

อุปกรณ์ควบคุมจานสายอากาศแบบอัตโนมัติ

AUTOMATIC CONTROL ANTENNA



โดย

นายชาญณรงค์ กังแฮ

นายวุฒิชัย จันทิมา

นายสุรพงษ์ เตชะเทียมจันทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ณ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ร.522

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 46491
วัน, เดือน, ปี..... 2 เม.ย. 2546

.b.....
.i.....

อุปกรณ์ควบคุมจานสายอากาศแบบอัตโนมัติ

AUTOMATIC CONTROL ANTENNA

โดย

นายชาญณรงค์ กิ่งแฮ 42015011

นายวุฒิชัย จันทิมา 42015034

นายสุรพงษ์ เตชะเทียมจันทร์ 42015074

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ณรงค์ เหมกรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **อุปกรณ์ควบคุมจานสายอากาศแบบอัตโนมัติ**

AUTOMATIC CONTROL ANTENNA

ผู้จัดทำ

1. นายชาญณรงค์ กังแฮ 42015011
2. นายวุฒิชัย จันทิมา 42015034
3. นายสุรพงษ์ เตชะเทียมจันทร์ 42015074



(รศ. ชาญณรงค์ เหมกรณ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



อุปกรณ์ควบคุมงานสายอากาศแบบอัตโนมัติ
AUTOMATIC CONTROL ANTENNA

โดย นายชาญณรงค์ กังแฮ 42015011
นายวุฒิชัย จันทิมา 42015034
นายสุรพงษ์ เศรษฐียมจันทร์ 42015074

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ณรงค์ เหมกรณ์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้นได้มีการใช้อย่างแพร่หลายในทุกๆ ประเทศ จึงทำให้มีดาวเทียมจำนวนมากโคจรอยู่รอบโลกเรา ส่งผลให้การปรับงานสายอากาศให้ตรงกับดาวเทียมที่ต้องการทำได้ยาก ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้คิดสร้างอุปกรณ์ควบคุมงานสายอากาศแบบอัตโนมัติขึ้น เพื่อลดปัญหาจากความยุ่งยากดังที่กล่าวมา

อุปกรณ์นี้จะรับข้อมูลของดาวเทียมจากอุปกรณ์ภายนอกเข้ามาทำการคำนวณหาตำแหน่งพิกัดของดาวเทียมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นจะส่งเอาต์พุตให้ชุดมอเตอร์ทำการปรับงานสายอากาศให้ตรงกับตำแหน่งของดาวเทียมที่ต้องการ

ABSTRACT

At present the satellite communication system have applied in many countries. So the world have many artificial satellite to orbit around. Method to manage the antenna for communicate satellite are difficult. Therefore we want to design automatic control device antenna to wipe out the problem.

This project, we receive satellite input from external device for applied to search the position of that satellite by microcontroller, next it send output to motor system for move antenna to position of satellite.

สารบัญ

หน้าที่

สารบัญรูปภาพ

สารบัญตาราง

บทที่ 1 บทนำ

1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 การคำนวณหามุมในการรับสัญญาณดาวเทียม	1
1.3 หลักการและแนวคิด	2

บทที่ 2 ทฤษฎีหรือหลักการ

2.1 การสื่อสารดาวเทียม (Satellite Communication)	3
2.2 โครงสร้างของระบบสื่อสารดาวเทียม	3
2.3 บริการหลักที่จัดให้มีขึ้น โดยใช้การสื่อสารดาวเทียมภายในประเทศ	3
2.4 ระบบสื่อสารดาวเทียม (Satellite Systems)	4
2.5 สถานีภาคพื้นดิน (Earth Station)	7
2.6 งานสายอากาศ	9
2.7 การคำนวณตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียม	22
2.8 การคำนวณมุมเงยและมุมอาซิมุทของจานรับสัญญาณดาวเทียม	24
2.9 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)	28
2.10 โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD Module)	30
2.11 เรกิวเลเตอร์เพาเวอร์ซัพพลาย (Regulator Power Supply)	35
2.12 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ I ² C	36

บทที่ 3 ส่วนประกอบการออกแบบสร้าง Hardware และ Software

3.1 โครงสร้างโดยรวมของอุปกรณ์ควบคุมงานสายอากาศแบบอัตโนมัติ	38
3.2 ฮาร์ดแวร์ทางอิเล็กทรอนิกส์	38
3.3 ฮาร์ดแวร์ทางกล	45
3.4 ส่วนประกอบทางซอฟต์แวร์	47
3.5 โปรแกรมควบคุมการทำงานต่าง ๆ	47

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วงจรภาคจ่ายไฟ	52
4.2 วงจรชุดขับมอเตอร์	52
4.3 การทดลองในส่วนของชุดปรับมุมเงยและชุดปรับมุมสาย	53

บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 บทวิจารณ์	55

ภาคผนวก
กิตติกรรมประกาศ
หนังสืออ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการเบื้องต้น	2
รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของการสื่อสารดาวเทียมพื้นฐาน	4
รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของสถานีภาคพื้นดิน	8
รูปที่ 2.3 a) งานสายอากาศแบบพาราโบลอยด์ b) สายสายอากาศแบบแคชเกรน	10
รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างทั้งหมดของสายอากาศแบบแคชเกรน	12
รูปที่ 2.5 แสดงระบบป้อนสัญญาณที่นำคลื่นแบบบีมของสายอากาศแบบแคชเกรน	13
รูปที่ 2.6 แสดงการติดตั้งงานสายอากาศโดยใช้วิธีต่างๆ	14
รูปที่ 2.7 แสดงความคลาดเคลื่อนของทิศทางของสายอากาศ	18
รูปที่ 2.8 a) การชี้ติดตามดาวเทียม โดยอัตโนมัติของระบบงานสายอากาศ	19
รูปที่ 2.8 b) การติดตามดาวเทียมแบบสเตป แทร็กกิ้ง (Step Tracking หรือ Hill-Climb Method)	19
รูปที่ 2.9 แสดงวิธีการติดตามดาวเทียมแบบใช้มัลติฮอว์น	20
รูปที่ 2.10 แสดงการชี้ดวงเรดิเอเตอร์ (Radiators) แบบสองตัว และแบบรูป (Pattern)	20
รูปที่ 2.11 a) สัญญาณและสัญญาณผลต่าง	21
b) การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณผลบวกและสัญญาณผลต่างเมื่อมุมมอง θ เปลี่ยนไป	21
รูปที่ 2.12 a) รูปแบบ โดมิแนนท์ โทมค และรูปแบบ โทมคสูงๆ	22
b) ความผิดพลาดของสัญญาณแทร็กกิ้ง	22
รูปที่ 2.13 แสดงตำแหน่งของดาวเทียมในระบบพิกัดฉาก (Rectangular) และ โพล่า (Polar Coordinate)	23
รูปที่ 2.14 แสดงองค์ประกอบของการโคจรแบบวงรี	24
รูปที่ 2.15 แสดงรายละเอียดของระนาบวง โคจร เมื่อตำแหน่ง O เป็นจุดศูนย์กลางของโลก และตำแหน่ง C เป็นจุดศูนย์กลางของวง โคจรซึ่งเป็นวงรี	26
รูปที่ 2.16 แสดงมุมสาย (Azimuth :Az) และ มุมเงย (Elevation :El)	26
รูปที่ 2.17 โคออร์ดิเนตของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม	27
รูปที่ 2.18 โคออร์ดิเนตใหม่ของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม	28
รูปที่ 2.19 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	29
รูปที่ 2.20 แสดงการต่อวงจรขยายกระแสให้กับ ไอซีเรกูเลเตอร์ตระกูล 78xx	35
รูปที่ 2.21 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ บน I ² C BUS	36
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการเบื้องต้น	38
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรภาคจ่ายไฟที่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และไฟลอปจิกให้กับวงจร ไลน์เวอร์	39
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาคจ่ายไฟที่ป้อนให้กับวงจรภาค ไลน์เวอร์	39
รูปที่ 3.4 โครงสร้างของตัวแสดงผลแบบอักขระ	39
รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว	40
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรในส่วนของคีย์บอร์ด	40

รูปที่ 3.7 วงจรภายในของไอซี L298 DUAL FULL BRIDGE DRIVER	41
รูปที่ 3.8 แสดงการนำไปใช้งานควบคุมการหมุนของมอเตอร์	42
รูปที่ 3.9 แสดง I – 400 ISP Small Embedded Board	43
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรการเชื่อมต่อทั้งหมดในส่วนของฮาร์ดแวร์ทางอิเล็กทรอนิกส์	45
รูปที่ 3.11 แสดงงานรับสัญญาณดาวเทียมและอุปกรณ์รวมสัญญาณ	46
รูปที่ 3.12 แสดงชุดมอเตอร์ปรับมุมสาย	46
รูปที่ 3.13 แสดงชุดมอเตอร์ปรับมุมเงย	47
รูปที่ 3.14 โฟล์วชาร์ทแสดงการทำงานของ I ² C BUS Interface	48
รูปที่ 3.15 Acknowledge Condition	48
รูปที่ 3.16 Start Condition	49
รูปที่ 3.17 Stop Condition	49
รูปที่ 3.18 โฟล์วชาร์ทแสดงการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ปรับมุมสาย	50
รูปที่ 3.19 โฟล์วชาร์ทแสดงการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ปรับมุมเงย	50
รูปที่ 3.20 โฟล์วชาร์ทแสดงการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมงานสายอากาศแบบอัตโนมัติ	51
รูปที่ 4.1 วงจรภาคจ่ายไฟทั้งหมด	52
รูปที่ 4.2 แสดงวงจรขับมอเตอร์ควบคุมมอเตอร์จากไอซี L298	53
รูปที่ 4.3 แสดงเฟืองที่ได้ออกแบบไว้สำหรับปรับมุมเงย	54
รูปที่ 4.4 แสดงเฟืองที่ได้ออกแบบไว้สำหรับปรับมุมสาย	54

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 2.1 แสดงสมรรถนะของสาขาอากาศแบบแคชเกรนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เมตร และทำงานในย่านความถี่เคยูแบนด์	17
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของเคอร์เซอร์และตัวอักษร	33
ตารางที่ 3.1 แสดงการป้อนสัญญาณเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์	41
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองภาคจ่ายไฟ	52
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดเอาท์พุทที่ได้จากไอซี L298	53
ตารางที่ 4.3 แสดงผลของจำนวนรอบของมอเตอร์ต่อหน่วยของศา	53



บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีทางการสื่อสารและโทรคมนาคมได้เจริญก้าวหน้าและมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว อันเป็นผลเนื่องมาจากความเพียรพยายามในการศึกษาค้นคว้าวิจัยของมนุษย์อย่างไม่หยุดยั้ง ทำให้เกิดการสื่อสารในรูปแบบต่างๆ มากมาย และหนึ่งในจำนวนนั้นที่ได้รับความนิยมแพร่หลาย เนื่องจากสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้แทบทุกมุมโลกก็คือ การสื่อสารดาวเทียม ซึ่งใช้ดาวเทียมโคจรในอวกาศเป็นสถานีกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีภาคพื้นดิน บีมของคลื่นที่แพร่กระจายจากดาวเทียมจะสามารถครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณกว้าง หากใช้ดาวเทียมหลายๆ ดวงติดต่อสื่อสารกันเป็นระบบก็จะทำให้สามารถติดต่อสื่อสารได้ทุกพื้นที่ทั่วโลก อย่างไรก็ตามทางสถานีรับสัญญาณจะต้องมีความพร้อมในการรับสัญญาณ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับสัญญาณก็คือ งานรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งงานรับสัญญาณดาวเทียมมีหลายรูปแบบหลายลักษณะด้วยกัน ทั้งแบบติดตั้งอยู่กับที่เพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมเพียงดวงเดียวและแบบที่สามารถเคลื่อนที่รับสัญญาณจากดาวเทียมหลายดวงได้ แต่ที่นิยมใช้งานส่วนใหญ่มักเป็นแบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ ส่วนงานดาวเทียมแบบเคลื่อนที่ได้นั้นยังมีการใช้งานไม่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากราคาค่อนข้างสูงกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่มาก และส่วนใหญ่จะผลิตในต่างประเทศ

จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้เกิดความคิดในการที่จะพัฒนางานรับสัญญาณดาวเทียมแบบเคลื่อนที่ เพื่อให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้หลายดวงขึ้นมาใช้งาน โดยใช้งานรับดาวเทียมขนาดเล็กซึ่งเป็นแบบออฟเซตที่มีโซ่อยู่ทั่วไปมาทำการติดตั้งชุดมอดูเลเตอร์เพื่อทำการปรับมุมสายและมุมเงยให้สอดคล้องกับดาวเทียมที่ต้องการรับสัญญาณ โดยการป้อนค่าตำแหน่งของดาวเทียม เพื่อเลือกดาวเทียมที่ต้องการรับสัญญาณผ่านทางคีย์บอร์ด และแสดงผลทางจอแอลซีดี

โครงการนี้ยังสามารถที่จะทำการพัฒนาต่อไปได้อีก โดยอาจจะติดตั้งบนยานพาหนะทำให้งานรับสัญญาณดาวเทียม สามารถรับสัญญาณดาวเทียมในขณะที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ หรือที่เรียกว่า แทร็กกิ้ง (Tracking)

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบสื่อสารดาวเทียม
2. เพื่อศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมอดูเลเตอร์
3. เพื่อให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้หลายดวงตามที่ต้องการ

1.2 การคำนวณหามุมในการรับสัญญาณดาวเทียม

มุมเงย (Elevation Angle) : α

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\cos \lambda \cos \phi - K}{\sqrt{1 - \cos^2 \lambda \cos^2 \phi}} \right)$$

K = อัตราส่วนระหว่างรัศมีของโลกกับรัศมีของดวงอาทิตย์

= 0.15084 (สำหรับประเทศไทย)

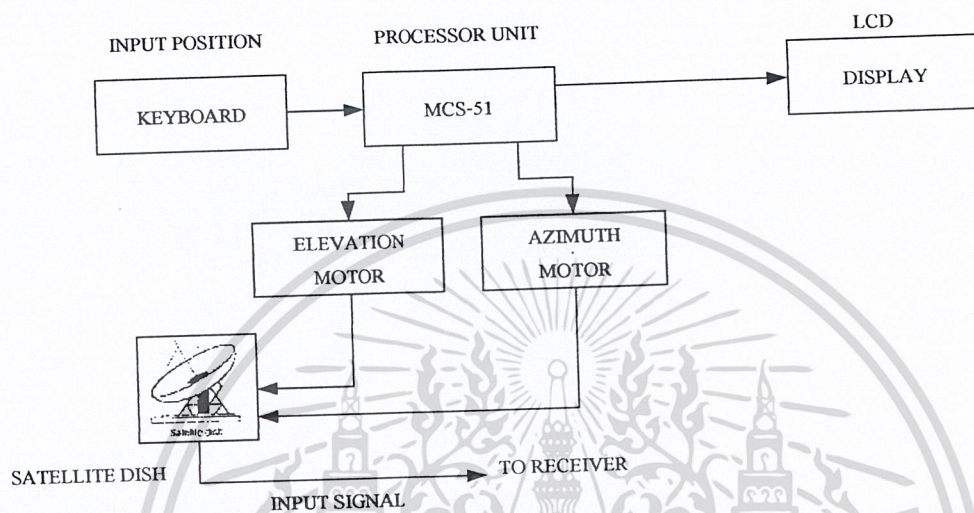
λ = ความแตกต่างของเส้นแวง (Longitude) ระหว่างจุดที่ตั้งงานสายอากาศ และดาวเทียม

ϕ = ค่าเส้นรุ้ง (Latitude) ของตำแหน่งที่ตั้งงานสายอากาศ

มุมสาย (Azimuth Angle) : θ

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \lambda}{\sin \phi} \right)$$

1.3 หลักการและแนวคิด



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการเบื้องต้น

อุปกรณ์ควบคุมงานสายอากาศแบบอัตโนมัติจะรับค่าของตำแหน่งดาวเทียมที่ต้องการ ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์จากผู้ใช้งาน จากนั้นนำค่าที่ได้ส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมให้มอเตอร์ทำการปรับมุมสายด้วย Azimuth Motor และปรับมุมเงยจาก Elevation Motor และควบคุมให้มอเตอร์ทั้งคู่หยุดทำงานตรงตำแหน่งของดาวเทียมและสัญญาณดาวเทียมจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องรับเพื่อใช้งานต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีหรือหลักการ

2.1 การสื่อสารดาวเทียม (Satellite Communication)

นับตั้งแต่ อาร์เธอร์ ซี คลาร์ก ชาวอังกฤษ ได้เสนอความคิด เกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการสื่อสารผ่านดาวเทียมค้างฟ้า (Geostationary Satellite) เมื่อปี พ.ศ. 2488 แล้ว 20 ปีต่อมาองค์การดาวเทียมสื่อสารระหว่างประเทศ (International Telecommunications Satellite Organization, INTELSAT) ซึ่งจัดตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2507 ได้ส่งดาวเทียมสื่อสารพาณิชย์ดวงแรกชื่อ เอียร์ดีเบิร์ด (Early Bird) ขึ้นสู่วงโคจรแล้ว เทคโนโลยีของดาวเทียมสื่อสารได้พัฒนารุดหน้าไปอย่างรวดเร็วจากระบบสัญญาณอนาล็อก ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access, FDMA) เป็นสัญญาณดิจิทัล ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access, TDMA) ในขณะเดียวกันอายุการใช้งานก็นานขึ้นและน้ำหนักของดาวเทียมสื่อสารก็มากขึ้น เพราะจรวดส่งดาวเทียมมีกำลังมากขึ้น ดาวเทียมสื่อสารจะเสมือน โคจรอยู่กับที่เมื่อเทียบกับพื้นโลก และอยู่สูงห่างจากพื้นโลกประมาณ 41,756 กิโลเมตร และใช้ดาวเทียมสื่อสารอย่างน้อย 3 ดวง เพื่อครอบคลุมพื้นที่ได้ทั่วโลก

2.2 โครงสร้างของระบบสื่อสารดาวเทียม

โครงสร้างของระบบการสื่อสารดาวเทียม ประกอบด้วย

1. ดาวเทียมค้างฟ้า (Geostationary Satellite) ปกติจะมีสองดวง โดยดวงหนึ่งใช้การและอีกดวงหนึ่งสำรองไว้ (Back Up) ซึ่งแต่ละดวงจะมีอายุการใช้งานประมาณ 7-15 ปี
2. สถานีควบคุมดาวเทียมให้อยู่ในวง โคจรที่ถูกต้อง (Station Keeping, Master Control Station)
3. ชั้นบรรยากาศ (Free Space)
4. สถานีภาคพื้นดินชนิดต่างๆ (Earth Stations)
5. การเชื่อมโยง (Links) ต่างๆระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับผู้ใช้บริการ (Users) เช่น ชุมสายโทรศัพท์ สถานีโทรทัศน์ เป็นต้น
6. การเชื่อมต่อกับเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดิน (Terrestrial Network)

เมื่อทำการติดตั้งสถานีภาคพื้นดินขึ้นที่ใดก็ตามภายในพื้นที่ครอบคลุม (Coverage Area) แล้ว ก็จะสามารถจะเชื่อมต่อกับเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดินทั้งหมดได้ทันที ข้อดีอันนี้เองที่ทำให้ระบบมีความคล่องตัวและสามารถเสนอบริการใหม่ๆ ได้เป็นอย่างดี

2.3 บริการหลักที่จัดให้มีขึ้นโดยใช้การสื่อสารดาวเทียมภายในประเทศ

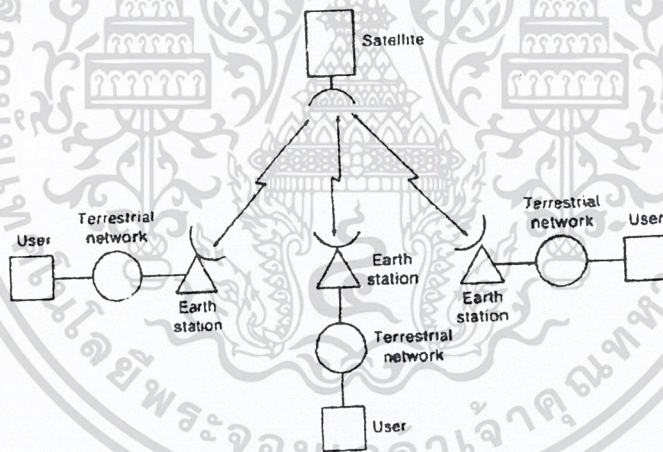
บริการหลักที่จัดให้มีขึ้น โดยใช้การสื่อสารดาวเทียมภายในประเทศ ได้แก่

1. การสื่อสารของระบบโทรศัพท์ ซึ่งเป็นแบบจุดถึงจุดโดยใช้เป็นเครือข่ายเพิ่มเติมหรือทดแทนเครือข่ายการสื่อสารที่มีอยู่
2. การสื่อสารแบบจุดหนึ่งถึงหลายๆ จุด (Point to Multipoint Transmission)
3. การสื่อสารแบบที่มีเครือข่ายการสื่อสารไม่มากนัก (Thin Route) โดยใช้เป็นเครือข่ายเชื่อมโยงไปหาพื้นที่ที่อยู่โดดเดี่ยว เช่น ในหุบเขา หรือหมู่เกาะ เป็นต้น

4. การสื่อสารข้อมูล ซึ่งอาจเป็นแบบจุดถึงจุด (Point to Point) หรือจุดถึงหลายๆ จุด (Point to Multi-Point)
5. การบริการพิเศษ ได้แก่ การประชุมเห็นกันได้ (Video Conference), โทรทัศน์เพื่อการศึกษา และการเชื่อมโยงเข้าวิทยุศรียนต์ วิทยุมือถือ หรือ เรือ
6. การแพร่ภาพโทรทัศน์

2.4 ระบบสื่อสารดาวเทียม (Satellite Systems)

ระบบสื่อสารดาวเทียมมีส่วนประกอบพื้นฐานคือ ดาวเทียมที่ลอยอยู่ในอวกาศ ซึ่งดาวเทียมนี้จะทำการสื่อสารเชื่อมโยงกับสถานีภาคพื้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยผู้ใช้ทำการส่งสัญญาณเบสแบนด์ (Base band) สัญญาณนี้จะถูกส่งไปยังสถานีภาคพื้นดินโดยเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดิน ซึ่งอาจจะเป็นสายโทรศัพท์หรือสายสัญญาณที่สร้างขึ้นมาสำหรับกรณีโดยเฉพาะ เมื่อมาถึงสถานีภาคพื้นดิน สัญญาณก็จะถูกมอดูเลต (Modulate) และขยาย จากนั้นจึงส่งออกไปยังตัวดาวเทียม เมื่อรับสัญญาณแล้วก็จะทำการกรองเอาสัญญาณเฉพาะ ในช่วงความถี่ที่ต้องการแล้วทำการขยายสัญญาณและส่งกลับลงมายังพื้นโลกอีกครั้งหนึ่ง สถานีภาคพื้นดินที่ทำการรับสัญญาณจากดาวเทียมก็จะทำการในกระบวนการที่ย้อนกลับกับตอนที่ส่งไปยังดาวเทียมคือ ทำการขยายสัญญาณที่รับมาแล้วทำการดีมอดูเลต (Demodulate) กลับไปเป็นสัญญาณเบสแบนด์ และส่งต่อไปยังผู้ใช้โดยผ่านทางเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดิน



รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของการสื่อสารดาวเทียมพื้นฐาน

ในปัจจุบัน ดาวเทียมสื่อสารทางธุรกิจต่างๆ ไป จะมีขอบเขตการใช้งานแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ของสัญญาณขาขึ้นและขาลงประมาณ 500 เมกกะเฮิร์ตซ์ และแถบความถี่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดก็คือ ในย่านซีแบนด์ (C-Band) 6/4 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยที่สัญญาณขาขึ้นจะมีความถี่คลื่นพาห์ (Carrier) ในช่วง 5.725 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 7.075 กิกะเฮิร์ตซ์ และสัญญาณขาลงจะมีความถี่คลื่นพาห์อยู่ในช่วง 3.4 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 4.8 กิกะเฮิร์ตซ์ การใช้งานในย่าน 6/4 กิกะเฮิร์ตซ์นี้ ในปัจจุบันมีการใช้งานกันมากขึ้นเรื่อยๆ ทั่วโลก ถ้าปล่อยให้มีการใช้งานในย่านนี้มากขึ้นต่อไปอีก ก็จะทำให้เกิดปัญหาทางด้านสัญญาณที่จะเกิดการรบกวนกันขึ้นได้ ดังนั้นจึงได้มีการเริ่มใช้งานในย่านความถี่เคยูแบนด์ (Ku-Band) 14/12 กิกะเฮิร์ตซ์ขึ้นอีก โดยที่ความถี่ขาขึ้นจะอยู่ในช่วง 12.75 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 14.8 กิกะเฮิร์ตซ์ และความถี่ขาลงจะอยู่ในช่วง 10.7 กิกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึง 12.3 กิกะเฮิรตซ์ ความถี่ในย่านนี้มีแนวโน้มว่าจะมีการใช้งานกันมากขึ้นในอนาคต แต่ปัญหาหนึ่งที่เป็นข้อเสียเปรียบของการใช้งานย่านความถี่นี้คือ ปัญหาการลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน (Rain Induced Attenuation) ซึ่งมีค่ามากกว่าในย่านซีแบนด์(6/4 กิกะเฮิรตซ์) มาก นอกจากนี้ความถี่ในย่าน 30/20 กิกะเฮิรตซ์ ก็มีการนำมาใช้งานกันบ้างแล้ว ซึ่งประกอบด้วยความถี่ขาขึ้นในช่วง 27.5 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 31 กิกะเฮิรตซ์ และความถี่ขาลงในช่วง 18.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 21.2 กิกะเฮิรตซ์ อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการใช้งานในย่านความถี่ 30/20 กิกะเฮิรตซ์ นั้นอยู่ในขั้นทดลองและมีราคาแพงมาก

สำหรับดาวเทียมโดยทั่วไปซึ่งมีขอบเขตการใช้งานโดยมีแบนด์วิดท์ 500 เมกกะเฮิรตซ์ ในย่านความถี่ 6/4 กิกะเฮิรตซ์ และ 14/12 กิกะเฮิรตซ์ นั้นจะแบ่งแยกเป็นส่วนย่อยๆ ที่เรียกว่า ทรานส์พอนเดอร์แบนด์วิดท์ (Transponder Bandwidth) เช่น ดาวเทียมสื่อสารเพื่อการพาณิชย์ดวงหนึ่งมี 8 ทรานส์พอนเดอร์ (Transponder) ในแต่ละทรานส์พอนเดอร์จะมีขนาดแบนด์วิดท์เท่ากับ 54 เมกกะเฮิรตซ์ และจุดศูนย์กลางความถี่ของแต่ละทรานส์พอนเดอร์จะห่างกัน 61 เมกกะเฮิรตซ์ เพื่อเหลือให้มีการ์ดแบนด์ (Guard band) ที่มีขนาดเพียงพอต่อการป้องกันการรบกวนระหว่างทรานส์พอนเดอร์ ดังนั้น เมื่อรวมความถี่ทั้งหมด 8 ทรานส์พอนเดอร์ ก็จะได้ความถี่ประมาณเท่ากับแบนด์วิดท์ในการใช้งานของตัวดาวเทียมนั้นคือ 500 เมกกะเฮิรตซ์ นอกจากนี้แล้วยังมีการนำเทคนิคที่เรียกว่า การใช้ความถี่ซ้ำ (Frequency Reused) ซึ่งทำเสมือนเป็นการเพิ่มจำนวนทรานส์พอนเดอร์ของดาวเทียม โดยที่แบนด์วิดท์ของตัวดาวเทียมยังคงเท่าเดิม เทคนิคนี้ใช้การโพลาไรซ์ (Polarization) ในแบบออร์ทอกอนัล (Orthogonal) โดยที่ทรานส์พอนเดอร์หนึ่งจะใช้การโพลาไรซ์ในแนวหนึ่ง ตัวอย่างเช่น การโพลาไรซ์ในแนวตั้ง (Vertical Polarization) และอีกทรานส์พอนเดอร์หนึ่งจะใช้การโพลาไรซ์ในอีกแนวหนึ่ง เช่น การโพลาไรซ์ในแนวนอน (Horizontal Polarization) โดยที่การรบกวนกันระหว่าง 2 ทรานส์พอนเดอร์จะถูกลดลงโดยสภาพตามธรรมชาติของมันเองที่มีแนวของสนามไฟฟ้าคนละแนว การแยกแยะสัญญาณรบกวนระหว่างกันทำได้ถึง 30 เดซิเบล นอกจากนี้ยังมีการลดการรบกวนระหว่างทรานส์พอนเดอร์ลงไปได้อีกโดยการทำให้ 2 ทรานส์พอนเดอร์มีความถี่กลางในการใช้งานที่เหลื่อมล้ำกัน การใช้เทคนิคการใช้ความถี่ซ้ำนี้ทำให้จำนวนทรานส์พอนเดอร์ของดาวเทียมที่มีแบนด์วิดท์ 500 เมกกะเฮิรตซ์เพิ่มจำนวนมากขึ้นไปอีกจาก 8 ทรานส์พอนเดอร์ เป็น 16 ทรานส์พอนเดอร์ คือเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัว โดยที่แบนด์วิดท์ยังคงเป็น 500 เมกกะเฮิรตซ์ เท่าเดิม

2.4.1 เทคนิคการติดต่อที่ใช้ในระบบ MSAT

ในการใช้งานระบบดาวเทียมแบบ VSAT (Very Small Aperture Terminal) สถานีภาคพื้นดินต้องใช้อากาศยานที่มีอัตราขยายสูงและมีทิศทางชี้ตรงไปยังดาวเทียม ดังนั้นจึงมีทิศทางเดียวระหว่างสถานีภาคพื้นดินและตัวดาวเทียมที่ใช้งาน แต่ในระบบ MSAT สถานีเคลื่อนที่ (Mobile Terminal) มีอัตราขยายต่ำประมาณ 3 ถึง 6 เดซิเบลหรือสายอากาศแบบมีทิศทาง (Steered Antenna) ซึ่งมีอัตราขยายประมาณ 10 ถึง 14 เดซิเบล สายอากาศที่มีอัตราขยายต่ำนี้จะเลือกหาทิศทางของสัญญาณ ซึ่งจะประกอบไปด้วยสัญญาณจากดาวเทียมโดยตรง สัญญาณจากการสะท้อนจากพื้นดินในบริเวณรอบตัวของสายอากาศ และสัญญาณอื่นๆ ที่สะท้อนจากสิ่งแวดล้อมที่อยู่ใกล้เคียงกับสถานีเคลื่อนที่ เช่น ภูเขา เนินเขา ต้นไม้ ตึก เป็นต้น สัญญาณที่สะท้อนจากสัญญาณจริงเหล่านี้จะสามารถลดทอนออกไปได้ โดยใช้สายอากาศที่มีอัตราขยายสูงขึ้น สามารถทำให้เกิดการหักล้างของคลื่นและทำให้เกิดการจางหาย (Fading) หรือการ

ลดทอน (Attenuation) ของสัญญาณได้ นอกจากนี้ยานพาหนะที่ใช้เป็นสถานีรับ เคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีต้นไม้หรือวัตถุที่มีโครงสร้างสูงอยู่ข้างทางอาจพบเหตุการณ์ที่สัญญาณขาดช่วงการติดต่อเนื่องจากจุดนั้นเป็นจุดเงา (Shadow Effect) หรือเป็นจุดที่ไม่มีสัญญาณมาถึง เพราะมีการบังสัญญาณ ดังนั้นในระบบ MSAT จึงจำเป็นที่จะต้องออกแบบให้จำกัดปัญหาจากการแพร่กระจายคลื่นดังกล่าวข้างต้น

2.4.2 ระบบที่ใช้รับสัญญาณทีวีจากดาวเทียมของต่างประเทศโดยตรงแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. ระบบ TVRO (Television Receive Only)
2. ระบบ SMATV (Satellite Master Antenna Television)
3. ระบบ CATV หรือเคเบิลทีวี (Cable Television)

2.4.2.1 ระบบ TVRO

เป็นระบบที่ใช้รับสัญญาณทีวีจากต่างประเทศเพียงอย่างเดียวสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะดังนี้

1. รับสัญญาณดาวเทียมเพียงดวงเดียว
2. รับสัญญาณดาวเทียมได้หลายดวง

อุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้รับสัญญาณดาวเทียมดวงเดียว ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1. จานรับสัญญาณดาวเทียม (Satellite Dish)
2. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Receiver)
3. อุปกรณ์รวมสัญญาณ (Feedhorn)
4. อุปกรณ์กำจัดและขยายสัญญาณ (LNB)
5. ขั้วต่อปลายสายนำสัญญาณ (F-Connector)
6. สายนำสัญญาณ

โดยการติดตั้งจำเป็นต้องหันหน้าจานรับสัญญาณไปที่ดาวเทียมดวงหนึ่งที่ต้องการรับเท่านั้น อุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณดาวเทียมสำหรับดาวเทียมหลายดวง ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1. จานรับสัญญาณดาวเทียม (Satellite Dish)
2. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Receiver)
3. เครื่องกำหนดทิศทาง (Positioner)
4. อุปกรณ์รวมสัญญาณที่ปรับแนวสัญญาณได้ (Feedhorn with Polarized Roter)
5. อุปกรณ์กำจัดและขยายสัญญาณ (LNB)
6. มอเตอร์ขับเคลื่อน (Actuator)
7. ขั้วต่อสายนำสัญญาณ (F-Connector)
8. สายนำสัญญาณ

สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้หลายดวงจากการบังคับทิศทางของจานรับสัญญาณดาวเทียม

2.4.2.2 ระบบ SMATV

เป็นระบบที่ใช้ติดตั้งในอาคารที่มีระบบทีวีรวม (MATV) ที่มีจำนวนหลายห้อง เช่น โรงแรม คอนโดมิเนียม หรืออื่นๆ

