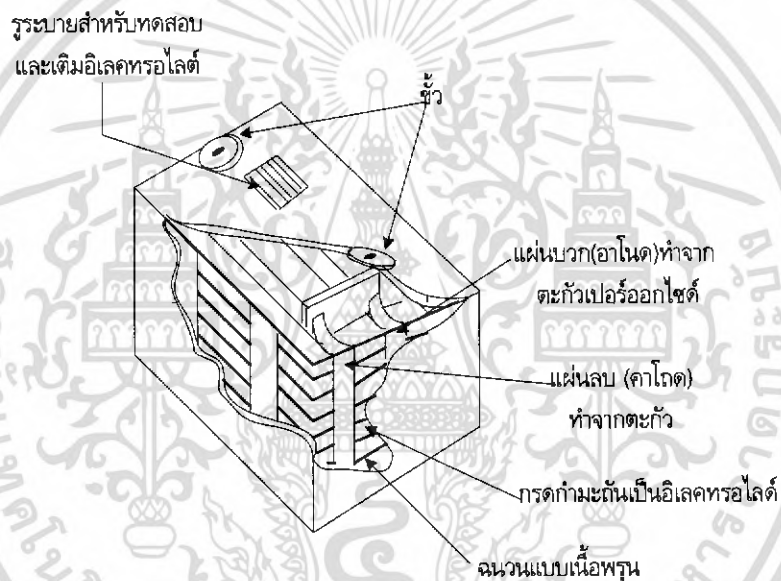


รูปที่ 2.27 ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างแผ่นบวกกับแผ่นลบขณะที่ได้รับการประจุไฟฟ้้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.8 เซลล์แบบตะกั่ว – กรด (Lead Acid)

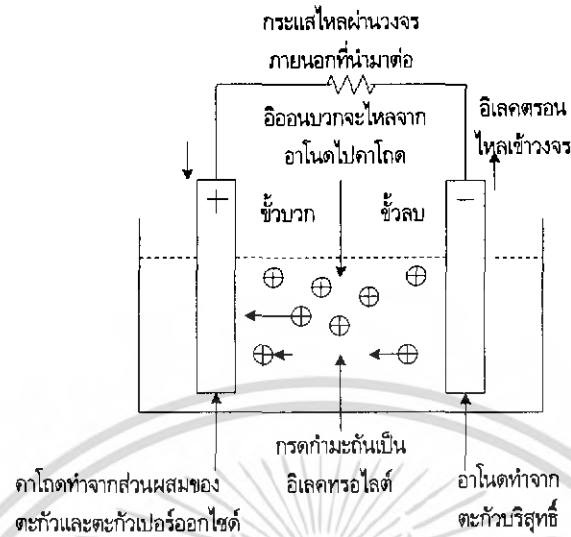
เซลล์แบบทุติยภูมิชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากคือ เซลล์แบบตะกั่ว – กรด ซึ่งใช้กันทั่วไปในรถยนต์ ตัวอย่างเซลล์ชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.33 ซึ่งเราจะประกอบด้วยแผ่นคาโอดและแผ่นแอนโอดวางสลับกัน จุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถัน แผ่นเพลทจะวางสลับกันเพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ได้มากในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การที่มีพื้นที่สัมผัสระหว่างอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์เท่าไร ปฏิกริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลล์ยังมีค่าลดลงด้วย ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส วิธีที่นิยมใช้ก็คือ ใช้แผ่นเพลทบางๆ คั่นด้วยฉนวนแบบมีรูพรุน



รูปที่ 2.28 โครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว – กรด

อิเล็กโทรดที่เป็นแอนโอดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่คาโอดจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้นอะตอมของตะกั่วจากแผ่นแอนโอดจะแตกตัวเป็นไอออนที่เป็นประจุบวกและจะเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์และอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่วงจรที่ต่อภายนอกดังรูป 2.34

ที่คาโอดตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงและเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอก เพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่วที่มีประจุบวกซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่แอนโอดทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโอดผ่านไปยังวงจรภายนอก



รูปที่ 2.29 ไอออนบวกของตะกั่วจะออกจากแอโนด

การประจุกลับเข้าไปใหม่ของตะกั่ว - กรด นั้นสามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการป้อนกลับทางเข้าไปในแบตเตอรี่เพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เกิดจากทางขวามือไปทางซ้ายมือซึ่งจะเปลี่ยนตะกั่วซัลเฟตให้กลับเป็นตะกั่วและกรดกำมะถันตามเดิม วิธีที่ง่ายที่สุดในการป้อนกระแสกลับทางก็โดยการต่อขั้วคาโอด (ขั้วบวก) และขั้วแอโนด (ขั้วลบ) เข้ากับขั้วบวกและขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟออก แรงดันของแหล่งจ่ายไฟออก แรงดันของแหล่งจ่ายไฟออกจะอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันของเซลล์ปกติ ดังนั้นเซลล์แบบนี้เป็นเซลล์เดี่ยวซึ่งมีแรงดันปกติ 2 โวลต์ สามารถที่จะประจุเข้าไปด้วยแรงดันระหว่าง 2.2 โวลต์ ถึง 2.5 โวลต์

เห็นได้ชัดว่า กระแสที่ป้อนเข้าไปไม่มีประจุไฟใหม่นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนเข้าไป นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับสถานะของเซลล์ว่าคายประจุหมดเต็มหรือไม่ ถ้าแรงดันที่ป้อนเข้าประจุไฟมีค่าสูงและเซลล์ประจุเต็มที่แล้วจะทำให้กระแสที่ไหลเข้าประจุเซลล์จะมีค่ามากตามไปด้วยหรือถ้าเซลล์ถูกใช้แบบเป็นวงรอบ (Cyclic) คือจากสถานะประจุเต็มไปสู่สถานะหมดประจุเต็มที่แล้วจึงค่อยประจุใหม่อีกครั้งจะใช้กระแสในการประจุมากตามไปด้วย

เราสามารถให้ประจุอย่างรวดเร็วแก่แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้โดยใช้แรงดันคงที่ขนาด 1.25 เท่าของระดับแรงดันปกติของแบตเตอรี่ โดยคอยสังเกตระดับที่ประจุไว้และการประจุจะสิ้นสุดเมื่อระดับกระแสที่ประจุตกลงมาถึงค่ากระแสสุดท้ายในการประจุซึ่งจะบ่งบอกโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดนั้น ภายใต้เงื่อนไขนี้การประจุเต็ม (จากตอนที่แบตเตอรี่หมดประจุเต็มที่จะจนถึงประจุโดยสมบูรณ์) ภายในเวลา 5 ชั่วโมง ถ้าเราไม่สามารถรักษาระดับแรงดันในการประจุให้คงที่ได้อยู่ได้ก็ไม่สมควรที่จะใช้ประจุอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากจะทำความเสียหายแก่เซลล์จนไม่สามารถแก้ไขได้ ในกรณีนี้จึงควรใช้แรงดันในการประจุน้อยลงเป็นประมาณ 1.1 ถึง 1.2 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ที่ดีที่สุด โดยใช้เวลาในการประจุเกินกว่า 20 ชั่วโมงขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง (Photoelectric Transducers)

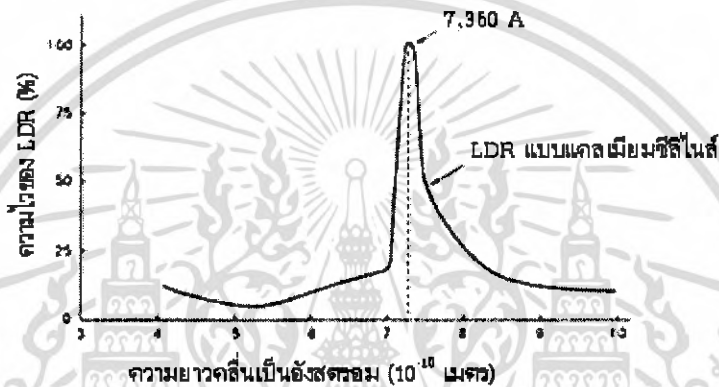
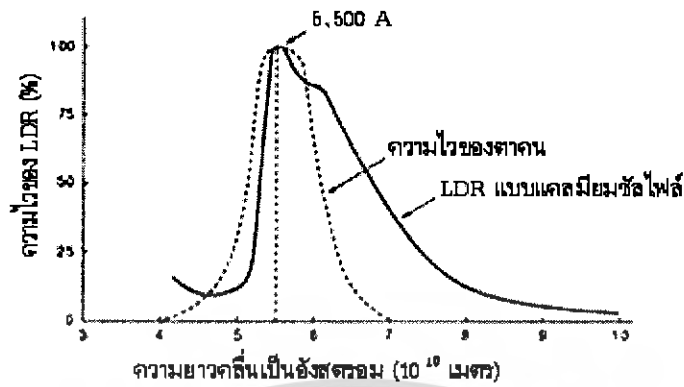
### 2.6.1 LDR ตัวต้านทานไวแสง

เป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์แบบเฉื่อยงาน ซึ่งมีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น เซลล์นำพลังแสง, ตัวต้านทานพลังแสง (Photo Resistor) เนื่องจากค่าความต้านทานภายในของวัสดุ จะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง หรืออาจเรียกย่อๆ ว่า "LDR" นั่นคือเมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบบนตัวโฟโตคอนดักทีฟเซลล์ค่าความต้านทานภายในของโฟโตคอนดักทีฟเซลล์จะสูงมาก แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบค่าความต้านทานภายในของโฟโตคอนดักทีฟเซลล์จะต่ำและอยู่ในสภาพความนำทางไฟฟ้า (Conductivity)



### 2.6.2 โครงสร้าง LDR

ตัว LDR ว่าที่จริงแล้วมีเรียกกันอีกหลายชื่อ เช่น โฟโตคอนดักทีฟเซลล์ ( Photoconductive Cell ) หรือ ตัวต้านทาน ไวแสง ( LSR - Light Sensitive Resistor ) ส่วนใหญ่จะทำด้วยสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CDS) หรือไมกซ์แคดเมียมซีไนไนด์ (CDSE) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา รูปร่างของมันจะเห็นได้ในรูปที่ 1 ส่วนที่ขดเป็นแนวเล็กๆ สี ดำนั้นแหละ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และ แนวสีดำ นั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง ซึ่งถ้าดู ของจริงจะเห็นว่าออกสีทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัส กับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอก หรือ เรียกว่าอีเล็กโทรด ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิก และ อุปกรณ์ สำหรับห่อหุ้มมัน ซึ่งมีได้หลายแบบ



รูปที่ 2.31 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน

### 2.6.3 สมบัติทางแสง LDR

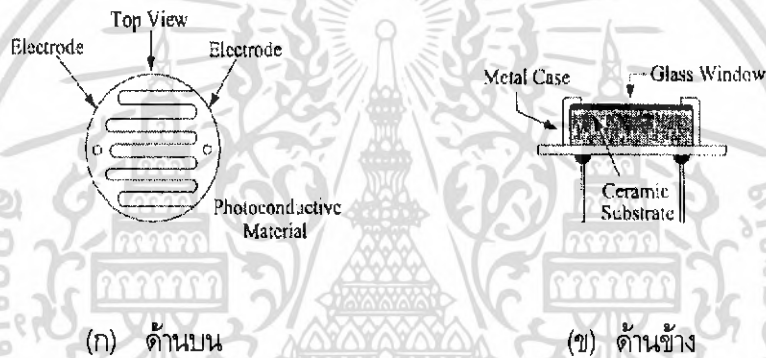
การทำงานของ LDR ก็ง่าย ๆ เพราะว่ามันเป็นสารกึ่งตัวนำเวลามีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่าน การที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับความต้านทานลดลงนั่นเอง ยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไรความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น

ในส่วนที่ว่าแสงตกกระทบนั้น มีใช้ว่าจะเป็นแสงอะไรก็ได้เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม ( 1 อังสตรอม เท่ากับ 10<sup>-10</sup> เมตร ) ถึงขยับประมาณ 10,000 อังสตรอม เท่านั้นที่จะใช้ได้ ( สายตาคนจะเห็นได้ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม ) ซึ่งคิดแล้วก็ในช่วงคลื่นนี้แคบๆ เมื่อเทียบกับการทำงานของอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่นๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ก็มิอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยหรือถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่นที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้วก็มีอยู่หลายความยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียวไปจนถึงสีเหลืองสำหรับบางตัว แล้วความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก ( ตาคนไวต่อความ

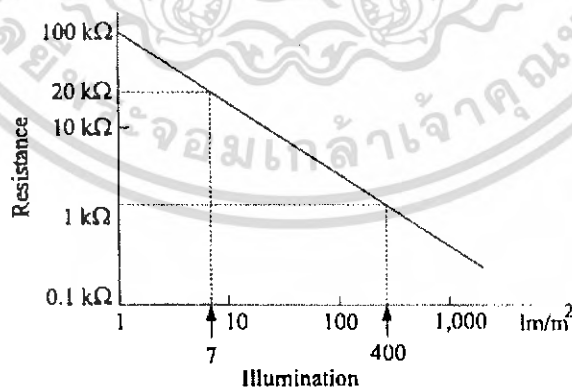
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวคลื่น ประมาณ 5,550 อังสตรอม ) จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสงในกล้องถ่ายรูปถ้า LDR ทำจาก แคดเมียมซีลีไนด์ก็จะมีช่วงความยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งไปอยู่ในช่วงอินฟราเรดแล้ว

วงจรนี้มีไว้สำหรับเช็คตำแหน่งของสถานที่ที่ระดับเพลิงจะไปทำการดับไฟซึ่ง LDR จะทำหน้าที่ คล้ายๆ กับ Resister แต่ LDR จะปรับค่าความต้านทานตามความเข้มของแสง ถ้าแสงมาก LDR จะให้ค่า ความต้านทานน้อย ถ้าแสงน้อยจะให้ค่าความต้านทานมากออกมา แล้วนำแรงดันที่ตกคร่อม LDR ไป เปรียบเทียบกับค่าแรงดัน Reference ที่เราตั้งค่ากำหนดเอาไว้ โดยใส่ไฟเลี้ยงให้เกิดเป็น High=5 Volt และ Low=0 Volt ถ้าแรงดันที่ตกคร่อม LDR มากกว่าแรงดัน Reference ที่กำหนดไว้ Output ที่ได้ออกมาจะ เป็น 5 Volt แต่ถ้าแรงดันที่ตกคร่อม LDR มีค่าน้อยกว่าแรงดัน Reference ที่กำหนดไว้ Output ที่ออกมา จะเป็น 0 Volt Reference สามารถทำได้ตามที่ต้องการเป็นวงจร Divider ธรรมดา

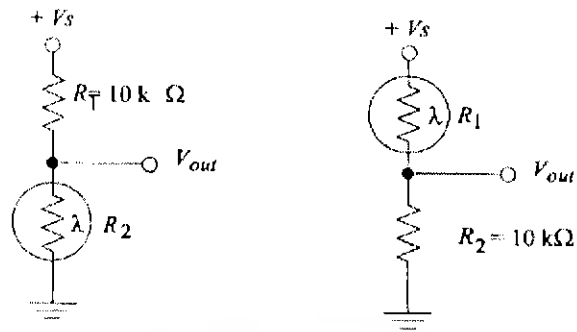


รูปที่ 2.32 ลักษณะของโฟโตคอนดักทีฟเซลล์ หรือ LDR



รูปที่ 2.33 ลักษณะคุณสมบัติของโฟโตคอนดักทีฟเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เอาต์พุตจะลดลงเมื่อมีแสงตกกระทบ (ข) เอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีแสงตกกระทบ

### รูปที่ 2.34 การต่อใช้งานโฟโตคอนดักทีฟเซลล์

## 2.7 กล้องวงจรปิด

ในระบบกล้องวงจรปิดจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักๆ 4 อย่าง คือ

### 2.7.1 ตัวกล้อง (Camera)

ที่มีหลากหลายรูปแบบแล้วแต่จุดประสงค์การใช้งานของท่าน ตัวอย่างเช่น กล้องมาตรฐาน (แบบตัวยาว) กล้องโดม (ทรงกลมตัดครึ่ง) กล้องกันน้ำ กล้องอินฟราเรด กล้องไร้สาย กล้องสปีดโดม กล้องซ่อนขนาดเล็กหรือเลนส์รูเข็ม ฯลฯ ทำหน้าที่เป็นเสมือนดวงตาที่จะมองภาพในมุมที่เราต้องการเพื่อส่งมายังศูนย์กลางหรืออุปกรณ์รวมและจัดการสัญญาณภาพ

### 2.7.2 อุปกรณ์รวมและจัดการสัญญาณภาพ (Video Processor)

เช่น สวิตช์เซอร์ คิวอด มัลติเพลกเซอร์ Capture Card ฯลฯ ทำหน้าที่เป็นตัวศูนย์กลางที่รวมสัญญาณภาพจากกล้องทุกตัว เพื่อส่งสัญญาณภาพไปยังจอมอนิเตอร์ แสดงภาพสด (Display Live View) และส่งภาพไปยังอุปกรณ์บันทึก

### 2.7.3 อุปกรณ์บันทึกภาพ (Recorder)

ทำหน้าที่รับภาพจากอุปกรณ์จัดการสัญญาณภาพ เพื่อเขียนข้อมูลลงในสื่อบันทึก เช่น เครื่องบันทึกเทป ฮาร์ดดิสก์

### 2.7.4 จอมอนิเตอร์ (Monitor)

จะใช้เป็นทีวีธรรมดา หรือจอมอนิเตอร์ที่ออกแบบมาใช้กับระบบโดยเฉพาะก็ได้

## 2.7.5 ระบบการบันทึกภาพ

### 2.7.5.1 ระบบการบันทึกแบบบันทึกเทป

ในกรณีที่ท่านต้องการใช้งานกล้องเพียงตัวเดียว อุปกรณ์ที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมี Video Processor ก็ได้ คือต่อสัญญาณจากกล้องโดยตรงเข้าสู่เครื่องบันทึกเทป และจากเครื่องบันทึกเทปสู่มอนิเตอร์เลยก็ได้ แต่หากใช้งานหลายกล้อง ระบบแบบนี้จะมีอุปกรณ์ที่แยกชิ้นกันทั้ง 4 ส่วน การบันทึกแบบนี้หากต้องการเก็บหลักฐานการบันทึกไว้นานๆ จำเป็นจะต้องมีม้วนเทปไว้จำนวนมากเพื่อเปลี่ยนตามระยะเวลาที่เนื้อหาทั้งหมด