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับ SMATV ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1. จานรับสัญญาณดาวเทียม (Satellite Dish)
2. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Commercial Receiver)
3. เครื่องแปลงสัญญาณ (Commercial Modulator)
4. เครื่องรวมสัญญาณ (Combiner)
5. อุปกรณ์รวมสัญญาณ (Feedhorn)
6. อุปกรณ์กำจัดและขยายสัญญาณ (LNB)
7. อุปกรณ์แยกสัญญาณ (Splitter)
8. อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier)
9. ขั้วต่อสายเคเบิล (F-Connector)
10. สายนำสัญญาณ

2.4.2.3 ระบบ CATV

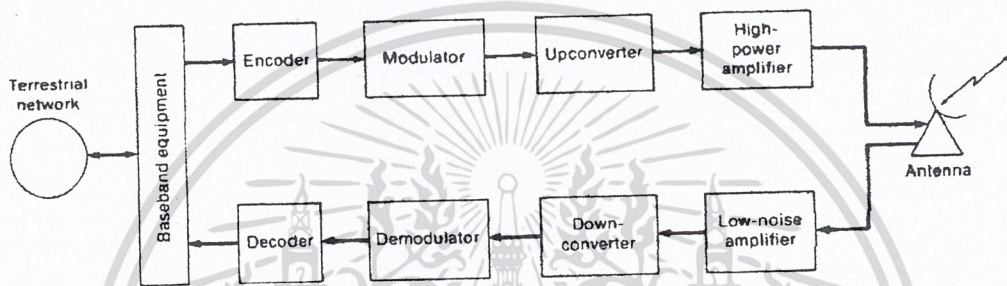
เป็นระบบที่ใช้ติดตั้งในเขตหมู่บ้าน หรือบ้านจำนวนมากๆ ในบริเวณใกล้เคียงกัน อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับ CATV ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1. จานรับสัญญาณดาวเทียม (Satellite Dish)
2. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Commercial Receiver)
3. เครื่องแปลงสัญญาณ (Commercial Modulator)
4. เครื่องรวมสัญญาณ (Combiner)
5. อุปกรณ์รวมสัญญาณ (Feedhorn)
6. อุปกรณ์กำจัดและขยายสัญญาณ (LNB)
7. อุปกรณ์แยกสัญญาณ (Splitter)
8. อุปกรณ์แยกสายนำสัญญาณที่ไม่เกิดการลดทอนสัญญาณ (Tap)
9. อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (CATV Amplifier)
10. ขั้วต่อสายสัญญาณ (F-Connector)
11. สายนำสัญญาณ

2.5 สถานีภาคพื้นดิน (Earth Station)

ระบบดาวเทียม ประกอบด้วยตัวดาวเทียมซึ่งอยู่ในอวกาศที่จะติดต่อกับสถานีภาคพื้นดิน (Earth station) หลายๆ สถานีบนภาคพื้นดิน โดยผู้ส่งต้องนำสัญญาณความถี่เบสแบนด์ที่ต้องการส่งไปยังวงจรถี ทำหน้าที่ตัดตอนให้สัญญาณนี้ถูกยิงไปยังดาวเทียมผ่านทางสถานีภาคพื้นดิน ที่สถานีภาคพื้นดิน สัญญาณเบสแบนด์จะถูกมอดูเลตโดยความถี่วิทยุ (Radio Frequency หรือ RF) เพื่อส่งไปยังดาวเทียม เราอาจมองดาวเทียมเสมือนกับสถานีทวนสัญญาณขนาดใหญ่ในอวกาศ โดยจะรับสัญญาณความถี่วิทยุที่ถูกมอดูเลตจากสถานีภาคพื้นดินในความถี่ขาขึ้น และขยายแล้วก็ส่งกลับมายังโลกในความถี่ขาลง ซึ่งมีความถี่ต่างจากความถี่ขาขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนกัน จากนั้นสถานีภาคพื้นดินก็จะแปลงความถี่วิทยุที่ได้รับกลับมาเป็นสัญญาณความถี่เบสแบนด์ครั้งหนึ่งแล้วผ่านวงจรตัดต่อให้ออกไปยังผู้ใช้บริการ

จากหลักการคร่าวๆ ที่กล่าวมาในข้างต้น เราจะพิจารณาถึงสถานีภาคพื้นดินซึ่งส่งสัญญาณไปยังดาวเทียม หรือรับสัญญาณจากดาวเทียม รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของสถานีภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล สัญญาณดิจิทัลที่อยู่ในรูปเลขฐานสองจากวงจรตัดต่อจะเข้าไปยังด้านส่งของสถานีภาคพื้นดิน และถูกดำเนินการต่างๆ เช่น การมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) เป็นต้น โดยอุปกรณ์ย่านความถี่เบสแบนด์ เพื่อที่จะสามารถส่งข้อมูลต่างๆ ไปยังดาวเทียมได้อย่างเหมาะสม สัญญาณรบกวนและความไม่เป็นอุดมคติของช่องสัญญาณสื่อสารต่างๆ จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ในข่าวสารที่ถูกส่งไป และจะเป็นตัวจำกัดอัตราการส่งข้อมูล ถ้าอัตราผิดพลาดของข้อมูลนี้เกินกว่าที่จะยอมรับได้ ก็จะมีการใส่รหัสเลขฐานสอง ไปยังสายข้อมูล บิตพิเศษเหล่านี้ไม่มีข่าวสารแต่อย่างใด แต่จะถูกใช้เพื่อจำกัดหรือลดอัตราการผิดพลาดของข้อมูล



รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของสถานีภาคพื้นดิน

เพื่อที่จะส่งสัญญาณข่าวสารดิจิทัลความถี่เบสแบนด์ ผ่านไปยังช่องสัญญาณดาวเทียม เราจึงจำเป็นต้องแปลงข้อมูลเหล่านั้นให้อยู่ในรูปของคลื่นพาห้ในความถี่ที่เหมาะสมสำหรับช่องสัญญาณ วิธีการนี้เรียกว่า การมอดูเลตเข้ากับคลื่นพาห้แบบดิจิทัล (Digital Carrier Modulation) โดยตัวมอดูเลเตอร์จะมีหน้าที่คือ รับสายข้อมูลจากตัวอักษรมาเข้ารหัสและมอดูเลตไปยังสัญญาณความถี่กลาง (Intermediate Frequency: IF) ในการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้นความถี่กลางจะมีค่า 70 เมกกะเฮิร์ตซ์ สำหรับช่องสัญญาณที่ใช้ทรานส์พอนเดอร์กว้าง 36 เมกกะเฮิร์ตซ์ และความถี่กลาง 140 เมกกะเฮิร์ตซ์ สำหรับช่องสัญญาณที่ใช้ทรานส์พอนเดอร์กว้าง 54 เมกกะเฮิร์ตซ์ หรือ 72 เมกกะเฮิร์ตซ์ การที่ต้องมีความถี่กลางก่อนนั้นก็เพื่อลดความยุ่งยากในการสร้างเครื่องมอดูเลเตอร์ความถี่วิทยุโดยตรง เนื่องจากการสร้างเครื่องขยายที่ความถี่สูงมากๆ นั้นเป็นไปได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง

สัญญาณความถี่กลางที่ถูกมอดูเลตแล้วนั้น จะถูกป้อนเข้าสู่ตัวแปลงความถี่ขาขึ้นเพื่อแปลงความถี่กลางให้เป็นความถี่วิทยุในขาขึ้น ไปยังดาวเทียม จากนั้นจะถูกขยายกำลังโดยเครื่องขยายกำลังที่มีกำลังสูง (High Power Amplifier หรือ HPA) เพื่อส่งไปยังดาวเทียม

ในภาครับนั้นสายอากาศจะรับสัญญาณความถี่วิทยุขนาดเล็กมาจากดาวเทียม เราจึงต้องขยายสัญญาณนี้ด้วยภาคขยายสัญญาณที่มีระดับสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier หรือ LNA) เพื่อให้ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio: S/N) ของสัญญาณดีขึ้น ค่าบิตผิดพลาดจึงลดน้อยลง ภาคแปลงความถี่ขาลงจะรับสัญญาณความถี่วิทยุที่ถูกขยายแล้วมาเปลี่ยนเป็นความถี่กลาง สำหรับ

เหตุผลในการใช้ความถี่กลางนั้นก็เหมือนกับตอนส่ง ก็คือ สัญญาณจากความถี่กลางจะถูกป้อนไปยังภาคคีมอดูเลเตอร์ ซึ่งจะคีมอดูเลตข้อมูลออกมาจากคลื่นความถี่กลาง อัตราบิดผิดพลาดจากภาคคีมอดูเลเตอร์นั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของคลื่นพาห้กับสัญญาณรบกวน, คุณสมบัติของช่องสัญญาณความถี่ และวิธีการตรวจจับหรือรับสัญญาณ ภาคถอดรหัสสัญญาณจะทำหน้าที่ตรงข้ามกับภาคเข้ารหัสสัญญาณ เนื่องมาจากขั้นตอนของสัญญาณที่ถูกเก็บออกมาจากภาคคีมอดูเลเตอร์อาจมีข้อผิดพลาด ดังนั้น ตัวถอดรหัสสัญญาณจะต้องมีรหัสเดียวกับตัวเข้ารหัส ซึ่งก็จะมีความสามารถในระดับหนึ่งในการแยกแยะสัญญาณข่าวสารหรือสัญญาณรบกวน หลังจากได้รับสัญญาณข่าวสารมาแล้วก็จะถูกป้อนให้อุปกรณ์ในย่านความถี่เบสแบนด์ตัวอื่นๆ เพื่อทำการจัดการต่อไป

ในทางปฏิบัติแล้ว เราสามารถแบ่งสถานีภาคพื้นดินออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. ส่วนของความถี่วิทยุ ซึ่งประกอบด้วยตัวแปลงความถี่ขาขึ้นและตัวแปลงความถี่ขาลง (Up Converter and Down Converter), ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุที่มีกำลังสูง (High Power Amplifier หรือ HPA), ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier หรือ LNA) และสายอากาศ (Antenna)
2. ส่วนของความถี่เบสแบนด์ ประกอบด้วย อุปกรณ์เบสแบนด์ต่างๆ เช่น ตัวเข้ารหัส (Encoder), ตัวถอดรหัส (Decoder), ตัวมอดูเลเตอร์ (Modulator) และตัวคีมอดูเลเตอร์ (Demodulator) เป็นต้น

2.6 งานสายอากาศ (Antenna)

สายอากาศที่ใช้ในสถานีภาคพื้นดินเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในส่วนของอุปกรณ์ความถี่วิทยุ เพราะว่าสายอากาศจะทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุที่ถูกมอดูเลตแล้วไปยังดาวเทียมที่ความถี่ขาขึ้น และทำหน้าที่รับคลื่นความถี่วิทยุจากดาวเทียมที่ความถี่ขาลง สายอากาศที่สถานีภาคพื้นดินต้องมีคุณสมบัติพื้นฐาน 3 ข้อ คือ

1. ต้องมีทิศทางสูง (High Directive Gain) คือ มีบีมวิทซ์ (Beam width) ที่แคบ ทั้งในการส่งและการรับ นอกจากนั้นแล้วต้องมีสัญญาณข้างเคียง (Side lobe) น้อย เพื่อลดการรบกวนกันกับสัญญาณที่ไม่ต้องการ
2. ต้องมีค่าของสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ต่ำ (Low Noise Temperature) เพื่อสัญญาณที่รับจะได้ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูง
3. ต้องมีความเที่ยงตรงสูงต่อสัญญาณที่ได้รับ คือ ใช้ระบบแทร็กกิ้ง (Tracking System) ที่มีระบบการควบคุมการเลื่อนสายอากาศไปตามตำแหน่งที่มีสัญญาณแรงที่สุด

2.6.1 ประเภทของสายอากาศ

สายอากาศที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับมากที่สุดในระบบสถานีภาคพื้นดิน คือ สายอากาศแบบพาราโบลอยด์ (Paraboloid) โดยจะมีการแบ่งตามลักษณะของการป้อนสัญญาณให้แก่แผ่นสะท้อนได้เป็นสองแบบ คือ แบบโฟคคัล พอยต์ ฟีด (Focal Point Feed) และแบบแคชเกรน (Cassegrain)

2.6.1.1 สายอากาศแบบพาราโบลอยด์ที่มีการป้อนสัญญาณแบบโฟคคัล พอยต์ (Focal Point)

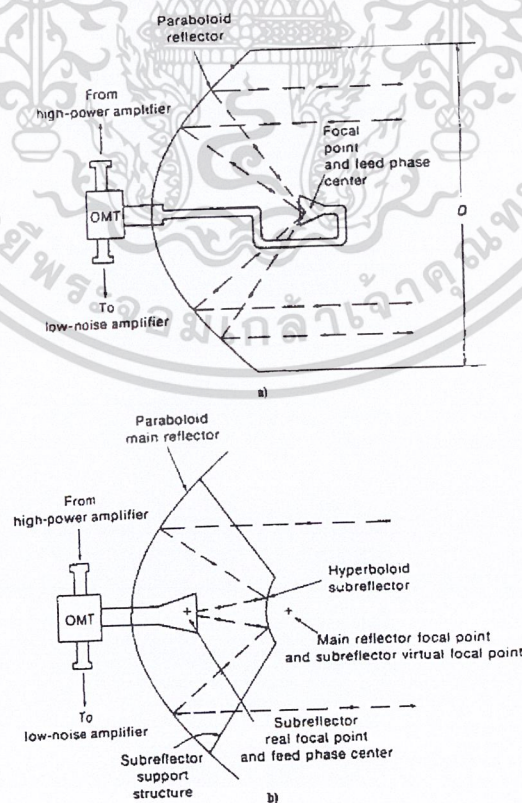
สายอากาศแบบนี้ ประกอบด้วยงานสะท้อนซึ่งเป็นผิวโค้งรูปพาราโบลารอบแกน ทิศทางของการรับและ ฟีดเดอร์ (Feeder) ซึ่งมีจุดศูนย์กลางเฟสที่จุดโฟกัสของตัวสะท้อนดังในรูปที่ 2.3 a)

การที่เลือกงานสะท้อนแบบพาราโบลอยด์นั้น เนื่องจากรูปพาราโบลามีข้อดีสำหรับสายอากาศระดับไมโครเวฟด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ

1. ถ้าคลื่นใดๆ จากจุดโฟกัสจะถูกสะท้อนที่แผ่นสะท้อนพาราโบลอยด์ แล้วได้ทิศทางการสะท้อนออกมาขนานกับแกนของพาราโบลอยด์
2. ระยะทางจากการเดินทางของคลื่นจากจุดโฟกัสไปยังแผ่นพาราโบลอยด์และจากแผ่นพาราโบลอยด์ไปยังระนาบตั้งฉากกับพาราโบลานั้นไม่ขึ้นอยู่กับเส้นทาง (คือ ขึ้นอยู่กับ 2 จุดเท่านั้น)

ดังนั้น แหล่งพลังงานแบบจุดที่อยู่ทีจุดโฟกัสจะถูกเปลี่ยนไปเป็นคลื่นระนาบที่มีเฟสเดียวกันในทิศทางที่ต้องการส่ง โดยใช้แผ่นสะท้อนรูปพาราโบลอยด์ดังรูป 2.3 a)

ขนาดของสายอากาศแบบนี้แสดงได้โดยเส้นผ่านศูนย์กลาง D ของงานสะท้อนพีคเตอร์เชื่อมต่อกับภาคขยายสัญญาณวิทยุที่มีกำลังสูง และภาคขยายสัญญาณวิทยุที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ ส่งผ่านไปยังตัวออกทอกอนเนล โหมด ทรานส์ดีมเซอร์ (Orthogonal Mode Transducer: OMT) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ 3 พอร์ต (Port) โดยมีอัตราส่วนการแยกสัญญาณส่งและสัญญาณรับดีกว่า 40 เดซิเบล ส่วนของภาคส่งนั้น พลังงานของคลื่นพาห้ที่จะส่งจากภาคขยายสัญญาณวิทยุที่มีกำลังสูงจะกระจายไปเป็นเส้นแนวเดียวกับทิศทางการส่งที่ต้องการ โดยแพทเทิร์นของคลื่น (Pattern) จะมีบีบอัดที่แคบ ในขณะที่ส่วนของภาครับนั้นจะดักจับสัญญาณในทิศทางที่ต้องการรับ ให้สัญญาณกระทบแผ่นสะท้อนแล้วสะท้อนมารวมกันที่จุดโฟกัสซึ่งจะส่งผ่านไปยังภาคขยายสัญญาณวิทยุที่มีสัญญาณรบกวนต่ำผ่านพีคเตอร์ต่อไป รูปร่างของบีมที่กระจายออกมาถูกกำหนดได้ โดยการใช้บางส่วนของรูปพาราโบลอยด์



รูปที่ 2.3 a) งานสายอากาศแบบพาราโบลอยด์ b) สายสายอากาศแบบแคชเกรน

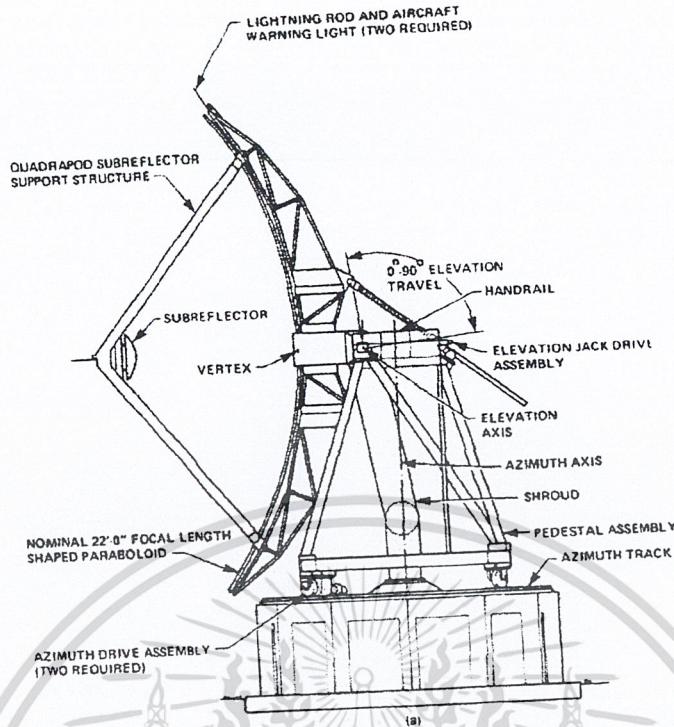
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.2 สายอากาศแบบแคชกรเนน

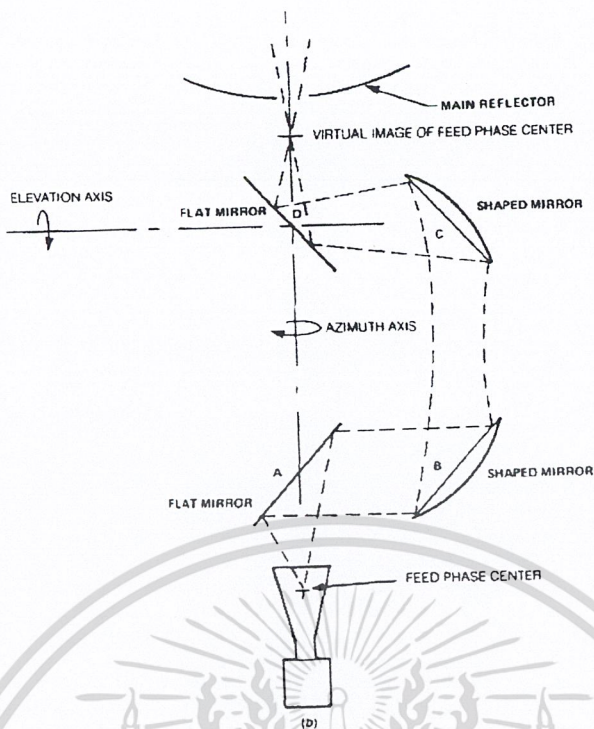
สายอากาศแบบนี้จะมีแผ่นสะท้อน 2 แผ่น คือแผ่นสะท้อนหลักและแผ่นสะท้อนรอง โดยแผ่นสะท้อนหลักเป็นรูปพาราโบลา ส่วนแผ่นสะท้อนรองเป็นรูปไฮเพอร์โบลา จุดโฟกัสของแผ่นสะท้อนหลักจะเป็นจุดเดียวกับจุดโฟกัสเสมือนของแผ่นสะท้อนรอง และจะมีฟีดเคอร์ที่มีจุดศูนย์กลางเฟสอยู่ที่จุดโฟกัสของแผ่นสะท้อนรอง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 b) ในส่วนของภาคส่งนั้น สัญญาณจากภาคขยายสัญญาณวิทยุที่มีกำลังสูงจะแผ่กระจายมาที่จุดโฟกัสของแผ่นสะท้อนรองโดยฟีดเคอร์ และจะกระทบแผ่นสะท้อนรองที่ด้านนอกของส่วนโค้ง หลังจากนั้นจะสะท้อนไปยังจุดโฟกัสของแผ่นสะท้อนหลัก โดยเสมือนมีจุดศูนย์กลางเฟสอยู่ที่จุดโฟกัสเสมือน (หรือจุดโฟกัสจริงของแผ่นสะท้อนหลัก) ของแผ่นสะท้อนรอง ทำให้คลื่นที่สะท้อนออกมาจากแผ่นสะท้อนหลักมีหน้าคลื่นที่มีเฟสเดียวกัน และเป็นคลื่นระนาบที่มีทิศทางในแนวของส่วนรับนั้นสัญญาณจากดาวเทียมจะตกกระทบกับแผ่นสะท้อนหลักและจะถูกสะท้อนให้ไปรวมกันที่จุดโฟกัสของแผ่นสะท้อนหลัก ต่อมาจะถูกสะท้อนออกมาโดยแผ่นสะท้อนรอง สัญญาณจะมารวมกันที่จุดศูนย์กลางเฟสของฟีดเคอร์ จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังภาคขยายสัญญาณวิทยุที่มีสัญญาณรบกวนต่ำต่อไปโดยมีออกทอกอเนล โหมด ทรานส์ควิเซอร์เป็นตัวแยกสัญญาณรับและสัญญาณส่ง

โดยทั่วไปแล้ว สายอากาศแบบแคชกรเนนจะมีราคาแพงกว่าแบบพาราโบลอยด์ธรรมดาเพราะว่ามีเพิ่มส่วนของแผ่นสะท้อนรองขึ้นมา และมีข้อดีกว่าแบบพาราโบลอยด์ธรรมดาหลายประการ เช่น มีค่าสัญญาณรบกวนจากอุณหภูมิน้อยกว่า มีทิศทางที่เที่ยงตรงกว่า และมีความยืดหยุ่นในการออกแบบฟีดเคอร์มากกว่า เนื่องจากว่าพลังงานที่หลุดออกจากฟีดเคอร์นั้น ส่วนใหญ่จะหลุดไปยังอากาศ ซึ่งมีค่าสัญญาณรบกวนจากอุณหภูมิต่ำกว่า 30 เคลวิน (K) ดังนั้นค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของสัญญาณจึงมีค่ามากกว่าแบบพาราโบลอยด์ธรรมดา เนื่องจากฟีดเคอร์อยู่ในตำแหน่งใกล้กับจุดยอดของส่วนโค้งของแผ่นสะท้อนหลัก ทำให้เสถียรภาพทางกลดีกว่าแบบพาราโบลอยด์ธรรมดาที่มีตัวป้อนลอยอยู่บนเนื้อแผ่นสะท้อน จากการที่มีเสถียรภาพทางกลดีกว่านี้เอง ทำให้ความแน่นอนในทิศทางของสายอากาศชนิดนี้มีมากกว่า

เพื่อที่จะลดการสูญเสียของสายนำสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่างภาคขยายสัญญาณวิทยุที่มีกำลังสูงหรือภาคขยายสัญญาณวิทยุที่มีสัญญาณรบกวนต่ำกับฟีดเคอร์ เราจึงใช้ระบบการป้อนสัญญาณที่นำคลื่นแบบบีม (Beam Wave guide Feed System) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างทั้งหมดของสายอากาศแบบแคชเกรน
 ท่อนำคลื่นแบบบีมนั้นประกอบด้วยกระจกสี่แผ่นยึดติดกันด้วยโลหะซึ่งตั้งอยู่อย่างเที่ยงตรงกับ
 แผ่นสะท้อนรอง, ฟีดเคอร์, แกนของมุมเงย (Elevation Angle) และแกนของมุมสาย (Azimuth Angle) (มุม
 ที่ทิศทางของสายอากาศในระนาบบนพื้นดินทำมุมกับทิศเหนือ) กระจกเหล่านี้จะเปรียบเหมือนตัวปล่อย
 พลังงานระหว่างตัวป้อนและแผ่นสะท้อนรอง เราจะต้องออกแบบให้มีการสูญเสียที่น้อยที่สุดเมื่อตัวป้อนถูก
 ยึดกับฐานคอนกรีตที่พื้นตัวโลหะ ที่ยึดกระจกทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวนจากพื้นดิน และเพิ่มความ
 มั่นคงให้แก่กระจกอันเนื่องมาจากลม อุณหภูมิหรือภาวะไหลค่อื่นๆ ส่วนล่างของโลหะนั้นถูกยึดติดโดย
 แผ่นและสามารถหมุนรอบแกนของมุมสายได้ ส่วนบนของโลหะถูกยึดโดยแผ่นสะท้อนหลักและสามารถ
 หมุนได้รอบแกนของมุมเงย ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ท่อนำคลื่นแบบบีมนั้นจะนำหรือรับพลังงานจากหรือไป
 ยังฟีดเคอร์และแผ่นสะท้อน โดยใช้หลักการของการสะท้อนของแสง ถ้ากระจกเหล่านี้มีขนาดพอเหมาะ
 และวางในตำแหน่งที่เหมาะสมแล้ว พลังงานจากตัวป้อนจะมีจุดศูนย์กลางเฟสอยู่ที่จุดโฟกัสของแผ่น
 สะท้อนรอง การทำงานจะเป็นดังนี้คือ กระจก A, B, C และ D จะเคลื่อนที่พร้อมกันเมื่อฐานของแกนของ
 มุมสาย (Azimuth Platform) หมุน ส่วนกระจก D อยู่บนแกนของมุมเงยก็จะหมุนไปอีกแกนหนึ่งด้วยเมื่อ
 แผ่นสะท้อนหลักถูกยกขึ้นขณะที่งานเงยขึ้น โดยวิธีการนี้พลังงานที่ไปหรือจากท่อนำคลื่นจะมีทิศทางไป
 ยังแผ่นสะท้อนหลักเสมอ



รูปที่ 2.5 แสดงระบบป้อนสัญญาณท่อนำคลื่นแบบบีมของสายอากาศแบบแคชเกรน
ถ้างานสายอากาศที่ติดตั้งไม่มีเสถียรภาพทางกลแล้ว ก็จะทำให้ทิศทางของการรับหรือส่งคลื่นผิด
ไป เราสามารถควบคุมตำแหน่งของสายอากาศโดยใช้ระบบขับเคลื่อนทางกล (Servomechanism) เพื่อทำ
การควบคุมมุมของสายอากาศ โดยการชดเชยผลของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสายอากาศที่
คลาดเคลื่อนไป อันเนื่องมาจากสายอากาศอาจติดตั้งอยู่บนพาหนะหรือสิ่งเคลื่อนไหวใดๆ ก็ได้

2.6.2 ฟีดเดอร์สำหรับพาราโบลอยด์

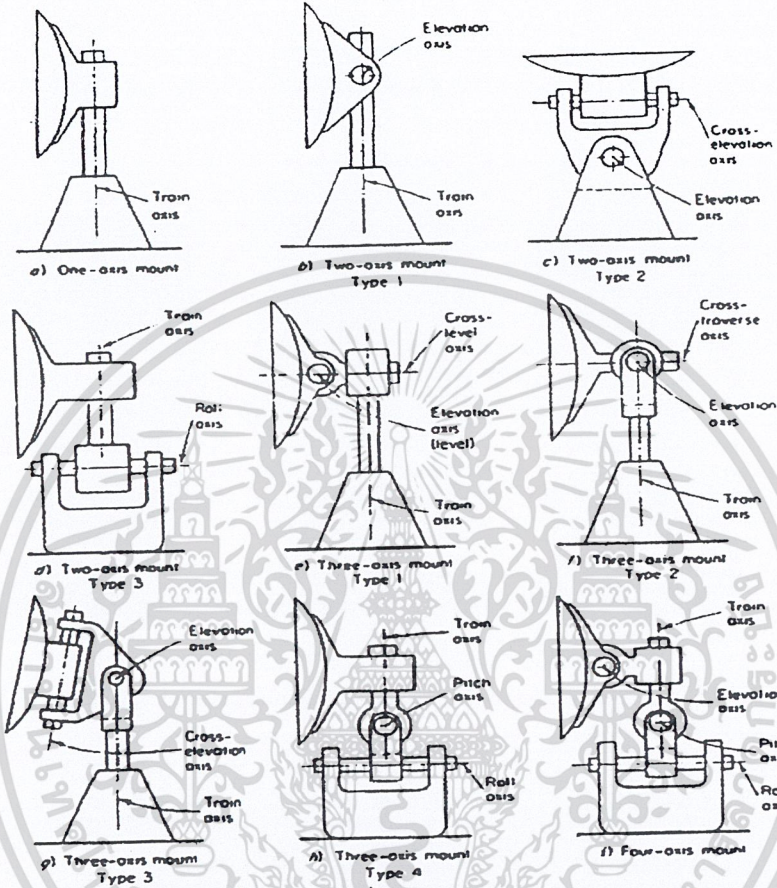
ฟีดเดอร์ที่เป็นอุดมคติสำหรับพาราโบลอยด์นั้น ประกอบด้วยแหล่งสัญญาณแบบจุดซึ่งมีการ
กระจายคลื่น ให้มีแพทเทิร์นที่เหมาะสมและสิ่งที่สำคัญของพาราโบลอยด์ คือ เฟสของคลื่นที่กระจายโดย
ฟีดเดอร์นั้นต้องไม่ขึ้นกับค่ามุมของแพทเทิร์น ซึ่งแพทเทิร์นของคลื่นจากฟีดเดอร์ เรียกว่า แพทเทิร์น
ปฐมภูมิ (Primary Pattern) และแพทเทิร์นของคลื่นที่สะท้อนออกมาเรียกว่า แพทเทิร์นทุติยภูมิ
(Secondary Pattern)

ไดโพลพื้นฐานแบบครึ่งคลื่นหรือไดโพลที่มีแผ่นสะท้อนด้านหลังนั้น ก็สามารถนำมาใช้เป็น
ฟีดเดอร์แก่งานสายอากาศแบบพาราโบลอยด์ได้ แต่ข้อจำกัดของมันอยู่ที่ว่าทำช่องเปิดสำหรับการกระจาย
คลื่น (Aperture) ได้ยาก และมีโพลาริเซชันของคลื่นที่ไม่ค่อยดีในบางทิศทาง อีกทั้งเส้นของรังสีคลื่นที่
สะท้อนออกมามีมากและข้อจำกัดในเรื่องของกำลังงาน ดังนั้นฟีดเดอร์แบบท่อนำคลื่นปลายเปิดจึงใช้ได้ดี
กว่า และคุณสมบัติของเฟสก็ดีกว่าถ้าเลือกโหมดการกระจายคลื่นที่ถูกต้อง แผ่นพาราโบลอยด์แบบวงกลม
เหมาะสมที่จะถูกป้อนโดยท่อนำคลื่นวงกลมปลายเปิดด้วยโหมด TE_{11} ในขณะที่ท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยม
ใช้ไม่ได้ เนื่องจากการไม่สมมาตรกันระหว่างระนาบสนามแม่เหล็ก (E) และระนาบสนามไฟฟ้า (H) เมื่อ
ใช้กับพาราโบลอยด์แบบวงกลมและจะทำให้การกระจายของกระแสในสองระนาบนี้แตกต่างกันด้วย แต่

พีคเตอร์แบบสี่เหลี่ยมอาจถูกใช้ในงานที่ใช้แผ่นพาราโบลอยด์ไม่สมมาตรกัน ซึ่งผลิตแพทเทอร์นของคลื่นแบบพัคที่มีระนาบสนามไฟฟ้ากว้างกว่าระนาบสนามแม่เหล็ก สำหรับงานที่ต้องการทิศทางสูงนั้นพีคเตอร์แบบฮอร์นยังเป็นที่นิยมมากกว่าแบบท่อนำคลื่นปลายเปิด

2.6.3 ลักษณะการติดตั้งงานสายอากาศ

การติดตั้งงานสายอากาศมีวิธีต่างๆ ที่เป็นไปได้อยู่ 9 วิธีดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการติดตั้งงานสายอากาศโดยใช้วิธีต่างๆ

รูป 2.6 a) แสดงการติดตั้งเป็นแกนเดียวซึ่งเป็นแบบที่ง่ายที่สุด รูป 2.6 b) แสดงการติดตั้งเป็นแกนคู่หรือการติดตั้งแบบเอซี อีวัน (Az-EI) ซึ่งจะทำให้บีมคงที่ บีมสามารถมีทิศทางไปยังจุดใดๆ โดยใช้การรวมตัวอย่างเหมาะสมกับมุมสายและมุมเงย แต่ถ้าเป้าหมายอยู่สูงมาก การติดตั้งรูป 2.6 c) จะเหมาะสมกว่า ซึ่งเป็นการติดตั้งแบบ 2 แกนอีกแบบหนึ่ง ตั้งแต่รูปที่ 2.6 d) เป็นต้นไปนั้นจะเป็นวิธีการเฉพาะการสื่อสารแบบเรดาร์ รูปที่ 2.6 d) จะมีการติดตั้งแบบ 2 แกนซึ่งสามารถที่จะหมุนได้คล้ายกับรูปที่ 2.6 e) ที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ครึ่งวงกลมในการรับสัญญาณเรดาร์ ในรูปที่ 2.6 g) ถูกออกแบบในงานที่ไม่ต้องการการยกขึ้นสูงของงาน ส่วนรูปที่ 2.6 g) นั้นจะมีแกนหมุนเพิ่มมาจาก รูปที่ 2.6 g) เพื่อคอยติดตามเป้าหมายที่เคลื่อนที่ได้ เพื่อความสะดวกในการเร่งความเร็วในการติดตามของงาน รูปที่ 2.6 h) นั้นแกนรับของมุมสายจะมีเสถียรภาพในแนวตั้งและอาจรับคำสั่งให้เคลื่อนที่ในแกนอื่นๆ สัมพันธ์กันได้ด้วย ส่วนรูปที่ 2.6 i) ต้องการระบบเซอร์โว (Servo) 4 ระบบซึ่งทำให้มันมีน้ำหนักมากแต่การควบคุมตำแหน่งจะแม่นยำยิ่งขึ้น

การเลือกติดตั้งในแต่ละแบบจะเหมาะสมกับงานบางอย่างเท่านั้น สำหรับงานด้านการสื่อสาร
ธรรมดาแล้วอาจใช้ 3 แบบแรกก็เพียงพอ แต่งานด้านระบบเรดาร์ (Radar Systems) อาจต้องมีวิธีอื่นๆ ที่
กล่าวมาด้วยจึงจะเกิดประสิทธิภาพในการติดต่อหรือติดตามสูงสุด

2.6.4 อัตราขยายของสายอากาศ

อัตราขยายเป็นสิ่งสำคัญสำหรับสายอากาศ เพราะมันมีส่วนสำคัญต่อกำลังที่รับหรือส่ง อัตราขยาย
สามารถจะหาได้จาก

สำหรับสายอากาศที่มีหน้าคลื่นเป็นรูปร่างกลมมัน จะได้พื้นที่

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

ดังนั้น อัตราขยายจะเป็น

$$G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 = \eta \left(\frac{\pi f D}{C} \right)^2$$

โดยที่ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศ, A เป็นพื้นที่หน้าตัดของจานสายอากาศ, λ เป็น
ความยาวคลื่น, f เป็นความถี่, C เป็นความเร็วแสง, และ η เป็นประสิทธิภาพพื้นที่ของสายอากาศ

ค่าประสิทธิภาพ η แสดงถึงอัตราส่วนของพื้นที่ A ใช้ในการส่งหรือรับกับพื้นที่ทั้งหมดที่ใช้ ซึ่ง
จะเป็นผลคูณของประสิทธิภาพอื่น ๆ ที่ทำให้อัตราขยายของสายอากาศลดลง สำหรับสายอากาศแบบ
แฉกเกรนจะมีค่า η คือ

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \eta_6$$

โดยที่ η_1 เป็นค่าประสิทธิภาพการกระจายคลื่นของแผ่นสะท้อนหลัก, η_2 เป็นอัตราส่วนของ
พลังงานที่ตกกระทบแผ่นสะท้อนต่อพลังงานที่ออกจากฟีดเคอร์ (Spillover Efficiency), η_3 เป็นค่า
ประสิทธิภาพเชิงเฟส, η_4 เป็นค่าประสิทธิภาพแผ่นสะท้อนรองและอุปกรณ์สนับสนุน, η_5 เป็นค่า
ประสิทธิภาพอันเนื่องมาจากการสูญเสียของระบบป้อนสัญญาณ (Feed System Dissipation) และ η_6 เป็น
ค่าประสิทธิภาพของผิวสะท้อน (Surface Tolerance)

ค่าประสิทธิภาพการกระจายคลื่นของแผ่นสะท้อนหลักนั้น หาได้จากลักษณะสมบัติของการ
กระจายของสนามที่แผ่นสะท้อนหลัก ถ้ามันกระจายสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดก็จะได้ประสิทธิภาพการ
กระจายคลื่นของแผ่นสะท้อนหลักเท่ากับ 1 ส่วนค่าอัตราส่วนของพลังงานที่ตกกระทบแผ่นสะท้อนต่อ
พลังงานที่ออกจากฟีดเคอร์ ไม่เพียงแต่จะแสดงให้เห็นถึงพลังงานที่หลุดออกมาจากแผ่นสะท้อนหลักแล้ว
แต่ยังรวมถึงพลังงานที่หลุดออกมาจากแผ่นสะท้อนรองอีกด้วย เพื่อที่จะลดค่าสูญเสียของพลังงานที่หลุด
ออกมาจากขอบจานสะท้อน ดังนั้น เราจึงควรใช้ฟีดเคอร์ที่มีไซด์โลบ (Side lobe) น้อย โดยการใช้ใน
หลายๆ โหมดในการออกแบบส่วนของฟีดเคอร์ซึ่งเป็นแบบฮอร์น นอกจากนั้นแล้ว มุมป้อนของตัวป้อน
กับแผ่นสะท้อนรองก็ถูกเลือกเพื่อให้บีมหลักของแพทเทิร์นของการกระจายคลื่นตัดกับแผ่นสะท้อนรอง
ที่โหมดต่ำ ๆ เพื่อที่จะลดบีมหลักที่หลุดออกมาจากแผ่นสะท้อนรอง

อย่างไรก็ตาม ถ้าหากคลื่นกระทบที่แผ่นจานสะท้อนรองที่ขอบมีกำลังไม่แรงจะมีผลทำให้คลื่นที่
สะท้อนออกมาจากแผ่นจานสะท้อนหลักนั้น มีพื้นที่หน้าคลื่นน้อยลงเสมือนกับสายอากาศแบบ
พาราโบลอยด์ที่มีมุมกระจายคลื่นแคบ ทำให้ค่าประสิทธิภาพการกระจายคลื่นของแผ่นสะท้อนหลัก

น้อยลง แต่ผลอันนี้สามารถปรับปรุงได้ในสายอากาศแบบแคชกรีน โดยการออกแบบรูปร่างของแผ่นสะท้อนรองให้มีการกระจายคลื่นสม่ำเสมอตลอด เมื่อคลื่นสะท้อนออกมาจากแผ่นสะท้อนรองและมีขอบที่คม คือ กำลังคลื่นที่สะท้อนที่ขอบมีการเจือจางน้อยที่สุด ค่าการกระจายคลื่นของแผ่นสะท้อนหลักในทางปฏิบัติแล้ว จะมีค่าประมาณ 0.94 ถึง 0.96 เมื่อตัวแผ่นสะท้อนหลักมีค่าอัตราส่วนของพลังงานที่ตกกระทบแผ่นสะท้อนต่อพลังงานที่ออกจากฟีดเคอร์เท่ากับ 0.99 และถ้าออกแบบฟีดเคอร์ดีๆ แล้วจะทำให้ค่าอัตราส่วนของพลังงานที่ตกกระทบแผ่นสะท้อนต่อพลังงานที่ออกจากฟีดเคอร์ของแผ่นสะท้อนรองมีค่าเท่ากับ 0.98 จึงทำให้ค่าอัตราส่วนรวมของพลังงานที่ตกกระทบแผ่นสะท้อนต่อพลังงานที่ออกจากฟีดเคอร์ มีค่าเท่ากับ 0.97 ในระบบที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว

การที่รูปร่างของแผ่นสะท้อนรองเปลี่ยน ไปจากเดิมนั้น ทำให้เกิดความผิดพลาดของเฟสขึ้นในแผ่นสะท้อนหลัก ความผิดพลาดทางเฟสนี้ทำให้พลังงานถูกกระจายออกในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นอัตราขยายจึงลดลง และไซด์โลปมีระดับมากขึ้น ค่าประสิทธิภาพเชิงเฟส บอกลถึงการลดลงของอัตราขยายนี้ อย่างไรก็ตามค่าความสูญเสียอันนี้ โดยส่วนใหญ่แล้วเราสามารถจำกัดได้โดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแผ่นสะท้อนหลัก ในการออกแบบสายอากาศแบบแคชกรีนที่ดีนั้น ค่าประสิทธิภาพเชิงเฟสควรจะอยู่ระหว่าง 0.98 ถึง 0.99 ที่ความถี่ที่ต้องการและประสิทธิภาพเชิงเฟสจะมีค่าไม่เกิน 0.95 ตลอดช่วง 70% ของย่านความถี่ที่ใช้งาน 500 เมกะเฮิร์ตซ์ การใส่แผ่นสะท้อนรองและอุปกรณ์อื่นๆ นั้น ทำให้พื้นที่หน้าตัดของคลื่นที่ได้มีค่าลดลง อัตราขยายจึงมีค่าลดลง ค่าประสิทธิภาพแผ่นสะท้อนรองและอุปกรณ์สนับสนุนของแผ่นสะท้อนรองมีค่าประมาณ 0.97 และค่าประสิทธิภาพแผ่นสะท้อนรองและอุปกรณ์สนับสนุนอื่นจะมีค่าประมาณ 0.95 ในระบบที่ได้รับการออกแบบที่ดี ค่าประสิทธิภาพการกระจายคลื่นของฟีดเคอร์ ก็มีผลต่อการลดลงของอัตราขยายด้วย นอกจากนั้นการสูญเสียของระบบป้อนสัญญาณก็มีผลต่ออัตราขยายของสายอากาศ โดยค่าประสิทธิภาพอันเนื่องมาจากการสูญเสียของระบบป้อนสัญญาณอาจมีค่าสูงถึง 0.94 ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของระบบนั้นๆ

ค่าประสิทธิภาพต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิตของแผ่นสะท้อนทั้งสอง และขึ้นอยู่กับโครงสร้างของฟีดเคอร์ แต่ไม่ขึ้นกับค่าความถี่ที่ใช้ ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถทำแผ่นสะท้อนทั้งสองให้มีรูปร่างในอุดมคติได้โดยไม่มี ความผิดพลาดเชิงพื้นผิวของแผ่นสะท้อนนั้น ดังนั้น จึงทำให้เกิดการกระจายพลังงานในทิศทางที่ไม่ต้องการออกมาได้ ในทำนองเดียวกับการเกิดความผิดพลาดทางเฟส ความคลาดเคลื่อนทางพื้นผิวนี้อาจพิจารณาเสมือนการผิดพลาดของเฟสแบบหนึ่งก็ได้ ซึ่งจะเท่ากับค่าอัตราขยายสูงสุดที่ได้รับ (G_{max}) ในทำนองที่ว่า มีความคลาดเคลื่อนเฟส เมื่อกำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางให้ ถ้าเราเพิ่มความถี่จนถึงจุดหนึ่ง จะทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นจนถึงค่าอัตราขยายสูงสุดที่ได้รับ แต่ถ้าความถี่มากกว่านี้ก็จะทำให้อัตราขยายลดลง ค่าประสิทธิภาพเชิงพื้นผิวจะกำหนดจากความถี่ที่ใช้งานสูงสุด โดยที่ค่าประสิทธิภาพของผิวสะท้อนสามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} \eta_6 &= \exp\left[-(4\pi\varepsilon/\lambda)^2\right] \\ &= \exp\left[-(\varepsilon/D)^2(4\pi fD/c)^2\right] \end{aligned}$$

โดยที่ ε เป็นค่าความคลาดเคลื่อน rms ของพื้นผิวมีหน่วยเป็นเมตร และ ε/D เป็นค่าประสิทธิภาพของผิวสะท้อนของสายอากาศซึ่งมีค่าที่นิยมใช้กันคือ

$$10^{-3} < \epsilon/D < 10^{-4} \quad ; D < 1.2 \quad \text{เมตร}$$

$$2 \times 10^{-4} < \epsilon/D < 2 \times 10^{-5} \quad ; 2.5 < D < 6 \quad \text{เมตร}$$

$$10^{-4} < \epsilon/D < 2 \times 10^{-5} \quad ; 9 < D < 24 \quad \text{เมตร}$$

ตารางที่ 2.1 แสดงสมรรถนะของสายอากาศแบบแคชกรนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เมตร และทำงานในย่านความถี่เคยูแบนด์

Parameters	11.95 GHz	14.25 GHz
Illumination efficiency	0.96	0.94
Spillover efficiency		
Main reflector	0.99	0.99
Subreflector	0.96	0.98
Phase efficiency	0.98	0.98
Blocking efficiency		
Subreflector	0.97	0.97
Support structure	0.95	0.95
Feed system dissipative efficiency		
Basic feed	0.94	0.93
Diplexer	0.96	0.98
Beam waveguide	0.91	0.96
Surface tolerance efficiency		
Main reflector	0.87	0.83
Subreflector	0.97	0.97
Net antenna efficiency	0.57	0.54
Antenna gain (dB)	65.53	66.82

2.6.5 การสูญเสียเชิงทิศทางของสายอากาศ

อัตราขยายที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่แล้วนั้น เป็นอัตราขยายที่มากที่สุดเมื่อทิศทางของสายอากาศนั้นมุ่งตรงไปยังดาวเทียมอย่างไม่มีการคลาดเคลื่อน แต่ในความเป็นจริงแล้ว อัตราขยายนั้นจะลดลงเมื่อทิศทางของสายอากาศคลาดเคลื่อน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 การสูญเสียนี้เราสามารถหาได้จากแพทเทอร์นอัตราขยายของสายอากาศในฟังก์ชันของมุมที่กำกับแกนทิศทางสำหรับแผ่นสะท้อนพาราโบลอยด์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D เมื่อการกระจายของคลื่นตลอดพื้นที่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ จะได้อัตราขยายดังนี้

$$G_{n,u}(\theta) = 4 \left| \frac{J_1(u)}{u} \right|^2$$

โดยที่ $u = \pi D \sin \theta / \lambda$, θ เป็นมุมระหว่างทิศทางกับเส้นทางของดาวเทียม, และ $J_1(\)$ เป็นฟังก์ชันเบสเซลอันดับที่ 1

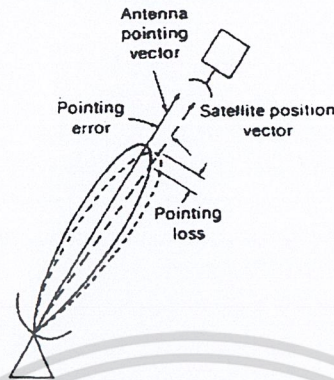
ถ้าการกระจายของคลื่นตลอดพื้นที่เป็นแบบพาราโบล่า (คือ มีการกระจายของสนามอยู่ในรูปของ $1 - (2r/D)^2$ เมื่อ r เป็นระยะทางแนวรัศมีจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัด) จะได้อัตราขยายดังนี้

$$G_{n,p}(\theta) = 64 \left| \frac{J_2(u)}{u^2} \right|^2$$

โดยที่ $J_2(\)$ เป็นฟังก์ชันเบสเซลอันดับที่ 2

ค่าฮาล์ฟพาวเวอร์บีมวิทค์ (Half-Power Beamwidth) สำหรับการกระจายแบบสม่ำเสมอจะมีค่าเป็นสองเท่าของมุม ซึ่งมีอัตราขยาย $G_{n,u}(\theta) = 1/2$ และมีค่า $1.2/\ D$ เรเดียนหรือ $58.5/D$ องศา สำหรับการกระจายแบบพาราโบล่าจะมีค่ามุม $1.27/D$ เรเดียนหรือ $72.7/D$ องศา ในทางปฏิบัติแล้ว ความเที่ยงตรงของทิศทางของสายอากาศจะอยู่ในช่วงหนึ่งในสามของค่าฮาล์ฟพาวเวอร์บีมวิทค์ของสายอากาศแบบแคชกรนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เมตร มีค่า 0.062 องศา ที่ 14.25 กิกะเฮิรตซ์ โดยมีการกระจายของหน้า

คลื่นสม่ำเสมอ ถ้าหากความคลาดเคลื่อนของทิศทางอยู่ภายในมุม 0.02 องศา จะได้ค่าของอัตราขยายที่ถูกนอร์มอลไลซ์ (Normalized) แล้วมากกว่าค่า $G_{norm}(0.02) = 0.757$ หรือค่าความสูญเสียน้อยกว่า $-10\log 0.757$ เท่ากับ -1.2 เดซิเบล



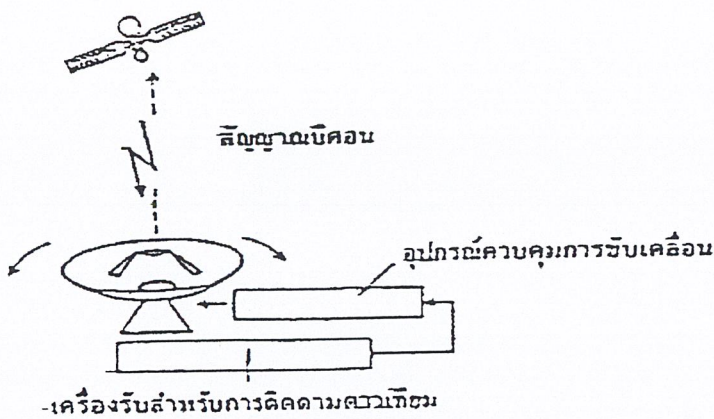
รูปที่ 2.7 แสดงความคลาดเคลื่อนของทิศทางของสายอากาศ

2.6.6 ระบบขับเคลื่อนงานสายอากาศเพื่อติดตามดาวเทียม

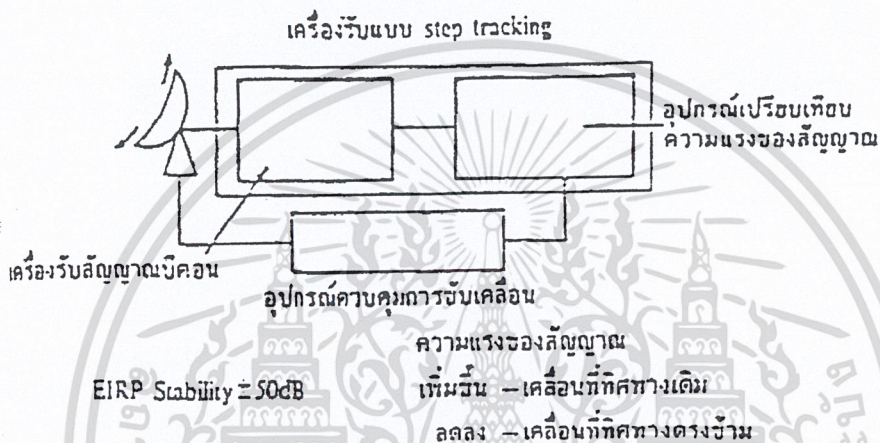
ระบบขับเคลื่อนงานสายอากาศนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แอนเทนนา แทร็กกิ้ง ซับซิสเต็ม (Antenna Tracking Subsystem) เนื่องจากดาวเทียมที่ถูกส่งขึ้นไปประจำเพื่อใช้งานในห้วงอวกาศนั้น อาจจะมีการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์ ดวงอาทิตย์และแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้การส่งสัญญาณมีความแรงผิดพลาดไป ดังนั้นสถานีภาคพื้นดินจึงต้องมีระบบขับเคลื่อนของงานสายอากาศเพื่อติดตามดาวเทียม

การที่จะทำให้งานสายอากาศชี้ตำแหน่งไปยังดาวเทียมตลอดเวลา นั้น จำเป็นต้องใช้ระบบขับเคลื่อนหมุนงานสายอากาศ เพื่อที่จะติดตามดาวเทียมได้ตลอดเวลาในขณะที่ดาวเทียมเปลี่ยนตำแหน่งไป การให้งานสายอากาศชี้ตำแหน่งติดตามดาวเทียมนี้ มีทั้งระบบอัตโนมัติและระบบปรับด้วยมือ งานสายอากาศจะต้องถูกขับเคลื่อนให้หมุนไปตามการเปลี่ยนตำแหน่งของดาวเทียม

ระบบขับเคลื่อนงานสายอากาศเพื่อติดตามดาวเทียมแบบอัตโนมัติ นั้น กระทำได้โดยการรับสัญญาณที่เป็นลักษณะเฉพาะเพื่อบอกตำแหน่งของดาวเทียม (Beacon) ซึ่งถูกส่งมาจากดาวเทียม ดังแสดงในรูปที่ 2.8 a) งานสายอากาศที่สถานีภาคพื้นดินจะถูกควบคุมโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ทิศทางของสัญญาณ Beacon ที่ส่งมาทับกันหรืออยู่ในทิศทางแกนบอริไซท์ (Boresight Axis) ของสายอากาศ สถานีภาคพื้นดินที่มีงานสายอากาศแบบมาตรฐาน A (สำหรับระบบขององค์การโทรคมนาคมทางดาวเทียมระหว่างประเทศ, INTELSAT) ส่วนใหญ่จะใช้ระบบติดตามอัตโนมัติแบบโมโนพัลส์ (Monopulse) โดยการให้โหมดสูงๆ (Higher-Order Mode) เช่น TM_{01} หรือ TE_{21} Mode เป็นต้น ในการตรวจหามุมของงานสายอากาศที่ผิดพลาดไป



รูปที่ 2.8 a) การติดตามดาวเทียมโดยอัตโนมัติของระบบงานสายอากาศ



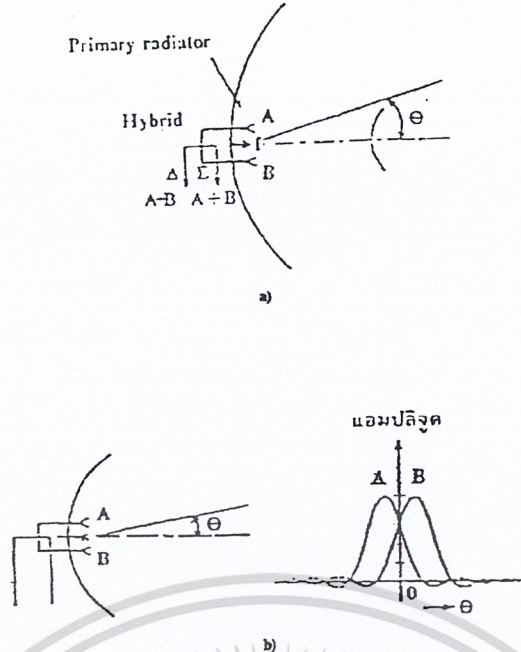
รูปที่ 2.8 b) การติดตามดาวเทียมแบบสเตป แทร็กกิ้ง (Step Tracking หรือ Hill-Climb Method)

สำหรับสถานีภาคพื้นดินที่มีงานสายอากาศขนาดเล็ก จะใช้ระบบติดตามตำแหน่งดาวเทียมแบบสเตป แทร็กกิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 b) วิธีการนี้งานสายอากาศจะถูกขับเคลื่อนอย่างช้าๆ ทีละสเตป ขั้นตอนอย่างนี้จะถูกดำเนินไปซ้ำๆ กัน เพื่อให้ทิศทางของงานสายอากาศที่ถูกควบคุมได้รับระดับสัญญาณสูงสุด

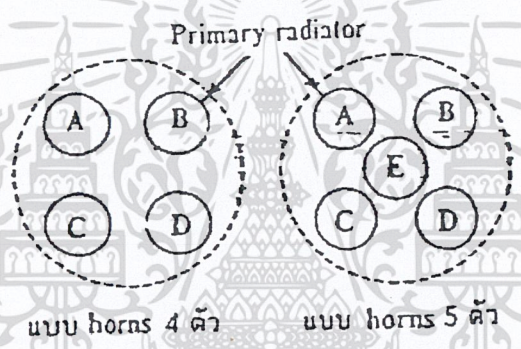
เรามาศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับระบบขับเคลื่อนงานสายอากาศ เพื่อติดตามดาวเทียมของงานสายอากาศแบบโมโนพัลซ์ การติดตามดาวเทียมแบบโมโนพัลซ์แยกได้เป็นวิธีแบบมัลติฮอรั่น (Multi Horn) และวิธีการแบบไฮโหมด ดีเทคชัน (High-Mode Detection)

2.6.6.1 วิธีการติดตามดาวเทียมแบบใช้มัลติฮอรั่น

ระบบขับเคลื่อนงานสายอากาศแบบมัลติฮอรั่น จะใช้สายอากาศไมโครเวฟแบบฮอรั่น (Horn) เล็กๆ จำนวน 4 หรือ 5 ตัวเป็นปฐมภูมิ (Primary) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 สัญญาณขาออกของสายอากาศเล็ก ๆ จะถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้แรงดันที่ผิดพลาดไปในการทำมุมกับดาวเทียมสายอากาศฮอรั่น (Horn Antenna) เล็กๆ เหล่านี้ ถูกวางให้ห่างจากแกนกลางของสายอากาศเล็กน้อย แต่จะสมมาตรซึ่งกันและกัน เมื่อเทียบกับแกนของงานสายอากาศ มุมของงานสายอากาศที่ผิดพลาดไปสามารถรู้ได้โดยการเปรียบเทียบเฟสหรือขนาดของสัญญาณที่รับได้ของแต่ละสายอากาศฮอรั่น



รูปที่ 2.9 แสดงวิธีการติดตามดาวเทียมแบบใช้มีลดิฮอร์น

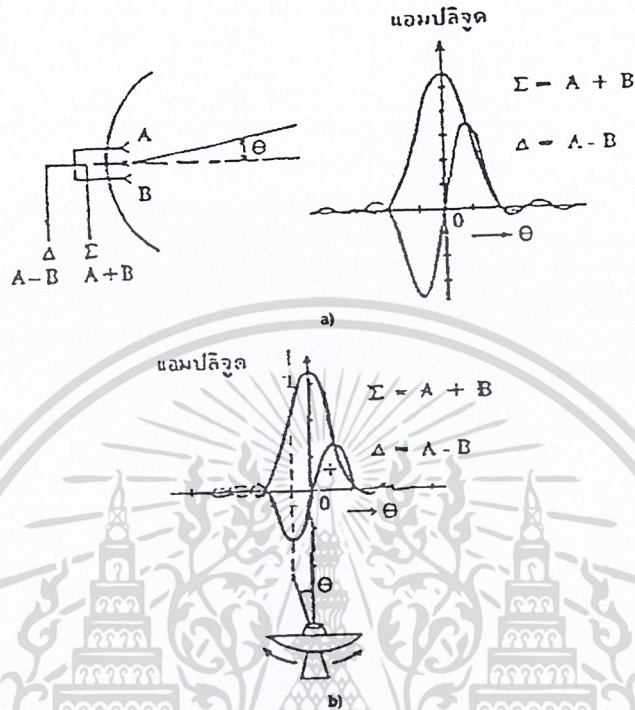


รูปที่ 2.10 แสดงการจัดวางเรดิเอเตอร์ (Radiators) แบบสองตัว และแบบรูป (Pattern)

เพื่อให้เข้าใจง่าย ลองพิจารณาเฉพาะสายอากาศแบบที่ใช้ฮอร์น อันเป็นตัวเรดิเอเตอร์สายอากาศ A และ B ถูกจัดวางอย่างสมมาตรกันบนสองข้างของไฟกัส F ของจานสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 a) ถ้าเอาสัญญาณขาออกของ A และ B มาผสมกัน จะได้สัญญาณรวม $A + B$ (หรือ Σ Signals) และสัญญาณผลต่าง $A - B$ (หรือ Δ Signals) รูปที่ 2.11 b) แสดงรูปแบบเรดิเอชัน (Radiation Pattern) เมื่อ ไพมารี เรดิเอเตอร์ (Primary Radiators) 2 ตัววางอยู่ที่สองข้างของแกนบอร์ไซท์ของจานสายอากาศ เส้น A แสดงรูปแบบของบีมที่ถูกสร้างขึ้นโดยไพมารี เรดิเอเตอร์ A และเส้น B ที่ถูกสร้างโดยไพมารี เรดิเอเตอร์ B เมื่อ ไพมารี เรดิเอเตอร์ถูกแยกห่างเล็กน้อยจากจุดไฟกัส ลำคลื่นของสายอากาศจะเกิดการเบี่ยงเบนไปจากทิศทางของแกนจานสายอากาศ ด้านขวามือของรูปที่ 2.11 a) เป็นแพทเทิร์นที่ได้จากการรวมลำคลื่น A และ B จะเห็นได้ว่า สัญญาณผลบวก (Σ Signals) ได้จากการบวกแรงดัน A และ B ส่วนสัญญาณผลต่าง ได้จากผลต่างระหว่างแรงดัน A และ B

เมื่อสัญญาณผลต่างเป็นศูนย์ สัญญาณผลบวกซึ่งรวมความถึงสัญญาณที่ใช้เพื่อการติดต่อสื่อสาร จะมีค่าสูงสุด เมื่อทิศทางของดาวเทียม นั่นคือ มุม θ อยู่ทางด้านซ้ายมือของศูนย์กลาง สัญญาณผลต่างจะมี

ค่าเป็นลบ แต่เมื่อมุม θ อยู่ทางด้านขวามือ สัญญาณผลต่างจะมีค่าเป็นบวก โดยที่สัญญาณผลบวกมีขนาดลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อมุม θ อยู่ใกล้ทิศทางของดาวเทียม ดังนั้น ดาวเทียมจึงสามารถถูกติดตามได้โดยการขับเคลื่อนงานสายอากาศในทิศทางที่สัญญาณผลต่างมีค่าเป็นศูนย์เสมอ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.11 b)



รูปที่ 2.11 a) สัญญาณและสัญญาณผลต่าง

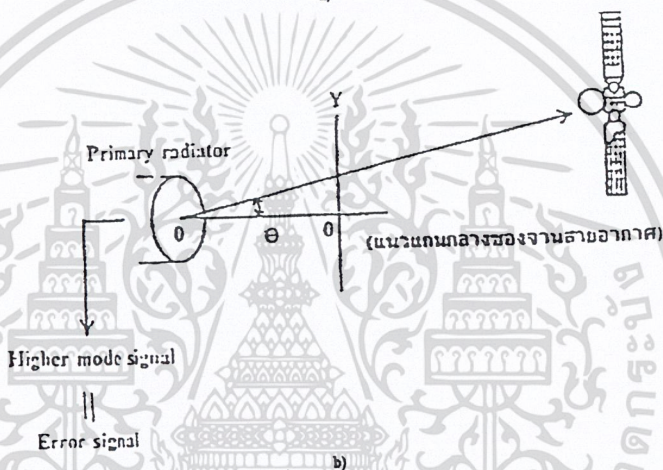
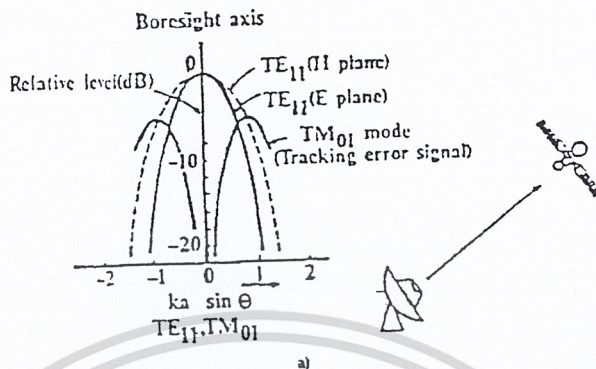
b) การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณผลบวกและสัญญาณผลต่างเมื่อมุมมอง θ เปลี่ยนไป

2.6.6.2 วิธีการติดตามดาวเทียมแบบไฮโหมด คีเทคชั่น (High-Mode Detection)

ไฮโหมด คีเทคชั่นของคลื่นที่ใช้สำหรับให้ทิศทางงานสายอากาศที่ติดตามดาวเทียมนั้น ได้แก่ TM_{01} , TE_{01} และ TE_{21} สำหรับท่อนำคลื่นแบบวงกลม (Circular Waveguide) ใดๆก็ตาม เมื่อเซอร์กิต้าโพลาไรเซชัน (Circular Polarization) ถูกใช้สำหรับการสื่อสารกรณีนี้ TM_{01} หรือ TE_{01} จะถูกใช้สำหรับการติดตามดาวเทียม

ในกรณีการรวมระหว่างการเดินทางวงกลมและเป็นเชิงเส้น จะใช้การรวมของ TM_{01} และ TE_{01} โหมด หรือใช้การรวมของสอง TE_{21} โหมด (คือ TE_{21} และ TE_{21}) ซึ่งเป็นออร์ทอกอนัล โหมด (Orthogonal Modes) ทางไฟฟ้าซึ่งกันและกัน เป็นโหมดสำหรับการติดตามดาวเทียมของงานสายอากาศ รูปที่ 2.12 a) แสดงเรดิเอชันแพทเทิร์นใน TE_{11} โหมด ซึ่งเป็นโดมิแนนท์ โหมด (Dominant Mode) และแพทเทิร์นใน TM_{01} โหมด ซึ่งเป็นโหมดสูงอันดับหนึ่งที่แกนกลาง = 0 องศา ในทิศทางนี้ TM_{01} โหมด ความผิดพลาดของสัญญาณแทร็กกิ้ง (Tracking Error Signal) จะมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่โดมิแนนท์ โหมดคือ TE_{11} โหมด มีค่าสูงสุด เราสามารถเข้าใจได้โดยง่ายว่า เมื่องานสายอากาศชี้ในทิศทางของแกนบอร์โซท์ จะไม่มี TM_{01} โหมดในระบบการรับของงานสายอากาศ

เมื่องานสายอากาศชี้ทิศทางเบี่ยงเบนไปจากแกนบอร์ไซท์แล้ว TM_{01} โหมด จะถูกปรับได้ ขณะที่ระดับของ TE_{11} ลดลงเล็กน้อย ดังนั้น ถ้าจะให้ โดมิแนนท์โหมด มีค่าสูงสุดต่อเนื่องทุกๆ เวลา จะต้องปรับทิศทางของงานสายอากาศให้โหมดสูงๆ ของค่าความผิดพลาดของสัญญาณแทร็กกิ้งนั้นมีค่าเป็นศูนย์เสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 b)



รูปที่ 2.12 a) รูปแบบ โดมิแนนท์ โหมด และรูปแบบ โหมดสูงๆ
b) ความผิดพลาดของสัญญาณแทร็กกิ้ง

ในแนวระยะต่ำสุดจากพื้นโลก (Perigee) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของการหมุนของวัตถุใน 3 มิติ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนวง โคจรเป็น i เคลื่อนที่ออกไปทางขวาและมุมของระยะต่ำสุดเป็น w คือ

$$P_x = \cos w \cos \Omega - \sin w \sin \Omega \cos i$$

$$P_y = \cos w \sin \Omega + \sin w \cos \Omega \cos i$$

$$P_z = \sin w \sin i$$

และในระนาบเดียวกันจะได้พารามิเตอร์ของเวกเตอร์หนึ่งหน่วย Q ที่เป็นมุมกับระยะต่ำสุดและแนวโคจร เป็น