### 2.7.5.2 ระบบการบันทึกด้วยเครื่องบันทึกภาพดิจิทัล (Stand-alone Digital Video Recorder - DVR)

เครื่องบันทึกชนิดนี้จะรวมส่วนของ Video Processor และส่วนบันทึก Recorder ไว้ในเครื่องเดียวกัน โดยมากจะเป็นแบบมัลติเพลกเซอร์มีจำนวนช่องสัญญาณ 4, 9 และ 16 ช่อง ตามความต้องการของผู้ใช้และบันทึกภาพลงสู่ฮาร์ดดิสก์ ซึ่งชนิดและขนาดของฮาร์ดดิสก์เป็นแบบ IDE-ATA ที่มีขายอยู่ตามร้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั่วไป ยิ่งขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์มีมากก็ยิ่งสามารถบันทึกได้ยาวนานยิ่งขึ้น การดูภาพจากเครื่องก็เพียงแค่ต่อมอนิเตอร์หรือทีวีเข้ากับตัวเครื่องเท่านั้น

### 2.7.5.3 ระบบการบันทึกด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Based Advance DVR)

ด้วยความสามารถของระบบปฏิบัติการ Windows และการที่ใช้ซอฟต์แวร์เป็นพื้นฐาน ทำให้ระบบการบันทึกด้วยคอมพิวเตอร์มีความหลากหลายของลูกเล่นและเทคนิคการใช้งานต่างๆ อีกทั้งยังรองรับการพัฒนาขีดความสามารถในอนาคต เรียกว่าวันโตตามเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าขึ้นทุกวัน เพราะปัจจุบันมนุษย์และสังคมได้รับผลบุญ (รวมทั้งผลกระทบ) จากการเติบโตของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป ระบบนี้จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับท่านที่มีขีดความสามารถในการใช้งานระบบคอมพิวเตอร์สูงอยู่แล้ว รวมถึงผู้ที่ต้องการพึงพาประโยชน์จากขีดความสามารถของมัน ซึ่งมีให้มากกว่าระบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบ การสร้าง การทำงาน

#### 3.1 กล่าวนำ

การออกแบบและการสร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนส่วนแรกคือ การออกแบบโครงสร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตการควบคุมดาวเทียมและส่วนวงจรควบคุม ซึ่งในส่วนการออกแบบโครงสร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตการควบคุมดาวเทียมจะประกอบไปด้วย ชุดแสดงการทรงตัวของดาวเทียม ชุดขับเคลื่อนการโคจรของดาวเทียม ชุดควบคุมปีกโซล่าเซลล์ของดาวเทียม ชุดควบคุมการทำงานแบบไร้สาย และชุดควบคุมการเคลื่อนที่การโคจรของดาวเทียม ส่วนที่สองจะเป็นวงจรควบคุม โดยทั้งสองส่วนจะออกแบบและสร้างให้ใช้งานร่วมกัน ซึ่งเนื้อหาของปริิญาานิพนธ์ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนของชุดทดลองดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม โดยประกอบไปด้วยหลักการการออกแบบโครงสร้างตัวถัง ขั้นตอนการออกแบบชุดปรั้มุมรับแสงอัตโนมัติ ขั้นตอนการออกแบบชุดควบคุมการทดลอง และส่วนประกอบอื่นๆ ที่สำคัญในการออกแบบ

#### 3.1.1 การออกแบบโครงสร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตการควบคุมดาวเทียม

1. การทำงานเบื้องต้น
2. ชุดแสดงการทรงตัวของดาวเทียม
3. ชุดขับเคลื่อนการโคจรของดาวเทียม
4. ชุดควบคุมปีกโซล่าเซลล์ของดาวเทียม
5. ชุดควบคุมการทำงานแบบไร้สาย
6. ชุดควบคุมการเคลื่อนที่การโคจรของดาวเทียม

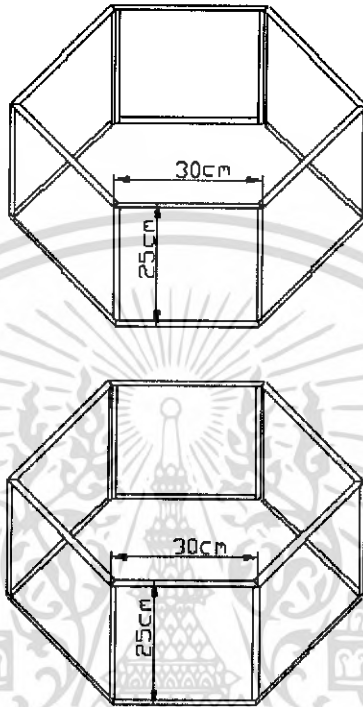
#### 3.1.2 ส่วนวงจรควบคุม

1. วงจรสวิตช์แบบไร้สาย
2. วงจรสวิตช์ทำงานด้วยแสง

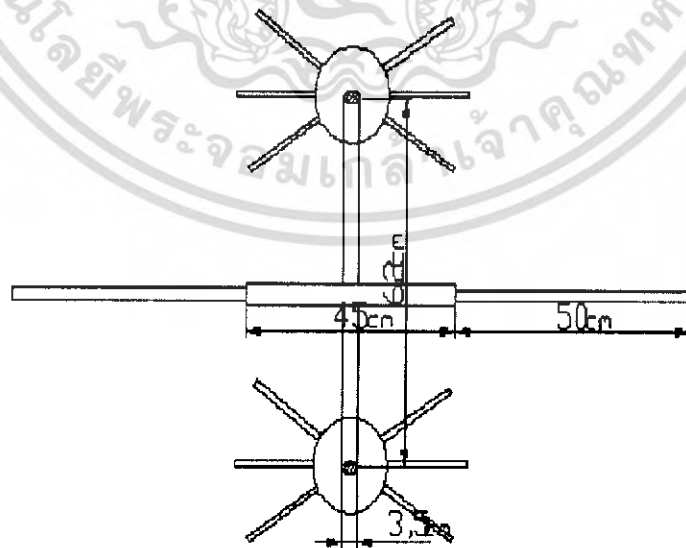
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบโครงสร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับภารกิจควบคุมดาวเทียม

การออกแบบโครงสร้างดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับภารกิจควบคุมดาวเทียม



รูปที่ 3.1 ขนาดและลักษณะตัวถังของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับภารกิจควบคุมดาวเทียม



รูปที่ 3.2 ขนาดและลักษณะแกนกลางของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับภารกิจควบคุมดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 การทำงานเบื้องต้นของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับภารกิจควบคุมดาวเทียม

ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับภารกิจควบคุมดาวเทียมในส่วนของการทำงานเบื้องต้นนั้นสามารถแบ่งเป็น 4 ส่วนได้ด้วยกัน

#### 3.2.1.1 ระบบการทำงานของวงจรสวิตช์แบบไร้สาย

จะเริ่มจากระบบวงจรสวิตช์แบบไร้สายนี้จะทำงานโดยการรับสัญญาณคลื่นวิทยุแล้วส่งงานให้กับระบบที่ต้องการให้ทำงานตามลำดับการกดจากรีโมทคอนโทรล ซึ่งเรียงเป็นช่องมีทั้งหมดหกช่องให้ต่อใช้งาน

#### 3.2.1.2 ระบบการ Reset ค่าระบบของวงจรถวล

กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการขัดข้องของระบบการทำงานดาวเทียมโดยทำการ ปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟที่กล่องควบคุมจะทำให้วงจรถวลทั้งหมดกลับมาใช้ค่าเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง

#### 3.2.1.3 ระบบ Set ของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับภารกิจควบคุมดาวเทียม

กระบวนการนี้ทำโดยการศึกษาข้อมูลของดาวเทียมแล้วนำมาเรียงลำดับการทำงานให้ใกล้เคียงกับดาวเทียมจริง

#### 3.2.1.4 ระบบจะทำงานโดยการกระทำจากบุคคลากรเท่านั้น

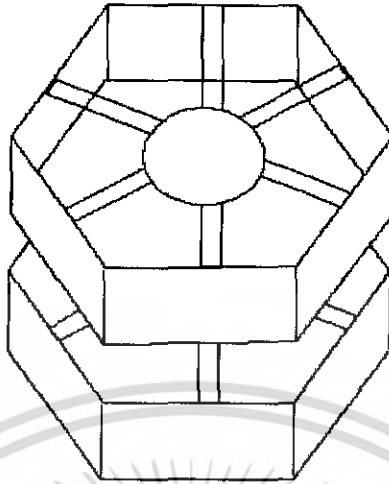
ในส่วนนี้จะเป็นการสั่งงานให้วงจรถวลดาวเทียมทำงานไปตามลำดับตามการทำงานของดาวเทียมจริง

### 3.2.2 ชุดแสดงการทรงตัวของดาวเทียม

ในส่วนของชุดแสดงการทรงตัวของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับภารกิจควบคุมดาวเทียมเป็นชุดที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนตัวถังของดาวเทียม ให้หมุนรอบโครงสร้างลักษณะของชุดการทรงตัวของดาวเทียม ชุดการทรงตัวของดาวเทียมมีหลักการการทำงานคือ เมื่อกดปุ่มรีโมทคอนโทรลลำดับที่หนึ่งวงจรถวลจะสั่งงานให้มอเตอร์ที่ควบคุมการการที่ตัวถังดาวเทียมทำงานตัวถังดาวเทียมจะทำการหมุนรอบโครงสร้างดาวเทียม

ขนาดและส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่

- 1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลท์ 5 รอบ/วินาที กินกระแส 1.2 แอมป์
- 2 วงจรถวลสวิตช์แบบไร้สาย
- 3 ลิมิตสวิตช์ 1 ตัว
- 4 ตัวถังดาวเทียมกว้าง 30 ซม. ยาว 25 ซม.



รูปที่ 3.3 ลักษณะตัวถังดาวเทียมที่ได้ออกแบบ

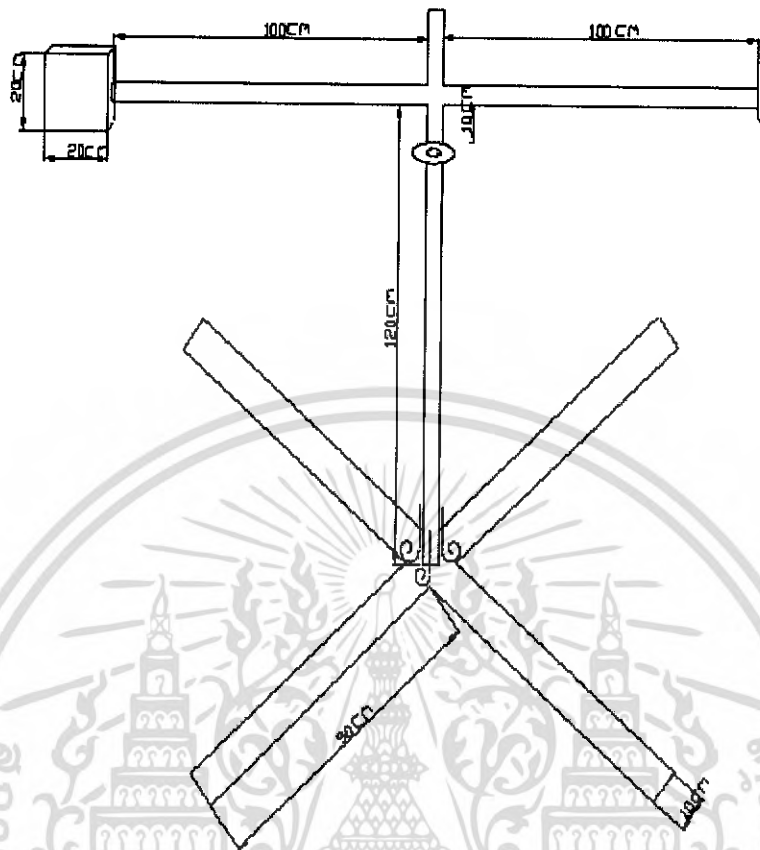
### 3.2.3 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่การโคจรของดาวเทียม

ชุดควบคุมการเคลื่อนที่การโคจรของดาวเทียม เป็นส่วนทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนดาวเทียมซึ่งแขวนอยู่บนราวเคลื่อนที่แสดงการโคจรของดาวเทียมนอกอวกาศที่มีต่อโลก ดำเนินการโดยการกดสวิตช์รีโมทลำดับที่ 3 เพื่อให้ดาวเทียมเคลื่อนที่ไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมื่อกดสวิตช์ลำดับที่ 4 ดาวเทียมจะโคจรในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ขนาดและส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่

- 1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลท์ 30 รอบ/นาที กินกระแส 1.2 แอมป์
- 2 วงจรกลับทางหมุน
- 3 แกนเหล็กเคลื่อนที่ขนาดกว้าง 3.5 ซม. ยาว 120 ซม.
- 4 ราวเหล็กขนาด 100 ซม.
- 5 ลูกปืนขับเคลื่อน 6001Z
- 6 เหล็กแผ่นขนาดกว้าง 10 ซม. ยาว 50 ซม.หนา 5 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่การโคจรของดาวเทียม

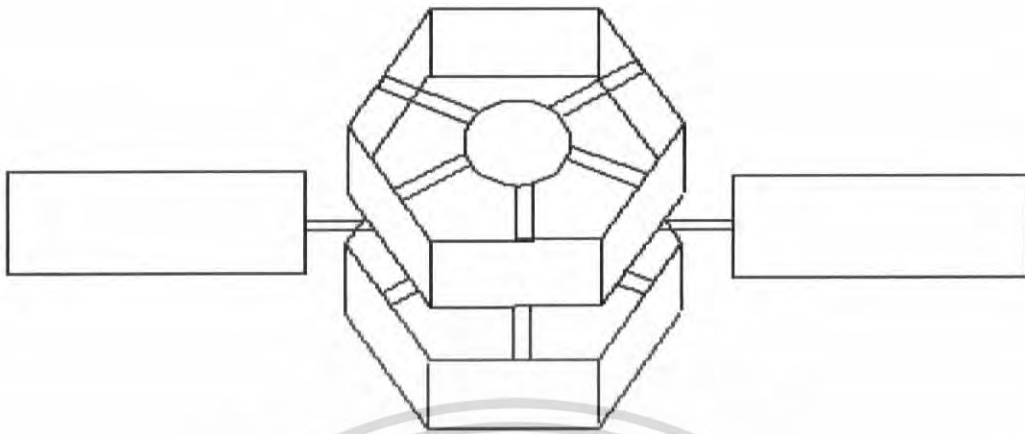
### 3.2.4 ชุดควบคุมปีกโซล่าเซลล์ของดาวเทียม

ในส่วนของชุดควบคุมปีกโซล่าเซลล์ของดาวเทียม มีหลักการทำงานคือกดสวิทช์จากรีโมท ให่วงจรสวิทช์แสงทำงานเมื่อไฟไปเลี้ยงวงจรสวิทช์แสงจะทำงานโดยคำสั่งงานให้ปีกโซล่าเซลล์ปรับมุมไปด้านหน้าและด้านหลังเมื่อเจอแสงและปีกจะหยุดที่แสงเพื่อให้ดาวเทียมได้สร้างพลังงานได้เต็มที่

ขนาดและส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่

1. วงจรสวิทช์ทำงานด้วยแสงขนาด 12 โวลล์ 3 ตัว
2. มอเตอร์กระแสตรงขนาด 30 รอบ/นาที กิกระแส 1.2 โวลล์
3. เฟืองขับและเฟืองตาม 1 ชุด
4. วงจรสวิทช์ควบคุมแบบไร้สาย
5. วงจรกลับทางหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตการควบคุมดาวเทียม

### 3.2.5 ชุดแสดงผลหลอดLED

ชุดแสดงผลเป็นตัวทำหน้าที่ในการบอกลักษณะการทำงานของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตการควบคุมดาวเทียม ซึ่งมีลักษณะดังนี้

แสดงการทรงตัว หลอด LED ที่หนึ่ง (นับจากซ้ายมือ) แสดงผลสีขา การแสดงการโคจรทวนเข็มนาฬิกาโดยการกดรีโมทปุ่มที่สาม จะแสดงผลในหลอดที่สาม คือ สีน้ำเงิน เมื่อกดปุ่มที่สี่ดาวเทียมจะโคจรตามเข็มนาฬิกาแสดงผลในหลอดที่สี่ แสดงผลเป็นหลอดสีแดง

### 3.2.6 แหล่งจ่ายแรงดัน

แหล่งจ่ายแรงดันใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ จากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 5 แอมแปร์ จำนวน 1 ก้อนดังรูปที่ 3.6 ซึ่งจะให้กำลังงานที่เพียงพอต่อการทำงานของทุกๆส่วนของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตการควบคุมดาวเทียม



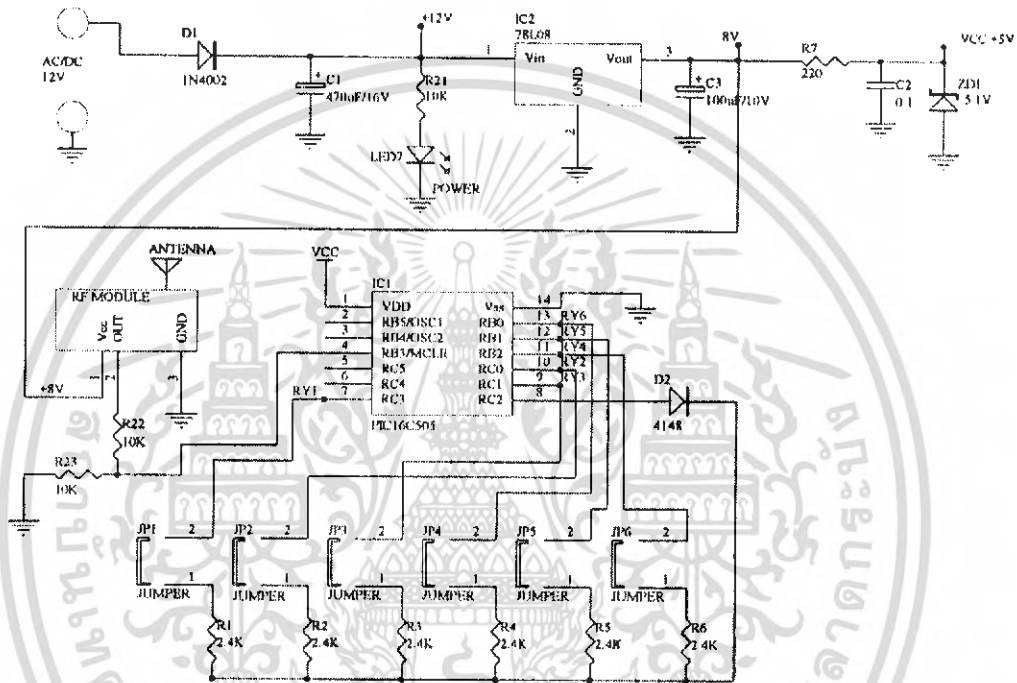
รูปที่ 3.6 แบตเตอรี่ 12 V 5 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ส่วนวงจรควบคุม

ส่วนของวงจรควบคุมมีหลายส่วนด้วยกัน ได้แก่ การควบคุมสวิตช์แบบไร้สายโดยใช้รีโมท คลื่นวิทยุ วงจรสวิตช์ทำงานด้วยแสง วงจรกลับทางหมุน วงจรสวิตช์ควบคุมแหล่งจ่าย