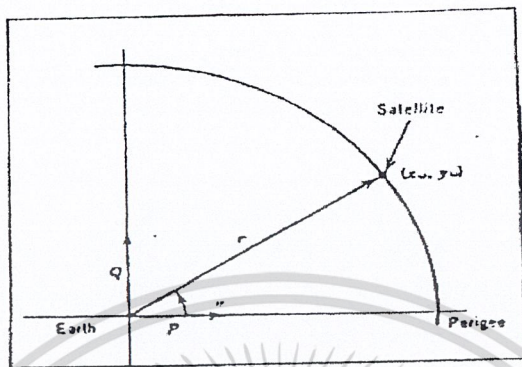
$$Q_x = -\sin w \cos \Omega - \cos w \sin \Omega \cos i$$

$$Q_y = -\sin w \sin \Omega + \cos w \cos \Omega \cos i$$

$$Q_z = \cos w \sin i$$

2.7 การคำนวณตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียม

การคำนวณหาค่าตำแหน่งของดาวเทียมจากวัตถุที่โคจรอยู่ ทำได้โดยวิธีการที่มี 2 ส่วนดังนี้ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit Vector) P และ Q แสดงอยู่ในรูปของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ ซึ่งหมายถึง ระบบโคออร์ดิเนต xyz อย่างง่าย และตำแหน่งของดาวเทียมในรูปของเวกเตอร์หนึ่งหน่วยและ โคออร์ดิเนตของระนาบวงโคจร X_w, Y_w ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 2.13 โดยองค์ประกอบของเวกเตอร์ P



รูปที่ 2.13 แสดงตำแหน่งของดาวเทียม ในระบบพิกัดฉาก (Rectangular) และ โปลา (Polar Coordinate)

องค์ประกอบของเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแนวโคจร W ซึ่งตั้งฉากกับระนาบของวงโคจรจะได้ เป็น

$$W_x = \sin \Omega \sin i$$

$$W_y = -\cos \Omega \sin i$$

$$W_z = \cos i$$

โดยเวกเตอร์ P, Q และ W อยู่ในระบบพิกัดฉาก ดังนั้นจะได้ค่าความเร็วและตำแหน่งของดาวเทียมในรูปของระบบจีโอเซนทริก อีควอโทเรียล (Geocentric Equatorial: xyz) ดังนี้

$$r = x_w P + y_w Q$$

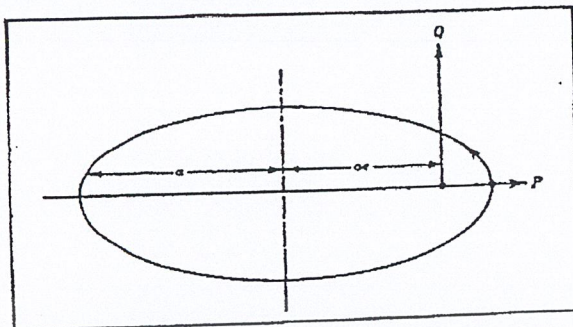
สมการทั้งหมดจะใช้ในการหาค่าความเร็ว จะได้ว่า $\sin (v - \pi/2) = ae/a = e$ โดยที่ $v \cong \pi/2 + e$ เมื่อ v เข้าใกล้ $\pi/2$ จะได้ว่ามุม $v - \pi/2$ มีค่าน้อยมาก ถ้าค่า M เป็นค่ามุมวิฤตที่หมุนด้วยอัตราคงที่เท่ากับ อัตราการหมุนของโลกแล้วบอกตำแหน่ง ก็เหมือนกับการบอกค่าเส้นแวง (Longitude) เป็นค่าคงที่ ค่ามุมวิฤตที่แท้จริง คือ มุมของดาวเทียมนั่นเอง ดังนั้น $v - M$ คือค่าความแตกต่างของเส้นแวงดังนี้

$$\Delta \lambda = v - M = 2e$$

ในการคำนวณแบบเดียวกันนี้ สำหรับค่า $E = 270$ องศา จะแสดงค่าการหมุนกลับทิศทางทิศตะวันตกของ $2e$ ผลจากการโคจรที่ไม่เป็นวงกลมนี้ ทำให้เกิดการสั่นในแนวทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ด้วยค่าแอมพลิจูดเป็น $2e$ และเมื่อการโคจรแบบไม่เป็นวงกลมนี้เป็นค่า 0.01 แล้ว จะทำให้เกิดค่าแอมพลิจูดเป็น 0.02 เรเดียนหรือ 1 องศา

องค์ประกอบ 6 อย่างที่จำเป็นในการนิยามวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียม คือ องค์ประกอบของตำแหน่ง 3 อย่าง คือ ความยาวครึ่งแกนหลักของวงรี a , ค่าความบิดเบี้ยวของวงกลม e และค่ามุมวิฤตที่ $t_0 (M_0)$ รูปที่ 2.14 แสดงองค์ประกอบ 2 อันแรกของตำแหน่ง องค์ประกอบการหมุนอีก 3 องค์ประกอบ

คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของวงโคจร I, ค่าความชันระหว่างวงโคจรกับเส้นศูนย์สูตรที่จุดตัด (Ω) และมุมของจุดต่ำสุดกับจุดตัดนั้น w ค่าพารามิเตอร์ 4 ตัวของทั้งหมดนี้ก็ใช้ในการคำนวณการโคจรแบบวงกลมด้วย องค์ประกอบของตำแหน่งได้กล่าวไปแล้วข้างต้น



รูปที่ 2.14 แสดงองค์ประกอบของการโคจรแบบวงรี

องค์ประกอบของการหมุนที่เป็นระนาบวงโคจรในระบบพิกัดฉาก (P, Q, W) สัมพันธ์กับระบบจีโอเซนทริก อีควอโทเรียล ทิศทางที่เอียงขึ้นไปของจุดตัด (ascending node, Ω) เป็นมุมที่วัดในระนาบเส้นศูนย์สูตรจากเวอร์นอลอีควินอกซ์ (vernal equinox) ไปยังจุดตัดดังกล่าว ค่าการเอียงไปของวงโคจร (inclination, i) เป็นมุมระหว่างวงโคจรปกติกับขั้วโลกเหนือ มุมของจุดต่ำสุดจากพื้นดิน (perigee, w) เป็นค่ามุมระหว่างการโคจรของดาวเทียม (เพราะระยะห่างจากพื้นโลกของดาวเทียมแต่ละดวงไม่เท่ากัน) ในระนาบวงโคจรระบบโคออร์ดิเนตเหล่านี้ กำหนดให้จุดศูนย์กลางโลกเป็นจุดเริ่มต้น (Origin) แกน P ทางด้านบวกเป็นทิศทวนเข็มนาฬิกาของจุดต่ำสุดจากพื้นโลก ส่วนแกนบวก Q อยู่ระนาบวงโคจรและตั้งฉากกับแกน P ไปทางทิศตะวันออกหรือทวนเข็มนาฬิกา และ W เป็นวงโคจรปกติ การคำนวณโดยใช้สมการของเคปเลอร์ (Kepler's Equation) เป็นวิธีการที่ทำได้ยาก เพราะต้องทำการกระจายอนุกรมหรือทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ดังนั้นจึงใช้การประมาณค่าของนิวตัน ซึ่งสามารถครอบคลุมได้ทั้งหมด แม้แต่วงรีที่มีค่าความรีเพียงเล็กน้อย

2.8 การคำนวณมุมเยยและมุมอาชีพของงานรับสัญญาณดาวเทียม

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ 2 ค่านี้ มีความสำคัญมากในการติดตั้งงานรับสัญญาณดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจร สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการเช่นเดียวกับวงโคจรของดาวเคราะห์ โดยอาศัยกฎของแรงและพลังงานของเคปเลอร์ได้ดังนี้

$$F = GM_E m / r^2 \tag{1}$$

โดยที่ F คือ แรงกระทำต่อวัตถุในบรรยากาศ

G คือ ค่าแรงโน้มถ่วงสากล ($6.672 \times 10^{-11} \text{ Nm/kg}^2$)

M_E คือ มวลของโลก

m คือ มวลของดาวเทียม

สาเหตุที่ดาวเทียมยังสามารถลอยอยู่เหนือพื้นผิวโลกได้โดยไม่ถูกแรงโน้มถ่วงของโลกดึงกลับสู่พื้นโลกนั้น ก็เพราะว่ามีแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากดาวเทียมดังนี้

$$F_e = mv^2 / r = ma \tag{2}$$

โดยที่ F_c คือ แรงหนีศูนย์กลาง

v คือ ความเร็วในการ โคจรของดาวเทียมที่โคจรรอบโลก

r คือ ความเร่งของดาวเทียมที่โคจรรอบโลก

จากสมการที่ 1 และ 2 จะสามารถหาความเร็วของดาวเทียมได้จาก

$$v = \sqrt{GM_E / r} \quad \text{-----}(3)$$

จากสมการที่ 3 จะได้ว่าแรงทั้งสองมีค่าเท่ากันและจะให้ความเร็วของดาวเทียมที่วงโคจรรอบโลกได้ จากการคำนวณเป็น 3,075 เมตรต่อวินาที สำหรับวงโคจรแบบจีโอสแตชันนารี (Geostationary) โดยดาวเทียมที่มีความสูงจากผิวโลกมาก ดังนั้นดาวเทียมที่มีวงโคจรต่ำ ๆ (Low Earth Orbit) จะใช้เวลาโคจรรอบโลกต่ำกว่าดาวเทียมที่มีวงโคจรสูงๆ และจากสมการจะให้ความเร็วของดาวเทียมที่มีวงโคจรต่ำๆ เป็น 23,863 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะใช้งานในโครงการไอริเดียม (Iridium) ที่จะใช้ในการสื่อสารโทรศัพท์ในระบบเซลลูลาร์ (Cellular) โดยใช้งานดาวเทียมที่มีน้ำหนักเบาที่วงโคจรต่ำประมาณ 700 กิโลเมตรเหนือพื้นโลกจำนวน 66 ดวง โคจรผ่านขั้วโลก

เมื่อดาวเทียมเคลื่อนที่ในช่วงเวลา dt จะ ได้พื้นที่ที่กวาดไปได้เป็นดังสมการที่ 4 ดังนี้

$$dA = \frac{1}{2} r_0^2 \left(\frac{d\phi_0}{dt} \right) dt \quad \text{-----}(4)$$

ผลสุดท้ายจากการคำนวณจะได้ว่า ค่าความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ของเคปเลอร์ดังนี้ “คาบเวลาของการเคลื่อนที่ยกกำลังสองแปรผันโดยตรงกับกำลังสามของความยาวครึ่งแกนหลัก a (Major Axis)” ดังสมการที่ 5

$$\omega = \frac{2}{T} = \frac{1}{a} \sqrt{\frac{GM_E}{a}} \quad \text{-----}(5)$$

วงโคจรที่ไม่เป็นวงกลม จะโคจรผ่านด้วยความเร็วและความเร่งที่เปลี่ยนไปเสมอ เนื่องจากระยะห่างระหว่างโลกกับดาวเทียม จะทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นการโคจรแบบวงรีที่เรียกกันว่า เป็นวงโคจรแบบนอนซิงโครนัส (Non-Synchronous Orbit หรือ Non-Geostationary Orbit (NEO) ดังตัวอย่างเช่น

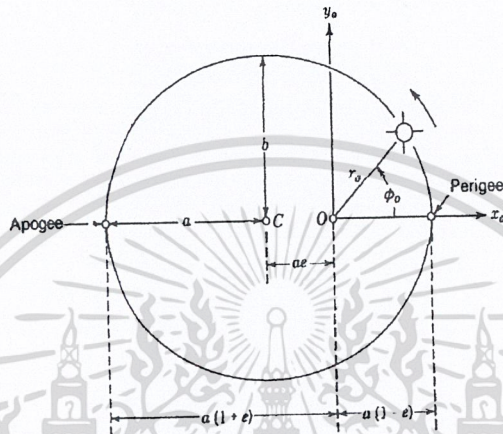
TELSTAR I	มีระยะจากพื้นโลกต่ำสุด (Perigee) ประมาณ 966 กิโลเมตร
	มีระยะจากพื้นโลกสูงสุด (Apogee) ประมาณ 6,116 กิโลเมตร
TELSTAR II	มีระยะจากพื้นโลกต่ำสุด (Perigee) ประมาณ 966 กิโลเมตร
	มีระยะจากพื้นโลกสูงสุด (Apogee) ประมาณ 9,978 กิโลเมตร

สมการที่ 1, 2 และ 3 จะคิดคำนวณเพียงแค่ผลจากแรงโน้มถ่วงของโลกเท่านั้น ในความเป็นจริงแล้วยังมีผลเนื่องจากแรงดึงดูดจากดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ รวมทั้งดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้กับโลก (ดาวศุกร์และดาวอังคาร) แต่ผลจากดาวเคราะห์จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับดวงอาทิตย์ เนื่องจากมวลของดาวเคราะห์น้อยกว่าดวงอาทิตย์ ทั้งๆ ที่อยู่ใกล้กับตัวดาวเทียมมากกว่า และผลของดวงอาทิตย์ก็น้อยกว่าดวงจันทร์ เนื่องจากดวงจันทร์อยู่ใกล้ดาวเทียมมากกว่าดวงอาทิตย์ถึง 300 เท่า และผลกระทบจากรูปทรงพื้นฐานของโลก เนื่องจากโลกของเราไม่ได้เป็นทรงกลมอย่างสมบูรณ์ จึงทำให้ค่าแรงดึงดูดตามที่คำนวณได้จากสมการมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ทำให้ตำแหน่งที่แท้จริงของดาวเทียมเลื่อนไป และการ

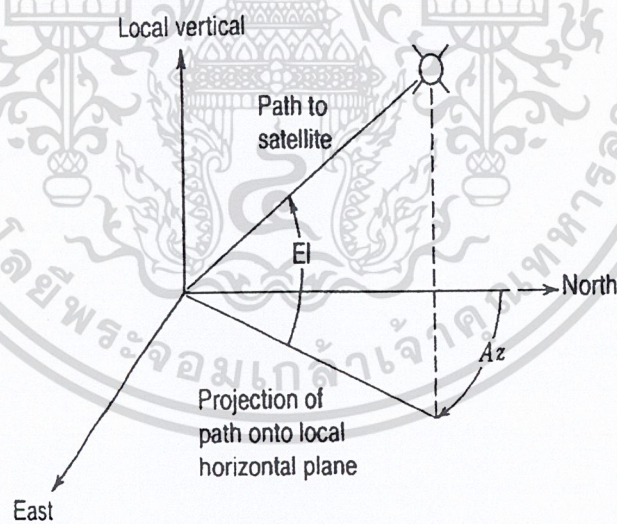
คำนวณจากสมการเคปเลอร์ดังกล่าว จะได้ค่าที่ไม่ละเอียดเหมือนกับการคำนวณโดยใช้ระบบโคออร์ดิเนต แล้วประมาณค่าด้วยวิธีการของนิวตัน ที่มีความละเอียดมากกว่า

2.8.1 มุมมองจากสถานีภาคพื้นดิน

ระบบมุมมองที่มองจากสถานีภาคพื้นดินไปยังดาวเทียม (Look Angle) ซึ่งกำหนดได้ โดยค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ มุมสาย (Az) และมุมเงย (EI) ดังแสดงในรูปที่ 2.16 โดยมุมเงย คือ มุมที่วัดจากแนวระดับไปยังแนวเส้นตรงที่พุ่งไปยังดาวเทียม ส่วนมุมสายจะวัดจากเส้นตรงในแนวระดับไปยังทิศเหนือเทียบกับเส้นในแนวระดับที่ฉายลงมาจากเส้นตรงที่พุ่งไปยังดาวเทียม



รูปที่ 2.15 แสดงรายละเอียดของระนาบวงโคจร เมื่อตำแหน่ง O เป็นจุดศูนย์กลางของโลก และตำแหน่ง C เป็นจุดศูนย์กลางของวงโคจรซึ่งเป็นวงรี



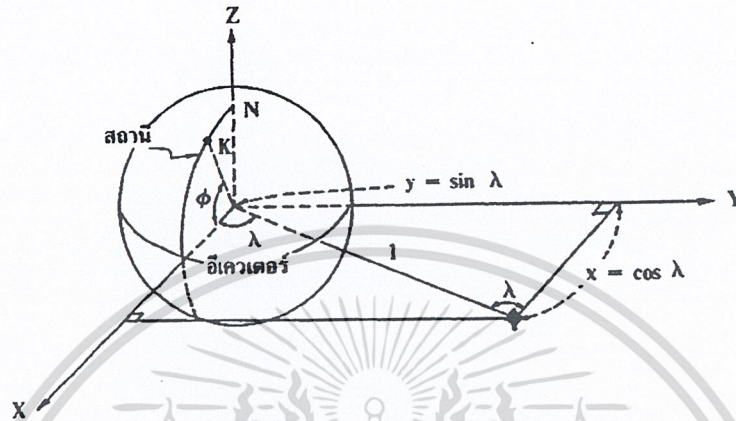
รูปที่ 2.16 แสดงมุมสาย (Azimuth: Az) และ มุมเงย (Elevation: EI)

2.8.2 การคำนวณค่ามุมเงยและอาซิมุท

จากรูปที่ 2.17 เส้นอีควีเตอร์ และดาวเทียมอยู่บนแนวระนาบ x-y งานสายอากาศรับสัญญาณจากดาวเทียมอยู่บนแนวระนาบ x-z ค่า ϕ เป็นค่าเส้นรุ้งของตำแหน่งที่ตั้งงานสายอากาศ โดยให้ K เป็นอัตราส่วนระหว่างรัศมีของโลกกับรัศมีวงโคจรของดาวเทียม ซึ่งจะได้ค่า

$$K = \frac{6370 \times 10^3}{(6370 + 35860) \times 10^3} = 0.15084$$

สมมติให้ระยะทางจากใจกลางของโลกไปยังดาวเทียมมีค่าเท่ากับ 1 รัศมีของโลกจะสามารถเขียนได้ในรูปเท่ากับ K และให้ λ เป็นความแตกต่างของเส้นแวงระหว่างจุดที่ตั้งงานสายอากาศและดาวเทียม



รูปที่ 2.17 โคออร์ดิเนตของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม

เราสามารถแสดง โคออร์ดิเนตของจุดที่ตั้งงานสายอากาศและดาวเทียม ได้ดังนี้

โคออร์ดิเนตของจุดที่ตั้งงานสายอากาศ : $(K \cos \phi, 0, K \sin \phi)$

โคออร์ดิเนตของดาวเทียม : $(\cos \lambda, \sin \lambda, 0)$

ต่อไปถ้าเราหมุนโลกไปเป็นมุม ϕ ทางระนาบ $x-z$ ดังนั้นจากรูปที่ 2.17 เขียนได้เป็นรูปที่ 2.18 ซึ่งตำแหน่งที่ตั้งของงานสายอากาศจะมีโคออร์ดิเนตบนแกน x ทางเดียว

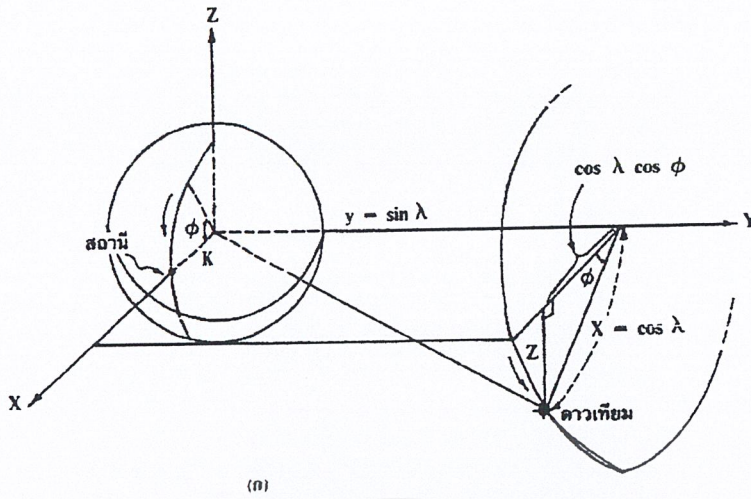
โคออร์ดิเนตใหม่ของจุดที่ตั้งงานสายอากาศ : $(k, 0, 0)$

โคออร์ดิเนตใหม่ของดาวเทียม : $(\cos \lambda \cos \phi, \sin \lambda, -\cos \lambda \sin \phi)$

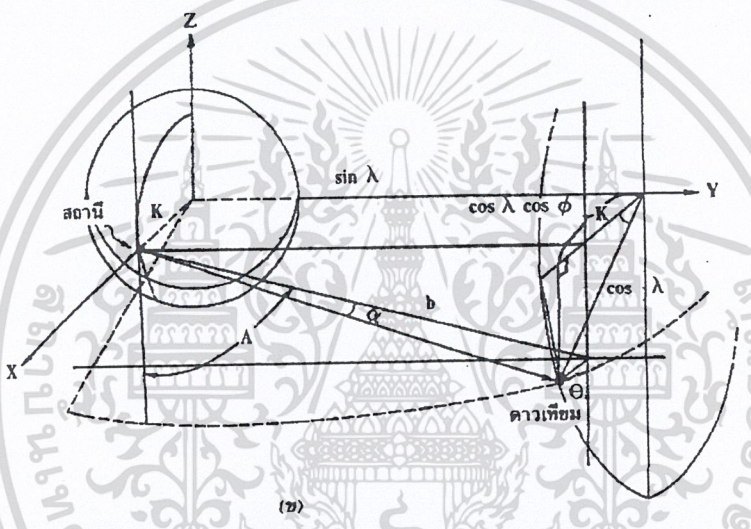
ในรูปที่ 2.18 ระนาบที่สัมผัสโลกตรงจุดที่ตั้งงานสายอากาศจะขนานกับระนาบ $x-y$ ดังนั้นมุมเงยและมุมอาซิมุทจากงานสายอากาศหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{มุมเงย :} \quad \tan \alpha &= \frac{a}{b} = \frac{\cos \lambda \cos \phi - 0.1508}{\sqrt{\sin^2 \lambda + \cos^2 \lambda \sin^2 \phi}} \\ &= \frac{\cos \lambda \cos \phi - 0.1508}{\sqrt{1 - \cos^2 \lambda \cos^2 \phi}} \end{aligned}$$

$$\text{มุมสาย :} \quad \tan A = \frac{\sin \lambda}{\cos \lambda \sin \phi} = \frac{\tan \lambda}{\sin \phi}$$



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.18 โคออร์ดิเนตใหม่ของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม

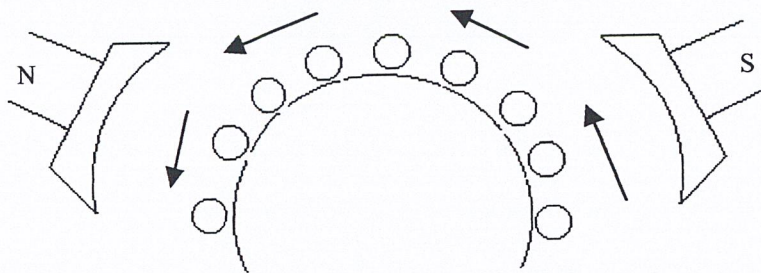
2.9 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

หลักการของมอเตอร์ก็คือ การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เพื่อนำพลังงานกลที่ได้ไปขับเคลื่อนสิ่งต่าง ๆ ตามที่ต้องการ อาการทางกลที่เกิดขึ้นนี้จะอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าไปในตัวนำ ซึ่งขณะนั้นอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะทำให้เกิดแรงขึ้นในทิศทางที่สามารถหาได้จาก กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ขนาดของแรงที่เกิดขึ้นนี้ คำนวณได้จากสูตร

$$F = Bil \quad \text{newton.}$$

- เมื่อ $F =$ แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำตัวหนึ่ง (นิวตัน)
- $B =$ ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก (เวเบอร์/เมตร²)
- $i =$ กระแสที่ไหลในตัวนำ (แอมป์)
- $l =$ ความยาวของตัวนำ (เมตร)

แรง F ที่เกิดขึ้นบนตัวนำ จะเกิดในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในตัวนำนั้น ๆ



รูปที่ 2.19 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 2.19 แสดงส่วนหนึ่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีหลายขั้วแม่เหล็ก เมื่อป้อนไฟเข้าไปที่สนามกระตุ้น จะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ขั้วแม่เหล็ก เมื่อทำการป้อนกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านในตัวนำที่อาร์เมเจอร์ (Armature) ก็จะทำให้เกิดแรงขึ้นในตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็กนั่นคือ ทำให้อาร์เมเจอร์หมุน ในที่นี้ได้กำหนดให้กระแสที่ไหลในตัวนำของอาร์เมเจอร์ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ มีทิศของกระแสพุ่งออกมาข้างนอกดังหัวลูกศรที่เป็นจุด เมื่อเป็นเช่นนี้จึงหาทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำทุก ๆ ตัวที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กทั้ง N และ S โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง วิธีหาก็คือ กางมือซ้ายออก โดยให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้และนิ้วกลางตั้งฉากซึ่งกันและกัน (ทำแบบเดียวกับกฎมือขวา ซึ่งใช้หาทิศแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น) จากนั้นให้นิ้วชี้ชี้ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก คือ ชี้จากขั้ว N ไป S ให้นิ้วกลางชี้ไปตามทิศทางการไหลของกระแส ณ ที่ตัวนำที่ต้องการหาทิศทางการเคลื่อนที่นั้น ๆ นั่นคือ นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำนั้น ๆ พบว่าแรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำทุก ๆ ตัว ภายใต้ขั้วแม่เหล็กเดียวกัน จะมีทิศทางไปในทางเดียวกัน และจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์เมเจอร์นั้น ๆ อีกทั้งยังพบว่าแรงที่เกิดขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กทุกขั้วที่สลับกัน ไปนั้นจะมีทิศทางไปในทางเดียวกันทั้งสิ้น โดยแต่ละแรงจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์เมเจอร์นั่นคือ ภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วก็เกิดแรงลัพธ์ขึ้นแรงหนึ่ง ฉะนั้นเมื่อมีหลายขั้วก็จะเกิดแรงขึ้นหลายแรง และทุก ๆ แรงต่างก็รวมกันเป็นแรงบิดขึ้นมาแรงหนึ่ง ฉะนั้นจึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้จากแรงที่เกิดขึ้น

ความสำคัญของแรงเคลื่อนไฟฟ้าสวนกลับ เมื่ออาร์เมเจอร์เริ่มหมุนจะทำให้ตัวนำที่อยู่ในอาร์เมเจอร์ตัดเส้นแรงแม่เหล็กที่มาจากสนามแม่เหล็กหลัก หรือสนามแม่เหล็กถั่วที่เกิดขึ้นในมอเตอร์นั้น นั่นคือ เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นบนตัวนำภายในอาร์เมเจอร์ ซึ่งจะเป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า ในการหาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ สามารถทำการหาได้โดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่งและพบว่า มีทิศทางสวนกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปให้กับมอเตอร์ ฉะนั้น จึงเรียกแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าสวนกลับ (back e.m.f. = E_b) จากการที่เกิด E_b ขึ้นนี้ จึงเขียนเป็นวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ได้ ซึ่งเหมือนกับว่ามีแบตเตอรี่ E_b ต่อคร่อมอยู่กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ นั่นคือ ในการที่จะให้ I_a ไหลในอาร์เมเจอร์นั้น ต้องมีกำลังไฟฟ้าจำนวนหนึ่งที่ต้องการเอาชนะการสวนนี้ กำลังไฟฟ้าที่เอาชนะกำลังที่สวนนี้ได้คือ $E_b I_a$ ในกรณีที่เป็นเซลล์หรือ

แบตเตอรี่นั้น กำลังที่เอาชนะการสวนนี้ คือ กำลังที่เปลี่ยนไปเป็นกำลังงานทางเคมี แต่ในมอเตอร์นั้น กำลังที่เอาชนะการสวนนี้ คือ กำลังที่เปลี่ยนไปเป็นกำลังกลนั่นเอง นั่นคือ กระแส I_a จะมีค่าเท่ากับ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ในวงจร ต่อความต้านทานในวงจรของอาร์เมเจอร์

$$I_a = \frac{V - E_b}{R_a}$$

ได้กล่าวมาตอนต้นแล้วว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการหมุนของตัวนำในสนามแม่เหล็กมีค่า $E = \frac{\phi ZSP}{60a}$ ดังนั้น $E_b = \frac{\phi ZSP}{60a}$

พบว่า E_b ขึ้นอยู่กับตัวประกอบต่าง ๆ เช่น ϕ , Z, S, P และ a แต่เนื่องจาก Z, P/a เป็นค่าคงที่ในการพันอาร์เมเจอร์ของแต่ละเครื่องที่แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงได้

$$E_b = K_c \phi S$$

เมื่อ $K_c =$ ค่าคงที่ทางไฟฟ้า $= \frac{ZP}{60a}$

S = ความเร็วรอบต่อนาที (r.p.m)

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (Wb)

จากสมการ E_b ที่กล่าวมานี้ พบว่า E_b จะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับค่า ϕ และ S ฉะนั้นเพื่อให้ ϕ คงที่พบว่า E_b เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็ว S นั่นคือ เมื่อ S มีค่ามากจะทำให้ E_b มีค่ามากขึ้น และย่อมทำให้กระแส I_a มีค่าน้อย (เมื่อ V คงที่ นั่นคือผลต่างของ V หรือ E_b มีค่าน้อย เมื่อ R_a คงที่) ทำให้แรงบิดที่มอเตอร์จ่ายออกมามีค่าน้อยด้วย ดังนั้นพบว่า E_b เป็นตัวที่คอยควบคุมการไหลของกระแสในอาร์เมเจอร์นั่นเอง นั่นคือ E_b เป็นตัวทำให้มอเตอร์มีการควบคุมอยู่ในตัวของมันเอง โดยการดึงกระแสเท่าที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้มอเตอร์หมุนได้ในสภาวะที่ต้องการเพื่อให้เกิดการสมดุลย์คามกฎการทรงมวลนั่นเอง

2.10 โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD Module)

2.10.1 รายละเอียดเกี่ยวกับ โมดูล LCD

ในโมดูล LCD จะมีส่วนประกอบหลัก ๆ 3 ส่วน ดังนี้

ตัวแสดงผล (Display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็น โดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองที่แสดงผลบนจอ LCD

ตัวควบคุม (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิป (Chip) ควบคุม โดยเฉพาะชิปที่นิยมนำมาใช้คือ เบอร์ HD44780 และ HD61830 โดย HD44780 จะใช้ควบคุม LCD แบบอักษร ส่วน HD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟิก

ตัวขับ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนด ชิปที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259 เป็นต้น

2.10.2 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD

ในการใช้งานโมดูล LCD จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและคำสั่งที่ใช้ในการควบคุม ให้ดีเสียก่อน ภายในของชิปควบคุม LCD เบอร์ HD44780 ซึ่งใช้ใน โมดูล LCD แบบอักษร จะประกอบด้วย

บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต (Buffer Input/Output) เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อที่จะถ่ายเทข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม

รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register: IR) เป็นรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อนำไปควบคุมการแสดงผล

รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register: DR) เป็นรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อถ่ายเทต่อไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร

แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display Data RAM: DDRAM) เป็นหน่วยความจำแรม ทำหน้าที่เก็บข้อมูลทีมาจากรีจิสเตอร์ DR ตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง (Look up table) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรอม (ROM) และแรม (RAM) เก็บตัวอักษร เพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล

รอมเก็บตัวอักษร (Character Generator ROM: CGROM) เป็นหน่วยความจำรอมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 7,200 บิต โดยจะถูกอ่านด้วยค่าของข้อมูลใน DDRAM

แรมเก็บตัวอักษร (Character Generator RAM: CGRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ใช้เก็บตัวอักษรที่มีการสร้างเพิ่มเติมขึ้นใหม่ ในกรณีที่ตัวอักษรใน CGROM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512 บิต การเขียนและอ่านค่าไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGROM คือ เขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง

แฟล็ก (Busy) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานะ การทำงานของตัวควบคุม ให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่า ตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของแฟล็กนี้เสียก่อน

โมดูล LCD ขนาด 16x1 มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 14 ขา รายละเอียดการทำงานของแต่ละขามีดังนี้

V_{SS} (ขา 1): ต่อกราวด์

V_{DD} (ขา 2): ต่อไฟเลี้ยง +5 โวลต์

V_O (ขา 3): เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา 4): เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่า เป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจิสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น "0" ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขานี้เป็น "1" ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

R/W (ขา 5): เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD ถ้าเป็น "0" เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา 6): เป็นขาอีนาเบิล LCD ให้ทำงาน

$D_0 - D_7$ (ขา 7-14): เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งมีขนาด 8 บิต

2.10.3 คำสั่งควบคุมโมดูล LCD

ในการเขียนคำสั่งลงในตัวควบคุม แน่แน่นอนว่าจะต้องกำหนดให้ขา RS และขา R/W เป็น “0” แล้วจึงเขียนคำสั่งตามไป คำสั่งควบคุมโมดูล LCD ของชิปควบคุม HD44780 ที่สำคัญมี 9 คำสั่งดังนี้

1. คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (Clear display)

มีข้อมูลคำสั่งเป็น 01H เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนข้อมูลช่องว่าง (Space) เข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด เมื่อตัวควบคุมเอ็กซิคิวต์คำสั่งนี้ จะทำการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เป็น “0” คอร์เซอร์จะไปที่ตำแหน่งซ้ายมือสุดของจอแสดงผล แล้วเซตบิต I/D ให้เป็น “1”

2. คำสั่งรีเทิร์น โฮม (Return Home)

ต้องกำหนดให้บิต 1 ของข้อมูลเป็น “1” เป็นคำสั่งให้คอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผล แต่ข้อมูลบนจอแสดงผลไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ ข้อมูลคำสั่งของคำสั่งนี้จะเป็น 02H หรือ 03H ก็ได้

3. คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล (Entry mode Set)

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	0	1	I/D	S

บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของการแสดงผล เมื่อมีการป้อนข้อมูล ถ้าหากบิตนี้เป็น “1” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ในตัวแสดงผล ตัวคอร์เซอร์จะอยู่กับที่ แต่ตัวอักษรข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางซ้าย แต่ถ้าหากบิตนี้เป็น “0” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ตัวคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ

บิต I/D เป็นบิตที่ใช้กำหนดว่า เมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้ว ทำให้แอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งแอดเดรส โดยถ้าบิตนี้เป็น “1” แอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าบิตนี้เป็น “0” แอดเดรสจะลดลง

ดังนั้น ข้อมูลคำสั่งที่เกิดขึ้นสำหรับคำสั่งนี้ได้แก่ 04H – 07H (4 ข้อมูลคำสั่ง) และที่ใช้อยู่คือ 06H หมายถึง กำหนดให้เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ คอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือและแอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น

4. คำสั่งควบคุมการแสดงผล

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	1	D	C	B

บิต D ใช้ควบคุมการเปิดปิดจอแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “1” จะเป็นการเปิดจอแสดงผล แต่ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการปิดจอแสดงผล

บิต C ใช้ควบคุมการแสดงผลตัวคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีคอร์เซอร์แสดงผลบนจอแสดงผล จะต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1” ถ้ากำหนดให้เป็น “0” จะเป็นการปิดคอร์เซอร์ไม่แสดงผล

บิต B ใช้ควบคุมการกระพริบของคอร์เซอร์ ถ้าบิตนี้เป็น “1” คอร์เซอร์จะกระพริบ

ดังนั้น จะมีข้อมูลคำสั่งได้ตั้งแต่ 08H – 0FH (8 รูปแบบคำสั่ง) ที่ใช้บ่อยคือ 0CH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แต่ไม่แสดงเคอร์เซอร์และ 0FH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แสดงเคอร์เซอร์กระพริบ

5. คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษรบนจอแสดงผลขึ้นอยู่กับกำหนดบิต S/C และ R/L ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของเคอร์เซอร์และตัวอักษร

S/C	R/L	ลักษณะการเลื่อน	ข้อมูลคำสั่ง
0	0	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย	10H – 13H
0	1	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา	14H – 17H
1	0	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางซ้าย	18H – 1BH
1	1	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางขวา	1CH – 1FH

6. คำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงาน

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	1	DL	N	F	*	*

บิต DL ใช้กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ติดต่อส่งผ่านข้อมูล ถ้าบิตนี้เป็น “0” เป็นการติดต่อแบบ 4 บิต แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นแบบ 8 บิต

บิต N ใช้กำหนดจำนวนบรรทัดของการแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะแสดงผล 1 บรรทัด ถ้าเป็น “1” จะแสดงผล 2 บรรทัด ในกรณีที่จอแสดงผลสามารถแสดงผลได้มากกว่า 2 บรรทัด และต้องการให้แสดงผลมากกว่า 2 บรรทัด ก็กำหนดบิต N นี้ให้เป็น “1”

บิต F ใช้เลือกความละเอียดของตัวอักษรให้กับการแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการแสดงผลแบบ 5x7 จุด และถ้าเป็น “1” จะแสดงผลเป็นแบบ 5x10 จุด

ข้อมูลคำสั่งที่ใช้บ่อยคือ 38H เป็นการกำหนดให้โมดูล LCD ทำงานในแบบ 8 บิต แสดงผลเป็น 2 บรรทัด และเลือกความละเอียดเป็น 5x7 จุด

จุดที่น่าสังเกตคือ โมดูล LCD แบบ 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด แม้จะมีบรรทัดการแสดงผลเพียงแค่ 1 บรรทัด แต่จะต้องกำหนด N ให้เป็น “1” เนื่องจากแอดเดรสของ DDRAM แบ่งเป็น 2 ช่อง คือ 00H และ 40H

7. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM

เมื่อต้องการกำหนดแอดเดรสของ CGRAM ต้องกำหนดให้บิต 7 เป็น “0” บิต 6 เป็น “1” ส่วนอีก 6 บิตที่เหลือจะแทนด้วยค่าแอดเดรสของ CGRAM จะต้องทำการกำหนดแอดเดรสด้วยคำสั่งนี้ก่อนที่จะอ่านหรือเขียนข้อมูลให้ CGRAM โดยแอดเดรสของ CGRAM อยู่ระหว่าง 00H – 3FH

8. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM

ใช้ในการเลือกแอดเดรสของ DDRAM ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยบิต 7 ต้องเป็น "1" และข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือจะเป็นค่าแอดเดรสของ DDRAM ซึ่งจะอยู่ระหว่าง 8CH - 0FFH ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับข้อกำหนดสถานะที่บิต N ด้วย หากบิต N เป็น "0" แอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ในระหว่าง 80H - 0CH และถ้าบิต N เป็น "1" แอดเดรสของ DDRAM จะมี 2 ช่วงคือ 8CH - 87H และ 0C0H - 0C7H

9. คำสั่งอ่านแฟล็กและแอดเดรส

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
BF	A	A	A	A	A	A	A

แอดเดรสไบต์สูง
แอดเดรสไบต์ต่ำ

เป็นคำสั่งที่ใช้อ่านแฟล็ก BUSY (BF) โดยแฟล็กนี้จะเป็นตัวบอกสถานะของตัวควบคุม LCD ว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ ถ้าหากบิต BF เป็น "0" แสดงว่าตัวควบคุม LCD พร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่ง แต่ถ้าเป็น "1" แสดงว่าขณะนี้ตัวควบคุม LCD ยังอยู่ในกระบวนการทำงานภายในหรือกำลังประมวลผลข้อมูลอยู่ ยังไม่พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง

เมื่อต้องการอ่านแฟล็กต้องกำหนดค่า R/W เป็น "1" ด้วย แต่สัญญาณที่ RS ยังต้องเป็น "0" อยู่ เพราะข้อมูลนี้เป็นข้อมูลคำสั่ง

นอกจากนี้ยังใช้เป็นคำสั่งอ่านข้อมูลแอดเดรสของ CGRAM และ DDRAM ด้วย โดยบิต 0 - 6 เป็นค่าข้อมูลของแอดเดรสที่ต้องการอ่าน

2.10.4 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD

ในการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุมโมดูล LCD แสดงผลตามที่ต้องการ ต้องส่งคำสั่งแล้วกำหนดโหมดการทำงานให้แก่โมดูล LCD ก่อน จากนั้นจึงค่อยส่งข้อมูลที่ต้องการแสดงผล เนื่องจากบิตข้อมูลของโมดูล LCD มี 8 เส้น คือ D0 - D7 และใช้เป็นทางผ่านของทั้งคำสั่งและข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูล จึงต้องอาศัยการกำหนดสัญญาณลอจิกที่ขา RS ถ้าหากที่ขา RS ได้รับลอจิก "0" จะหมายความว่า ข้อมูลที่ป้อนให้แก่โมดูล LCD ขณะนั้นเป็นคำสั่ง ในตรงกันข้าม หากขา RS ได้รับลอจิก "1" ข้อมูลที่ป้อนให้ขณะนั้นจะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล

เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูลใน CGRAM และ DDRAM เริ่มต้นต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน โดยใช้คำสั่งหรือแอดเดรส จากนั้นกำหนดให้ขา RS เป็น "1" เพื่อแจ้งให้ตัวควบคุมภายในโมดูล LCD ทราบว่า ข้อมูลที่ปรากฏต่อไปนี้เป็นข้อมูลปกติไม่ใช่คำสั่ง

ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น "1" ข้อมูลขนาด 8 บิต (หรือ 4 บิต) ก็จะปรากฏบนบัสข้อมูล (Data Bus) โดยข้อมูลที่อ่านออกมาได้จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสของ CGRAM และ DDRAM ตามที่ต้องการ

ในกรณีที่ต้องการเขียนข้อมูล เมื่อกำหนดแอดเดรสและบิตลอจิก “1” ให้ขา RS แล้ว ต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “0” ข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลจะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์ DR จากนั้นจึงถ่ายทอกลงใน DDRAM ต่อไป

2.10.5 จังหวะการทำงานของโมดูล LCD

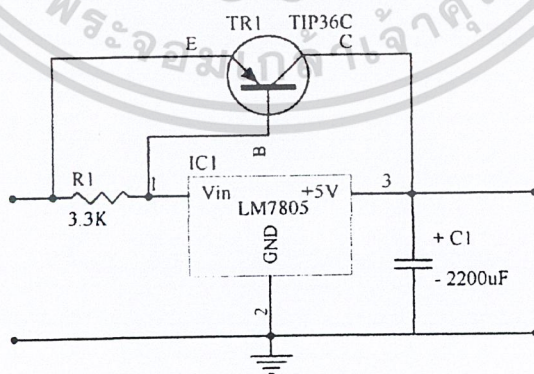
ในการติดต่อกับโมดูล LCD จะต้องมีการหน่วงเวลา หลังจากที่ทำคำสั่งหรือข้อมูล เนื่องจากต้องรอให้คอนโทรลเลอร์ภายใน LCD แปลความหมายของรหัสคำสั่งและทำงานตามคำสั่งให้เรียบร้อยก่อน จากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือดำเนินการต่อไป

ดังนั้นในการใช้งาน โมดูล LCD ผู้เขียน โปรแกรมต้องมี โปรแกรมเพื่อหน่วงเวลารอให้โมดูล LCD พร้อมทำงานด้วย โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่โมดูล LCD ต้องรอประมาณ 10 มิลลิวินาที เพื่อให้โมดูล LCD ทำการเตรียมพร้อมหรืออินิเชียล (Initial) หลังจากนั้นก็จะกำหนดลอจิกให้แก่ขา RS ของโมดูล LCD แล้วต้องหน่วงเวลาอีกประมาณ 2 มิลลิวินาที เพื่อให้คอนโทรลเลอร์ในโมดูล LCD แปลความหมายของลอจิกที่ขา RS ว่า ข้อมูลต่อไปที่จะรับได้นั้นเป็นรหัสคำสั่งหรือเป็นข้อมูลที่ต้องการแสดงผล จากนั้น จะเป็นการส่งข้อมูลมารอที่บัสข้อมูล D0 -D7 (กรณีทำงานในโหมด 8 บิต) ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่ออีนาเบิล (Enable) โมดูล LCD ให้รับข้อมูลจากบัสข้อมูลเข้าไป โดยพัลส์ที่ป้อนเข้าที่ขา E ของโมดูล LCD ต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้น จากนั้นทำการหน่วงเวลา 2 มิลลิวินาที

ทั้งหมดที่กล่าวมาคือ ขั้นตอนและจังหวะในการทำงาน 1 รอบของโมดูล LCD จะเห็นได้ว่ามีโปรแกรมย่อยที่สำคัญอยู่ 3 โปรแกรมย่อยคือ โปรแกรมอินิเชียล LCD, โปรแกรมหน่วงเวลาและโปรแกรมย่อยการส่งพัลส์เพื่ออีนาเบิลโมดูล LCD

2.11 регуเลเตอร์เพาเวอร์ซัพพลาย (Regulator Power Supply)

วงจร регуเลเตอร์แบบพื้นฐานที่ใช้งานกันทั่วไป จะนิยมใช้ไอซี регуเลเตอร์สำเร็จรูปตระกูล 78xx ในการควบคุมระดับแรงดันเอาต์พุตที่ออกให้มีค่าคงที่ โดยปกติไอซี регуเลเตอร์ตระกูล 78xx ธรรมดาจะสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดเพียง 1 แอมป์เท่านั้น ซึ่งเป็นข้อจำกัดของไอซี регуเลเตอร์ตระกูลนี้ ดังนั้นจึงต้องมีการขยายกระแสให้กับ регуเลเตอร์ตระกูล 78xx ก่อนนำไปใช้งาน มีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงการต่อวงจรขยายกระแสให้กับ ไอซี регуเลเตอร์ตระกูล 78xx

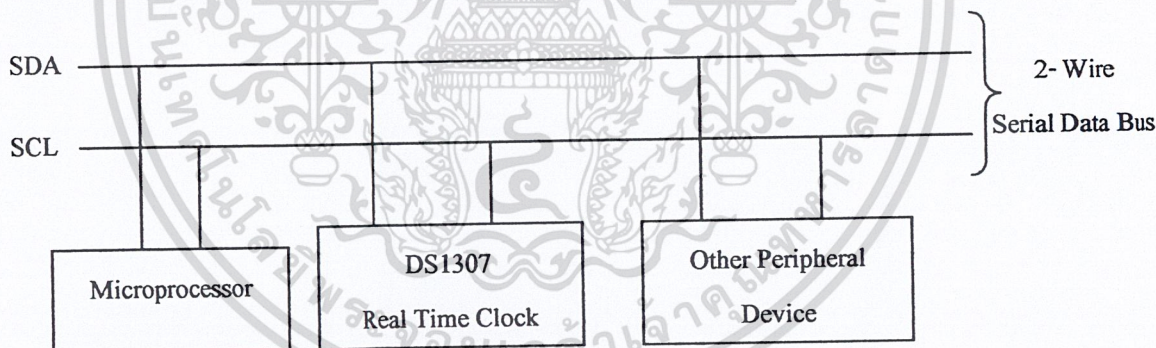
ไอซีเรกูเลเตอร์ตระกูล 78xx จะมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนภายใน แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถป้องกันได้ทันทั่วทั้งที่ ดังนั้นเพื่อเสถียรภาพที่ดีกว่าจึงมีการออกแบบวงจรตามรูปที่ 2.20 คือ เมื่อโหลดมีการใช้กระแสเกิน 200 มิลลิแอมป์เมื่อใด ทรานซิสเตอร์ก็จะทำหน้าที่เป็นตัวผ่านกระแสที่เกินนั้นแทนไอซีเรกูเลเตอร์ ทำให้อุปกรณ์สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดถึง 5 แอมป์ และเพื่อความปลอดภัยยิ่งขึ้น ควรคิดแผ่นระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์ทั้งสอง ในกรณีที่มีการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุตเพียงชั่วคราว ขนาดของกระแสจะไม่เกิน 5 แอมป์ เพราะแรงดันไบอัสทำให้ทรานซิสเตอร์จะถูกจำกัดไว้ เนื่องจากเป็นแรงดันทางด้านอินพุตให้กับไอซีเรกูเลเตอร์ด้วย

ตัวต้านทาน R_1 จะทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกินให้กับไอซีเรกูเลเตอร์เป็นจุดแรก ขณะเดียวกันก็จะทำหน้าที่ป้องกันแรงดันไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ด้วย ซึ่งขนาดอัตราทนกำลังของ R_1 คำนวณได้จากค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานสูงสุด ($P = I^2R$) ซึ่งจะอยู่ในอัตรา 0.5 – 5 วัตต์

ตัวเก็บประจุ C_1 จะทำหน้าที่ในการกำจัดริบเบิล (Ripple) ของแรงดันด้านอินพุต หากวงจรมีการใช้กระแสไม่เกิน 1 แอมป์ จะใช้ค่าความจุเท่ากับ 1 ไมโครฟารัดก็เพียงพอ แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้กระแสเอาต์พุตสูงถึง 5 แอมป์ ก็ควรที่จะเพิ่มค่าความจุไปเป็น 4700 ไมโครฟารัด

2.12 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ I²C

I²C ย่อมาจาก Inter-IC Communication คือ การติดต่อระหว่างไอซี โดยใช้ I²C BUS จุดมุ่งหมายคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลต่างๆ สามารถติดต่อ สั่งงานและควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น ได้แก่ สายสัญญาณข้อมูล (SDA: Serial Data Line) และสายสัญญาณนาฬิกา (SCL: Serial Clock Line) ผังแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ บน I²C BUS แสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ บน I²C BUS

2.12.1 ข้อกำหนดสำคัญของการติดต่อแบบ I²C BUS คือ

1. การรับ – ส่งข้อมูลเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อบัสว่างเท่านั้น
2. ระหว่างการรับ – ส่งข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะไฮ (High) สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ หากเกิดการเปลี่ยนแปลงจะหมายถึงสัญญาณควบคุม

2.12.2 สภาวะที่เกิดขึ้นบน I²C BUS

1. บัสไม่ว่าง (Bus not busy) ก็ต่อเมื่อสภาวะสายสัญญาณ SDA และ SCL เป็นไฮ
2. เริ่มต้นส่งข้อมูล (Start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงจากไฮเป็นโลว์ ในขณะที่สาย SCL เป็นไฮ สภาวะนี้เรียกว่า Start Condition

3. หยุดส่งข้อมูล (Stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงจากโลว์เป็นไฮ ในขณะที่สาย SCL เป็นไฮ สถานะนี้เรียกว่า Stop Condition
4. ข้อมูลค้างอยู่ (Data vaild) สถานะนี้เกิดขึ้นหลังจากเกิด Start Condition โดยสถานะที่เกิดบนสาย SDA ต้องคงที่ในขณะที่สาย SCL เป็นไฮเพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลนั้นเป็น “0” หรือ “1” และข้อมูลจะเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อสาย SCL เป็นโลว์
5. การตอบรับเกิดขึ้นหลังจากอุปกรณ์รับข้อมูลในแต่ละไบต์

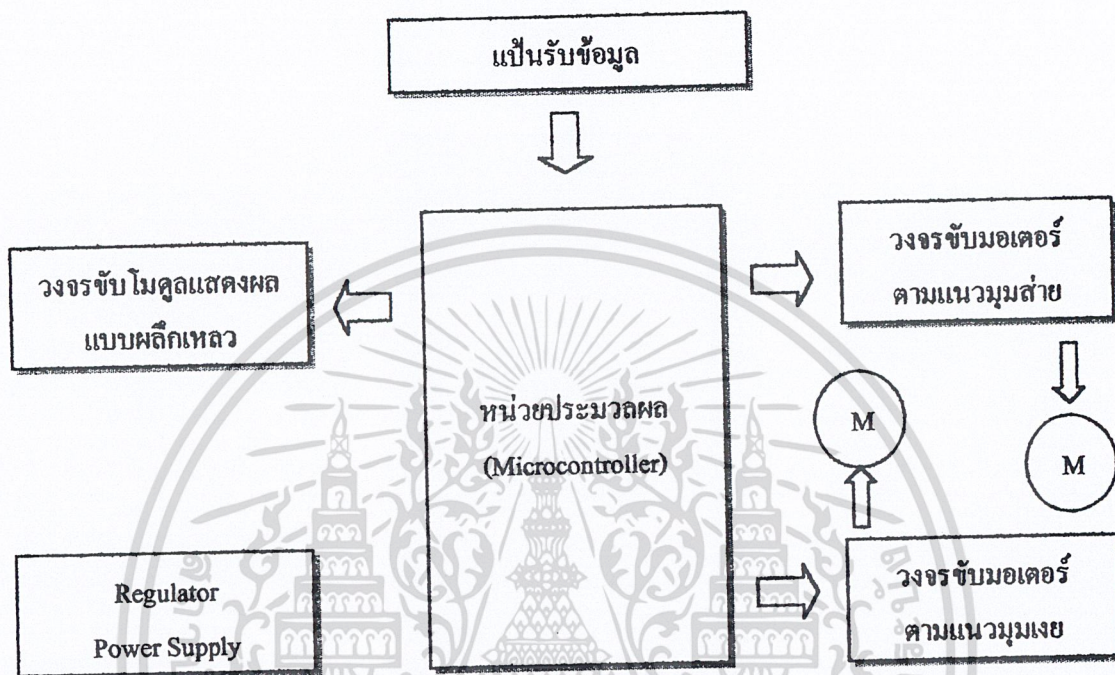


บทที่ 3

ส่วนประกอบารออกแบบสร้าง Hardware และ Software

เนื่องจากในโครงการนี้มีทั้งส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Hardware) และส่วนที่เป็นโปรแกรม (Software) ซึ่งสามารถจำแนกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

3.1 โครงสร้างโดยรวมของอุปกรณ์ควบคุมงานสายอากาศแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.1 บล็อกโคะแกรมแสดงหลักการเบื้องต้น

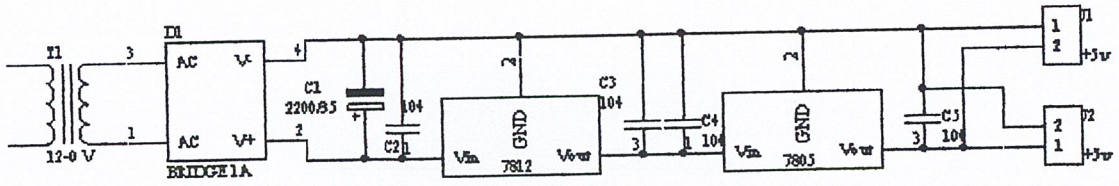
อุปกรณ์ควบคุมงานสายอากาศแบบอัตโนมัติจะรับค่าของตำแหน่งดาวเทียมที่ต้องการ ค่าที่กดทางภูมิศาสตร์จากผู้ใช้งาน ส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำการประมวลผล แล้วควบคุมมอเตอร์เพื่อทำการปรับมุมสายด้วย Azimuth Motor และปรับมุมเงยจาก Elevation Motor ให้มอเตอร์ทั้งคู่ทำงานและหยุดทำงานตรงตำแหน่งของดาวเทียมที่ต้องการรับ อีกส่วนหนึ่งจะส่งไปแสดงผลออกทางจอ LCD

3.2 ฮาร์ดแวร์ทางอิเล็กทรอนิกส์

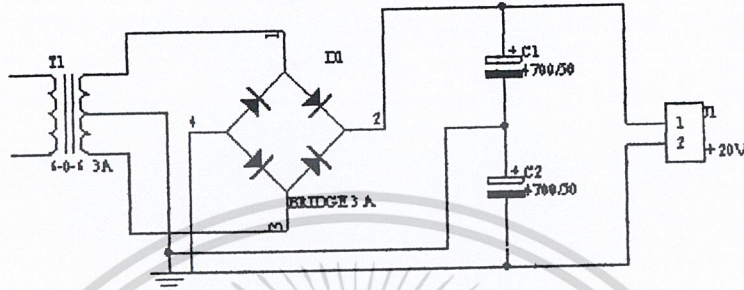
ในส่วนของฮาร์ดแวร์ทางอิเล็กทรอนิกส์จะมีอยู่หลายภาควงจรด้วยกันดังนี้

3.2.1 ส่วนของแหล่งจ่ายไฟ (Regulator Power Supply)

วงจรแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ในโครงการนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ใช้แรงดันไฟ +5 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับตัวบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาคขับมอเตอร์เพื่อนำไปเลี้ยงไฟในส่วนของลอจิกและวงจรขับไมครูลแสดงผลแบบผลึกเหลว ดังรูปที่ 3.2 ส่วนแรงดันไฟ +20 โวลต์ ใช้ในส่วนของมอเตอร์ ภาคขับมอเตอร์ที่ป้อนไฟให้กับ L298 ไดรเวอร์มอเตอร์ ดังรูปที่ 3.3 เหตุที่ต้องแยกภาคจ่ายไฟเป็น 2 ส่วนนั้น เพราะว่า ได้ทำการทดลองดูแล้ว จะมีการคั้งกระแสและแรงดันมากขึ้น ทำให้อุปกรณ์ที่อยู่ในภาคจ่ายไฟร้อนกว่าปกติ ดังนั้นจึงทำการแยกเป็นสองส่วนปัญหาที่เกิดขึ้นก็หมดไป

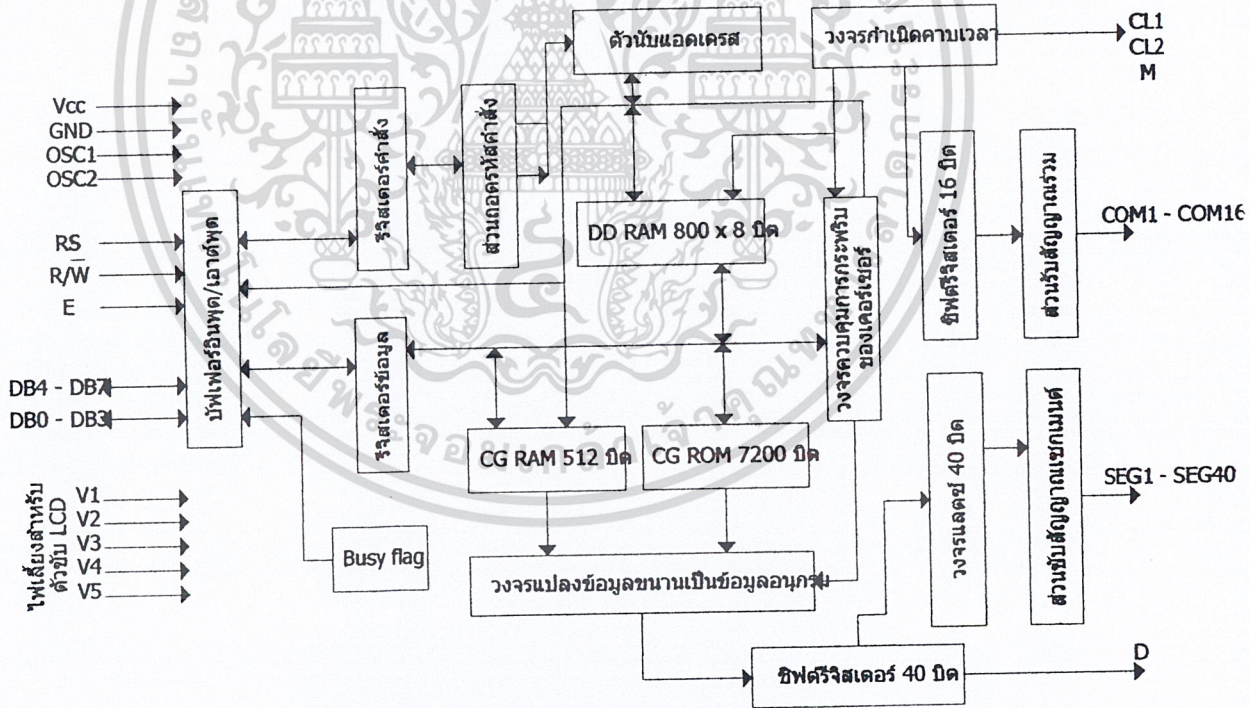


รูปที่ 3.2 แสดงวงจรภาคจ่ายไฟที่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และไฟลอปจิกให้กับวงจรไคร้เวอร์



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาคจ่ายไฟที่ป้อนให้กับวงจรภาคไคร้เวอร์

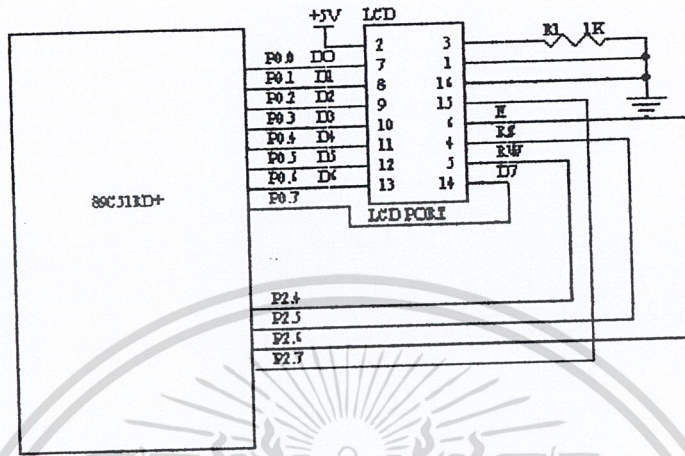
3.2.2 ส่วนแสดงผลของวงจรขับโมดูลแสดงผลแบบพลิกเหลว
 ในส่วนของส่วนแสดงผลทางจอแอลซีดีนั้น มีโครงสร้างดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของตัวแสดงผลแบบอักษร

ใช้โมดูลแสดงผลแบบพลิกเหลวแสดงผล 2 บรรทัด ต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้สายสัญญาณจำนวน 11 เส้น เป็นบัสข้อมูล (Data Bus) ในการเชื่อมต่อ 8 เส้น และใช้โปรแกรมเป็นตัวสร้างสัญญาณขึ้นมา ให้ตรงกับข้อกำหนดของโมดูลแสดงผลแบบพลิกเหลว ซึ่งการต่อลักษณะนี้จะส่งผล

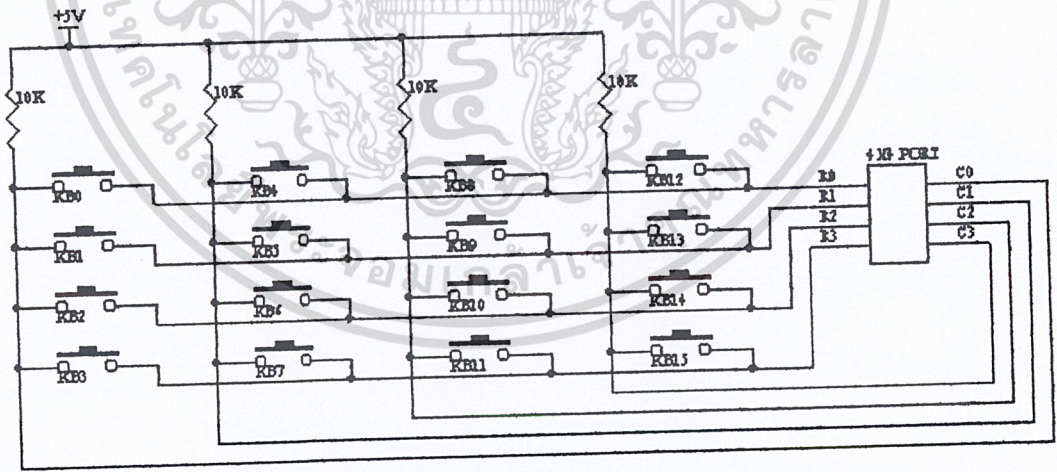
ให้สามารถเขียนข้อมูลให้กับตัวโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลวได้เพียงอย่างเดียวไม่สามารถอ่านข้อมูลกลับได้ ดังนั้นจึงต้องมีการใช้การหน่วงเวลาของระบบ เพื่อรอให้โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลวกระทำขบวนการต่าง ๆ การจذاขาสัญญาณสามารถทำได้อย่างอิสระแล้วแต่ผู้ใช้เขียนกำหนด ในโครงการนี้จะใช้พอร์ต 0 ในการส่งข้อมูล และพอร์ต 2 ในการควบคุมขา RS, R/W และ E ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว

3.2.3 ส่วนของคีย์บอร์ด

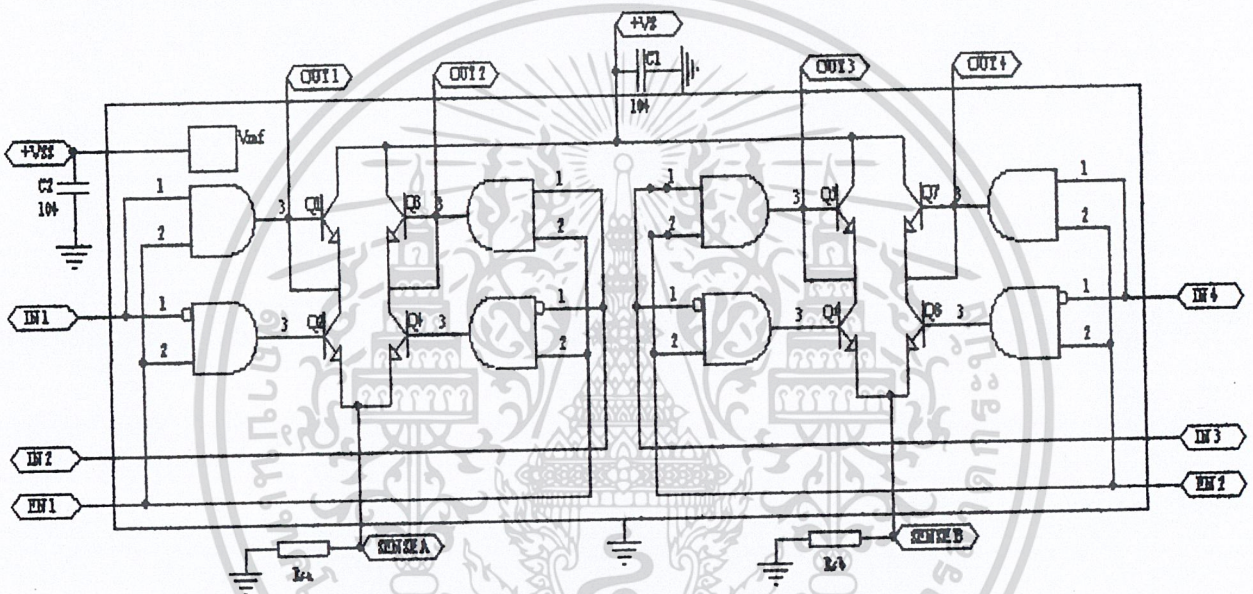
แต่เดิมนั้นวงจรในส่วนของคีย์บอร์ดยังไม่ได้ออกความต้านทานพูลอัพไว้ ดังนั้นจึงต้องทำการต่อความต้านทานเพื่อให้ในสถานะที่ยังไม่ถูกกดเป็น 1 อยู่เสมอแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรในส่วนของคีย์บอร์ด

3.2.4 ส่วนของวงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ทำการออกแบบโดยใช้ไอซี L298 เป็นตัวขับมอเตอร์ให้มอเตอร์ทำงานและหยุดทำงาน ซึ่งไอซีเบอร์นี้ ภายในจะเป็นวงจรฟูลบริดจ์ไคร์เวอร์คู่ สามารถใช้งานกับมอเตอร์สำหรับปรับมุมสายและมุมเงยได้พอดี ดังรูปที่ 3.7 หลักการทำงานจะอธิบายเพียงส่วนเดียวเนื่องจากมีลักษณะเดียวกัน คือ เมื่อเรากำหนดให้ EN 1 = H ถ้าพัลส์ที่เข้ามาทาง IN 1 เป็น H และ IN 2 เป็น L เป็นผลให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ทำงาน มีเอาต์พุตออกที่ OUT 1 เป็น +20 โวลต์ ส่วน OUT 2 มีค่าน้อยมากให้เป็น 0 โวลต์ และในทางกลับกัน ถ้าป้อนให้ IN 1 เป็น L, IN 2 เป็น H จะทำให้ OUT 1 ประมาณ 0 โวลต์ OUT 2 เป็น +20 โวลต์ สลับแรงดันกัน มอเตอร์จะกลับทางหมุนได้โดยการควบคุมพัลส์ที่ป้อนให้กับอินพุต เรายังสามารถที่จะหยุดมอเตอร์ได้อย่างฉับพลัน โดยการป้อน IN 1 และ IN 2 ให้มีสถานะที่เหมือนกันทั้งคู่ การควบคุมพัลส์ให้ทำงานหรือหยุดการทำงาน แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