#### 3.3.1 วงจรควบคุมสวิตช์แบบไร้สาย



รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมสวิตช์ทำงานแบบไร้สาย

วงจรควบคุมสวิตช์ทำงานแบบไร้สาย

- 1.จ่ายแรงดันไฟ +12V ให้ขา ด้านอินพุตของวงจร
- 2.จ่ายแรงดันไฟ -0 V ให้ขา G ด้านอินพุตของวงจร
- 3.จ่ายไฟด้าน 12 v ให้นำคอนแทครีเลย์ต่อด้านเอาต์พุตออกใช้งานโดยต่อร่วมกับกราวด์

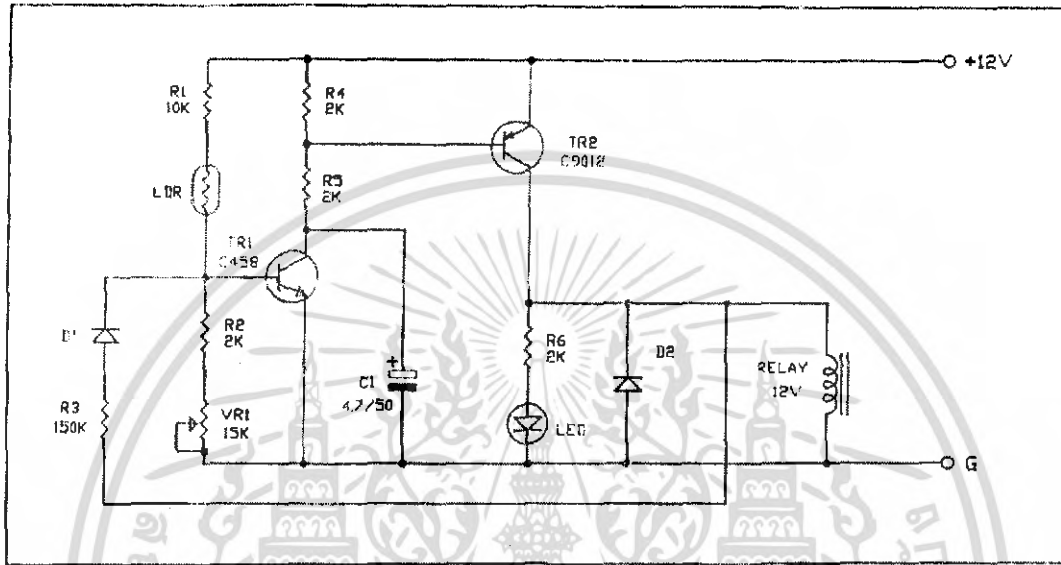
ของวงจร

4.การทำงานเลือกได้สองแบบ รีเลย์แต่ละตัวเลือกการทำงานโดยการตั้งค่าจัมเปอร์ 1-6 เพื่อเลือกการทำงานของรีเลย์ตามลำดับ ถ้าจัมเปอร์ (off) จะเป็นการกดติดกดดับ เช่น ถ้าต้องการให้รีเลย์ 1 ทำงานแบบกดติด-กดดับ ให้ปลด off จัมเปอร์ JP1 หรือถ้าต้องการให้รีเลย์ 3 ทำงานแบบกดติดปล่อยดับ ให้เสียบ (on) จัมเปอร์ JP3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 วงจรสวิตช์ทำงานด้วยแสง

ใช้แสงมาควบคุมให้รีเลย์เปิด-ปิดมอเตอร์ คือ เมื่อ LDR ได้รับแสงวงจรจะสั่งให้รีเลย์ทำงาน รีเลย์ก็จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาต่อทำงาน แต่เมื่อใดที่ไม่มีแสงมากระทบ LDR วงจรก็สั่งให้รีเลย์หยุดทำงานทันที



รูปที่ 3.8 วงจรสวิตช์ทำงานด้วยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 กล่าวนำ

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม ไม่ว่าจะเป็นในส่วนของ การควบคุมการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถอยหลัง และการโคจร เป็นลักษณะวงกลม ชุดการปรับมุมรับแสงอัตโนมัติ การจำลองการถ่ายภาพบนพื้นดิน ซึ่งจะใช้คนเป็นผู้ควบคุมการทดลองต่างๆ

#### 4.2 การทดลองการทำงานของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม

หน้าที่หลักของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม คือ การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าถอยหลัง ในลักษณะโคจรเป็นวงกลม จุดเริ่มการทานของดาวเทียมนอกอวกาศและการทรงตัวของดาวเทียมเมื่ออยู่ในสถานะที่พร้อมจะทำงาน การปรับมุมรับแสงอัตโนมัติ และการจำลองการถ่ายภาพบนพื้นดิน ดังนั้นในการทดลองดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียมนี้ จึงสามารถทดลองได้ดังนี้

##### 4.2.1 การทดลองควบคุมการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลังของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม



**รูปที่ 4.1** การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลังของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียมไปติดกับเสาแสดงการโคจร
2. เปิดสวิตช์เพื่อจ่ายไฟ 12 V ให้กับดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม
3. ทำการควบคุมการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลังเพื่อแสดงการโคจรเป็นลักษณะวงกลม

#### 4.2.1.2 ผลการทดลอง

1. ดาวเทียมสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลังตามที่กำหนดด้วยวงจรถลับทางหมุนอย่างง่าย

#### 4.2.1.3 สรุปผลการทดลอง

1. การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลังของดาวเทียมขนาดเล็กสมบูรณ์แบบ

#### 4.2.2 การทดลองควบคุมการหมุนรอบตัวเองของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม



รูปที่ 4.2 การหมุนรอบตัวเองของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม

#### 4.2.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดสวิตช์การทำงานของดาวเทียมเพื่อจ่ายกระแสไฟให้วงจร
2. กดรีโมทเพื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนรอบตัวเองเพื่อจำลองการทรงตัวนอกอวกาศ
3. สังเกตให้ดาวเทียมทำงานตามขีดความสามารถที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

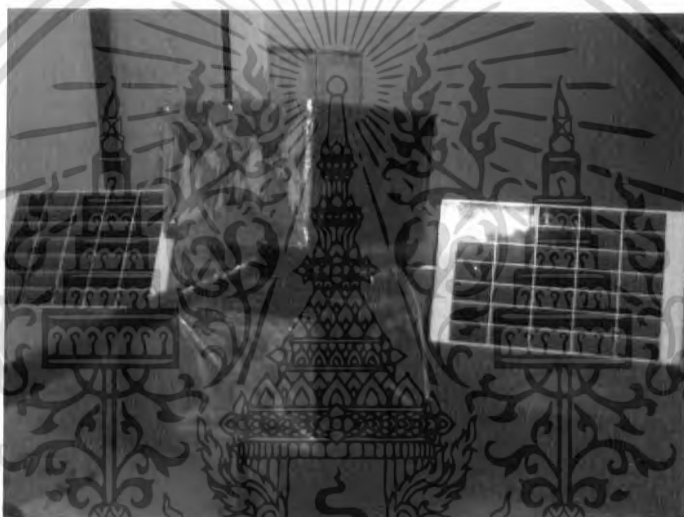
#### 4.2.2 ผลการทดลอง

1. แกนดาวเทียมจะเคลื่อนที่ไปพร้อมตัวถังดาวเทียมเมื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ควบคุม

#### 4.2.2.3 สรุปผลการทดลอง

1. การทำงานสองสถานะของดาวเทียมสาธิตระบบควบคุมคือการหมุนรอบตัวเองเป็นการจำลองสถานะแรกขึ้นทำงานของดาวเทียมเมื่อออกนอกอวกาศและจำลองหลักการทำงานตัวของดาวเทียมนอกอวกาศ

#### 4.2.3 การทดลองการปรับมุมรับแสงอัตโนมัติของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม



รูปที่ 4.3 การปรับมุมรับแสงอัตโนมัติของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม

##### 4.2.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดสวิตช์การทำงานของดาวเทียมเพื่อจ่ายกระแสไฟให้วงจร
2. ใช้รีโมทควบคุมการเคลื่อนที่ของดาวเทียมสั่งให้หยุดการเคลื่อนที่เพื่อความชัดเจนต่อการทดสอบการทำงานของปีกโซล่าเซลล์
3. เตรียมไฟฉาย
4. ปิดไฟในห้องที่ทำการทดลอง
5. ส่องไฟฉายไปยังตัวถังดาวเทียม
6. บังคับแสงให้ส่องถึงด้านหน้าปีกคือด้านที่มีแผ่นโซล่าเซลล์ด้วยเพื่อหยุดการทำงานของปีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3.2 ผลการทดลอง

1. ปีกดาวเทียมจะหมุนรับด้านที่มีแสงส่องไปยังตัวรับแสงที่ติดอยู่กับโครงสร้างของดาวเทียม
2. ปีกดาวเทียมหมุนได้ 360 องศาจะหยุดเมื่อตัวปีกมีแสงตกกระทบด้านหน้า
3. ปีกสามารถหมุนได้สองด้าน คือด้านหน้า, ด้านหลังของดาวเทียม

#### 4.2.3.3 สรุปผลการทดลอง

1. ปีกดาวเทียมจะหมุนตามแสงโดยใช้วงจรเปิดการทำงานด้วยแสง
2. การสั่งงานโดยให้ตัวรับแสงติดที่โครงสร้างดาวเทียมทั้งด้านหน้าและด้านหลัง
3. ปีกดาวเทียมสามารถหมุนได้ 360 องศาและหยุดเมื่อผิวหน้าแผ่นโซลาร์เซลล์ตกกระทบแสง
4. การรับแสงของปีกโซลาร์เซลล์ในค้นหาแสงโดยใช้วงจรกลับทางหมุนร่วมกับวงจแสงด้านหน้าและด้านหลังในการเริ่มการทำงานของมอเตอร์ที่ต่อร่วมกับปีกโซลาร์เซลล์อยู่

#### 4.2.4 การทดลองควบคุมการจำลองถ่ายภาพบนพื้นดินของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม



รูปที่ 4.4 การจำลองถ่ายภาพบนพื้นดินของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม

##### 4.2.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งกล้องถ่ายภาพไร้สายไว้ที่ตัวถังดาวเทียม
2. ต่อตัวรับสัญญาณไว้กับคอมพิวเตอร์ที่มีช่อง AV in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สั่งงานให้กล้องถ่ายภาพโดยใช้โปรแกรมที่ติดตั้งในเครื่องพีซีสามารถทำงานร่วมกับช่อง AV in

4. สั่งถ่ายภาพโดยการคลิกปุ่มกล้องถ่ายภาพที่ตัวโปรแกรมหรือไม่ก็กด Enter ที่ คีย์บอร์ด คอมพิวเตอร์ หรือ ที่รีโมทควบคุมช่อง AV in คอมพิวเตอร์

#### 4.2.4.2 ผลการทดลอง

1. จะได้ภาพนิ่งหรือภาพเคลื่อนไหวแล้วแต่จะเลือกโหมด
2. ไฟล์ภาพจะเก็บไว้อย่างเป็นระเบียบในไดเรกทอรีที่เลือกไว้
3. ความคมชัดของภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของกล้องที่ใช้

#### 4.2.4.3 สรุปผลการทดลอง

1. การควบคุมการจำลองการถ่ายภาพของดาวเทียมใช้ร่วมกับการควบคุมการหมุนรอบตัวเองของดาวเทียมการถ่ายภาพของดาวเทียมนั้นดาวเทียมจะอยู่ในสภาวะที่พร้อมจะทำงาน คือ เริ่มการทรงตัวด้วยการหมุนของแกนเพียงอย่างเดียว

2. การจำลองการถ่ายภาพใช้พีซีควบคุมเท่านั้น
3. ภาพที่ได้หากต้องการดูให้เข้าไปดูในไดเรกทอรีที่เลือกไว้

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุป

ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม จะประกอบไปด้วยส่วนของกลไกและส่วนของควบคุมซึ่งส่วนของกลไกนั้น เป็นส่วนที่สำคัญ ประกอบไปด้วย กลไกชุดขับเคลื่อนตัวถัง กลไกชุดขับเคลื่อนปีกโซล่าเซลล์ กลไกขับเคลื่อนดาวเทียมสาธิต และการจำลองการถ่ายภาพ ซึ่งการทำงานของส่วนต่างๆ จะถูกควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้แรงดัน 12 V เป็นตัวขับเคลื่อนกลไกทั้งหมด โครงสร้างส่วนใหญ่ของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม ส่วนใหญ่ทำจากอะลูมิเนียม ซึ่งมีน้ำหนักเบาและเหล็กเพื่อความแข็งแรง ทำให้ง่ายต่อการประกอบขึ้นรูปและแก้ไขปรับปรุงโครงสร้าง

ส่วนควบคุมนั้น ใช้ระบบควบคุมมอเตอร์ธรรมดา ในการควบคุมการทำงานจะออกแบบวงจรในการควบคุม ให้ทำงานตามลำดับขั้นตอนและเงื่อนไขที่กำหนด ตั้งแต่เริ่มต้นการทำงาน ของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม โดยใช้บุคลากรบังคับและควบคุมวงจรตามที่วางแผนขั้นตอนการใช้งานไว้ และการควบคุมการถ่ายภาพให้ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม ทำงานตามที่กำหนด

จากผลการทดลอง การทำงานพบว่า ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม สามารถหมุนรอบตัวเอง 360 องศา โคจรเป็นวงกลมเคลื่อนไปหน้าและถอยหลัง ส่วนปีกของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียมสามารถปรับมุมรับแสงอัตโนมัติตามต้องการ ซึ่งการทดสอบมาจากการลองทดสอบแล้วด้วยไฟฉายทำให้เห็นการทำงานแบบอัตโนมัติของปีกดาวเทียม ซึ่งปีกดาวเทียมเป็นส่วนเดียวที่ผู้บังคับไม่สามารถบังคับได้มันจะทำงานเมื่อเปิดสวิตช์จ่ายกระแสไฟเข้าวงจร ส่วนการจำลองการถ่ายภาพทำได้โดยติดตั้งตัวรับและซอฟต์แวร์กับ พีซี เพื่อเป็นตัวส่งและตัวบันทึกการถ่ายภาพ แต่ทั้งนี้เมื่อดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียมมีปัญหาในการสาธิตให้เปิดสวิตช์จ่ายกระแสไฟหยุดการทำงานได้ทั้งหมดเพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไข

## 5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงงานปรากฏว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. **ปัญหา** เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนดาวเทียมไม่มีแรงพอที่จะขับเคลื่อนดาวเทียมให้เคลื่อนที่ได้  
**วิธีการแก้ไข** เปลี่ยนมอเตอร์ดาวเทียมให้มีแรงบิดมากขึ้น และเฟืองเกียร์ในมอเตอร์ ให้มีความคงทนเพื่อจะมีแรงในการขับเคลื่อนดาวเทียมและทนต่อการเสียดสีรับแรงของเฟืองมอเตอร์ด้วย
2. **ปัญหา** ไม่มีที่สำหรับวางแบตเตอรี่และวงจรสำหรับการหมุนรอบตัวเองของดาวเทียมไม่ให้เคลื่อนที่ตามตัวถังเพราะอาจทำให้สายพันตามแกนไปด้วย  
**วิธีการแก้ไข** เพิ่มถาดติดกับส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ในตัวถังบนจะทำให้วางวงจรและชุดพลังงานได้
3. **ปัญหา** การทำโครงสร้างโดยนำเหล็กและอลูมิเนียมมาติดกัน  
**วิธีการแก้ไข** ทำได้โดยนำทั้งอลูมิเนียมและเหล็กมาอัดด้วยแป้นไฮดรอลิกส์จะทำให้ติดกันและแน่นด้วย

## 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาส่วนปีกให้ใช้โซลาเซลล์จริงๆ เพื่อเรียนรู้การใช้พลังงานของดาวเทียมอย่างชัดเจนด้วย
2. พัฒนาส่วนแกนดาวเทียมใหญ่มีขนาดใหญ่เห็นได้ชัด เพราะดาวเทียมสมัยใหม่จะทรงตัวจากแกนหมุนรอบตัวเองอย่างเดียว
3. พัฒนาดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม ให้สามารถทำงานอย่างเต็มขีดความสามารถโดยใช้กล่องควบคุมตัวเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

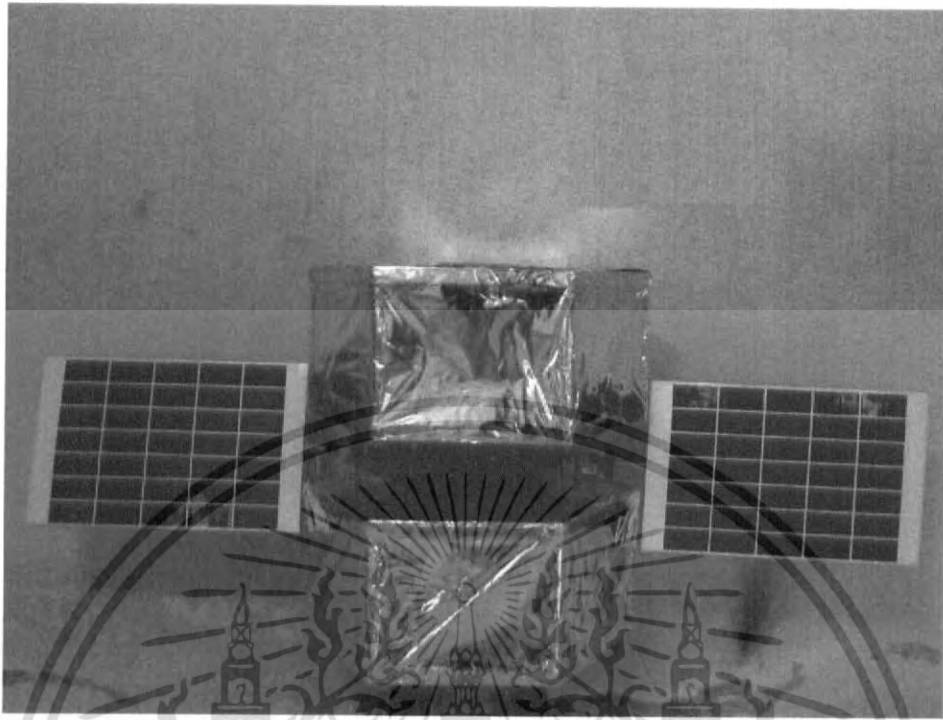
## บรรณานุกรม

- ประเสริฐ เคนพันธ์. 2546. **การสื่อสารดาวเทียม**. กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ประกิจ อ่องสร้อย. 2543. พิมพ์ครั้งที่ 3. **รวมวงจรจากมืออาชีพ**. กรุงเทพฯ : เอส แอนด์ จี กราฟฟิค
- ฤทธิ์ ชีระโกเมน. 2538. **รวมบทความทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์**. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
- ณรงค์ เทมกรณ์. 2533. **การสื่อสารดาวเทียม**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ประสิทธิ์ ทิมพุดิ. 2537. **การสื่อสารดาวเทียม**. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์
- วิจิตร บุญยชโรกุล. 2527. **ระบบควบคุมมอเตอร์**. กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. 2533-2541. **เครื่องกลไฟฟ้า 1**. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- พงศ์ สุวรรณวิฑูกร. 2525. **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง**. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์
- มงคล ทองสงคราม. 2536. **อิเล็กทรอนิกส์**. กรุงเทพฯ : วี.เจ.พรินติ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ด้านหน้าของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม



รูปที่ ก.2 ด้านหลังของตัวดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



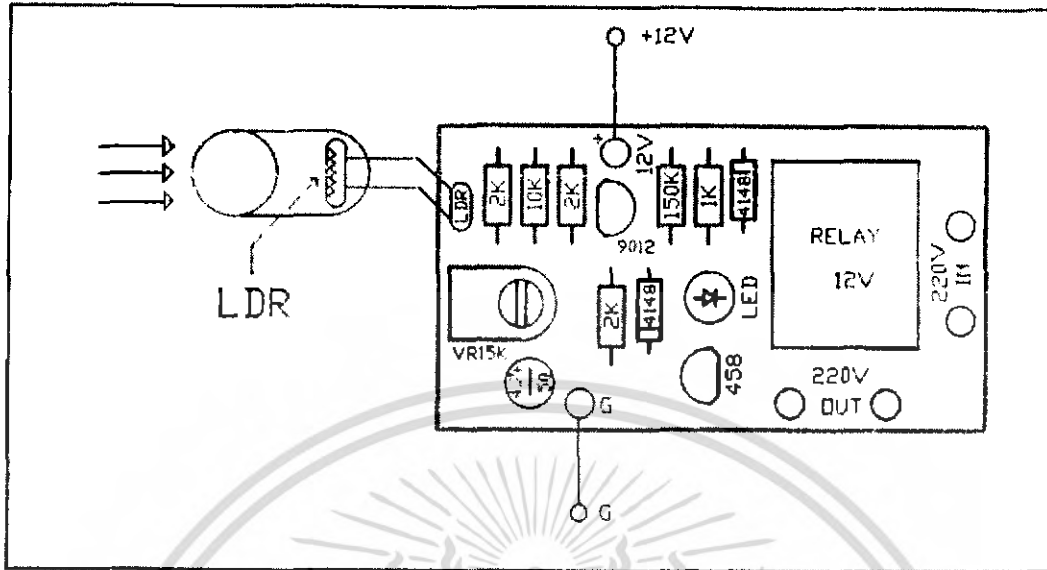
รูปที่ ก.3 ด้านบนของดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสถานีระบบควบคุมดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ ๓.๓ ตำแหน่งการลงอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์วงจรสวิทช์ทำงานด้วยแสง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>ตัวต้านทาน</b>		
R1	10Ω	1ตัว
R2	470Ω	1ตัว
<b>ทรานซิสเตอร์</b>		
Q1	BC547	1 ตัว
Q2	BC337	1 ตัว
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
LDR	ORP12	1ตัว
LED	RED	1ตัว
DIODE1	1N4001	1ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
RLA	9V RELAY	1ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์วงจรสวิทช์ทำงานด้วยแสง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>ตัวต้านทาน</b>		
R1	10 kΩ	1 ตัว
R2,R4,R5	2KΩ	3 ตัว
R3	150 kΩ	1ตัว
VR1	15 kΩ	1 ตัว
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
TR1	C458	1 ตัว
TR2	C9012	1 ตัว
LDR	ORP12	1 ตัว
LED		1 ตัว
DIODE	4148	2 ตัว
C1	4.7/50	1 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
RLA	12V RELAY	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์วงจรควบคุมสวิตซ์ทำงานแบบไร้สาย

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>ตัวต้านทาน</b>		
R1, R2,R3,R4,R5,R6,R8,R10-R21	2.4 k $\Omega$	18 ตัว
R7	220 $\Omega$	1 ตัว
R9,R22,R23	10 k $\Omega$	1 ตัว
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
TR1	C945	6 ตัว
LED		7 ตัว
D1	1N4002	1 ตัว
D2,D4	4148	7 ตัว
ZD1	5.1	1 ตัว
C1	470/16	1 ตัว
C2	0.1	1 ตัว
C3	100/10	1 ตัว
IC1	PIC16C505	1 ตัว
IC2	78L08	1 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
RLA	12V RELAY	6 ตัว
RF MODULE		1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง

รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRON DIFFRACTION

P.19.03.1

*Acta Cryst.* (2005). A61, C458**Relation of Local and Integral Intensities of Reflections on Oblique Texture Electron Diffraction (OTED) Pattern****Max Nickolsky**, *Institute of Ore Deposits (IGEM) RAS, Moscow, Russia*. E-mail: sir\_Maxus@mail.ru

OTED patterns arise from samples with preferred orientation of crystals. Reflections on OTED patterns from plate-like crystals appear as arcs. Structure amplitude could be determined either from integral intensity of reflection (integration of intensity of hole arc) or from local intensity of reflection (integration of intensity along radial profile of arc). Equations of intensity of reflections on OTED patterns were derived by Vanstein [1].

Local intensity is given in [1] as:  $I_{loc} = I_{int} \frac{\Delta}{L_{ref}}$  (1), where  $I_{int}$  and  $I_{loc}$  - local and integral intensity of reflection, respectively,  $m$  - azimuthal length of reflection,  $\Delta$  - width of profile.

New registration systems (Imaging Plate, CCD), suitable for electron diffraction, allow investigation of shape of reflections on OTED patterns in much more detailed way than ever. As can be seen directly, distribution of intensity in azimuthal direction of arc is not uniform and thus, equation (1) is not correct.

Precise determination of structure amplitude could be done with the respect to the shape of arc in azimuthal direction. The last depends on deviation of sample from ideal "texture" and could not be predicted in advance. The only way is to describe shape of reflections with analytical functions for each particular sample, assuming that shape of reflection is one and the same for all reflections on OTED pattern.

[1] Vanstein B. K. *Kristallografiya*, 1957, 2, 340.

Keywords: electron diffraction, imaging plates, texture patterns

P.19.03.2

*Acta Cryst.* (2005). A61, C458**Structure Determination of Embedded Precipitates by Precession Electron Diffraction and Synchrotron Radiation: A Comparison****Vidar Hansen**, Aile Kvernemeland, Helge Bovik Larsen, Philip Paterson, Roger Vincent, Jon Gjønnes, *Department of Mechanical and Structural Engineering and Materials Science, University of Stavanger, N-4036 Stavanger, Norway*; *SNBL-ESRF, 6 Rue Jules Horowitz, BP 220 F-38043 Grenoble Cedex 9, France*; *H.H. Mills Laboratory, University of Bristol, Fyfe Hall Ave, Bristol BS8 1TL, United Kingdom*; *Center for Materials Science and Nanotechnology, University of Oslo, Gaustadalleen 21, N-0349 Oslo, Norway*. E-mail: vidar.hansen@uis.no

Phases that appear in industrially important materials are often difficult to prepare in a form suitable for structure determination by standard X-ray methods. The metastable,  $\eta'$ -phase in age-hardened Al-Zn-Mg alloys occurs only as nano-sized semicoherent precipitates embedded in the alloy matrix. Previous X-ray [1], and HRTEM [2] work have not provided a satisfactory structure solution. The  $\eta'$  structure has therefore been analyzed by us, using three-dimensional electron diffraction data collected from thin-foils prepared from the age-hardened 88.12 at%Al, 10.2 at%Zn, 1.68 at%Mg alloy, as well as synchrotron radiation data obtained from individual grains extracted from a specially prepared alloy casting.

Structure analysis of the  $\eta'$ -phase is met with several complications: Faults are frequent, composition and density are not known, the diffraction patterns are superpositions of four equivalent orientations of the hexagonal  $\eta'$ -lattice relative to the aluminum matrix ( $a^*_{\eta'} = (1/3) [220]_{Al}$ ;  $c^*_{\eta'} = (1/6) [1-11]_{Al}$ ). The data are thus incomplete, due to overlap of reflections - and are in the electron case severely influenced by matrix-precipitate double diffraction. The latter effect was suppressed in our study, by the precession technique [3]. A three-dimensional data set to was collected by merging intensities from five projections. Synchrotron data from the same projections were extracted from a continuous three-dimensional intensity recorded on a MAR image plate.

Panerson and Fourier maps calculated from the incomplete intensity data obtained by either technique led to a structure model, in

the space group,  $P6_3mm$  (194). Comparisons between selected area and precession electron diffraction with the synchrotron data will be presented.

[1] Auld J.H., Conrad S.McK., *Scripta Met.*, 1971, 5, 765. [2] Li X.Z., Hansen V., Gjønnes J., Wallenberg L.R., *Acta Mater.*, 1999, 47, 2651. [3] Vincent R., Midgley P.A., *Ultramicroscopy*, 1994, 53, 271.

Keywords: structure determination, electron diffraction, synchrotron radiation

P.19.03.3

*Acta Cryst.* (2005). A61, C458**Measurements of Valence Electron Distribution in Perovskite  $CaCu_2Ti_2O_{11}$** **Yunxi Zhu**, J.C. Zheng, L. Wu, J. Hanson, W. Ku, *Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, 11973 USA*. E-mail: zhu@bnl.gov

$CaCu_2Ti_2O_{11}$  oxide recently has attracted much attention due to its extremely high dielectric constant ( $\sim 10^4$ ) from static fields up to biobertz frequencies over a wide temperature range (100-600 K) [1]. In this presentation we report our study of the electronic structure and charge distribution of the material by combined use of quantitative electron diffraction, x-ray diffraction and DFT calculations. The electron diffraction was based on our unique diffraction-imaging coupled technique [2]: Parallel Recording Of Dark-field Images (PARODI). It is a new breed of convergent beam electron diffraction developed to accurately determine structure factors of low-order reflections that are sensitive to valence electron distribution. The synchrotron based single-crystal x-ray diffraction was mainly used to determine the structure factors of high-order reflections that are sensitive to atomic positions and Debye-Waller factors. The experimental results were then compared with various DFT calculations. Our results show that quantitative electron diffraction now can be used to test DFT. Combining the three techniques we are able to reveal valence electron distribution, electron orbitals and bonding characteristics of complex functional materials.

This work is supported by U.S. DOE under Contract No. DE-AC02-76CF00016.

[1] Subramanian, et al., *J. Sol. State Chem.*, 2000, 141, 323. [2] Wu L., et al., *Phys. Rev. B*, 2004, 69, 064501.

Keywords: charge density, convergent-beam electron diffraction, perovskite

P.19.03.4

*Acta Cryst.* (2005). A61, C458-C459**A Complex  $PbMnO_{3.74}$  Phase solved by Electron Crystallography**  
**Holger Klein**, *Laboratoire de Cristallographie, 25 av. des Martyrs, 38042 Grenoble Cedex 9, France*. E-mail: holger.klein@grenoble.cnrs.fr

When a crystalline structure has one small cell parameter, a high resolution electron micrograph (HREM) obtained in a transmission electron microscope (TEM) can give valuable information on the crystalline structure. Such an image can be seen as the convolution of the projection of the crystal potential and the microscope inherent contrast transfer function (CTF). After deconvolution a projected potential map is obtained. Especially in cases where the other cell parameters are very large and X-ray powder diffraction is not able to solve the structure this method is valuable.

In this contribution we will present the structure determined by the above method of a complex phase of approximate stoichiometry of  $PbMnO_{3.74}$ . Its unit cell is monoclinic of space group  $A2/m$  ( $a = 32.232 \text{ \AA}$ ,  $b = 3.831 \text{ \AA}$ ,  $c = 35.671 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 130^\circ$ ) [1].

Image treatment was done using the Visual Electron Crystallography software [2]. The images were first Fourier filtered, then deconvoluted from the contrast transfer. The obtained projected potential map allowed to distinguish the Pb and Mn cations and to place them in the projection onto the ac plane. Due to the small b parameter and the space group, atoms can only be located at  $y = 0$  or  $y = 0.5$ . Taking into account the usual distances between cations in the same system allows to distinguish between the two values.

The final atomic coordinates differ little from the positions given

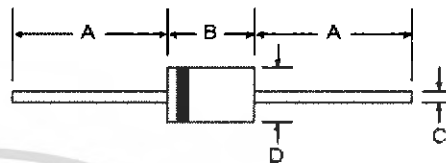


# 1N4001/L - 1N4007/L

1.0A RECTIFIER

## Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- Plastic Material: UL Flammability Classification Rating 94V-0



## Mechanical Data

- Case: Molded Plastic
- Terminals: Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Weight: DO-41 0.30 grams (approx)  
A-405 0.20 grams (approx)
- Mounting Position: Any
- Marking: Type Number

Dim	DO-41 Plastic		A-405	
	Min	Max	Min	Max
A	25.40	—	25.40	—
B	4.06	5.21	4.10	5.20
C	0.71	0.864	0.53	0.64
D	2.00	2.72	2.00	2.70

All Dimensions in mm

"L" Suffix Designates A-405 Package  
No. Suffix Designates DO-41 Package

## Maximum Ratings and Electrical Characteristics @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.  
For capacitive load, derate current by 20%

Characteristic	Symbol	1N 4001/L	1N 4002/L	1N 4003/L	1N 4004/L	1N 4005/L	1N 4006/L	1N 4007/L	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	$V_{RRM}$ $V_{PRM}$ $V_R$	50	100	200	400	600	800	1000	V
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @ $T_A = 75^\circ\text{C}$	$I_O$	1.0							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	$I_{FSM}$	30							A
Forward Voltage @ $I_F = 1.0\text{A}$	$V_{FM}$	1.0							V
Peak Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ @ $T_A = 100^\circ\text{C}$	$I_{RM}$	50 50							$\mu\text{A}$
Typical Junction Capacitance (Note 2)	$C_j$	15						6	pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	100							K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	$T_A$	+150							$^\circ\text{C}$
Operating and Storage Temperature Range (Note 3)	$T_J, T_{STG}$	-65 to +175							$^\circ\text{C}$

- Notes:
1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
  2. Measured at 1. MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
  3. JEDEC Value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

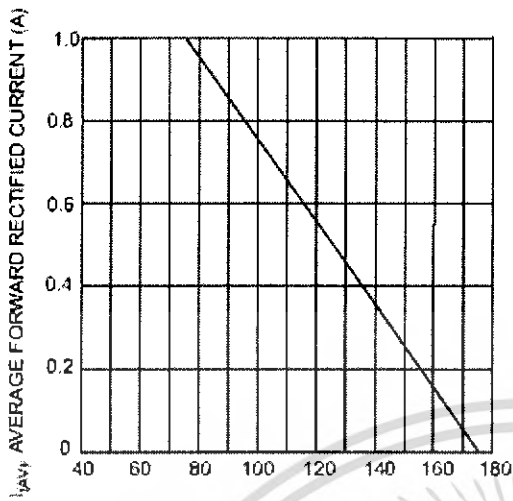


Fig. 1 Forward Current Derating Curve

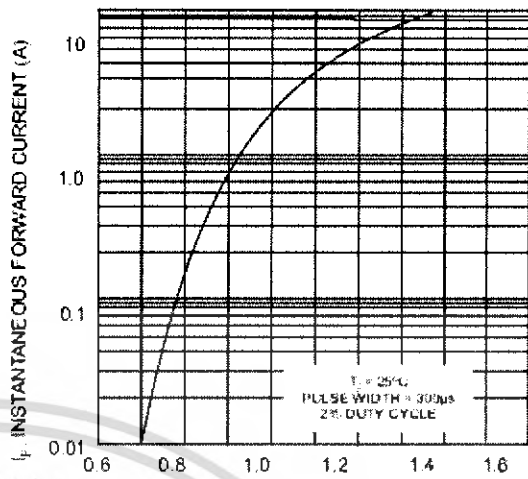


Fig. 2 Typical Forward Characteristics

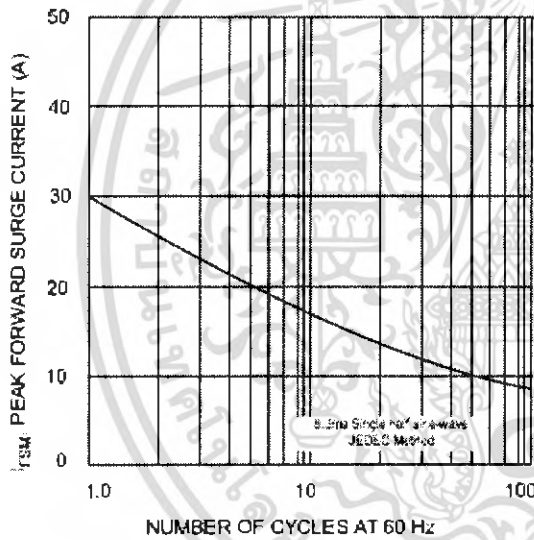


Fig. 3 Max Non-Repetitive Peak Fwd Surge Current

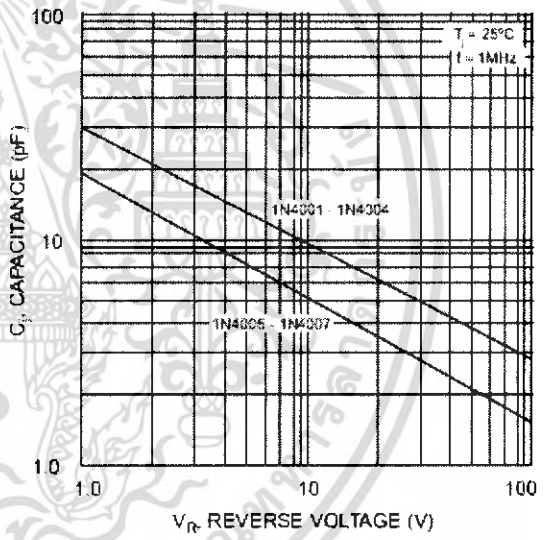
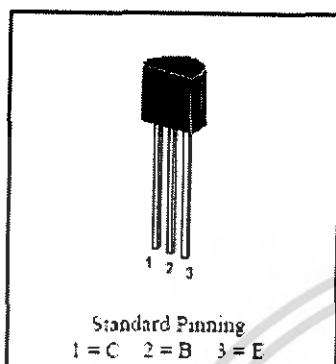


Fig. 4 Typical Junction Capacitance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BC 327 / BC 328 **R** General Purpose Transistor

PNP Si-Epitaxial Planar Transistors PNP



Power dissipation – Verlustleistung 625 mW

Plastic case TO-92  
Kunststoffgehäuse (10D3)

Weight approx. – Gewicht ca. 0.18 g

Plastic material has UL classification 94V-0  
Gehäusematerial UL94V-0 klassifiziert

Standard packaging taped in ammo pack  
Standard Lieferform gegurtet in Ammo-Pack

Maximum ratings ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Grenzwerte ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