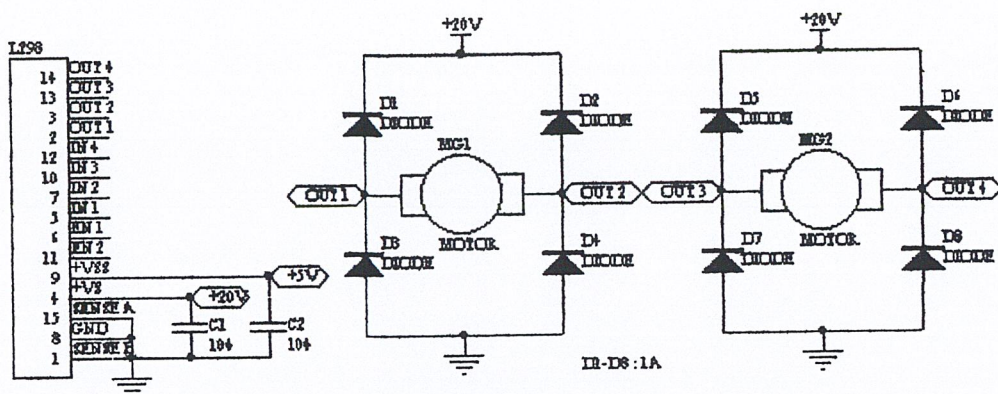


รูปที่ 3.7 วงจรภายในของ ไอซี L298 DUAL FULL BRIDGE DRIVER

ตารางที่ 3.1 แสดงการป้อนสัญญาณเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์

Input		Function
EN 1 = H	IN 1 = H ; IN 2 = L	TURN RIGHT
	IN 1 = L ; IN 2 = H	TURN LEFT
	IN 1 = IN 2	FAST MOTOR STOP
EN 2 = L	IN 1 = X ; IN 2 = IN 1	FREE RUNNING MOTOR STOP

L = LOW ; H = HIGH ; X = Don't care



รูปที่ 3.8 แสดงการนำไปใช้งานควบคุมการหมุนของมอเตอร์

จากรูปที่ 3.8 L298 เป็นตัวส่งพัลส์เพื่อไปควบคุมการหมุนของมอเตอร์ในการค้นหาตำแหน่งของดาวเทียม ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ควบคุมการหมุนหาตำแหน่งมุมสาย และส่วนที่ควบคุมการหมุนหาตำแหน่งมุมเงย

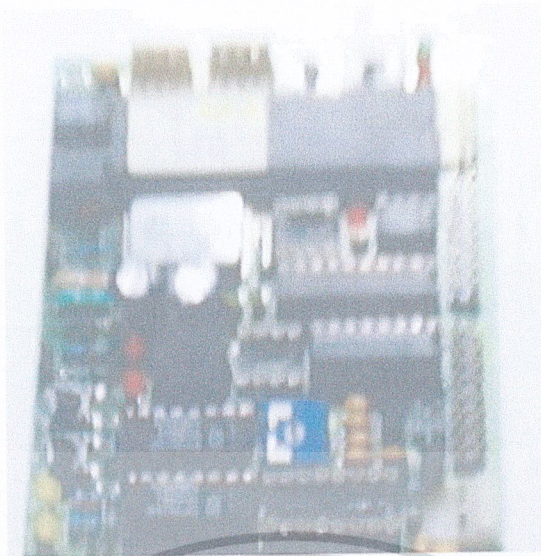
3.2.5 ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ส่วนการควบคุมนั้นเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในตระกูล MCS-51 เป็นบอร์ดสำเร็จรูป ซึ่งเป็นตระกูลที่ได้รับความนิยมและง่ายต่อการเขียนโปรแกรมควบคุม สามารถสรุปข้อดีได้ดังนี้

1. ง่ายต่อการเรียนรู้คำสั่ง และมีหนังสือประกอบมากมาย
2. มีเอาต์พุตเพียงพอต่อความต้องการใช้งาน
3. สามารถเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมได้หลากหลายเช่น ภาษาซี (C) , ภาษาแอสเซมบลี (Assembly) หรือภาษาเบสิก (Basic) เนื่องจากมีโปรแกรมคอมไพเลอร์ (Compiler) ให้เลือกใช้ใช้งานหลากหลาย

ส่วนโปรแกรมภาษาควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นเลือกใช้ภาษาซี เนื่องจากมีส่วนของโปรแกรมที่ต้องใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ติดรากและเลขยกกำลัง (หามุมเงย) ซึ่งถ้าหากเขียนเป็นภาษาแอสเซมบลีต้องใช้อัลกอริทึม (Algorithm) ที่ซับซ้อน อีกทั้งภาษานั้นเมื่อคอมไพล์แล้วรหัสเลขฐาน 16 (hex code) ที่ได้จะมีความกระชับมากกว่าภาษาอื่นๆ การเลือกใช้ภาษานั้นจะเลือกใช้ตามความเหมาะสมความยากง่ายในการเขียนและการทำความเข้าใจ

จากรูปที่ 3.9 I - 400 เป็นบอร์ดที่จัดอยู่ในกลุ่ม EMBEDDED CONTROLLER BOARD ที่มีขนาดเล็กแต่อัดแน่นด้วยทรัพยากรที่มีให้เลือกใช้มากมายบนบอร์ดด้วยขนาดเพียง 3x3.5 นิ้ว ได้บรรจุคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นหัวใจการทำงานของบอร์ดเป็น MCU ตระกูล MCS - 51 เบอร์ 89C51RD+ ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ มี Flash Memory 64 Kbytes, RAM ภายใน 1 Kbyte และยังสามารถที่จะดาวน์โหลดโปรแกรมจาก PC เพื่อโปรแกรม Flash ROM ได้โดยตรง โดยไม่ต้องถอด MCU ออกจากบอร์ดเพื่อโปรแกรมแต่อย่างใด ทำให้การพัฒนาโปรแกรมเป็นไปด้วยความรวดเร็วสะดวกสบายยิ่งขึ้น การดาวน์โหลดโปรแกรมนั้นมีทางเลือกได้ 2 ทางเลือกคือ ใช้โปรแกรม WINISP หรือ จะใช้โปรแกรม R2D2 MONITOR ซึ่งแนวโน้มในอนาคตเทคโนโลยีนี้จะเข้ามาแทนที่การพัฒนาโปรแกรมแบบดั้งเดิม นั่นคือเทคโนโลยี ISP (INSYSTEM - PROGRAMMING) ที่บรรจุอยู่ในบอร์ดนี้ด้วย



รูปที่ 3.9 แสดง I – 400 ISP Small Embedded Board

3.2.5.1 คุณสมบัติของบอร์ด

CPU 89C51RD+ MICROCONTROLLER WITH 64K FLASH AND 1K INT – RAM

CLOCK 22.1184 MHz MODULE OSCILATOR

PORT 12 BIT I/O PORT (PCF8574A), 3 BIT I/O PORT (MCU) x2, 8x8 DISPLAY PORT (74HC374,74HC145), LCD PORT, 4 A/D, 1 A/D PORT (PCF8591)

RESET DS1707 (RESET AND LOWBATT CHECK)

RTC DS1307 + BATTERY SOCKET (OPTION)

OTHER 2 INPUT SWITCH (PCF8574A), 2 OUTPUT YELLOW LED (PCF8574A), 1 BIT

SPEAKER ON BOARD (P1.7), 1 BIT BACKLIGHT CONTROL FOR LCD (P2.7), 1 BIT

CLOCK 74HC374 (P1.0), 1 BIT CHECK LOWBATT (P1.1), 1 LED MONITOR DIRECTION

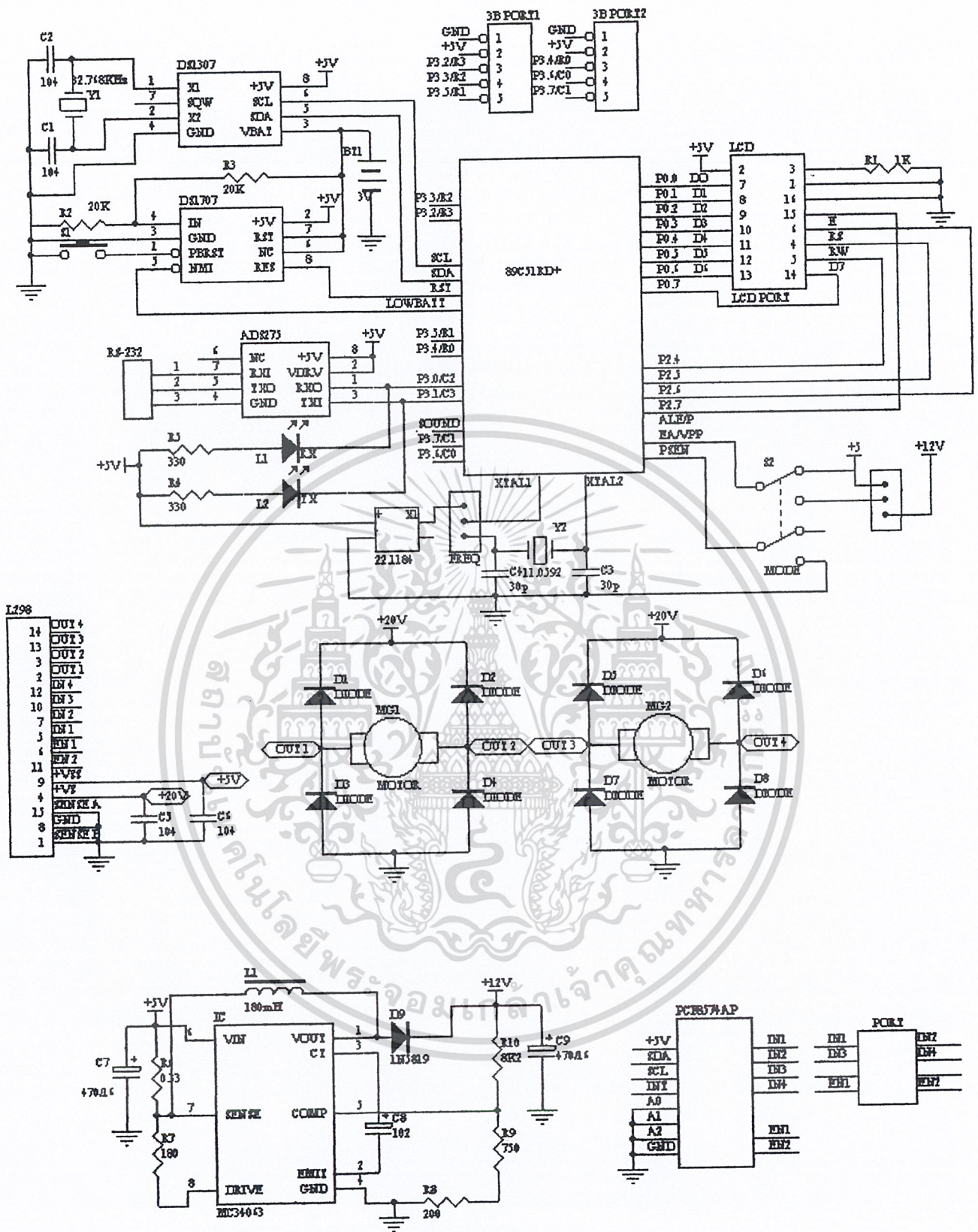
RS-485 (P1.2), 2 LED MONITOR RX-TX RS-232,RS-485

SUPPLY 5 VDC

3.2.5.2 การนำไปใช้งาน มีดังนี้

1. เลือกบรรจุมicrocontroller MCU ที่มีประสิทธิภาพมากในปัจจุบันเบอร์ 89C51RD+ ที่สามารถโปรแกรม Flash Rom ได้ใหม่หลายครั้งโดยไม่จำเป็นต้องถอดตัวชิปออกจากบอร์ดเลย จึงสะดวกสบายในการแก้ไขโปรแกรมเมื่อนำบอร์ดไปติดตั้งใน Plant งานแล้ว เพียงแต่นำ PC ไป Update โปรแกรมผ่านพอร์ตอนุกรม RS – 232 กับบอร์ดเท่านั้น เพียงปรับเลื่อนสวิตช์มาที่ Prog แล้วกดปุ่มรีเซต 1 ครั้ง ตัวชิปจะพร้อมที่จะรับการโปรแกรมใหม่ทันที
2. ใช้ชิป DS1707 ทำหน้าที่รีเซต MCU ช่วง Power ON โดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งสามารถรีเซตผ่านสวิตช์ Push ได้ด้วย นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการตรวจเช็ค Low Batt โดยจะส่งผลการเช็คไปยังพอร์ต P1.1 ของ MCU

3. เชื่อมต่อ LCD ทางพอร์ท P0 และสัญญาณควบคุมทางพอร์ท RW=P2.4, RS=P2.5, E=P2.6 นอกจากนี้ยังรองรับการใช้งานกับ LCD แบบมี Backlight ด้วย ซึ่ง Spec ของ Backlight จะต้องเป็นรุ่น DC 5 โวลท์เท่านั้น จะถูกควบคุมผ่านทางพอร์ท P2.7
4. A/D,D/A บนบอร์ดมีขนาด 8 บิต โดยมี A/D ถึง 4 ช่อง สามารถปรับแรงดันอ้างอิงได้ที่ VR เกือบมาสิฟ้านบนบอร์ด นอกจากนี้ยังมี D/A อีก 1 ช่อง โดยใช้ชิพ PCF8591 ซึ่งอินเตอร์เฟสกับ MCU ผ่าน 2 บิตพอร์ท คือ P1.5=SCL, P1.6=SDA
5. มี RTC ON Board เบอร์ DS1307 ที่เชื่อมต่อได้ เพื่อประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับเวลาความเที่ยงตรง กำหนดด้วยคริสตอล 32.768 กิโลเฮิร์ตซ์ พร้อมแบตเตอรี่ไฟเลี้ยงสำรอง 3 โวลท์ มีอายุการใช้งาน 3 ปี เปลี่ยนง่ายด้วย Socket ได้ PCB เชื่อมต่อเข้า MCU
6. Extended Port ด้วย PCF8574A เพื่อขยายพอร์ทให้กับ MCU เป็นทั้ง I/O ด้วย 12 บิตพอร์ท พร้อม 2 LED (Yellow) และ 2 สวิตช์เพื่อรองรับการใช้งานจากผู้ใช้งานได้ทันที การใช้งานผ่านพอร์ท P1.5=SCL, P1.6=SDA การติดต่อทาง I²C จะใช้ตำแหน่งในการเลือกรับ-ส่งข้อมูล
7. 8x8 พอร์ทใช้คู่เพื่อขับ 7 Segment ได้ 8 หลัก โดยเลือกหลักเป็น BCD ที่พอร์ท P2.0-P2.3 และขับ Segment ผ่าน P0 ควบคุมสัญญาณคล็อกในการแลท 74HC374 พอร์ท P1.0
8. 3 บิตพอร์ท ในบอร์ดนี้จะมี 3 บิตพอร์ทถึง 2 พอร์ท ซึ่งจะเชื่อมต่อโดยตรงกับขา MCU ให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้อย่างอิสระที่พอร์ท 3 บิตพอร์ท(1) P3.2, P3.3, P3.5 และ 3 บิตพอร์ท(2) P3.4, P3.6, P3.7
9. RS-485, RS-232 เป็นพอร์ทสื่อสารอนุกรมเพื่อใช้สื่อสารระหว่างบอร์ดกับ PC โดยใช้ผ่าน RS-232 กับชิพเบอร์ DS275 ในกรณีที่จะโปรแกรมชิพ 89C51RD+ ก็จะใช้พอร์ท RS-232 นี้เช่นกัน มี LED แสดงสถานะการรับส่ง หากต้องการใช้งาน RS-485 ให้ใช้ชิพเบอร์ 75176 หรือ MAX3082 โดย P1.2 จะเป็นพอร์ทควบคุมทิศทางกรรับส่ง "1"=TX, "0"=RX ซึ่งจะมี LED สีแดงแสดงสถานะรับส่งข้อมูลของ RS-485 ด้วยการรับส่งข้อมูลด้วยพอร์ท RS-485 มีระยะทางการสื่อสารได้ไม่เกิน 1.2 กิโลเมตรและแท็ปจุลรับส่งข้อมูลได้ 256 จุดสูงสุด
10. SPEAKER ON BOARD พร้อมใช้งานที่พอร์ท P1.7 เพื่อกำเนิดเสียงตามแต่ผู้ใช้จะกำหนดใช้งาน และสามารถตรวจเช็ค LOWBATT ได้ที่พอร์ท P1.1 ซึ่งต่อมาจากขา 5 ของ IC เบอร์ DS1707 เป็นเอาท์พุทเช็คสถานะของแบตเตอรี่ Back-Up 3 โวลท์ ถ้าสถานะ "1" แสดงว่าปกติ แต่ถ้าสถานะ "0" หมายถึง LOWBATT
11. รองรับ Speed เดิมที่ความถี่ 11.0592 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยถอดคริสตอล 22.1184 เมกกะเฮิร์ตซ์ ออกจะเห็นจุดใส่คริสตอล 11.0592 เมกกะเฮิร์ตซ์ และ C 30 พิคโกฟารัด และบัคกรีจิมพ์ ได้ปรับที่ไปที่ x1 (เดิมบัคกรีจิมพ์ไว้ที่ x2)
12. รองรับ CPU เบอร์ 89C51RD2 ด้วยเพียงบัคกรีจิมพ์ไปที่ RD2 เท่านั้น จากฮาร์ดแวร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด สามารถนำมาเชื่อมต่อ ไปวงจรเดิวคังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรการเชื่อมต่อทั้งหมดในส่วนของฮาร์ดแวร์อิเล็กทรอนิกส์

3.3 ฮาร์ดแวร์ทางกล

ฮาร์ดแวร์ทางกล ฮาร์ดแวร์ทางกลประกอบไปด้วยชุดต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 งานรับสัญญาณดาวเทียม

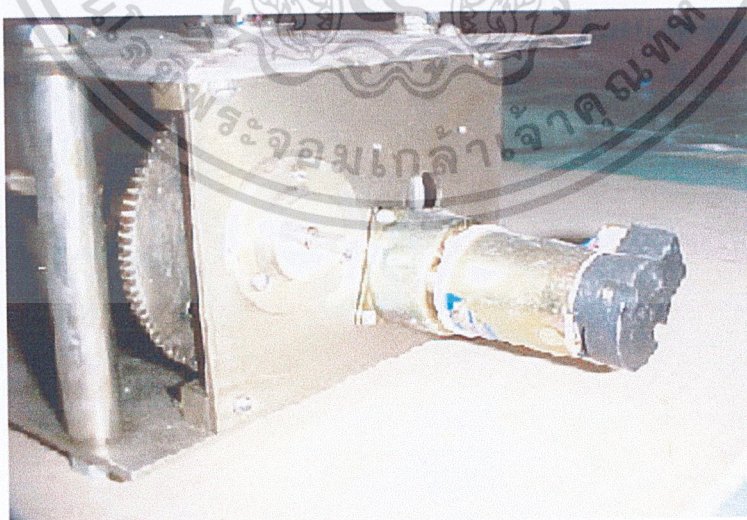
งานรับสัญญาณดาวเทียมตามรูปที่ 3.11 ส่วนนี้จะติดตั้งอยู่บนชุดมอเตอร์ปรับมุมเงย (Elevation Angle) งานดาวเทียมที่เลือกใช้ใช้นั้น เป็นงานดาวเทียมยูบีซี (UBC) ขนาดเล็ก มีขนาดเพียง 45 เซนติเมตร ทำให้มีมุมในการรับกว้าง ง่ายต่อการปรับหาดาวเทียม อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบา ในส่วนของงานรับสัญญาณดาวเทียมจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ตัวงานรับสัญญาณดาวเทียม กับ อุปกรณ์รวมสัญญาณ (LNBF) ดังรูปที่ 3.11



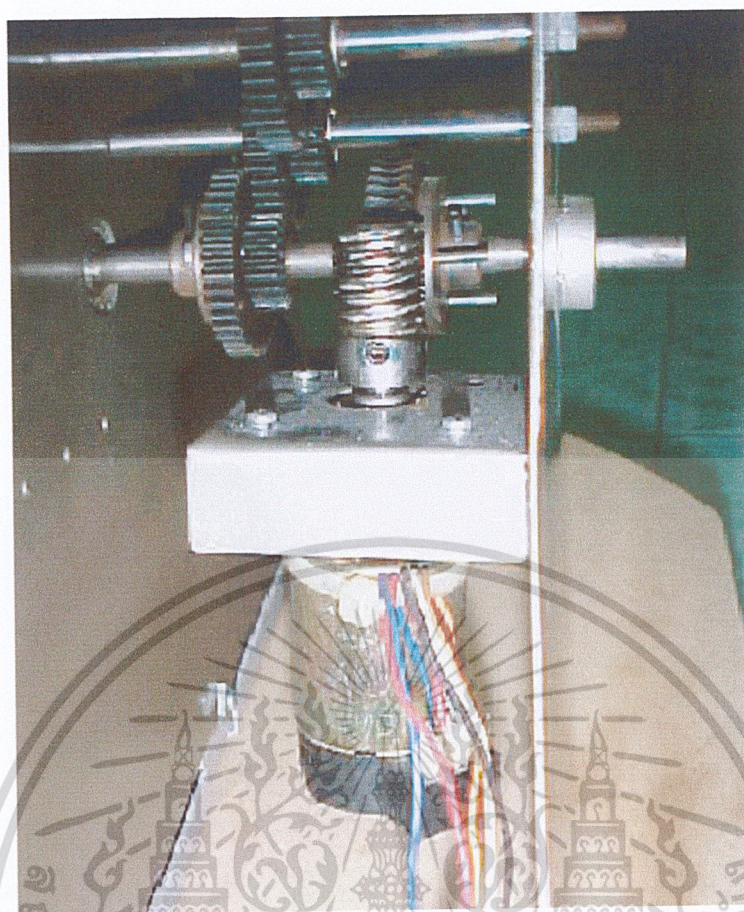
รูปที่ 3.11 แสดงงานรับสัญญาณดาวเทียมและอุปกรณ์รวมสัญญาณ

3.3.2 ชุดมอเตอร์ปรับมุมเงย และชุดมอเตอร์ปรับมุมซ้าย

ชุดมอเตอร์ปรับมุมเงยจะติดตั้งอยู่บนชุดมอเตอร์ปรับมุมซ้าย (Azimuth Angle) ติดตั้งอยู่กับชุดเฟืองทอรอบเพื่อเพิ่มแรงบิดในการยกงาน โดยใช้มอเตอร์ดีซี 24 โวลต์เป็นตัวขับเคลื่อน ส่วนชุดปรับมุมซ้ายจะใช้มอเตอร์ดีซี 24 โวลต์เป็นตัวขับเคลื่อนเช่นเดียวกัน โดยติดตั้งอยู่บนฐานและใช้ชุดเฟืองหนอนเป็นตัวส่งกำลังในการขับเคลื่อนดังแสดงในรูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 แสดงชุดมอเตอร์ปรับมุมซ้าย



รูปที่ 3.13 แสดงชุดมอเตอร์ปรับมุมเงย

3.4 ส่วนประกอบทางซอฟต์แวร์

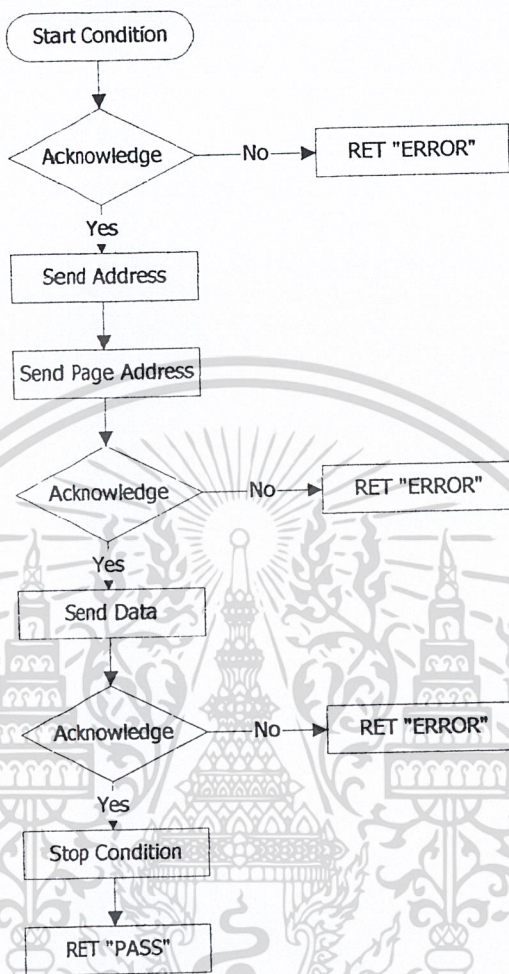
ส่วนประกอบทางซอฟต์แวร์เป็น โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งจะใช้ค่าพิกัดตำแหน่งจากสถานีรับภาคพื้นดิน ในที่นี้จะใช้ตำแหน่งพิกัดของประเทศไทยคือ ที่ตำแหน่งมุมเงย $13.38.96$ N มุมสาย $100.29.54$ E เป็นตัวอ้างอิง เนื่องจากไม่ว่าจะอยู่ส่วนไหนของประเทศไทยตำแหน่งพิกัดภาคพื้นดินที่มองไปยังดาวเทียมต่างกันเพียงเล็กน้อย และรับค่าพิกัดตำแหน่งของดาวเทียม ณ ตำแหน่งลองติจูดที่ดาวเทียมค้างฟ้าแต่ละดวงโคจรอยู่ โดยทำการป้อนพิกัดดาวเทียมจากคีย์บอร์ดหรือจะใช้ข้อมูลตำแหน่งของสถานีรับจากที่ได้ทำการโปรแกรมไว้แล้วในหน่วยความจำภายใน ซึ่งเป็นตำแหน่งของดาวเทียมไทยคม 2 และไทยคม 3 เมื่อทำการป้อนค่าพิกัดดาวเทียมแล้ว จะถูกนำไปคำนวณ ตามสูตรคำนวณเพื่อหาค่ามุมสายและมุมเงย ซึ่งรายละเอียดของสูตรที่ใช้ในการคำนวณได้มีการแสดงไว้ในบทที่ 2 ทางด้านเอาท์พุทจะแสดงค่าของมุมสาย, มุมเงยและข้อมูลของดาวเทียมดวงที่กำลังรับบางส่วนออกทางจอแอลซีดี คอนโทรลเลอร์จะทำการควบคุมให้ชุดขับสัญญาณขับให้ชุดมอเตอร์ปรับมุมสายและมุมเงยปรับค่าให้ได้ตามที่ได้จากการประมวลผล

3.5 โปรแกรมควบคุมการทำงานต่าง ๆ

โปรแกรมควบคุมการทำงานต่าง ๆ จะแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ดังต่อไปนี้

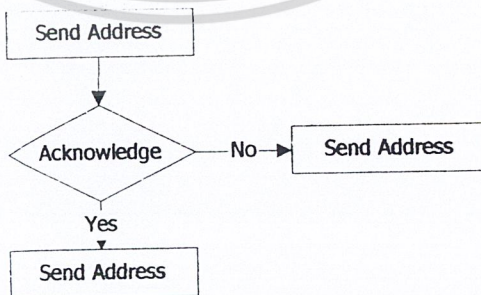
3.5.1 โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานของ I²C BUS Interface

รายละเอียดโดยย่อของ I²C BUS Interface ได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อที่ 2.12 ซึ่งจะมีลักษณะการเขียนโปรแกรมติดต่อดังรูปที่ 3.14, รูปที่ 3.16, รูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17



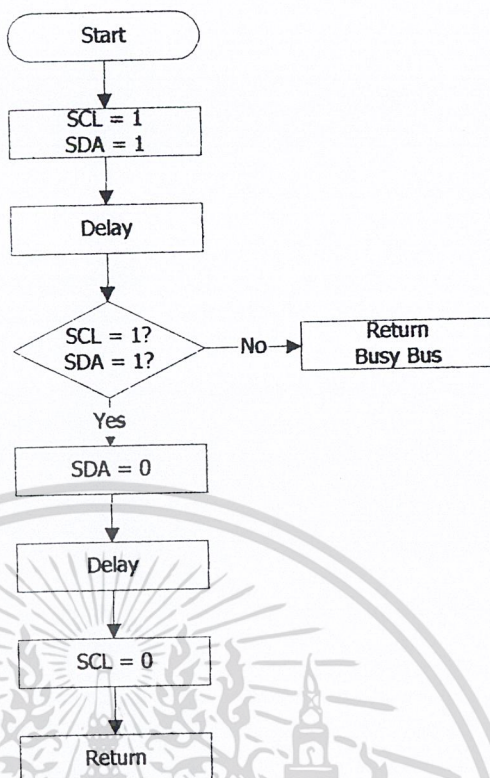
รูปที่ 3.14 โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานของ I²C BUS Interface

3.5.1.1 โฟลว์ชาร์ทในเงื่อนไขของการตอบรับ



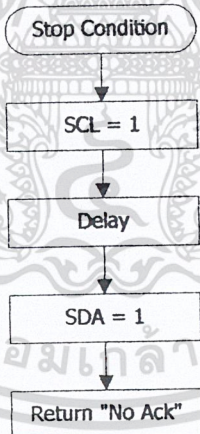
รูปที่ 3.15 Acknowledge Condition

3.5.1.2 โฟลว์ชาร์ตในเงื่อนไขของการเริ่มต้น



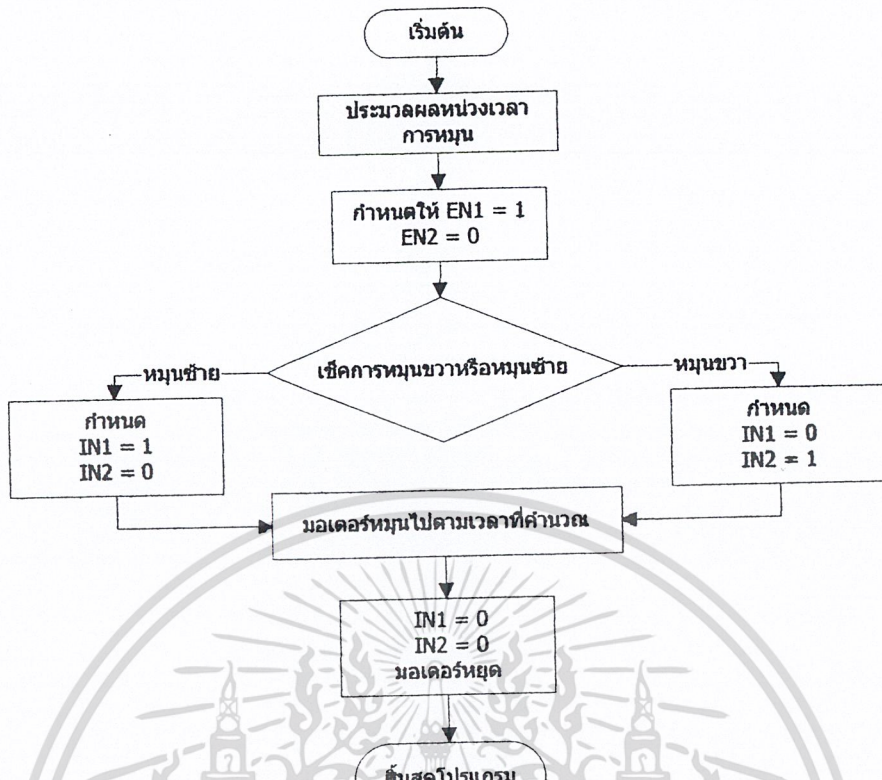
รูปที่ 3.16 Start Condition

3.5.1.3 โฟลว์ชาร์ตในเงื่อนไขของการหยุด



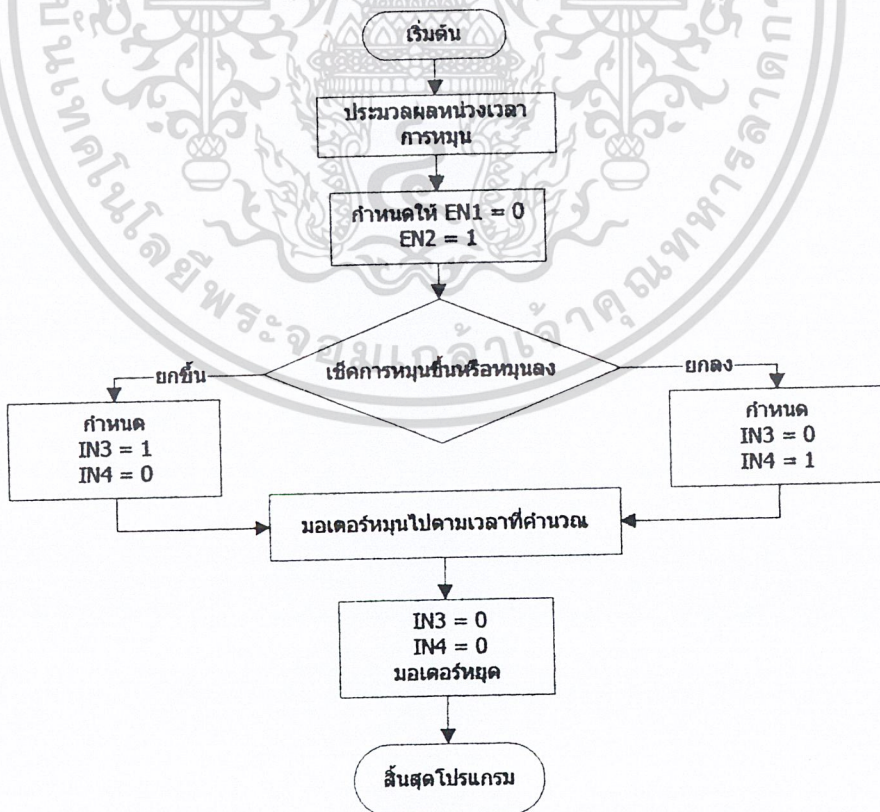
รูปที่ 3.17 Stop Condition

3.5.2 ไฟล์ชาร์ตการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ปรับมุมสาย