			BC 327	BC 328
Collector-Emitter-voltage	B open	- $V_{CE0}$	45 V	25 V
Collector-Emitter-voltage	B shorted	- $V_{CES}$	50 V	30 V
Emitter-Base-voltage	C open	- $V_{EB0}$	5 V	
Power dissipation – Verlustleistung		$P_{tot}$	625 mW <sup>(1)</sup>	
Collector current – Kollektorstrom (DC)		- $I_C$	800 mA	
Peak Coll. current – Kollektor-Spitzenstrom		- $I_{CM}$	1 A	
Base current – Basisstrom		- $I_B$	100 mA	
Junction temp. – Sperrschichttemperatur		$T_j$	150 °C	
Storage temperature – Lagerungstemperatur		$T_S$	- 65...+ 150 °C	

Characteristics,  $T_j = 25^\circ\text{C}$

Kennwerte,  $T_j = 25^\circ\text{C}$

			Min.	Typ.	Max.
DC current gain – Kollektor-Basis-Stromverhältnis					
- $V_{CE} = 1\text{ V}$ , - $I_C = 100\text{ mA}$	Group -16	$h_{FE}$	100	160	250
	Group -25	$h_{FE}$	160	250	400
	Group -40	$h_{FE}$	250	400	630
- $V_{CE} = 1\text{ V}$ , - $I_C = 300\text{ mA}$	Group -16	$h_{FE}$	60	130	–
	Group -25	$h_{FE}$	100	200	–
	Group -40	$h_{FE}$	170	320	–

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## General Purpose Transistors

## R

BC 327 / BC 328

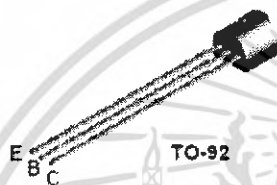
Characteristics ( $T_j = 25^\circ\text{C}$ )		Kennwerte ( $T_j = 25^\circ\text{C}$ )			
		Min.	Typ.	Max.	
Collector-Emitter cutoff current – Kollektorstrom					
- $V_{CE} = 45\text{ V}$	BC 327	- $I_{CES}$	-	2 nA	100 nA
- $V_{CE} = 25\text{ V}$	BC 328	- $I_{CES}$	-	2 nA	100 nA
- $V_{CE} = 45\text{ V}, T_j = 125^\circ\text{C}$	BC 327	- $I_{CES}$	-	-	10 $\mu\text{A}$
- $V_{CE} = 25\text{ V}, T_j = 125^\circ\text{C}$	BC 328	- $I_{CES}$	-	-	10 $\mu\text{A}$
Collector-Emitter breakdown voltage Collector-Emitter Durchbruchspannung					
- $I_C = 10\text{ mA}$	BC 327	- $V_{(BR)CES}$	20 V	-	-
	BC 328	- $V_{(BR)CES}$	45 V	-	-
- $I_C = 0.1\text{ mA}$	BC 327	- $V_{(BR)CES}$	30 V	-	-
	BC 328	- $V_{(BR)CES}$	50 V	-	-
Emitter-Base breakdown voltage Emitter-Basis-Durchbruchspannung					
- $I_E = 0.1\text{ mA}$		- $V_{(BR)EB0}$	5 V	-	-
Collector saturation volt. – Kollektor-Sättigungsspannung					
- $I_C = 500\text{ mA}, -I_B = 50\text{ mA}$		- $V_{CEsat}$	-	-	0.7 V
Base-Emitter voltage – Basis-Emitter-Spannung					
- $V_{CE} = 1\text{ V}, -I_C = 300\text{ mA}$		- $V_{BE}$	-	-	1.2 V
Gain-Bandwidth Product – Transitfrequenz					
- $V_{CE} = 5\text{ V}, -I_C = 10\text{ mA}, f = 50\text{ MHz}$		$f_T$	-	100 MHz	-
Collector-Base Capacitance – Kollektor-Basis-Kapazität					
- $V_{CB} = 10\text{ V}, I_E = I_C = 0, f = 1\text{ MHz}$		$C_{CB0}$	-	12 pF	-
Thermal resistance junction to ambient air Wärmewiderstand Sperrschicht – umgebende Luft		$R_{thA}$	200 K/W <sup>1)</sup>		
Recommended complementary NPN transistors Empfohlene komplementäre NPN-Transistoren		BC 337 / BC 338			
Available current gain groups per type Lieferbare Stromverstärkungsgruppen pro Typ		BC 327-16	BC 327-25	BC 327-40	
		BC 328-16	BC 328-25	BC 328-40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR

Discrete POWER & Signal  
Technologies

**BC547**  
**BC547A**  
**BC547B**  
**BC547C**



### NPN General Purpose Amplifier

This device is designed for use as general purpose amplifiers and switches requiring collector currents to 300 mA. Sourced from Process 10. See PN100A for characteristics.

#### Absolute Maximum Ratings\*

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V <sub>CEO</sub>	Collector-Emitter Voltage	45	V
V <sub>CBS</sub>	Collector-Base Voltage	50	V
V <sub>ES0</sub>	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I <sub>C</sub>	Collector Current - Continuous	500	mA
T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub>	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

\*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

#### NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

#### Thermal Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max	Units
		BC547 A / B / C	
P <sub>D</sub>	Total Device Dissipation Derate above 25°C	625	mW
		5.0	mW/°C
R <sub>θJC</sub>	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3	°C/W
R <sub>θJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	°C/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## NPN General Purpose Amplifier

(continued)

## Electrical Characteristics

T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
V <sub>BR,CEO</sub>	Collector-Emitter Breakdown Voltage	I <sub>C</sub> = 1.0 mA, I <sub>B</sub> = 0	45		V
V <sub>BR,CBO</sub>	Collector-Base Breakdown Voltage	I <sub>C</sub> = 10 μA, I <sub>E</sub> = 0	50		V
V <sub>BR,CES</sub>	Collector-Base Breakdown Voltage	I <sub>C</sub> = 10 μA, I <sub>E</sub> = 0	50		V
V <sub>BR,EBV</sub>	Emitter-Base Breakdown Voltage	I <sub>E</sub> = 10 μA, I <sub>C</sub> = 0	5.0		V
I <sub>CES</sub>	Collector Cutoff Current	V <sub>CE</sub> = 30 V, I <sub>E</sub> = 0 V <sub>CE</sub> = 30 V, I <sub>E</sub> = 0, T <sub>A</sub> = +150 °C		15 5.0	nA μA
<b>ON CHARACTERISTICS</b>					
h <sub>FE</sub>	DC Current Gain	V <sub>CE</sub> = 5.0 V, I <sub>C</sub> = 2.0 mA	547 547A 547B 547C	110 110 200 420	800 220 450 900
V <sub>CE(sat)</sub>	Collector-Emitter Saturation Voltage	I <sub>C</sub> = 10 mA, I <sub>E</sub> = 0.5 mA I <sub>C</sub> = 100 mA, I <sub>B</sub> = 5.0 mA			0.25 0.60 V V
V <sub>BE(on)</sub>	Base-Emitter On Voltage	V <sub>CE</sub> = 5.0 V, I <sub>C</sub> = 2.0 mA V <sub>CE</sub> = 5.0 V, I <sub>C</sub> = 10 mA	0.58	0.70 0.77	V V
<b>SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS</b>					
h <sub>ie</sub>	Small-Signal Current Gain	I <sub>C</sub> = 2.0 mA, V <sub>CE</sub> = 5.0 V, f = 1.0 kHz	125	900	
NF	Noise Figure	V <sub>CE</sub> = 5.0 V, I <sub>C</sub> = 200 μA, R <sub>S</sub> = 2.0 kΩ, f = 1.0 kHz B <sub>N</sub> = 200 Hz		10	dB

BC547 / BC547A / BC547B / BC547C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

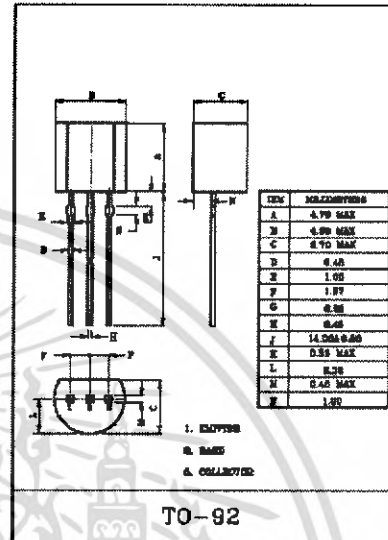
GENERAL PURPOSE APPLICATION.  
 SWITCHING APPLICATION.

**FEATURES**

- Excellent  $h_{FE}$  Linearity.
- Complementary to KTC9013.

**MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)**

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Base Voltage	$V_{CB}$	-40	V
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE}$	-40	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EB}$	-5	V
Collector Current	$I_C$	-500	mA
Emitter Current	$I_E$	-500	mA
Collector Power Dissipation	$P_C$	-625	mW
Junction Temperature	$T_J$	150	°C
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55 ~ 150	°C


**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=25°C)**

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector Cut-off Current	$I_{CO}$	$V_{CB} = -5V, I_E = 0$	-	-	-0.1	$\mu A$
Emitter Cut-off Current	$I_{EO}$	$V_{EB} = -5V, I_C = 0$	-	-	-0.1	$\mu A$
DC Current Gain	$h_{FE}$ (Notes)	$V_{CE} = -1V, I_C = -50mA$	64	-	246	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = -100mA, I_E = -10mA$	-	0.1	0.25	V
Base-Emitter Voltage	$V_{BE}$	$I_C = -100mA, V_{CE} = -1V$	-	-0.8	-1.0	V
Transition Frequency	$f_T$	$V_{CE} = 6V, I_C = 20mA, f = 100MHz$	150	-	-	MHz
Collector Output Capacitance	$C_{c1}$	$V_{CE} = 6V, I_C = 0, f = 1MHz$	-	7.0	-	pF

Note :  $h_{FE}$  Classification    1B61 ~ 3E1,    1B78 ~ 1E2,    1B96 ~ 1E5,  
     G118 ~ 163,    1E14 ~ 202,    1E76 ~ 246

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**DC COMPONENTS CO., LTD.**

DISCRETE SEMICONDUCTORS

DC9012

**TECHNICAL SPECIFICATIONS OF PNP EPITAXIAL PLANAR TRANSISTOR**

**Description**

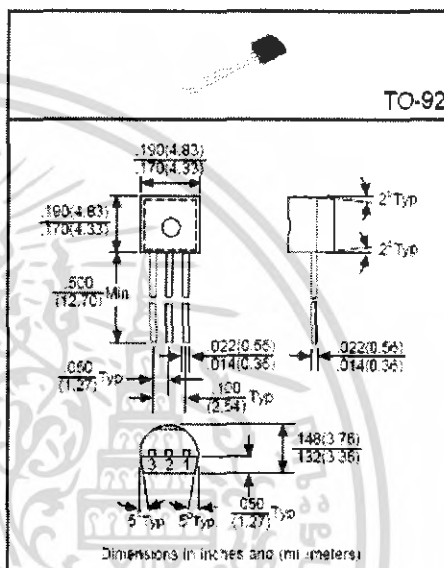
Designed for use in 1W output amplifier of portable radios in class B push-pull operation.

**Pinning**

- 1 = Emitter
- 2 = Base
- 3 = Collector

**Absolute Maximum Ratings (T<sub>A</sub>=25°C)**

Characteristic	Symbol	Rating	Unit
Collector-Base Voltage	V <sub>CB0</sub>	-40	V
Collector-Emitter Voltage	V <sub>CE0</sub>	-20	V
Emitter-Base Voltage	V <sub>EB0</sub>	-5	V
Collector Current	I <sub>C</sub>	-500	mA
Base Current	I <sub>B</sub>	-100	mA
Total Power Dissipation	P <sub>D</sub>	625	mW
Junction Temperature	T <sub>J</sub>	+150	°C
Storage Temperature	T <sub>STG</sub>	-55 to +150	°C



**Electrical Characteristics**

(Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
Collector-Base Breakdown Voltage	BV <sub>CB0</sub>	-40	-	-	V	I <sub>C</sub> =-100μA, I <sub>E</sub> =0
Collector-Emitter Breakdown Voltage	BV <sub>CE0</sub>	-20	-	-	V	I <sub>C</sub> =-1mA, I <sub>B</sub> =0
Emitter-Base Breakdown Voltage	BV <sub>EB0</sub>	-5	-	-	V	I <sub>E</sub> =-100μA, I <sub>C</sub> =0
Collector Cutoff Current	I <sub>CB0</sub>	-	-	-0.1	μA	V <sub>CB</sub> =-25V, I <sub>E</sub> =0
Emitter Cutoff Current	I <sub>EB0</sub>	-	-	-0.1	μA	V <sub>EB</sub> =-3V, I <sub>C</sub> =0
Collector-Emitter Saturation Voltage <sup>(1)</sup>	V <sub>CE(sat)</sub>	-	-	-0.6	V	I <sub>C</sub> =-500mA, I <sub>B</sub> =-50mA
Base-Emitter Saturation Voltage <sup>(1)</sup>	V <sub>BE(sat)</sub>	-	-	-1.2	V	I <sub>C</sub> =-500mA, I <sub>B</sub> =-50mA
Base-Emitter On Voltage <sup>(1)</sup>	V <sub>BE(on)</sub>	-	-	-0.9	V	I <sub>C</sub> =-10mA, V <sub>CE</sub> =-1V
DC Current Gain <sup>(1)</sup>	h <sub>FE1</sub>	64	-	300	-	I <sub>C</sub> =-50mA, V <sub>CE</sub> =-1V
	h <sub>FE2</sub>	40	-	-	-	I <sub>C</sub> =-500mA, V <sub>CE</sub> =-1V
Transition Frequency	f <sub>T</sub>	100	-	-	MHz	I <sub>C</sub> =-10mA, V <sub>CE</sub> =-1V, f=100MHz
Output Capacitance	C <sub>ob</sub>	-	-	8	pF	V <sub>CB</sub> =-10V, f=1MHz

(1) Pulse Test: Pulse Width ≤ 380μs, Duty Cycle ≤ 2%

**Classification of h<sub>FE1</sub>**

Rank	D	E	F	G	H	I	II	12
Range	64~91	78~112	96~135	112~166	144~202	176~300	176~246	214~300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## NORP CdS PHOTOCONDUCTIVE CELLS

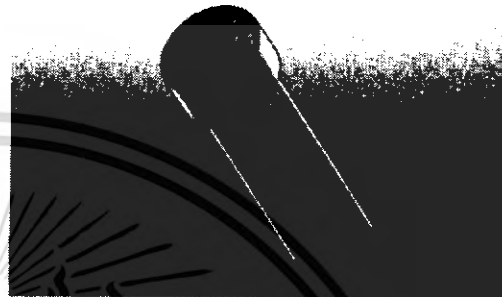
### FEATURES

- Maximum power Dissipation @ 30°C: 250mW
- Resistance Tolerance:  $\pm 40\%$  @ 1 Ftc
- Temperature Range:  $-60^{\circ}\text{C}$  to  $+75^{\circ}\text{C}$

### NORP-11, 12, 13 SERIES

### GENERAL DESCRIPTION

The NORP series are highly stable, sensitive CdS photoconductive cells with a spectral response similar to that of the human eye. This series available in three resistance ranges, is packaged in a moisture resistant epoxy filled plastic casing.



Silonex Part No.	Sensitive Material	Resistance @ 1 Ftc (ohms)	Typical Resistance @ 100 Ftc (ohms)	Minimum Dark Resistance (ohms)	Maximum Voltage Rating Peak AC or DC	Maximum Current (mA)
NORP-11	Type 4 CdS Peak @ 530nm	20 K	800	2.5 M	320	75
NORP-12		9 K	400	1.0 M	320	75
NORP-13		4 K	200	0.5 M	320	75

Silonex Part No.	Sensitive Material	Rise Time (ms) Dark To 110% R <sub>L</sub> (1)		Decay Time (ms) To 10% R <sub>L</sub> (1)		Typical Temperature Coefficient (%/°C)		Typical Capacitance in Dark (pF)
		@ 1 Ftc	@ 100 Ftc	from 1 Ftc	from 100 Ftc	@ 1 Ftc	@ 100 Ftc	
NORP-11	Type 4 CdS	20	2.0	60	30	0.2	0.01	3.5
NORP-12		18	2.8	120	48	0.08	0.03	3.5
NORP-13		25	3.0	200	100	0.08	0.03	3.5

(1) At 100% resistance after 15 sec. illumination.

MEASUREMENT DATA: Cells light adapted at 30-50 Ftc for 16 hours minimum prior to test. All measurements conducted at 25°C ambient, 2854°K.

Dark resistances measured 15 seconds after removal of light. Power derating: Linearly to 75°C.



331 Cornelia St., Plattsburgh, N.Y. 12901 Tel. (518) 561-3160 TWX 810-421-3382  
 2160 Ward Street, Montreal, Que. H4M 1T7 Tel. (514) 744-5507  
 Altrincham, Cheshire, WA14 4NX, Tel. (061) 928-3417 Telex 51 669 663

Data Sheet 15024 Rev. 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NORP-11, 12, 13 SERIES

**NORP CdS PHOTOCONDUCTIVE CELLS**

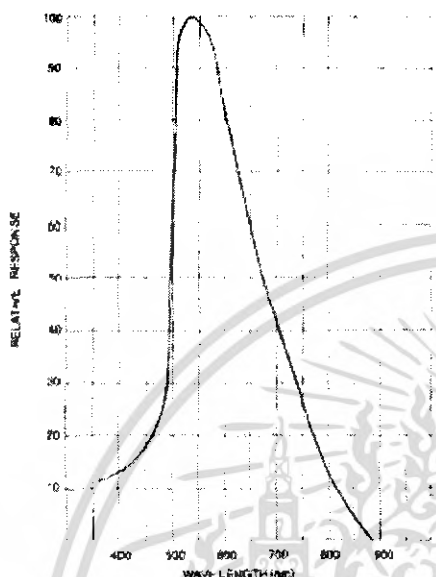


Fig. 1 Spectral Response  
Cadmium Sulphide

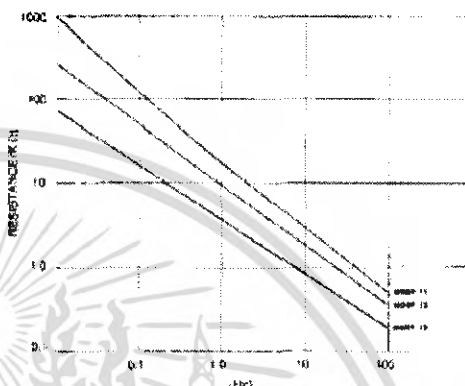


Fig. 2 Resistance versus illumination

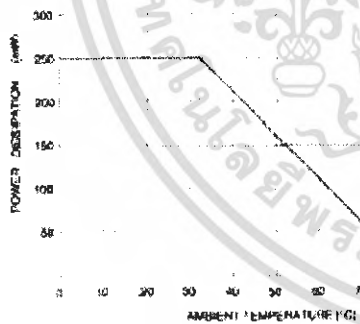
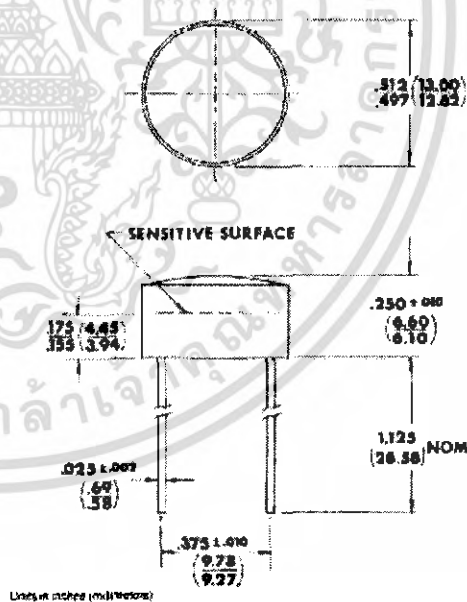


Fig. 3 Power Dissipation Derating



DRAWN BY C. M. PATE

Subject to change without notice  
Data Sheet 15024 Rev. 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

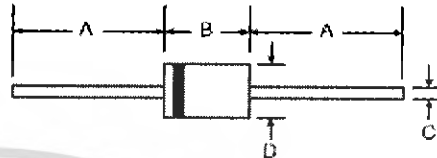


# 1N4001/L - 1N4007/L

## 1.0A RECTIFIER

### Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- Plastic Material: UL Flammability Classification Rating 94V-0



### Mechanical Data

- Case: Molded Plastic
- Terminals: Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Weight: DO-41 0.30 grams (approx)  
A-405 0.26 grams (approx)
- Mounting Position: Any
- Marking: Type Number

Dim	DO-41 Plastic		A-405	
	Min	Max	Min	Max
A	25.40	—	25.40	—
B	4.06	5.21	4.10	5.20
C	0.71	0.864	0.53	0.64
D	2.00	2.72	2.00	2.70

All Dimensions in mm  
 "L" Suffix Designates A-405 Package  
 No Suffix Designates DO-41 Package

### Maximum Ratings and Electrical Characteristics $\text{\textcircled{a}}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.  
 For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N 4001/L	1N 4002/L	1N 4003/L	1N 4004/L	1N 4006/L	1N 4006/L	1N 4007/L	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	$V_{RRM}$ $V_{RSM}$ $V_{RWM}$	50	100	200	400	600	800	1000	V
RMS Reverse Voltage	$V_{RRMS}$	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) $\text{\textcircled{a}}$ $T_A = 75^\circ\text{C}$	$I_o$				1.0				A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	$I_{FSM}$				30				A
Forward Voltage $\text{\textcircled{a}}$ $I_F = 1.0\text{A}$	$V_{F1}$				1.0				V
Peak Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage $\text{\textcircled{a}}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $\text{\textcircled{a}}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	$I_{RV}$				5.0 50				$\mu\text{A}$
Typical Junction Capacitance (Note 2)	$C_j$	15			8				pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$				100				$\text{K/W}$
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	$T_A$				+150				$^\circ\text{C}$
Operating and Storage Temperature Range (Note 3)	$T_J, T_{STG}$				-55 to +175				$^\circ\text{C}$

- Notes: 1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 8.5mm from the case.  
 2. Measured at 1. MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC  
 3. JEDEC Value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

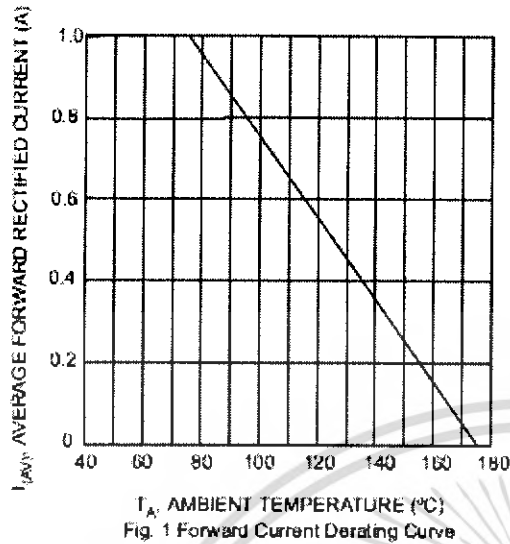


Fig. 1 Forward Current Derating Curve

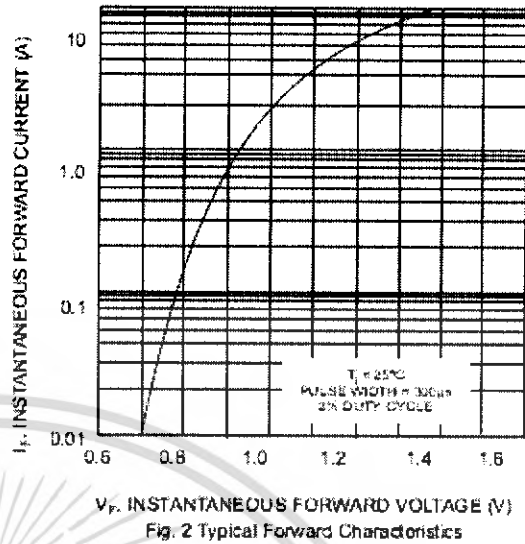


Fig. 2 Typical Forward Characteristics

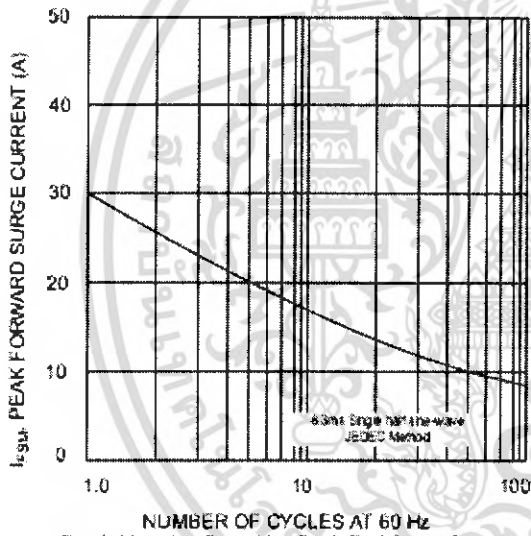


Fig. 3 Max Non-Repertive Peak Fwd Surge Current

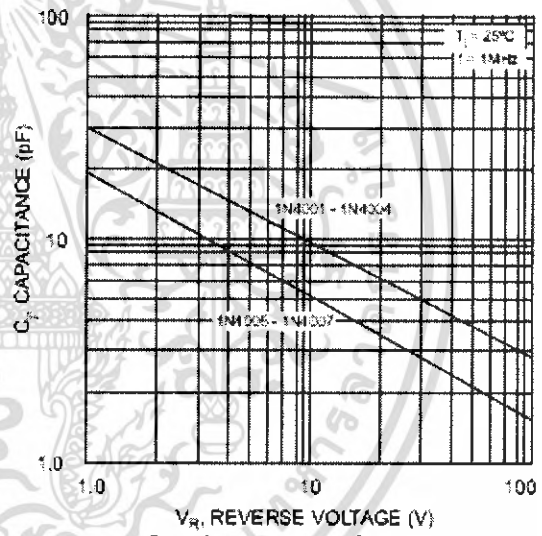


Fig. 4 Typical Junction Capacitance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM78LXX Series 3-Terminal Positive Regulators

### General Description

The LM78LXX series of three terminal positive regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. When used as a zener diode/resistor combination replacement, the LM78LXX usually results in an effective output impedance improvement of two orders of magnitude, and lower quiescent current. These regulators can provide local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow the LM78LXX to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment.

The LM78LXX is available in the plastic TO-92 (Z) package, the plastic SO-8 (M) package and a chip sized package (8-Bump micro SMD) using National's micro SMD package technology. With adequate heat sinking the regulator can deliver 100 mA output current. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area pro-

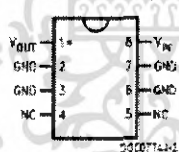
tection for the output transistors is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

### Features

- LM78L05 in micro SMD package
- Output voltage tolerances of  $\pm 5\%$  over the temperature range
- Output current of 100 mA
- Internal thermal overload protection
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in plastic TO-92 and plastic SO-8 low profile packages
- No external components
- Output voltages of 5.0V, 6.2V, 8.2V, 9.0V, 12V, 15V

### Connection Diagrams

SO-8 Plastic (M)  
(Narrow Body)



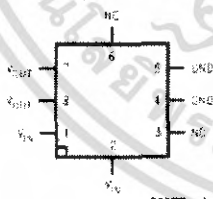
Top View

(TO-92)  
Plastic Package (Z)



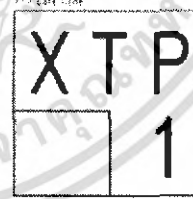
Bottom View

8-Bump micro SMD



Top View  
(Bump Side Down)

micro SMD Marking Orientation



Top View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

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

Power Dissipation (Note 5)	Internally Limited
Input Voltage	35V
Storage Temperature	-65°C to +150°C

## Operating Junction Temperature

SO-8	0°C to 125°C
micro SMD	-40°C to 85°C

## Soldering Information

Infrared or Convection (20 sec.)	235°C
Wave Soldering (10 sec.)	260°C (lead time)
ESD Susceptibility (Note 2)	1kV

**LM78LXX Electrical Characteristics** Limits in standard typeface are for  $T_j = 25^\circ\text{C}$ . **Bold typeface applies over  $0^\circ\text{C}$  to  $125^\circ\text{C}$  for SO-8 package and  $-40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$  for micro SMD package.** Limits are guaranteed by production testing or correlation techniques using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. Unless otherwise specified:  $I_o = 40\text{ mA}$ ,  $C_i = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_o = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ .

**LM78L05**

Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 10\text{V}$

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$V_o$	Output Voltage		4.8	5	5.2	V
		$7\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$ $1\text{ mA} \leq I_o \leq 40\text{ mA}$ (Note 3)	<b>4.75</b>		<b>5.25</b>	
		$1\text{ mA} \leq I_o \leq 70\text{ mA}$ (Note 3)	<b>4.75</b>		<b>5.25</b>	
$\Delta V_o$	Line Regulation	$7\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$		18	75	mV
		$8\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$		10	54	
$\Delta V_o$	Load Regulation	$1\text{ mA} \leq I_o \leq 100\text{ mA}$		20	60	mV
		$1\text{ mA} \leq I_o \leq 40\text{ mA}$		5	30	
$I_o$	Quiescent Current			3	5	mA
$\Delta I_o$	Quiescent Current Change	$8\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$			1.0	mA
		$1\text{ mA} \leq I_o \leq 40\text{ mA}$			0.1	
$V_n$	Output Noise Voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$ (Note 4)		40		$\mu\text{V}$
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$f = 120\text{ Hz}$ $8\text{V} \leq V_{IN} \leq 15\text{V}$	47	52		dB
$I_{OP}$	Peak Output Current			140		mA
$\frac{\Delta V_o}{\Delta T}$	Average Output Voltage Tempco	$I_o = 5\text{ mA}$		-0.65		mV/°C
$V_{IN}(\text{Min})$	Minimum Value of Input Voltage Required to Maintain Line Regulation			6.7	7	V
$\theta_{JA}$	Thermal Resistance (8-Bump micro SMD)			230.9		°C/W

**LM78L62AC**

Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 12\text{V}$

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$V_o$	Output Voltage		5.95	6.2	6.45	V
		$8.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$ $1\text{ mA} \leq I_o \leq 40\text{ mA}$ (Note 3)	5.9		6.5	
		$1\text{ mA} \leq I_o \leq 70\text{ mA}$ (Note 3)	5.9		6.5	
$\Delta V_o$	Line Regulation	$8.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$		65	175	mV
		$9\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$		55	125	
$\Delta V_o$	Load Regulation	$1\text{ mA} \leq I_o \leq 100\text{ mA}$		13	80	mV
		$1\text{ mA} \leq I_o \leq 40\text{ mA}$		6	40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>LM78L62AC</b> (Continued)						
Unless otherwise specified, $V_{IN} = 12V$						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$I_Q$	Quiescent Current			2	5.5	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$8V \leq V_{IN} \leq 20V$ $1 mA \leq I_O \leq 40 mA$			1.5 0.1	
$V_n$	Output Noise Voltage	$f = 10 Hz$ to $100 kHz$ (Note 4)		50		$\mu V$
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$f = 120 Hz$ $10V \leq V_{IN} \leq 20V$	40	46		dB
$I_{PK}$	Peak Output Current			140		mA
$\frac{\Delta V_O}{\Delta T}$	Average Output Voltage Tempco	$I_O = 5 mA$		-0.75		mV/°C
$V_{IN} (Min)$	Minimum Value of Input Voltage Required to Maintain Line Regulation			7.9		V
<b>LM78L82AC</b>						
Unless otherwise specified, $V_{IN} = 14V$						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$V_O$	Output Voltage		7.87	8.2	8.63	V
		$11V \leq V_{IN} \leq 23V$ $1 mA \leq I_O \leq 40 mA$ (Note 3)	7.8		8.6	
		$1 mA \leq I_O \leq 70 mA$ (Note 3)	7.8		8.6	
$\Delta V_O$	Line Regulation	$11V \leq V_{IN} \leq 23V$		60	176	mV
		$12V \leq V_{IN} \leq 23V$		70	125	
$\Delta V_O$	Load Regulation	$1 mA \leq I_O \leq 100 mA$		16	80	mV
		$1 mA \leq I_O \leq 40 mA$		8	40	
$I_Q$	Quiescent Current			2	5.5	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$12V \leq V_{IN} \leq 23V$ $1 mA \leq I_O \leq 40 mA$			1.5 0.1	
$V_n$	Output Noise Voltage	$f = 10 Hz$ to $100 kHz$ (Note 4)		60		$\mu V$
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$f = 120 Hz$ $12V \leq V_{IN} \leq 22V$	39	45		dB
$I_{PK}$	Peak Output Current			140		mA
$\frac{\Delta V_O}{\Delta T}$	Average Output Voltage Tempco	$I_O = 5 mA$		-0.8		mV/°C
$V_{IN} (Min)$	Minimum Value of Input Voltage Required to Maintain Line Regulation			9.9		V
<b>LM78L09AC</b>						
Unless otherwise specified, $V_{IN} = 15V$						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$V_O$	Output Voltage		8.64	9.0	9.36	V
		$11.5V \leq V_{IN} \leq 24V$ $1 mA \leq I_O \leq 40 mA$ (Note 3)	8.55		9.45	
		$1 mA \leq I_O \leq 70 mA$ (Note 3)	8.55		9.45	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>LM78L09AC</b> (Continued)						
Unless otherwise specified, $V_{IN} = 15V$						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$\Delta V_O$	Line Regulation	$11.5V \leq V_{IN} \leq 24V$		100	200	mV
		$13V \leq V_{IN} \leq 24V$		90	150	
$\Delta V_O$	Load Regulation	$1 mA \leq I_O \leq 100 mA$		20	90	mV
		$1 mA \leq I_O \leq 40 mA$		10	45	
$I_Q$	Quiescent Current			2	5.5	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$11.5V \leq V_{IN} \leq 24V$ $1 mA \leq I_O \leq 40 mA$			1.5 0.1	
$V_n$	Output Noise Voltage			70		$\mu V$
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$f = 120 Hz$ $15V \leq V_{IN} \leq 25V$	38	44		dB
$I_{OP}$	Peak Output Current			140		mA
$\frac{\Delta V_O}{\Delta T}$	Average Output Voltage Tempco	$I_O = 5 mA$		-0.9		mV/°C
$V_{IN} (Min)$	Minimum Value of Input Voltage Required to Maintain Line Regulation			10.7		V
<b>LM78L12AC</b>						
Unless otherwise specified, $V_{IN} = 19V$						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$V_O$	Output Voltage		11.5	12	12.5	V
		$14.5V \leq V_{IN} \leq 27V$ $1 mA \leq I_O \leq 40 mA$ (Note 3)	11.4		12.6	
		$1 mA \leq I_O \leq 70 mA$ (Note 3)	11.4		12.6	
$\Delta V_O$	Line Regulation	$14.5V \leq V_{IN} \leq 27V$		30	180	mV
		$16V \leq V_{IN} \leq 27V$		20	110	
$\Delta V_O$	Load Regulation	$1 mA \leq I_O \leq 100 mA$		30	100	mV
		$1 mA \leq I_O \leq 40 mA$		10	50	
$I_Q$	Quiescent Current			3	5	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$16V \leq V_{IN} \leq 27V$ $1 mA \leq I_O \leq 40 mA$			1 0.1	
$V_n$	Output Noise Voltage			80		$\mu V$
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$f = 120 Hz$ $15V \leq V_{IN} \leq 25$	40	54		dB
$I_{OP}$	Peak Output Current			140		mA
$\frac{\Delta V_O}{\Delta T}$	Average Output Voltage Tempco	$I_O = 5 mA$		-1.0		mV/°C
$V_{IN} (Min)$	Minimum Value of Input Voltage Required to Maintain Line Regulation			13.7	14.5	V

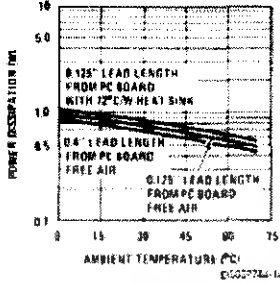
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>LM78L15AC</b>						
Unless otherwise specified, $V_{IN} = 23V$						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$V_O$	Output Voltage	$17.5V \leq V_{IN} \leq 30V$	14.4	15.0	15.6	V
		$1 mA \leq I_O \leq 40 mA$ (Note 3)	14.25		15.75	
		$1 mA \leq I_O \leq 70 mA$ (Note 3)	14.25		15.75	
$\Delta V_O$	Line Regulation	$17.5V \leq V_{IN} \leq 30V$		37	250	mV
		$20V \leq V_{IN} \leq 30V$		25	140	
$\Delta V_C$	Load Regulation	$1 mA \leq I_O \leq 100 mA$		35	150	mV
		$1 mA \leq I_O \leq 40 mA$		12	75	
$I_Q$	Quiescent Current			3	5	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$20V \leq V_{IN} \leq 30V$			1	
		$1 mA \leq I_O \leq 40 mA$			0.1	
$V_n$	Output Noise Voltage			90		$\mu V$
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$f = 120 Hz$ $18.5V \leq V_{IN} \leq 28.5V$	37	51		dB
$I_{OP}$	Peak Output Current			140		mA
$\frac{\Delta V_O}{\Delta T}$	Average Output Voltage Tempco	$I_O = 5 mA$		-1.3		mV/°C
$V_{IN} (Min)$	Minimum Value of Input Voltage Required to Maintain Line Regulation			16.7	17.5	V
<p>Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Electrical specifications do not apply when operating the device outside of its stated operating conditions.</p> <p>Note 2: Human body model, 1.5 k<math>\Omega</math> in series with 100 pF.</p> <p>Note 3: Power dissipation <math>\leq 0.75W</math>.</p> <p>Note 4: Recommended minimum load capacitance of 0.01 <math>\mu F</math> to limit high frequency noise.</p> <p>Note 5: Typical thermal resistance values for the packages are:  Z Package: <math>\theta_{JC} = 30 ^\circ C/W</math>, <math>\theta_{JA} = 250 ^\circ C/W</math>  M Package: <math>\theta_{JA} = 180 ^\circ C/W</math>  micro SMD Package: <math>\theta_{JA} = 230 ^\circ C/W</math></p>						