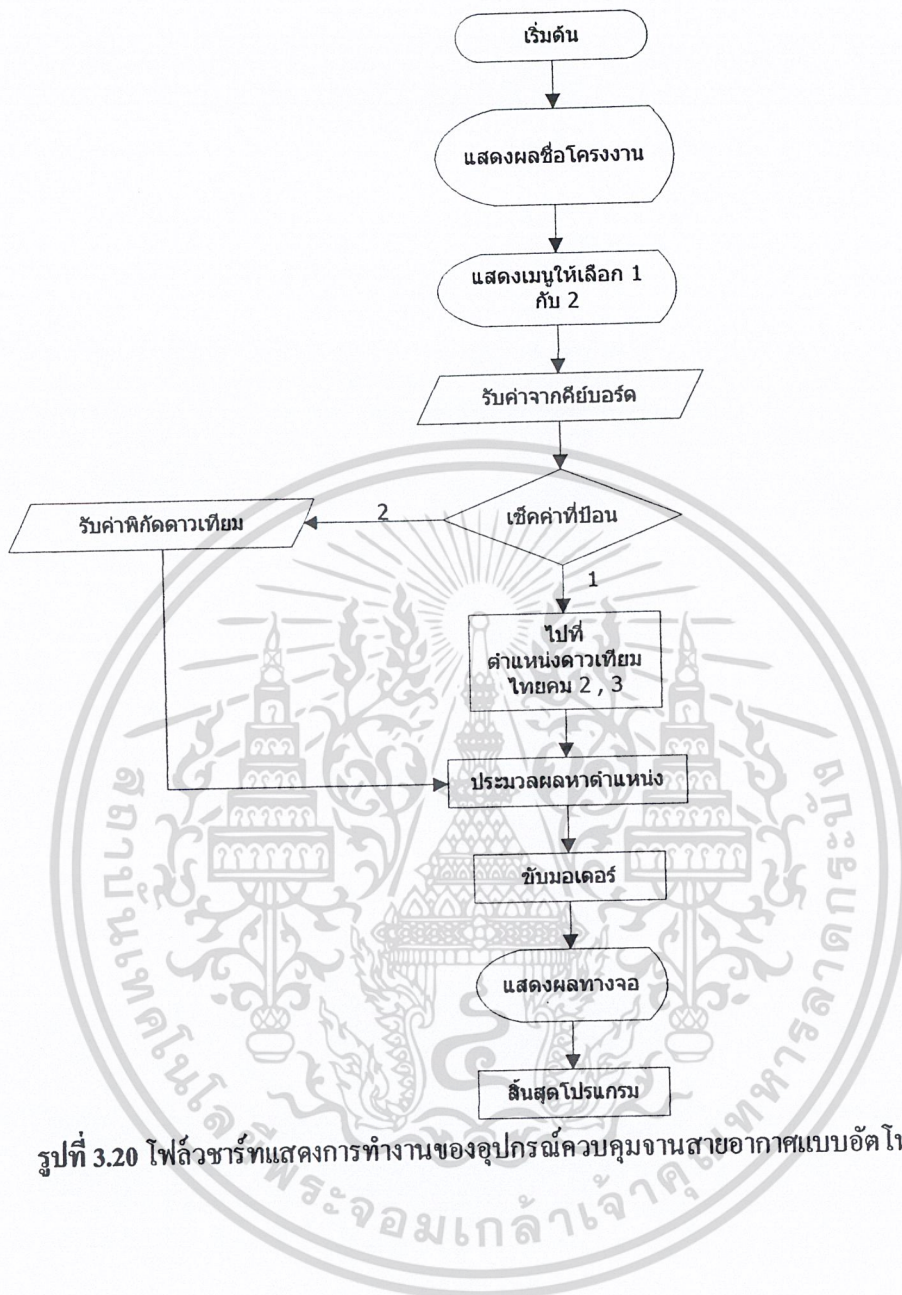
รูปที่ 3.18 แสดงไฟล์ชาร์ตการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ปรับมุมสาย

3.5.3 ไฟล์ชาร์ตการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ปรับมุมเงย



รูปที่ 3.19 แสดงไฟล์ชาร์ตการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ปรับมุมเงย

3.5.4 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของระบบควบคุมงานสายอากาศแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.20 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของระบบควบคุมงานสายอากาศแบบอัตโนมัติ

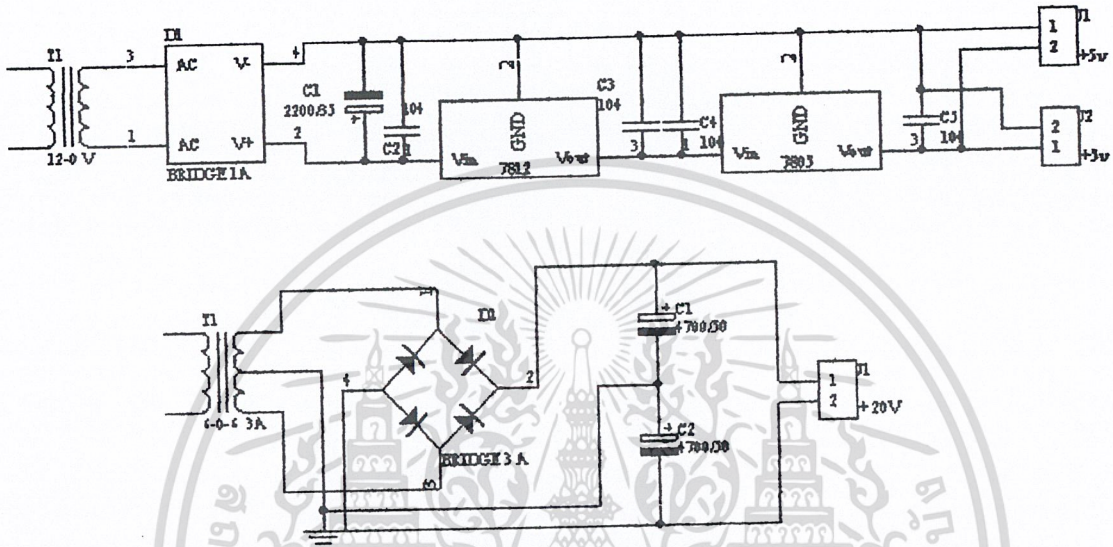
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในโครงการนี้จะประกอบไปด้วยหลายส่วนวงจรด้วยกัน ส่วนที่ได้ทำการทดลองมีดังนี้ คือ

4.1 วงจรภาคจ่ายไฟ

ในวงจรภาคจ่ายไฟจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ป้อนให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้แรงดันไฟ +5 โวลต์กับส่วนที่จ่ายให้กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ใช้แรงดันไฟ +20 โวลต์ การทดสอบวงจรภาคจ่ายไฟแสดงการต่อวงจรดังรูปที่ 4.1 และบันทึกค่าแรงดันที่ได้ของเอาต์พุตลงในตารางที่ 4.1

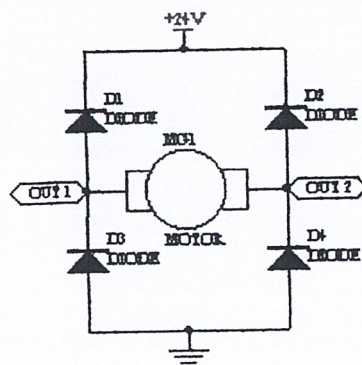


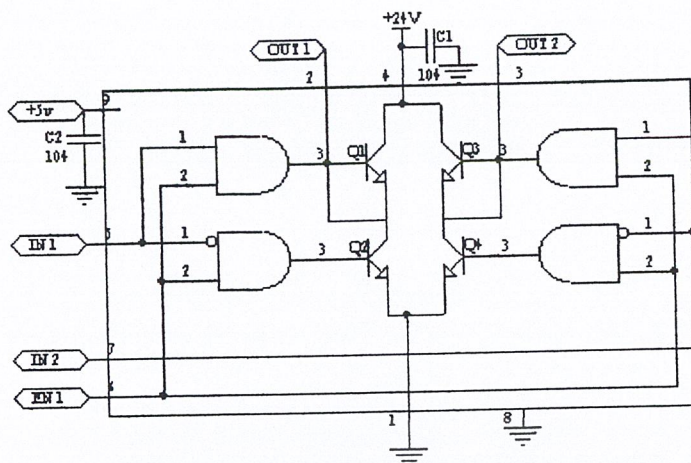
รูปที่ 4.1 วงจรภาคจ่ายไฟที่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรภาคไดร์เวอร์ ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองภาคจ่ายไฟ

ตำแหน่งที่ทำการวัด	เอาต์พุตทางทฤษฎี	เอาต์พุตที่วัดได้
+20 โวลต์	+12 โวลต์	+19.9 โวลต์
+5 โวลต์	+5 โวลต์	+5.02 โวลต์

4.2 วงจรชุดขับเคลื่อนมอเตอร์

ในส่วนนี้จะใช้พัลส์ที่ป้อนเข้ามาไปควบคุมการหมุนของมอเตอร์ จะทำการทดลองเพื่อผลลัพธ์ออกจากไอซี L298





รูปที่ 4.2 แสดงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ควบคุมมอเตอร์จากไอซี L298

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดเอาต์พุตที่ได้จากไอซี L298

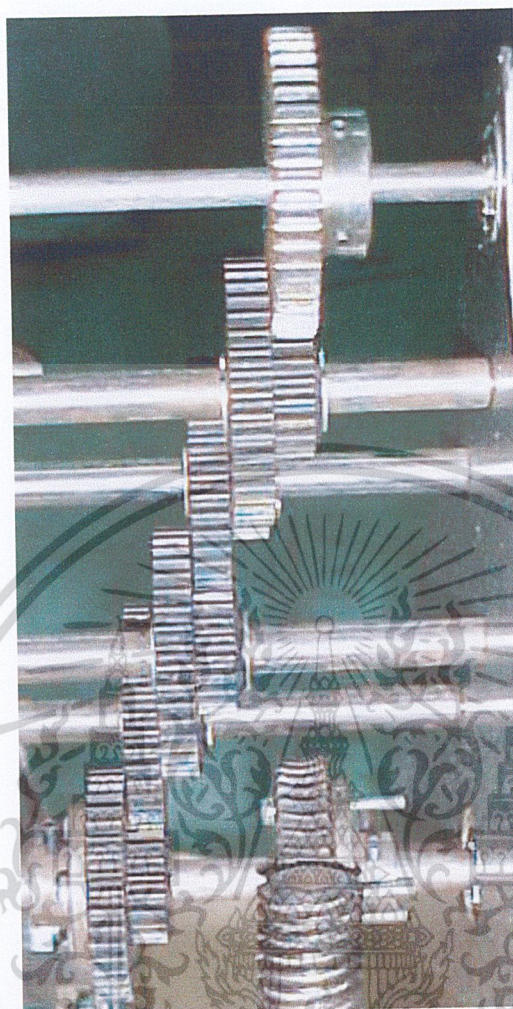
EN 1	IN 1	IN 2	OUT 1	OUT 2	FUNCTION
H	H	L	0 โวลต์	23.8 โวลต์	TURN RIGHT
H	L	H	23.8 โวลต์	0 โวลต์	TURN LEFT
H	H	H	23.8 โวลต์	23.8 โวลต์	FAST MOTOR STOP
H	L	L	0 โวลต์	0 โวลต์	FAST MOTOR STOP
L	H	H	1.3 โวลต์	1.3 โวลต์	FREE RUNNING MOTOR
L	L	L	1.3 โวลต์	1.3 โวลต์	STOP

4.3 การทดลองในส่วนของคุณปรับมุมและคุณปรับมุมสาย

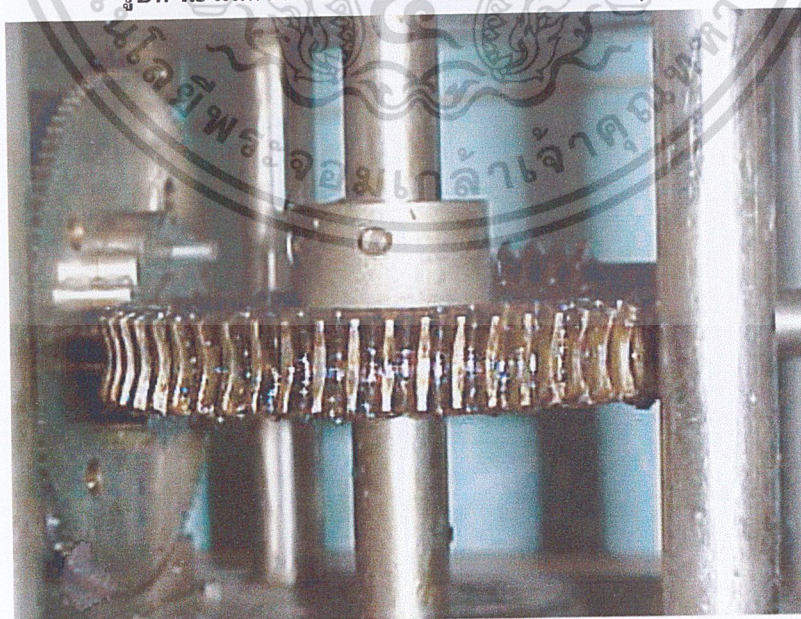
ได้ทำการออกแบบในส่วนของคุณมุมนี้ คือ ใช้เฟืองทดรอบทั้งหมด 6 ตัว มีอยู่ 5 ตัวที่มีจำนวนซี่เฟืองเท่ากันคือ รอบนอก 42 ซี่ รอบใน 21 ซี่ โดยที่ตัวบนเฟืองรอบนอก 42 ซี่ จะขับเฟืองรอบใน 21 ซี่ ของตัวล่าง เพื่ออีกตัวใช้เฟือง 45 ซี่ ซึ่งจะติดอยู่กับแกนมุม และ มีเฟืองตัวหนอน 1 ตัวติดอยู่ที่มอเตอร์เพื่อใช้ในการขับเฟือง มอเตอร์จะขับเฟืองตัวล่างไปยังตัวบนขึ้นไปเรื่อย ๆ ซึ่งผลที่คำนวณออกมาคือ มอเตอร์หมุนไป 1 รอบ สามารถปรับให้มุมแยก ยกขึ้นไปได้ประมาณ 0.5 องศา ดังรูปที่ 4.3 ส่วนการออกแบบในส่วนของคุณสายนั้น ใช้เฟืองที่ติดกับมอเตอร์ 16 ซี่ ไปขับเฟืองที่ติดอยู่กับแกนเฟืองตัวหนอน มีจำนวนซี่เฟืองเท่ากับ 96 ซี่ ส่วนเฟืองตัวหนอนจะไปขับเฟืองที่เป็นตัวปรับมุมสายอีกที เฟืองที่ใช้ปรับมุมสายนั้นจะใช้จำนวน 60 ซี่ ซึ่งผลที่ออกมาคือ มอเตอร์หมุนไป 1 รอบจะสามารถกวาดมุมสายได้ 1 องศา ดังรูปที่ 4.4 ส่วนผลของจำนวนรอบเทียบกับองศาแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของจำนวนรอบของมอเตอร์ต่อหน่วยองศา

จำนวนรอบของมอเตอร์	องศาที่ปรับไป
1 รอบ	มุมแยก 0.5 องศา
1 รอบ	มุมสาย 1 องศา



รูปที่ 4.3 แสดงเฟืองที่ได้ออกแบบไว้สำหรับปรับมุม



รูปที่ 4.4 แสดงเฟืองที่ได้ออกแบบไว้สำหรับปรับมุมสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองแต่ละวงจรพบว่า สามารถนำไปใช้งานจริงได้ ซึ่งผลออกมาไม่คลาดเคลื่อนตามทฤษฎีมากนัก ส่วนมอเตอร์ได้ทำการทดสอบการรับน้ำหนักของมอเตอร์ พบว่าสามารถที่จะรองรับน้ำหนักของชุดเฟืองทดและน้ำหนักของจานดาวเทียมได้ดี ส่วนความเร็วของการหมุนนั้น พบว่าเมื่อใช้แรงดันประมาณ 20 โวลต์ มอเตอร์หมุนปรับมุมสายและมุมเงยช้ามาก ซึ่งเป็นไปตามที่ต้องการที่ได้ออกแบบไว้

5.2 บทวิจารณ์

หลังจากที่ได้จัดทำโครงการทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เสร็จแล้วได้ทำการทดสอบการทำงาน พบว่ายังมีปัญหาเกิดขึ้นซึ่งต้องปรับปรุงแก้ไขดังนี้ คือ

5.2.1 ปัญหาในเรื่องของแหล่งจ่ายไฟ

เนื่องจากเลือกใช้ซีดีมอเตอร์ จึงมีความเกี่ยวข้องกับแรงดันโดยตรง ซึ่งในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้หมุนและหยุดตรงตำแหน่งที่ต้องการนั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่างที่ใช้ คือ แรงดันไฟ 20 โวลต์และเวลาที่ใช้นั่งวงให้มอเตอร์หมุนไป หากแรงดันสูงขึ้น จะทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น เวลาในการหมุนก็จะลดลง ปัญหานี้ได้เกิดขึ้นเมื่อได้ทำการทดสอบ พบว่าบางครั้งไฟบ้านที่จ่ายนั้นปกติจะอยู่ในช่วง 220-240 โวลต์ แต่ได้ทำการตรวจวัดดูในช่วงเวลากลางคืน ดึกมาก ๆ พบว่าแรงดันที่จ่ายเข้ามาผิดปกติมาก นั่นคือ 360 โวลต์ ทำให้มีแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์สูงขึ้น มอเตอร์ก็จะหมุนเร็วขึ้น โปรแกรมการหมุนเวลายังคงเท่าเดิม เกิดปัญหาทำให้มอเตอร์หมุนเกินตำแหน่ง อีกทั้งอุปกรณ์บางชิ้นไม่สามารถทนแรงดันที่เกินนี้ได้ จึงเกิดความเสียหาย ปัญหานี้หลีกเลี่ยงได้โดยการหยุดการทดสอบ จนกว่าแรงดันที่จ่ายเข้ามาเป็นปกติ

5.2.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากตรวจชิ้นงาน พบว่ามีปัญหาเกิดขึ้น คือ

5.2.2.1 ปัญหาจากการเลือกใช้มอเตอร์

ได้เลือกใช้ซีดีมอเตอร์ในการหมุนปรับมุมสายกับมุมเงยและใช้การหมุนเวลาไปที่ละหนึ่งรอบ มอเตอร์นั้น ทำให้มีปัญหาเกิดขึ้น คือ การหมุนแล้วหยุดตามการหมุนเวลาในแต่ละครั้ง จะไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้มอเตอร์หมุนไม่ครบรอบ เกิดความผิดพลาดสะสมไปเรื่อย ๆ ตำแหน่งที่ต้องการทำการปรับก็จะผิดตำแหน่งไป เนื่องจากมอเตอร์ซีดี ในสถานะการป้อนไฟเข้าไปแต่ละครั้ง จะมีแรงบิดที่ไม่เท่ากันทุกครั้ง

แนวทางในการปรับปรุงแก้ไข คือ ควรใช้สเต็ปปีงมอเตอร์ในการปรับมุมสายและมุมเงย ทำให้สามารถควบคุมมอเตอร์ได้เป็นสเต็ป ๆ ไป ซึ่งจะช่วยให้การปรับมุมมีความเที่ยงตรงมากขึ้น ส่วนในภาคขับมอเตอร์นั้นยังสามารถที่จะใช้ L298 ควบคุมมอเตอร์ได้แต่ต้องมีการดัดแปลงบ้าง สามารถดูได้ที่ภาคผนวก

5.3.2.2 ปัญหาในส่วนที่คาดไม่ถึง

ปัญหาส่วนนี้ได้รับคำแนะนำมาจากท่านอาจารย์ผู้ตรวจชิ้นงาน ซึ่งเป็นปัญหาที่ผู้จัดทำไม่คาดถึง คือ ในการปรับหาตำแหน่งดาวเทียมนั้น จำเป็นจะต้องมีในส่วนของวงจรติดตามดาวเทียมหรือวงจร

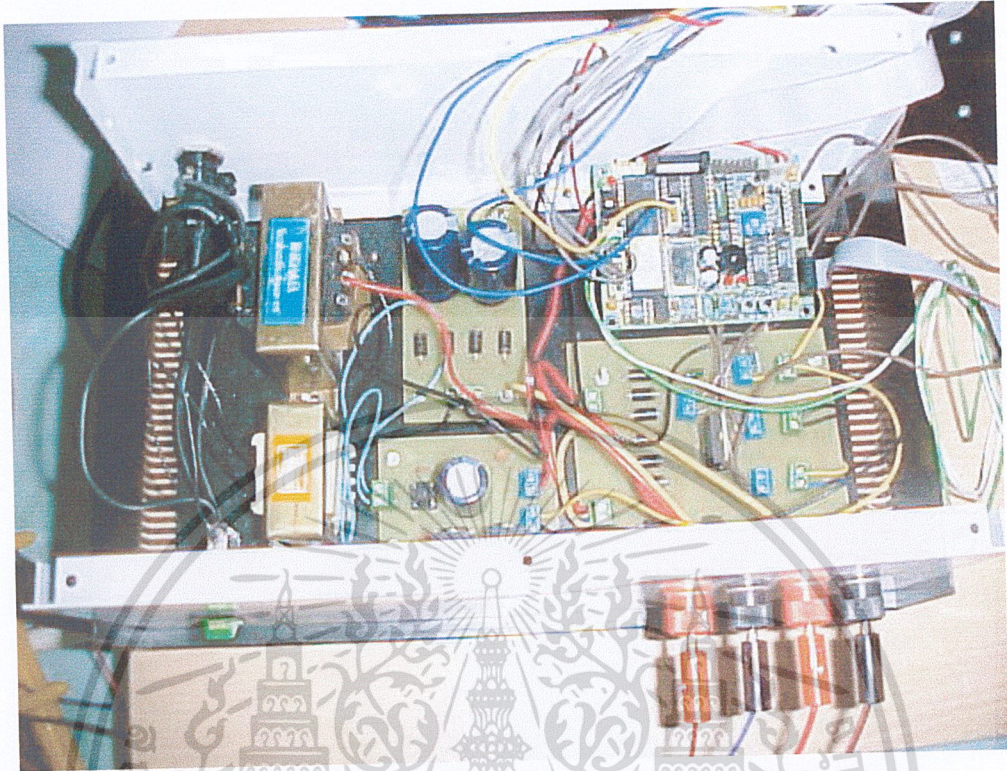
เปรียบเทียบความแรงของสัญญา เนื่องจากดาวเทียมมิได้โคจรอยู่ตรงตำแหน่งจริง แต่จะเลื่อนไปเล็กน้อย จึงจำเป็นจะต้องมีในส่วนของวงจรเปรียบเทียบความแรงของสัญญา เพื่อให้สามารถรับสัญญา ดาวเทียมได้ชัดเจน ปัญหาอีกส่วน คือในการปรับค้นหาสัญญาณดาวเทียมนั้น หากมีการค้นหาไม่พบควรมีการค้นหาใหม่ พร้อมทั้งแจ้งสถานะของการค้นหาด้วย



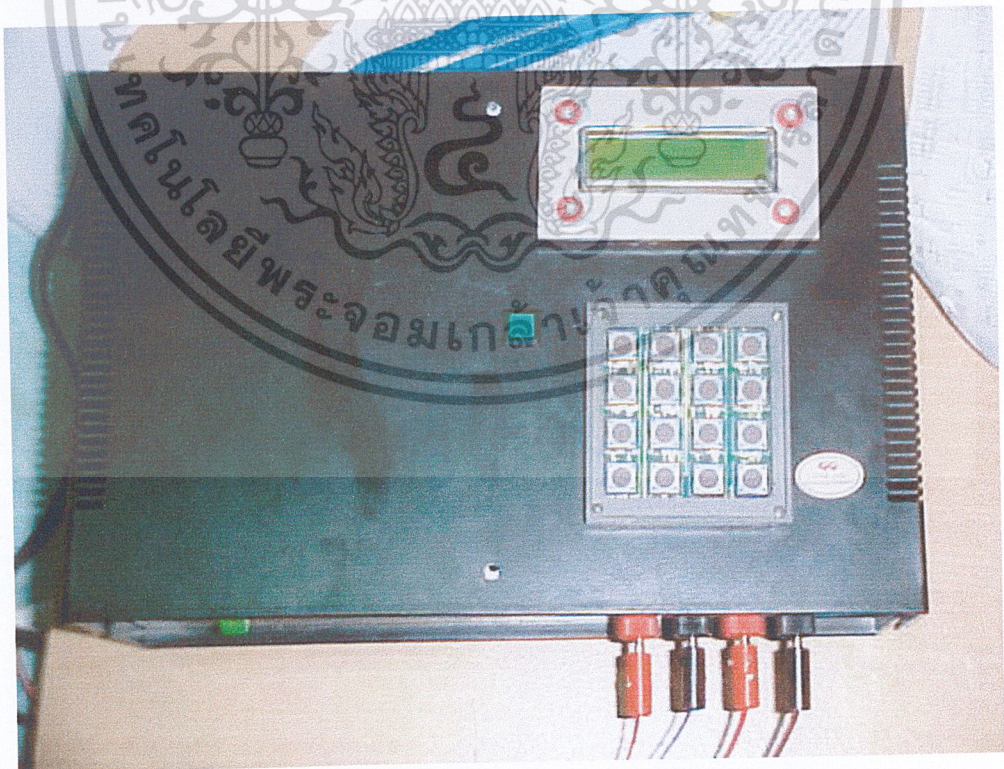
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงภายในชุดควบคุมงานสายอากาศแบบอัตโนมัติ



รูปแสดงภายนอกชุดควบคุมงานสายอากาศแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการโทรทัศน์ที่รับชมได้ด้วยจานดาวเทียมที่ประเทศไทย

ดาวเทียม	ช่อง	รายการ	POL/FREQ	SYMBOLRATE	ประเภทรายการ	ประเทศ
THAICOM 2&3 78.5 E	1	TGN	H - 3600	26662	ทั่วไป	ไทย
	2	NAHARISHI	H - 3600	26662	การศึกษา	อินเดีย
	3	GURJARI	H - 3600	26662	ทั่วไป	อินเดีย
	4	LASHKARA TV	H - 3600	26662	ทั่วไป	อินเดีย
	5	SKAI	H - 3600	26662	ทั่วไป	กรีซ
	6	TRT	H - 3600	26662	ทั่วไป	ตุรกี
	7	MAGA CHANNEL	H - 3600	26662	N/C	N/C
PAS - 4 68.5 E	8	NHK PAL	H - 4034	26470	ทั่วไป	ญี่ปุ่น
	9	NHK NTSC	H - 4034	26470	ทั่วไป	ญี่ปุ่น
	10	MAHARISHI	V - 3932	19997	การศึกษา	อินเดีย
INSAT2E 83.5 E	11	DD1	V - 3831	6000	ทั่วไป	อินเดีย
	12	DD2	V - 3911	6000	ทั่วไป	อินเดีย
ST1 88 E	13	OPEN	H - 3441	5800	ทั่วไป	จีน
	14	CHANNEL ONE	H - 3550	19700	ทั่วไป	จีน
	15	CHANNEL FOUR	H - 3550	19700	ทั่วไป	จีน
	16	CHANNEL FIVE	H - 3550	19700	ทั่วไป	จีน
	17	CHANNEL SIX	H - 3550	19700	ทั่วไป	จีน
ASIASAT 2 100.5 E	18	HENAN	H - 3706	4418	ทั่วไป	จีน
	19	QINGHAI	H - 3713	4418	ทั่วไป	จีน
	20	FUJIAN	H - 3720	4418	ทั่วไป	จีน
	21	JIANGXI 1	H - 3727	4418	ทั่วไป	จีน
	22	LIAONING	H - 3734	4418	ทั่วไป	จีน
	23	WORDNET	H - 3765	6100	ข่าว	อเมริกา
	24	REUTERS	H - 3774	5632	ข่าว	สิงคโปร์
	25	SATLINK ISRA	H - 3786	5632	*	อิสราเอล
	26	APTN	H - 3800	5632	ข่าว	อเมริกา
	27	SAUDI CH1	H - 3811	3905	ทั่วไป	ซาอุดีอาระเบีย
	28	NMTV	H - 3829	8398	ทั่วไป	มองโกเลีย
	29	GUANG DONG	H - 3840	4415	ทั่วไป	จีน
	30	HUNAN	H - 3847	4415	ทั่วไป	จีน
	31	HUBEI	H - 3853	4418	ทั่วไป	จีน
	32	DW	H - 4000	28125	ทั่วไป	เยอรมัน
	33	TVE	H - 4000	28125	ทั่วไป	สเปน
	34	MCM	H - 4000	28125	เพลง	ฝรั่งเศส
35	RAI	H - 4000	28125	ทั่วไป	อิตาลี	
36	TV5	H - 4000	28125	ทั่วไป	ฝรั่งเศส	
37	SAUDI CH1	V - 3661	7138	ทั่วไป	ซาอุดีอาระเบีย	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการโทรทัศน์ที่รับชมได้ด้วยจานดาวเทียมที่ประเทศไทย (ต่อ)

ASIASAT 2 100.5 E	38	MYAWADY TV	V - 3766	5080	ทั่วไป	พม่า
	39	TAL VID (FASHION)	V - 3795	2533	แฟชั่น	ฝรั่งเศส
	40	GUANGXI TV	V - 3806	4418	ทั่วไป	จีน
	41	SHANNXI TV	V - 3813	4418	ทั่วไป	จีน
	42	ANHUI TV	V - 3820	4418	ทั่วไป	จีน
	43	JIANGSU TV	V - 3827	4418	ทั่วไป	จีน
	44	HEI LONG JIANG	V - 3834	4418	ทั่วไป	จีน
	45	SATELLITE CHAN	V - 3875	4418	ทั่วไป	จีน
	46	TVSN	V - 4033	4298	ทั่วไป	สิงคโปร์
SIASAT3S 105.5	47	ARIRANG TV	V - 3755	4418	ทั่วไป	เกาหลี
ALABA B2R 108	48	ANTEVE	V - 3754	6000	ทั่วไป	อินโดนีเซีย
SINOSAT 110 E	49	SHANGHAI TV	V - 4106	6200	ทั่วไป	จีน
PALAPA C2 113 E	50	RCTI	V - 3473	8000	ทั่วไป	อินโดนีเซีย
	51	INDOSIAR CH	V - 4073	6500	ทั่วไป	อินโดนีเซีย
	52	TPI	V - 4185	6700	ทั่วไป	อินโดนีเซีย
THAICOM 1 120 E	53	ITV	V - 3945	6000	ทั่วไป	ไทย
	54	LAPS TV	V - 3846	3033	ทั่วไป	ลาว
JCSAT 3 128 E	55	TBN	V - 3996	13000	ทั่วไป	อเมริกา
APSTAR 1A 134 E	56	XINJIANG 1	H - 4120	27500	ทอล์กโชว์	ทิเบต
	57	XINJIANG 2	H - 4120	27500	ทั่วไป	ทิเบต
	58	XINJIANG 3	H - 4120	27500	ทั่วไป	ทิเบต
	59	NINGXIA TV	V - 3731	6930	ทั่วไป	จีน
	60	HAINAN TV	V - 3745	6930	ทั่วไป	จีน
	61	GANSU TV	V - 3769	6930	ทั่วไป	จีน
	62	CHONGQING TV1	V - 3779	6930	ทั่วไป	จีน
APSTAR 1 138 E	63	MTV 5,6,7,8	V - 3860	30000	เพลง	อเมริกา
	64	REUTER LONDON	V - 3742	5632	ข่าว	ลอนดอน
	65	COSMOS TV	V - 3885	4444	ทั่วไป	จีน
AGILA 2 146 E	66	KAS TV	H - 3948	6750	ทั่วไป	เกาหลี
PAS - 8 166 E	67	NHK	H - 4060	26470	ทั่วไป	ญี่ปุ่น
	68	CNN	H - 3780	24990	ข่าว	อเมริกา
PAS - 1 169 E	69	CNBC	V - 4093	29473	ทั่วไป	สิงคโปร์
	70	CCTV 3	V - 3716	19850	ทั่วไป	จีน
	71	CCTV 4	V - 3716	19850	ทั่วไป	จีน
	72	CCTV 9	V - 3716	19850	ทั่วไป	จีน
	73	ANTENNA	V - 3778	13330	ทั่วไป	กรีซ
	74	LBC	V - 3778	13330	ทั่วไป	ออสเตรเลีย
	75	ART	V - 3778	13330	ทั่วไป	อาหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการโทรทัศน์ที่รับชมได้ด้วยงานดาวเทียมที่ประเทศไทย (ต่อ)

PAS - 1 169 E	76	RAI	V - 3778	13330	ทั่วไป	อิตาลี
	77	BBC	V - 3743	21800	ข่าว	อังกฤษ
	78	CMT	H - 3901	30800	มิวสิค	อเมริกา
	79	BLOOMBERQ	H - 3901	30800	ข่าว	ลอนดอน
	80	MTA	H - 3901	30800	ทั่วไป	มุสลิม
	81	MM1P1 (CMT)	H - 3901	30800	มิวสิค	อเมริกา
	82	BBC	H - 3901	30800	ข่าว	อังกฤษ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#pragma code symbols

#include <REG252.h>
#include <absacc.h>
#include <ctype.h>
#include <intrins.h>
#include <math.h>
#include <stdarg.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

/***** I/O PORT *****/

char scancode[4] = {0xef,0xdf,0xbf,0x7f};
char keymap[4][4] = {'E','Y','O','D','U','6','5','4',
                    'N','9','8','7','C','3','2','1'};

sbit  IP5CL = P1^5;
sbit  IP5DA = P1^6; // I2C bus for PCF8574A

#include <i2c_bus.h>

sfr  KEY_PORT = 0xb0; // define keyboard port
sfr  LCD_DATA = 0x80; // define LCD control port/bit

sbit  LCDRW = P2^4;
sbit  LCDRS = P2^5;
sbit  LCDEN = P2^6;

sbit  SOUNDB = P1^7; // define Sound bit

bit b;
unsigned int temp_int,Encoder_Position,R,i;
unsigned char xdata *add;
unsigned char temp_char,temp_string[7],temp_string1[1],
temp_string2[3],N,Xi,a,t,err,err_1,err_2;
float Station_Latitude,Station_Longitude,
Sub_Satellite,EL,AZ,temp_float;