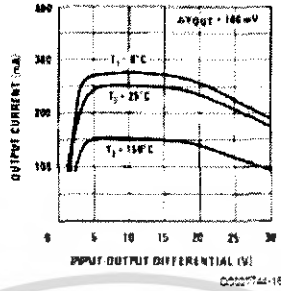
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

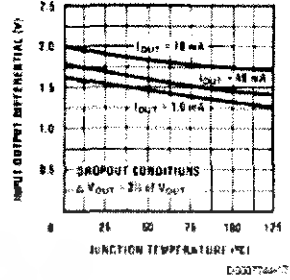
Maximum Average Power Dissipation (Z Package)



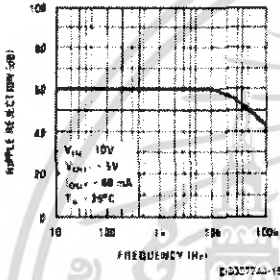
Peak Output Current



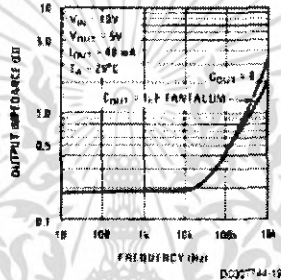
Dropout Voltage



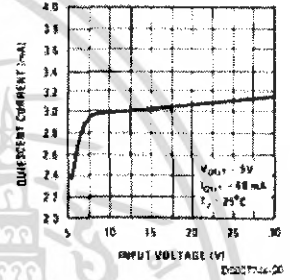
Ripple Rejection



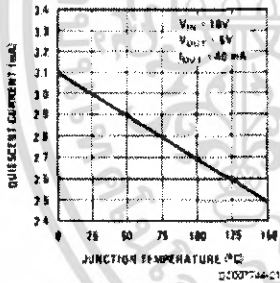
Output Impedance



Quiescent Current

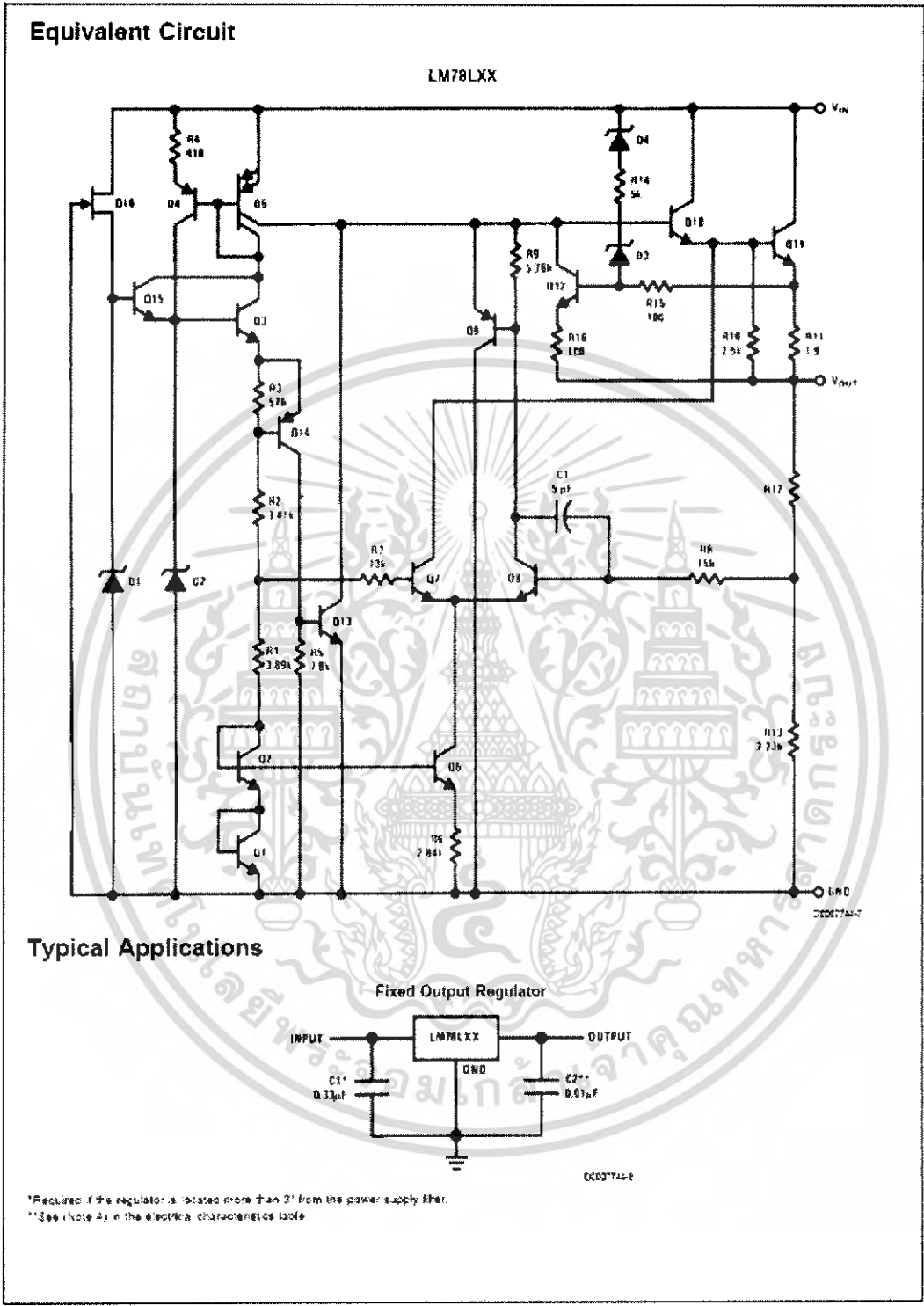


Quiescent Current



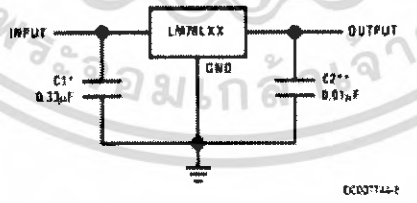
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Equivalent Circuit



Typical Applications

Fixed Output Regulator

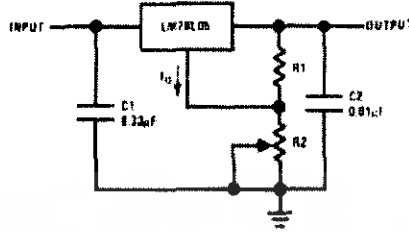


\* Required if the regulator is located more than 2" from the power supply filter.  
 \*\* See (Note 4) in the electrical characteristics table.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Adjustable Output Regulator



$V_{OUT} = 5V + (V_{IN} - 5V) \frac{R2}{R1 + R2}$   
 $V_{IN} - 5V \geq I_Q \text{ load regulation (} I_Q \text{) - (} R1 + R2 \text{) } R1 \text{ (} I_Q \text{ of LM78L05)}$

DS007744-6

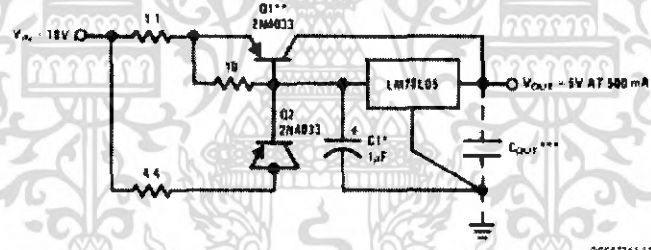
Current Regulator



$I_{OUT} = (V_{OUT} / R1) + I_Q$   
 $I_Q = 1.5 \text{ mA over line and load changes}$

DS007744-10

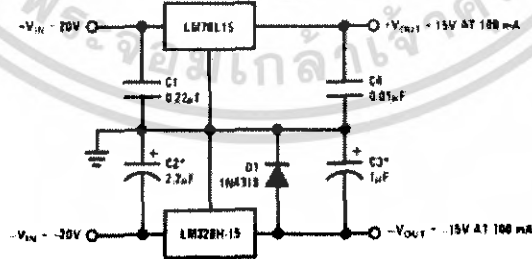
5V, 500 mA Regulator with Short Circuit Protection



\*Solid tantalum.  
 \*\*Heat sink Q1.  
 \*\*\*Optional: improves ripple rejection and transient response.  
 Load Regulation: 0.6% 0.1% @ 250 mA pulsed with  $I_{QM} = 50 \text{ mA}$

DS007744-11

±15V, 100 mA Dual Power Supply



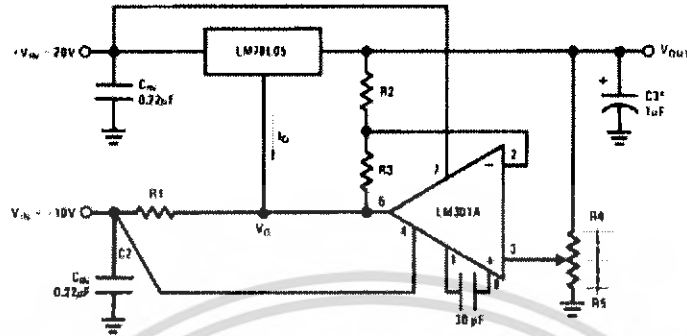
\*Solid tantalum

DS007744-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Variable Output Regulator 0.5V-18V



002574-13

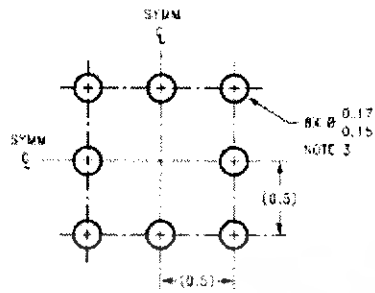
\*Solid tantalum.  
 $V_{out} = V_s \cdot R1 / (R1 + R2)$   
 $V_{out} = 5V \cdot (R2/R4) / (R2 + R4)$   
 A 0.5V output will correspond to  $(R2/R4) = 0.1$



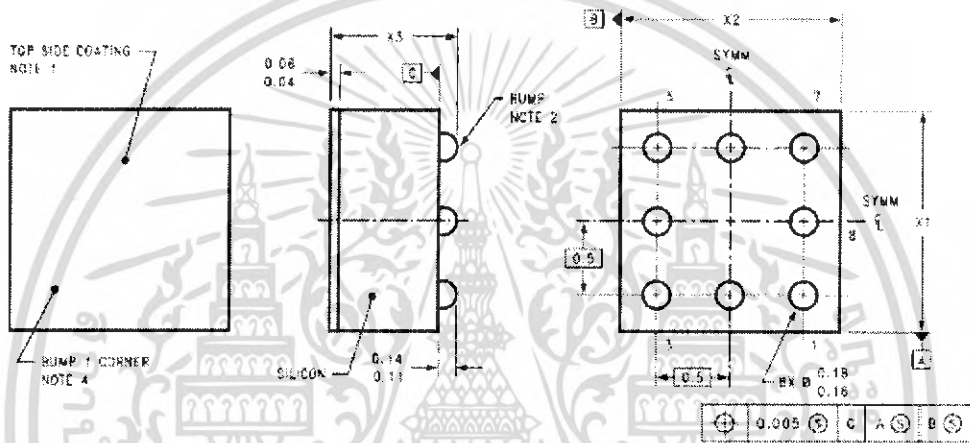
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM78LXX Series

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



**LAND PATTERN RECOMMENDATION**



**DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS**

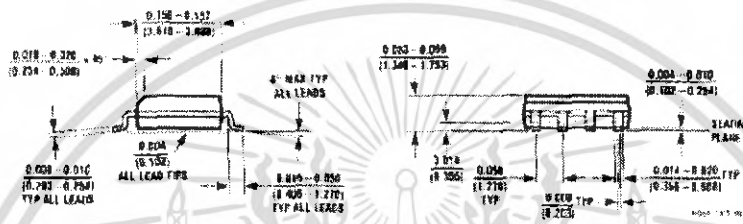
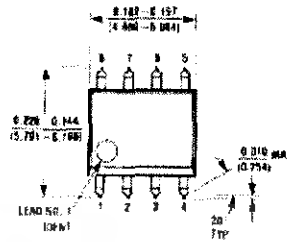
NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. EPOXY COATING
2. 63Sn37Pb EUTECTIC BUMP
3. RECOMMEND NON-SOLDER MASK DEFINED LANDING PAD
4. PIN 1 IS ESTABLISHED BY LOWER LEFT CORNER WITH RESPECT TO TEXT ORIENTATION. REMAINING PINS ARE NUMBERED COUNTERCLOCKWISE
5. XXX IN DRAWING NUMBER REPRESENTS PACKAGE SIZE VARIATION WHERE X<sub>1</sub> IS PACKAGE WIDTH, X<sub>2</sub> IS PACKAGE LENGTH AND X<sub>3</sub> IS PACKAGE HEIGHT.
6. REFERENCE JEDEC REGISTRATION MO-211, VARIATION 9C

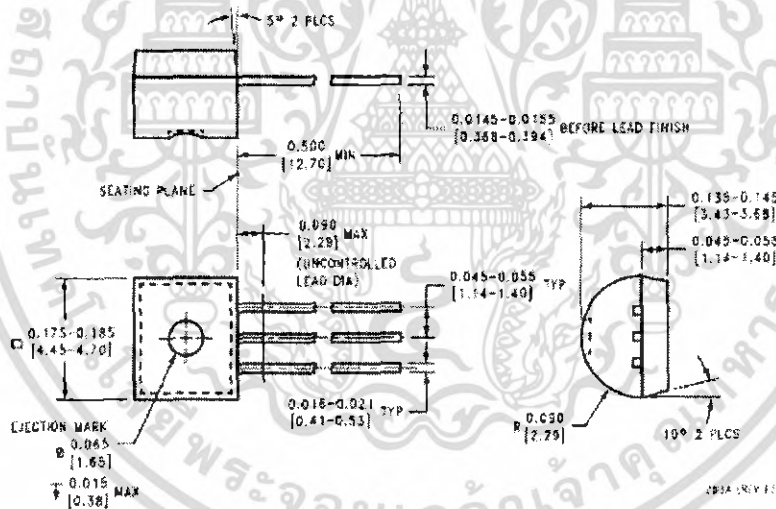
**8-Bump micro SMD**  
 Order Number LM78LD5IBP or LM78LD5IBPX  
 NS Package Number BPA08AAA  
 X<sub>1</sub> = 1.285 X<sub>2</sub> = 1.285 X<sub>3</sub> = 0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



S.O. Package (M)  
Order Number LM78L05ACM, LM78L12ACM or LM78L15ACM  
NS Package Number M08A



Molded Offset TO-92 (Z)  
Order Number LM78L05ACZ, LM78L09ACZ, LM78L12ACZ,  
LM78L15ACZ, LM78L52ACZ or LM78L82ACZ  
NS Package Number Z03A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Notes



**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 <p>National Semiconductor Corporation                  Americas                  Tel: 1-800-372-9859                  Fax: 1-908-757-7016                  Email: support@nsc.com                  www.national.com</p>	<p>National Semiconductor Europe                  Fax: +49 (0) 1 50-630 62 56                  Email: europe.support@nsc.com                  Deutsch Tel: +49 (0) 1 50-332 82 35                  English Tel: +49 (0) 1 50-332 78 32                  Français Tel: +49 (0) 1 50-332 03 58                  Italiano Tel: +49 (0) 1 50-334 12 50</p>	<p>National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group                  Tel: 65-2544425                  Fax: 65-2504423                  Email: asa.support@nsc.com</p>	<p>National Semiconductor Japan Ltd.                  Tel: 81-3-2732-7200                  Fax: 61-3-6634-7207</p>
---	--	--	--

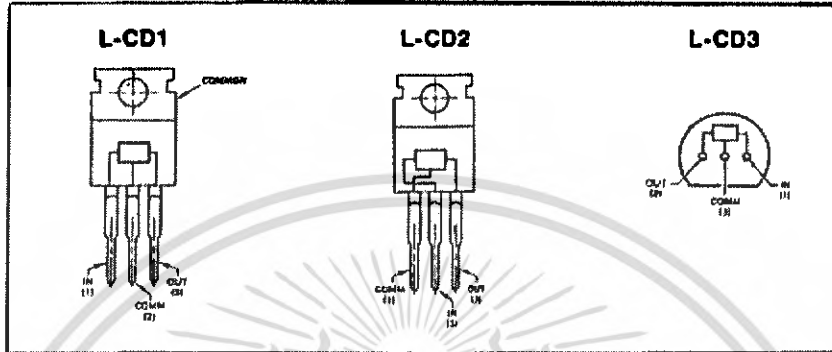
National does not assume any responsibility for use of any circuit described in this data sheet. National reserves the right at any time without notice to change this circuit and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# CODI Semiconductor, Inc.

## LINEAR LOGIC SYMBOLS AND CONNECTION DIAGRAMS



## PACKAGE OUTLINES

**JEDEC TO-220 Outline  
Plastic Power Package**

DIM.	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN.	TYP. MAX.	MIN.	TYP. MAX.
A	.285	.410	10.03	10.41
B	.285	.105	9.27	8.77
C	.300	.320	7.62	8.13
D	.100	.180	2.54	3.05
E	.040	.080	1.02	1.62
F	.141	.145	3.58	3.68
G	.875	.900	19.9	18.24
H	.235	.255	5.97	6.73
I	.100	.190	4.06	4.83
J	.020	.055	.508	1.40
K	.800		12.70	
L	.180	.210	4.63	6.35
M	.145	.075	1.63	5.33
N	.045	.105	1.14	1.90
O	.045	.105	2.41	2.66
P	.015	.030	.381	.762
Q	.030	.045	.508	1.13

NOTE: See table for dimensions in inches and millimeters.  
Center lead is placed last cord with the mounting tab.  
Package weight is 2.1 grams.

---

**JEDEC TO-92 Outline  
Plastic Package**

DIM.	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN.	TYP. MAX.	MIN.	TYP. MAX.
A	.175	.201	4.45	5.20
B	.170	.210	4.32	5.33
C	.500		12.70	
D	.015	.030	0.406	0.762
E	.131		3.43	
F		.100		2.54
G		.050		1.27
H	.125	.165	3.18	4.18
I	.080	.105	2.03	2.67
J	.080	.105	2.03	2.67

NOTE: See table for dimensions in inches and millimeters.  
Package material is transfer molded in or overmolded plastic.  
Package weight is 0.25 grams.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### LINEAR INTEGRATED CIRCUITS 3 - TERMINAL VOLTAGE REGULATORS

	1 AMP Pos. 7805-7809	1 AMP Neg. 7905-7910	1A Pos. 78L05-78L12	1A Pos. 78L05-78L12
Forward resistance R <sub>J-c</sub> R <sub>J-a</sub>	5°c/w 70°c/w		3°c/w 100°c/w	
Power Dissipation	20W		10W	500mW
Temperature range Operating Ambient Operating Junction Storage	-20 to + 80°C -20 to + 125°C -55 to + 125°C		-20 to + 75°C -20 to + 125°C -60 to + 125°C	
Line Regulation (mV) Vo/Vi (%)	2.0		1.0	2.0
Load Regulation (mV) Vo/Io (%)	2.0		1.0	
Logic/Connection Diagram	L-CD 1	I-CD 2	L-CD 1	L-CD 3
Package	TO-18D			TO-92

TYPE No.	Nominal Output Voltage Load (V)	OUTPUT Voltage Range (V)	INPUT Voltage Range (V)	Quiescent Current (mA)	Ripple Rejection (dB) MIN	OUTPUT Ripple Voltage (mV) MAX	OUTPUT Voltage Drift (mV) /°C
----------	--	--------------------------------	-------------------------------	------------------------------	---------------------------------	---	---

**1 AMP POSITIVE**

7805	5.0	4.8-5.2	7.0-35.0	5.5	62	40	±0.1
7806	6.0	5.75-6.25	8.0-35.0	6.7	59	45	±0.1
7808	8.0	7.7-8.3	10.5-35.0	8.7	56	50	±0.1
7812	12.0	11.5-12.5	14.5-35.0	8.7	55	70	±0.1
7815	15.0	14.6-15.4	17.5-35.0	8.7	56	85	±1.0
7818	18.0	17.3-18.7	21.0-35.0	5.0	53	85	±1.0
7824	24.0	23.0-25.0	27.0-60.0	5.0	50	130	±1.5

**1 AMP NEGATIVE**

7905	-5.0	-4.8-5.2	-7.0-35.0	1.0	64	100	±0.1
7906	-6.0	-5.75-6.25	-8.0-35.0	1.9	56	130	±0.1
7908	-8.0	-7.7-8.3	-10.5-35.0	1.0	54	200	±0.1
7912	-12.0	-11.5-12.5	-14.5-35.0	1.2	54	300	±0.1
7915	-15.0	-14.6-15.4	-17.5-35.0	1.3	56	375	±1.0
7918	-18.0	-17.3-18.7	-21.0-35.0	1.2	56	450	±1.0
7924	-24.0	-23.0-25.0	-27.0-60.0	1.2	51	600	±1.0

**.5A (500ma) POSITIVE**

7805D	5.0	4.8-5.2	7.0-35.0	6.5	63	40	±1.0
7806D	6.0	5.75-6.25	8.0-35.0	8.0	55	45	±1.0
7808D	8.0	7.7-8.3	10.5-35.0	8.6	54	50	±1.0
7812D	12.0	11.5-12.5	14.5-35.0	8.8	55	75	±1.0
7815D	15.0	14.6-15.4	17.5-35.0	8.8	54	90	±1.0
7818D	18.0	17.3-18.7	21.0-35.0	6.8	53	100	±1.0
7824D	24.0	23.0-25.0	27.0-60.0	1.0	50	170	±1.0

**.1A (100ma) POSITIVE**

78L05	5.0	4.75-5.25	7.0-20.0	3.0*	50	40	±1.0
78L06	6.0	5.75-6.25	8.0-20.0	4.0*	39	50	±1.0
78L08	8.0	7.6-8.4	10.5-20.0	4.0*	38	60	±1.0
78L12	12.0	11.4-12.6	14.5-25.0	4.5*	37	80	±1.5
78L15	15.0	14.2-15.7	17.5-25.0	4.5*	34	90	±1.5
78L18	18.0	17.4-18.6	21.0-40.0	6.5*	37	120	±2.0
78L24	24.0	22.8-25.7	27.0-40.0	7.0*	32	200	±2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**78L08**

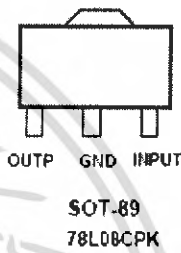
**Positive-Voltage Regulators**

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 100 mA
- No External Components
- Internal Thermal-Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Direct Replacements for Fairchild  $\mu$ A78L08 Series



**description**

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition, they can be used with power-pass elements to make high-current voltage regulators. One of these regulators can deliver up to 100 mA of output current. The internal limiting and thermal-shutdown features of these regulators make them essentially immune to overload. When used as a replacement for a zener diode-resistor combination, an effective improvement in output impedance can be obtained, together with lower bias current.



**electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 14V$ ,  $I_O = 40$  mA (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T $\pm$	78L08			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 1\text{mA to }40\text{mA}$ , $V_I = 10.5$ to $23V$	25°C	7.7	8	8.3	V
		Full range	7.6	8	8.4	
		Full range	7.6	8	8.4	
Input voltage regulation	$V_I = 10.5V$ to $23V$	25°C	42		175	mV
	$V_I = 11V$ to $23V$		36			
Ripple rejection	$V_I = 13V$ to $23V$ , $f = 120$ Hz	25°C	37	46		dB
Output voltage regulation	$I_O = 1$ mA to $100$ mA	25°C	58		60	mV
	$I_O = 1$ mA to $40$ mA		10			
Output noise voltage	$f = 10$ Hz to $100$ kHz	25°C	64			$\mu$ V
Dropout voltage		25°C	1.7			V
Bias current		25°C	4		6	mA
		125°C	5.5			
Bias current change	$V_I = 11V$ to $23V$	Full range	15		15	mA
	$I_O = 1$ mA to $40$ mA		0.1			

$\ddagger$  Pulse-testing techniques maintain  $T_{J}$  as close to  $T_A$  as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a  $0.33\text{-}\mu\text{F}$  capacitor across the input and a  $0.1\text{-}\mu\text{F}$  capacitor across the output. Full range for the 78L08 is  $T_{J} = 0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 78L08

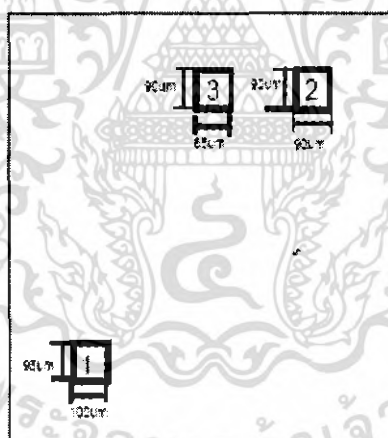
## absolute maximum ratings over operating temperature range (unless otherwise noted)

78L08	PARAMETER	UNIT
Input voltage, $V_i$	30	V
Virtual junction temperature range, $T_j$	150	$^{\circ}$ C
Lead temperature 1.5 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260	$^{\circ}$ C
Storage temperature range, $T_{sig}$	-65 to 150	$^{\circ}$ C

## recommended operating conditions

78L08	MIN	MAX	UNIT
Input voltage, $V_i$	10.5	23	V
Output current, $I_O$		100	mA
Operating virtual junction temperature, $T_j$	0	70	$^{\circ}$ C

## Pad Location 78L08



Chip size 1.0 x 1.2 mm

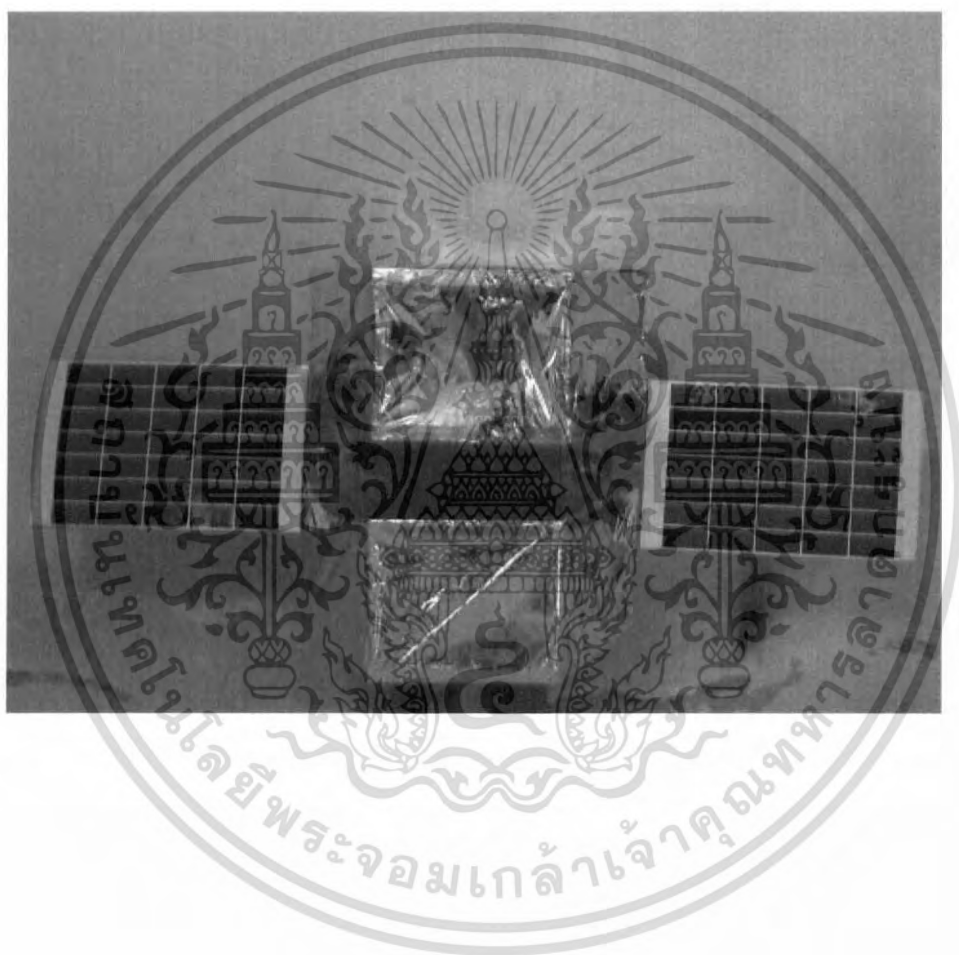
Pad N	Pad Name	X (um)	Y (um)
1	Ground	95	100
2	Input	820	1010
3	Output	535	1015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คู่มือการใช้งาน**  
**ดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม**



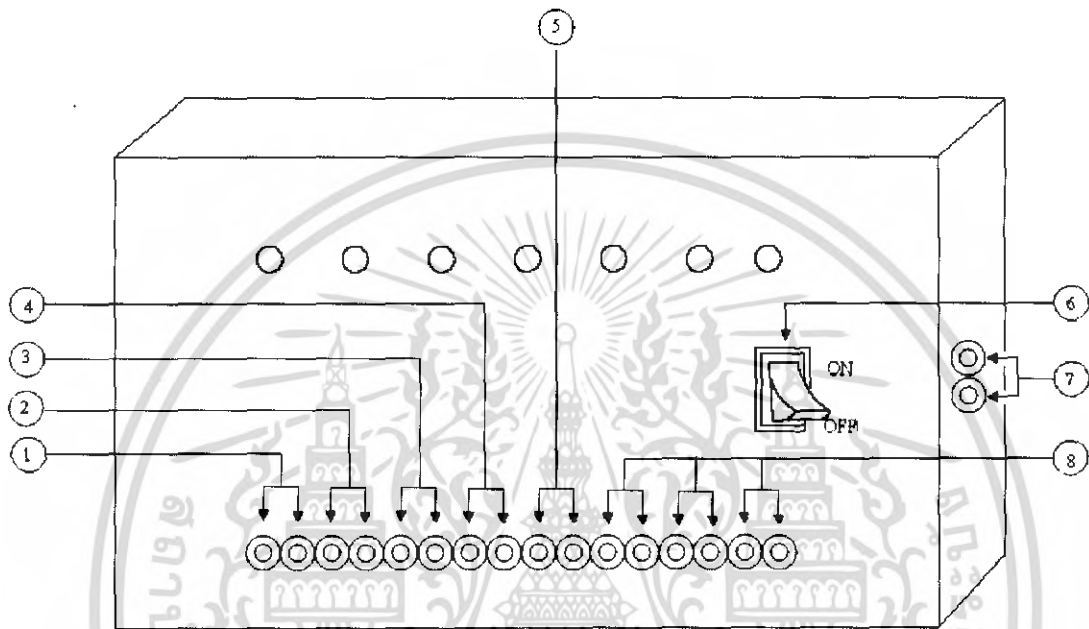
**ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม**  
**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ปีการศึกษา 2549**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

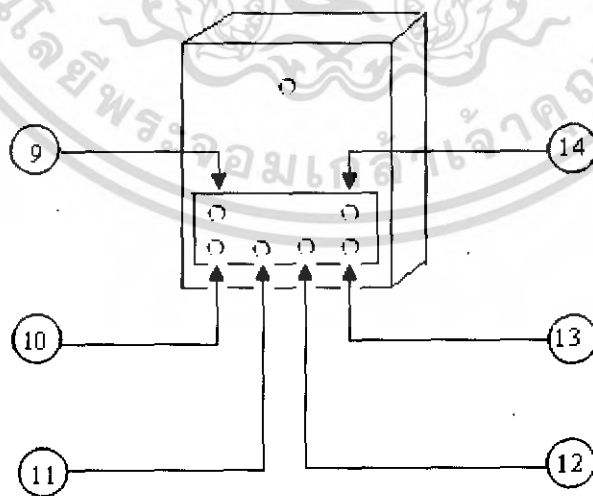
1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนจะลงมือใช้งานดาวเทียมขนาดเล็กสำหรับสาธิตระบบควบคุมดาวเทียม ควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจ เพื่อการใช้งานที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและควบคุม



รูปที่ จ.2 รีโมทคอนโทรลควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ จ.1 และ จ.2 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. จุดเชื่อมต่อมอเตอร์ที่ 1 ควบคุมให้ดาวเทียมหมุนรอบตัวเอง
2. จุดทดสอบอุปกรณ์ตามขนาดแรงดันของอุปกรณ์นั้น
3. จุดเชื่อมต่อมอเตอร์ที่ 3 ควบคุมให้ดาวเทียมเคลื่อนที่ไปข้างหน้า
4. จุดเชื่อมต่อมอเตอร์ที่ 4 ควบคุมให้ดาวเทียมเคลื่อนที่ถอยหลัง
5. จุดเชื่อมต่อมอเตอร์ที่ 5 ควบคุมการจ่ายไฟให้กับโซล่าเซลล์
6. สวิตช์ปิด-เปิดการทำงานของเครื่อง
7. จุดเชื่อมต่อแบตเตอรี่จ่ายไฟ 12 V ให้วงจร
8. จุดเชื่อมต่อทดสอบอุปกรณ์
9. สวิตช์กดเพื่อสั่งให้ดาวเทียมหมุนรอบตัวเอง 360 องศา
10. สวิตช์กดเพื่อไฟมารอที่จุดเชื่อมต่อ
11. สวิตช์กดเพื่อสั่งให้ควบคุมการโคจรไปหน้า และโคจรเป็นลักษณะวงกลม
12. สวิตช์กดเพื่อสั่งให้ควบคุมการโคจรถอยหลัง และโคจรเป็นลักษณะวงกลม
13. สวิตช์กดเพื่อสั่งให้ควบคุมโซล่าเซลล์ทำงานเพื่อปรับมุมรับแสงอัตโนมัติ
14. สวิตช์กดเพื่อสั่งให้ไฟมารอที่จุดเชื่อมต่อ

### 3. การติดตั้งและการใช้งาน

- 3.1 เปิดสวิตช์ ON/OFF เพื่อจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ให้กล่อง Control
- 3.2 กดสวิตช์ที่ 9 ของรีโมทคอนโทรลเพื่อควบคุมการหมุนรอบตัวเอง 360 องศา
- 3.3 กดสวิตช์ที่ 11 ของรีโมทคอนโทรลเพื่อควบคุมการโคจรไปหน้า และโคจรเป็นลักษณะวงกลม
- 3.4 กดสวิตช์ที่ 12 ของรีโมทคอนโทรลเพื่อควบคุมการโคจรถอยหลัง และโคจรเป็นลักษณะวงกลม
- 3.5 กดสวิตช์ที่ 13 ของรีโมทคอนโทรลเพื่อควบคุมโซล่าเซลล์ทำงานเพื่อปรับมุมรับแสงอัตโนมัติ

**หมายเหตุ** รีโมทคอนโทรลจะทำงานและหยุดทำงานโดยการกดซ้ำสวิตช์ตัวนั้น

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นาย นิพล ฤทธิบุรณ์
วัน เดือน ปีเกิด	28 กรกฎาคม 2526
ภูมิลำเนา	7 หมู่ที่ 7 ตำบลบางเหริ่ง อำเภอควนเนียง จังหวัดสงขลา 90220
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดบางที จังหวัดสงขลา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสงขลาวิทยาคม จังหวัดสงขลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยสารพัดช่างสงขลา จังหวัดสงขลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตวังไกลกังวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กีฬา
ความสนใจพิเศษ	
คติพจน์	รากฐานของตึกคืออิฐ รากฐานของชีวิตคือการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายวัชรพงศ์พันธ์ อุปนันท์
วัน เดือน ปีเกิด	27 ธันวาคม 2527
ภูมิลำเนา	159 หมู่ที่ 3 ตำบลเขาแก้ว อำเภอสามโก้ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80230
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านหวดทอง จังหวัดนครศรีธรรมราช
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนศรีธรรมราชศึกษา จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตวังไกลกังวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม (ภาคพิเศษ) ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความสนใจพิเศษ	ดูหนัง ฟังเพลง
คติพจน์	ทางเตียนลงนรกทางรกวกขึ้นสวรรค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายเกรียงสิทธิ์ จันทร์ทวี
วัน เดือน ปีเกิด	11 เมษายน 2526
ภูมิลำเนา	7 หมู่ที่ 3 ตำบลโคกม่วง อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา 90230
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านปลักคลัก จังหวัดสงขลา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนรัตนพลวิทยา จังหวัดสงขลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	โรงช่างอุตสาหกรรมหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตวังไกลกังวล
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม (ภาคพิเศษ) ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความสนใจพิเศษ	กีฬา
คติพจน์	ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายอรรถพล ทองเอียด
วัน เดือน ปีเกิด	27 พฤศจิกายน 2527
ภูมิลำเนา	123/1 หมู่ที่ 1 ตำบลตะพาน อำเภอพนมพิณ จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84130
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านบ่นไร่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพนมพิณพิทยาคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง จังหวัดพัทลุง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตวังไกลกังวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม (ภาคพิเศษ) ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความสนใจพิเศษ	ดนตรี กีฬา
คติพจน์	ทางเดียวที่จะถึงเส้นชัยคือก้าวต่อไปข้างหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้