/***** CLEAR ALL STRING FUNCTION *****/
void clear_string(void) {
temp_string[0]=' ';
temp_string[1]=' ';
temp_string[2]=' ';
temp_string[3]=' ';
temp_string[4]=' ';
temp_string[5]=' ';
temp_string[6]=' ';
temp_string[7]='\0';
temp_string1[0]=' ';
temp_string2[1]=' ';
temp_string2[2]=' ';
temp_string2[3]='\0';
}

/***** DELAY 1 Millisec FUNCTION *****/
void dmsec (unsigned int count) { // Delay 1 mSec
unsigned char i;
while (count) {
for (i=1;i<=228;i++);
}
}

```

```

        count--;
    }
}

/***** SOUND FUNCTION *****/
void sound (unsigned char freq,int time) {
    unsigned char i;
    while (time>0) {
        SOUNDB = 0; // Out signal low
        for(i=1;i<=freq;i++)
            time--;
        SOUNDB = 1; // Out signal high
        for(i=1;i<=freq;i++)
            time--;
    }
}

void beeph (void) { // Beep hi frequency
    sound (7,3000); }
void beep1 (void) {
    sound (20,20000);}
void beeph2 (void) {
    beeph(); dmsec(150); beeph();}
void beep12 (void) {
    beep1(); dmsec(150); beep1();}

/*****PCF8574A*****/
void ipdel (void) { // I2C delay
    _nop_ ();
    _nop_ ();
    _nop_ ();
    _nop_ ();
    _nop_ ();
    _nop_ ();
    _nop_ ();
    _nop_ ();
    _nop_ ();

void ipchigh (void) { // I2C clock high
    IPSCL = 1;
    ipdel ();}
void ipclow (void) { // I2C clock low
    IPSCL = 0;
    ipdel ();}
void ipstart (void) { // start condition
    IPSDA = 1;
    IPSCL = 1;
    IPSDA = 0;
    ipdel ();
    IPSCL = 0;
    IPSDA = 1;}

void ipstop (void) { // stop condition
    IPSDA = 0;
    IPSCL = 1;
    ipdel ();
    IPSDA = 1;}

bit ipwrbyte (unsigned dat) { // write one byte
    unsigned char i; // return 0 = ok
    bit outbit; // return 1 = error
    for (i=1;i<=8;i++) {
        outbit = dat & 0x80;
        IPSDA = outbit;
        dat = dat << 1;

```

```

        ipchigh ();
        ipclow ();
    }
    IPSDA = 1;
    ipchigh ();
    outbit = IPSDA;
    ipclow ();
    return (outbit);
}
unsigned char iprdbyte () { // read one byte
    unsigned char i,dat; // return 0xff = error
    bit inbit;
    dat = 0;
    for (i=1;i<=8;i++) {
        ipchigh ();
        inbit = IPSDA;
        dat = dat << 1;
        dat = dat | inbit;
        ipclow ();
    }
    IPSDA = 1;
    ipchigh ();
    inbit = IPSDA;
    ipclow ();
    if (~inbit) dat = 0xff;
    return (dat);
}
bit ipwr (unsigned char addr,dat) { // write port
    bit err;
    ipstart ();
    addr = ((addr << 1) & 0x0e) | 0x70;
    err = ipwrbyte (addr);
    if (~err) err = ipwrbyte (dat);
    ipstop ();
    return (err);
}
unsigned char iprd (unsigned char addr) { // read port
    unsigned char dat; // return 0xff =error
    bit err;
    ipstart ();
    addr = ((addr << 1) & 0x0e) | 0x71;
    err = ipwrbyte (addr);
    if (~err) dat = iprdbyte (); else dat = 0xff;
    ipstop ();
    return (dat); }

/***** LCD FUNCTION *****/
void Lcd_Write_Command(unsigned char com) // LCD write instruction
{
    LCD_DATA = com;
    LCDRS = 0; LCDRW = 0; LCDEN = 1;
    LCDEN = 0; LCDEN = 1; }
void Lcd_Write_Data (unsigned char dat) { // LCD write data
    LCD_DATA = dat;
    LCDRS = 1; LCDRW = 0; LCDEN = 1;
    LCDEN = 0; LCDEN = 1; }
void Lcd_Init (void) { // Init LCD
    dmsec(15);
    Lcd_Write_Command (0x38);dmsec(4); // 5*7 dot 8 bit
    Lcd_Write_Command (0x38);dmsec(1); // 5*7 dot 8 bit
    Lcd_Write_Command (0x0c);dmsec(1);} // Display on

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void Lcd_Clear (void) { // Clear LCD & LCDBUF
    Lcd_Write_Command (0x01);dmsec(1);
    Lcd_Write_Command (0x01);dmsec(4); }
void OnCursor (void) {
    Lcd_Write_Command (0x0f);dmsec(3); } // On/blank Curror
void OffCursor (void) {
    Lcd_Write_Command (0x0c);dmsec(3); } // Off/Not blank Curror
void ShiftLeftCursor (void) {
    Lcd_Write_Command (0x10); } // Back Curror 1 Position
void Display (unsigned char StartOrigin,unsigned char *s) {
    Lcd_Write_Command (0x80 | StartOrigin);dmsec(1);
    while (*s) Lcd_Write_Data (*s++);dmsec(1); }
void Display_Org (unsigned char StartOrigin) {
    Lcd_Write_Command (0x80 | StartOrigin);dmsec(4);}
void Display_Char (unsigned char StartOrigin,unsigned char s) {
    Lcd_Write_Command (0x80 | StartOrigin);dmsec(1);
    Lcd_Write_Data (s);dmsec(1); }
void Display_String (unsigned char StartOrigin,unsigned char *s) {
    unsigned char lenght,i;
    Lcd_Write_Command (0x80 | StartOrigin);dmsec(1);
    lenght = strlen(s);
    for (i=0;i<lenght;i++) {
        Lcd_Write_Data (s[i]);dmsec(1);} }
void Display_Int (unsigned char StartOrigin,unsigned int number,bit
dpt) {
    unsigned int m = 10000;
    bit ldgzero = 0;
    Lcd_Write_Command (0x80 | StartOrigin);
    do {
        if (((number/m)>0) || (m==1) || ((m==100)
            && (dpt == 1))) ldgzero = 1;
        if (ldgzero == 1) Lcd_Write_Data (number/m+'0');
        else Lcd_Write_Data (' ');
        number %= m;
        if ((dpt == 1) && (m == 100)) {
            Lcd_Write_Data ('. ');
        }
        while ((m /= 10) > 0);
    }
}
void Display_Arrow (unsigned char Line) {
    switch (Line) {
        case 1:Lcd_Write_Command (0x80 | 0x00);break;
        case 2:Lcd_Write_Command (0x80 | 0x40);break;
    }dmsec(2); Lcd_Write_Data (0x7e); dmsec(2); ShiftLeftCursor();}
void Clear_Arrow (void) {
    Display(0x00," ");
    Display(0x40," ");
}

/*****SCANKEY*****/
char ScanKey(void)
{
    unsigned int i;
    data unsigned char x,j,k,l,xk,xb;
    l = 0; xk = 0x00; xb = 0x00;
    while(l<3)
    {
        for(j=0; j<4; j++)
        {

```

```

for(k=0; k<4; k++)
{
    KEY_PORT = scancode[j];
    x = KEY_PORT;
    x = x&0x0f;
    switch(x)
    {
        case 0x0e: xk = keymap[0][j];break;
        case 0x0d: xk = keymap[1][j];break;
        case 0x0b: xk = keymap[2][j];break;
        case 0x07: xk = keymap[3][j];break;
    }
}
}
if((xk==xb)&&(xk!=0x00))
    l++;
xb = xk;
}
for(i=0; i<1000; i++);
return(xk);
}

/***** FLOAT TO STRING FUNCTION *****/
// Vriabl r >> String[7] <= temp_float <= xxx.xxx

void ftos (void) {
    clear_string();
    if (temp_float < 100) temp_string[0] = ' ';
    else {
        if (temp_float >= 100) {
            temp_char = temp_float/100;
            temp_float = temp_float-(temp_char*100);
            temp_string[0] = temp_char+'0';
        }
        if (temp_float < 10) temp_string[1] = '0';
        else {
            if (temp_float >= 10) {
                temp_char = temp_float/10;
                temp_float = temp_float-(temp_char*10);
                temp_string[1] = temp_char+'0';
            }
        }
        if (temp_string[0]==' ' && temp_string[1]=='0')
            temp_string[1]=' ';
        if (temp_float < 1) temp_string[2] = '0';
        else {
            if (temp_float >= 1) {
                temp_char = temp_float/1;
                temp_float = temp_float-temp_char;
                temp_string[2] = temp_char+'0';
            }
        }
        temp_string[3] = '.';
        if (temp_float < 0.1) temp_string[4] = '0';
        else {
            if (temp_float >= 0.1) {
                temp_char = temp_float/0.1;
                temp_float = temp_float-(temp_char*0.1);
                temp_string[4] = temp_char+'0';
            }
        }
    }
}

```

```

    }
}
if (temp_float < 0.01) temp_string[5] = '0';
else {
    if (temp_float >= 0.01) {
        temp_char = temp_float/0.01;
        temp_float = temp_float-(temp_char*0.01);
        temp_string[5] = temp_char+'0';
    }
}
if (temp_float < 0.001) temp_string[6] = '0';
else {
    if (temp_float >= 0.001) {
        temp_char = temp_float/0.001;
        temp_float = temp_float-(temp_char*0.001);
        temp_string[6] = temp_char+'0';
    }
}
}

/***** CALCULATE ELEVATION FUNCTION *****/
void Calculate_EL(void) {
    Station_Latitude = Station_Latitude*(3.141592/180);
    Station_Longitude = Station_Longitude*(3.141592/180);
    Sub_Satellite = Sub_Satellite*(3.141592/180);

    if (Sub_Satellite > Station_Longitude) {
        Sub_Satellite = Sub_Satellite - Station_Longitude;
    }
    else Sub_Satellite = Station_Longitude - Sub_Satellite;

    EL = atan(((cos(Sub_Satellite)*cos(Station_Latitude)-0.15084)/
sqrt(1-pow(cos(Sub_Satellite),2)*pow(cos(Station_Latitude),2))));
    EL = EL*180/3.141592;
}

/***** CALCULATE AZIMUTH FUNCTION *****/
void Calculate_AZ(void) {
    Station_Latitude = Station_Latitude*(3.141592/180);
    Station_Longitude = Station_Longitude*(3.141592/180);
    Sub_Satellite = Sub_Satellite*(3.141592/180);

    if (Sub_Satellite > Station_Longitude) {
        Sub_Satellite = Sub_Satellite - Station_Longitude;
    }
    else Sub_Satellite = Station_Longitude - Sub_Satellite;

    AZ = atan((tan(Sub_Satellite)/sin(Station_Latitude)));
    AZ = AZ*180/3.141592;
}

/***** CONVERT STRING DATA TO FLOAT DATA *****/
// string2=xx' degree ,string=xx.xx lipda
float stof(void) {
    temp_float=atof(temp_string2);
    EL=atof(temp_string);
    return (temp_float+(EL/60));
}

/***** CONVERT FLOAT TO DEGREE/LIPDA *****/

```

```

void ftd(float f) {
    temp_float = f;
    ftos();
    temp_string2[0]=temp_string[0];
    temp_string2[1]=temp_string[1];
    temp_string2[2]=temp_string[2];
    temp_int=atoi(temp_string);
    temp_float=f-temp_int;
    ftos();
}

```

```

/*****motor function*****/

```

```

void Stop_All_Motor(void)
{
    err=ipwr(0,0x00);
    dmsec(100);
}

```

```

void Motor_Fast_Stop(void)
{
    err=ipwr(0,0xc0);
    dmsec(500);
    Stop_All_Motor();
}

```

```

void Motor_El_Up(void)
{
    Stop_All_Motor();
    err=ipwr(0,0x01);
    dmsec(100);
    err=ipwr(0,0x11);
    dmsec(240);
    Motor_Fast_Stop();
}

```

```

void Motor_El_Down(void)
{
    Stop_All_Motor();
    err=ipwr(0,0x02);
    dmsec(100);
    err=ipwr(0,0x12);
    dmsec(240);
    Motor_Fast_Stop();
}

```

```

void Motor_Az_Left(void)
{
    Stop_All_Motor();
    err=ipwr(0,0x04);
    dmsec(100);
    err=ipwr(0,0x24);
    dmsec(240);
    Motor_Fast_Stop();
}

```

```

void Motor_Az_Right(void)
{
    Stop_All_Motor();
    err=ipwr(0,0x08);
    dmsec(100);
    err=ipwr(0,0x28);
    dmsec(240);
    Motor_Fast_Stop();
}

```

```

void Manual_Track_El_Up(void)
{

```

```

        beep12();Stop_All_Motor();
        err=ipwr(0,0x01);
        dmsec(100);
        Lcd_Clear();
        Display(0x00,"...STOP...");
        Display(0x40," PUSH ESC");
        err=ipwr(0,0x41);
        while(ScanKey()!='C');
        beeph();
        Motor_Fast_Stop();
    }
void Manual_Track_El_Down(void)
{
    beep12();Stop_All_Motor();
    err=ipwr(0,0x02);
    dmsec(100);
    Lcd_Clear();
    Display(0x00,"...STOP...");
    Display(0x40," PUSH ESC");
    err=ipwr(0,0x42);
    while(ScanKey()!='C');
    beeph();
    Motor_Fast_Stop();
}
void Manual_Track_Az_Left(void)
{
    beep12();Stop_All_Motor();
    err=ipwr(0,0x04);
    dmsec(100);
    Lcd_Clear();
    Display(0x00,"...STOP...");
    Display(0x40," PUSH ESC");
    err=ipwr(0,0x84);
    while(ScanKey()!='C');
    beeph();
    Motor_Fast_Stop();
}
void Manual_Track_Az_Right(void)
{
    beep12();Stop_All_Motor();
    err=ipwr(0,0x08);
    dmsec(100);
    Lcd_Clear();
    Display(0x00,"...STOP...");
    Display(0x40," PUSH ESC");
    err=ipwr(0,0x88);
    while(ScanKey()!='C');
    beeph();
    Motor_Fast_Stop();
}
//END MOTOR FUNCTION

/***** MANUAL TRACKING FUNCTION *****/
void manual_track(void) {
    while(1) {
        Lcd_Clear();
        Display(0x00,"Elup_PdUp AzLf_1");
        Display(0x40,"Eldn_PdDn AzRt_2");
        switch(ScanKey()) {
            case 'U' : Manual_Track_El_Up();break;

```

```

        case 'N' : Manual_Track_El_Down();break;
        case '1' : Manual_Track_Az_Left();break;
        case '2' : Manual_Track_Az_Right();break;
        case 'C' : beeph();Stop_All_Motor();goto
end_manual;break;
        default : Stop_All_Motor();
    }
}
end_manual:_nop_();
}

/***** AUTO TRACKING FUNCTION *****/
void auto_track(void)
{
    Lcd_Clear();
    Display(0x00,"Searching....");
    Display(0x40," Esc' for Manual");
    dmsec(2000);
// EL fix position
    Lcd_Clear();
    Stop_All_Motor();beeph();
    Display(0x00,"Down to LIMIT");
    Manual_Track_El_Down();

    Stop_All_Motor();beeph(); dmsec(1000);
    Lcd_Clear();
    Display(0x40,"Elivation Track");
    t=((EL-35)*2);
    for(i=1;i<=t;i++){
        Motor_El_Up();
    }
    Stop_All_Motor();beeph(); dmsec(1000);
    Display(0x40,"Azimuth Track");
    t=AZ;dmsec(100);
    for(i=1;i<=AZ;i++){
        Motor_Az_Right();
    }
    goto find_peak;
find_peak:
    Stop_All_Motor();beeph2();
    Lcd_Clear();
    Display_Int(0x00,temp_char,0);
    Display(0x40,"Searching....OK!");beeph2();
    while(ScanKey()!='E');
    dmsec(2000);
    goto end_auto;
not_find:
    Stop_All_Motor();
    Lcd_Clear();
    Display(0x00,"Searching Fault!");beeph();
    while(ScanKey()!='E');
end_auto:
    beeph();Stop_All_Motor();
    Lcd_Clear();
    Display(0x00," Manual Search");
    Display(0x40," (Y/N)?");
    while(1) {
        switch(ScanKey()) {
            case 'Y':manual_track();goto end_a_m;
            case 'N':goto end_a_m;
        }
    }
}

```

```

    }
end_a_m:
    beeph(); dmsec(200);
}

void ld_data(void) {
    Station_Latitude=13.6493;
    Station_Longitude=100.4923;
}

/**** Get Longitude sub program *****/
void Get_Longitude(void) {
ww:   OnCursor();
      clear_string();           // get longitude
deg=temp_string2[3]
      Lcd_Clear();
      Display_Org(0x02);       // get longitude
liffda=temp_string[7]
      N=0;
ww1:  temp_char=ScanKey();      // get longitude
position=temp_string1[2]
      switch(temp_char) {
          case 'E': goto endww;
          case 'C': goto endww;
          case 'Y': goto ww;
      }
      switch(N) {
          case 0:goto ww10;break;
          case 1:goto ww11;break;
          case 2:goto wwlif0;break;
          case 3:goto wwlif1;break;
          case 4:goto wwlif2;break;
          default: goto ww1;
      }
ww10: if(('0'<=temp_char)&&(temp_char<='9')) {
      Lcd_Clear();
      Display_Char(0x02,temp_char);temp_string
[0]=temp_char;N=1;
      beeph();dmsec(300);
      }goto ww1;
ww11: if(('0'<=temp_char)&&(temp_char<='9')) {
      Display_Char(0x03,temp_char);temp_string
[1]=temp_char;N=2;
      beeph();dmsec(300);
      }goto ww1;
wwlif0:   if(('0'<=temp_char)&&(temp_char<='9')) {
      Display_Char(0x04,temp_char);temp_string
[2]=temp_char;N=3;
      temp_string[3]='.';Display_Org(0x56);beeph();dmsec
(300);
      }goto ww1;
wwlif1:   if(('0'<=temp_char)&&(temp_char<='9')) {
      Display_Char(0x06,temp_char);temp_string
[4]=temp_char;N=4;
      beeph();dmsec(300);
      }goto ww1;
wwlif2:   if(('0'<=temp_char)&&(temp_char<='9')) {
      Display_Char(0x07,temp_char);temp_string
[5]=temp_char;N=4;
      Display_Org(0x07);beeph();dmsec(300);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        }goto wwl;
endww:   OffCursor();OffCursor();temp_string[6]='\0';
}

/***** MAIN AUTOMATIC CONTROL ANTENNA PROGRAM *****/

void main ()
{
    Stop_All_Motor();           // stop all motor
    SCL = SDA = 1;             // init i2c bus
    Lcd_Init();                 // init Lcd
    Lcd_Clear();
    beep1();
    Lcd_Clear();
    Display (0x00," Telecom. 3T "); // Show Name of project
    Display (0x40," kmit'1");
    dmsec (2000);beeph();
    Lcd_Clear();
    Display (0x00,"Automatic");
    Display (0x40,"Control Antenna");
    dmsec (2000);
    while(1)
    {
menu:    Lcd_Clear();beeph();
          Display (0x00,"Select Menu");
          Display (0x40,"1.Tracking Menu");
          dmsec (2000);beeph();
          Lcd_Clear();
          Display (0x00,"Select Menu");
          Display (0x40,"2.Check ScanKey");
          dmsec (2000);beeph();
          Lcd_Clear();
          Display (0x00,"Select Menu");
          Display (0x40,"3.Test Motor");
          dmsec (2000);beeph();
          Lcd_Clear();
          Display (0x00,"Select Menu");
          Display (0x40,"1.Tracking Menu");
          dmsec (2000);

    temp_char=ScanKey();
    switch(temp_char) {
        case '1':beep1();Display (0x40,"tracking.....");
                  dmsec(2000);goto tracking_menu;
        case '2':{beep1();dmsec(2000);Lcd_Clear();
                  while(1){
                    Display (0x00,"ScanKey");dmsec(100);
                    temp_char=ScanKey();
                    switch(temp_char) {
                        case '1': beep1();Display (0x40,"1");break;
                        case '2': beep1();Display (0x40,"2");break;
                        case '3': beep1();Display (0x40,"3");break;
                        case '4': beep1();Display (0x40,"4");break;
                        case '5': beep1();Display (0x40,"5");break;
                        case '6': beep1();Display (0x40,"6");break;
                        case '7': beep1();Display (0x40,"7");break;
                        case '8': beep1();Display (0x40,"8");break;
                        case '9': beep1();Display (0x40,"9");break;
                    }
                }
            }
    }
}

```

```

        case '0': beeph();Display (0x40,"0");break;
        case 'D': beeph();Display (0x40,"D");break;
        case 'Y': beeph();Display (0x40,"Y");break;
        case 'E': beeph();Display (0x40,"E");break;
        case 'U': beeph();Display (0x40,"U");break;
        case 'N': beeph();Display (0x40,"N");break;
        case 'C': beeph();goto menu;
    }
}
}
case '3':{
    Lcd_Clear();
    Display (0x00,"Test Motor");
    manual_track();
    goto menu;
}
}
}

tracking_menu:
    beeph2();
    Lcd_Clear();
    Display(0x00," 1.Thaicom");
    dmsec(1000);beeph();
    Display(0x40," 2.Enter sub");
    N=1; Display_Arrow(1);
    while(1)
    {
        temp_char=ScanKey();
        switch(temp_char) {
            case '1':N=1;beeph();Clear_Arrow();
                Display_Arrow(1);dmsec(300);break;
            case '2':N=2;beeph();Clear_Arrow();
                Display_Arrow(3);dmsec(300);break;
            case 'E':goto end_tracking_menu;
        }
    }

end_tracking_menu:
    switch (N) {
        case 1:goto thaicom_track;
        case 2:goto sub_sat_track;
    }

thaicom_track:
    Lcd_Clear();
    Display (0x00,"1.Thaicom");
    Display (0x40,"...OK...");
    dmsec(2000);
    beeph2();
    Lcd_Clear();
    Display(0x00,"Thaicom 2,3");
    Display(0x40,"Sub : 78.5 E");
    dmsec(5000);beeph();
    Lcd_Clear();
    Display(0x00,"Lat : 13'38.96 N");
    Display(0x40,"Long:100'29.54 E");
    dmsec(5000);beeph();
    ld_data();
    Sub_Satellite=78.5; //define thaicom2,3 position
    Calculate_EL();

```

```

ld_data();
Sub_Satellite=78.5;           //define thaicom2,3 position
Calculate_AZ();
dmsec(5000);beeph();
Lcd_Clear();
Display(0x00,"Press 'Ent' for");
Display(0x40,"Tracking Thaicom");
while(ScanKey()!='E');
beeph();
Lcd_Clear();
Display(0x00,"EL=          Deg");
Display(0x40,"AZ=          Deg");
temp_float=EL; ftos();
Display_String(0x03,temp_string);
temp_float=AZ; ftos();
Display_String(0x43,temp_string);
beeph(); dmsec(5000);
Lcd_Clear();
Display(0x00,"Press 'Ent' for");
Display(0x40," Auto_Tracking");
while(ScanKey()!='E'); auto_track();
goto tracking_menu;           // end tracking thaicom

sub_sat_track:
Lcd_Clear();
Display (0x00,"2.Enter Sub");
Display (0x40," ...OK...");
dmsec(2000);
beeph2(); Lcd_Clear();
Display(0x00,"Enter sub");
Display(0x40," Satellite point");
dmsec(2000);
clear_string();
Get_Longitude();
if (temp_char=='C') goto tracking_menu;
temp_float=atof(temp_string);
if (temp_float>180) {
    Lcd_Clear(); beep1();
    Display(0x00," Latitude more");
    Display(0x40," than 180 Degree");
    dmsec(2000);Lcd_Clear();
    Display(0x00," Input again..!");
    dmsec(2000);
    goto sub_sat_track;
}
else if(temp_float<30) {
    Lcd_Clear(); beep1();
    Display(0x00," Latitude less");
    Display(0x40," than 35 Degree");
    dmsec(2000);Lcd_Clear();
    Display(0x00," Input again..!");
    dmsec(2000);
    goto sub_sat_track;
}
ld_data();
Sub_Satellite=atof(temp_string);
Calculate_EL();
ld_data();
Sub_Satellite=atof(temp_string);
Calculate_AZ();
dmsec(1000);Lcd_Clear();

```

```

Display(0x00,"Press 'Ent' for");
Display(0x40," Tracking SAT");
while(ScanKey()!='E');
dmsec(200);Lcd_Clear();
Display(0x00,"EL=          Degree");
Display(0x40,"AZ=          Degree");
temp_float=EL; ftos();
Display_String(0x03,temp_string);
temp_float=AZ; ftos();
Display_String(0x43,temp_string);
beeph(); dmsec(2000);
Display(0x00,"Press 'Ent' for");
Display(0x40," Auto Tracking ");
while(ScanKey()!='E');
auto_track();
goto_tracking_menu;
}

// end program

```



รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register : SFR)

รายละเอียดเบื้องต้นของรีจิสเตอร์ SFR มีดังนี้

1. รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรม (Program Status Word : PSW)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต นั้นหมายความว่า สามารถกระทำคำสั่งหรือกำหนดค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้โดยอิสระ มีแอดเดรสอยู่ที่ D0H เป็นรีจิสเตอร์ที่เก็บสถานะของการทำงานของโปรแกรมในขณะนั้น จะเรียกสถานะต่างๆ ของโปรแกรมน่าว่า แฟล็ก (flag) เมื่อซีพียูกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะขึ้น ผลของการเปลี่ยนแปลงนั้นจะมาปรากฏที่บิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ PSW รายละเอียดของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ PSW แสดงในรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่า นอกจากรีจิสเตอร์ PSW ถูกใช้ในการเก็บสถานะของโปรแกรมแล้ว ที่บิต RS0 และ RS1 ยังใช้ในการเลือกแวงก์ของหน่วยความจำส่วนล่าง ซึ่งเป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ R0-R7 ด้วย ดังมีรายละเอียดในตารางที่ 1 โดยปกติแล้วในการใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 มักนิยมเลือกใช้แวงก์ 0 เป็นลำดับแรก หากไม่เพียงพอจึงเลือกในแวงก์อื่นๆ มาใช้ แต่ต้องระมัดระวังในการกำหนดค่าและลำดับการติดต่อให้ดี มิเช่นนั้น อาจทำให้การเขียนโปรแกรมเกิดความสับสน ดังนั้น สำหรับผู้เริ่มต้นใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จึงควรเลือกใช้รีจิสเตอร์ R0-R7 ในแวงก์ 0 เพียงแวงก์เดียวให้ชำนาญเสียก่อน

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
CY	AC	FO	RS1	RS0	OV	-	P
<p>CY : แฟล็กทด (Carry flag) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิก แล้วค่าของแอดคิวมูลเตเตอร์เกิน 255 (ฐานสิบ) หรือ FFH</p> <p>AC : แฟล็กทดเสริม (Auxiliary Carry flag) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์แล้วทำให้เกิดการทดข้ามจากบิต 3 มายังบิต 4 มักใช้ในการ แปลงค่าเป็นเลขฐานสิบ (BCD operation)</p> <p>FO : แฟล็กใช้งานทั่วไป เมื่อผู้เขียนโปรแกรมกำหนดค่าที่บิตนี้แล้ว ไม่ว่าจะกระทำคำสั่งใดๆ ที่บิตนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง</p> <p>RS1 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แวงก์ (Register Select1) ใช้งานร่วมกับบิต RS0 เพื่อเลือกแวงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7</p> <p>RS0 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แวงก์ (Register Select0) ใช้งานร่วมกับบิต RS1 เพื่อเลือกแวงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7</p> <p>OV : บิตเกิน (Overflow) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้ว ทำให้เกิดการทดข้ามจากบิต 6 มายังบิต 7 ของแอดคิวมูลเตเตอร์ หรือแอดคิวมูลเตเตอร์มีค่าเกิน 127 (ฐานสิบ) นอกจากนั้นยังใช้เป็นการแสดงค่าลบด้วย</p> <p>- : บิตนี้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดใช้งานได้อย่างอิสระ</p> <p>P : บิตพาริตี (Parity) ใช้ในการตรวจสอบจำนวนค่า "1" ภายในแอดคิวมูลเตเตอร์ ถ้าหากในแอดคิวมูลเตเตอร์มีจำนวนบิตที่เป็น "1" รวมกันเป็นเลขคู่ บิตนี้จะเป็น "0" ถ้ารวมกันเป็นเลขคี่ บิตนี้จะเป็น "1"</p>							

รูปที่ 1 รายละเอียดของรีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรมหรือ PSW

RS1	RS0	แบนก์ของรีจิสเตอร์	ช่วงแอดเดรส
0	0	แบนก์ 0	00H-07H
0	1	แบนก์ 1	08H-0FH
1	0	แบนก์ 2	10H-17H
1	1	แบนก์ 3	18H-1FH

ตารางที่ 1 แสดงการเลือกแบนก์ของหน่วยความจำส่วนล่างเพื่อติดต่อกับรีจิสเตอร์แบนก์ R0-R7

การกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ PSW เพื่อเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 ควรกำหนดไว้ที่ตอนต้นของโปรแกรมเสมอ เพื่อจะได้เขียนโปรแกรมติดต่อกับรีจิสเตอร์ R0-R7 ได้อย่างสะดวกและไม่เกิดความผิดพลาด

2. แอควิวมูเลเตอร์ (Accumulator : ACC)

มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง E0H เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกก่อนที่จะส่งข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้นั้นให้แก่ซีพียูเพื่อทำการประมวลผลต่อไป อาจเรียกรีจิสเตอร์แอควิวมูเลเตอร์อย่างสั้นๆ ว่า รีจิสเตอร์ A หรือ ACC

รีจิสเตอร์ A นี้สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ นั่นหมายความว่า สามารถกระทำคำสั่งหรือกำหนดค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้โดยอิสระ

3. รีจิสเตอร์ B

มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง F0H มีหน้าที่พิเศษคือ หากมีความต้องการคูณหรือหารทางคณิตศาสตร์ จะต้องนำข้อมูลที่ต้องการคูณหรือหารนั้น มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ B แล้วจึงกระทำคำสั่งการคูณหรือหารกับค่าในรีจิสเตอร์ A ต่อไป

ในกรณีที่ไม่ได้มีความต้องการคูณหรือหารข้อมูล สามารถใช้รีจิสเตอร์ B นี้ในการเก็บข้อมูลทั่วไปได้ เหมือนกับรีจิสเตอร์ปกติ และสามารถเข้าถึงในระดับบิตได้เช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ A

4. โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter : PC)

มีขนาด 16 บิต มีหน้าที่แจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมในตำแหน่งถัดไปที่ซีพียูจะออกไปทำงาน รีจิสเตอร์ PC เป็นรีจิสเตอร์ตัวเดียวที่ไม่ได้จัดสรรไว้ร่วมกับรีจิสเตอร์ SFR ตัวอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงค่าของรีจิสเตอร์ PC จะขึ้นอยู่กับผลของการกระทำคำสั่งภายในหน่วยความจำโปรแกรมที่ผู้เขียนโปรแกรมกำหนด

รีจิสเตอร์ PC มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมว่าดำเนินไปตามลำดับขั้นตอนตามที่กำหนดไว้หรือไม่

5. สแต็กพอยน์เตอร์ (Stack Pointer : SP)

หรือรีจิสเตอร์ตัวชี้สแต็ก มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 81H ใช้ในการเก็บค่าตำแหน่งของตัวชี้สแต็ก ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อซีพียูมีการกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อย หรือกระโดดจากโปรแกรมย่อยกลับมายังโปรแกรมหลัก เมื่อมีการรีเซตเกิดขึ้น (รีเซต : การกระทำที่ส่งผลให้ซีพียูต้องเริ่ม

ต้นการทำงานใหม่ตั้งแต่ต้น) ค่าของรีจิสเตอร์ SP จะเท่ากับ 07H นั่นหมายความว่า ตัวชี้สแต็กมีค่า 07H แอดเดรสแรกของพื้นที่ที่สำรองไว้ทำหน้าที่เป็นสแต็กจะเท่ากับ 08H

6. รีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลหรือค่าตัวพอยน์เตอร์ (Data Pointer : DPTR)

มีขนาด 16 บิต โดยจะแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์สูง (DPH) และรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์ต่ำ (DPL) แต่ละตัวมีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 82H สำหรับ DPL และ 83H สำหรับ DPH รีจิสเตอร์ DPTR นี้ใช้ในการเก็บค่าแอดเดรสของหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ภายนอกที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ต้องการติดต่อด้วย

7. รีจิสเตอร์พอร์ต (Port Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ที่ใช้เก็บข้อมูลของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีด้วยกันทั้งสิ้น 4 ตัว คือ รีจิสเตอร์พอร์ต 0 หรือ P0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H, รีจิสเตอร์พอร์ต 1 หรือ P1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 90H, รีจิสเตอร์พอร์ต 2 หรือ P2 มีแอดเดรสอยู่ที่ A0H และรีจิสเตอร์พอร์ต 3 หรือ P3 จะมีแอดเดรสอยู่ที่ B0H รีจิสเตอร์ทุกตัวสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต เมื่อต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลออกไปยังพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์นี้ทุกครั้ง

8. รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer : SBUF)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ใช้การเก็บข้อมูลที่ต้องการส่งออกหรือรับเข้าวงจรสื่อสารอนุกรมที่มีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดยภายในรีจิสเตอร์ SBUF นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) และรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูล (receiver buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล เพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาทางขา RxD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

9. รีจิสเตอร์ไทมเมอร์ (Time register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต แต่จะจัดเป็นไบต์สูงและไบต์ต่ำเช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ DPTR รีจิสเตอร์ไทมเมอร์ใช้ในการเก็บค่าของตัวนับหรือเคาน์เตอร์ (counter) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการสร้างฐานเวลา, จับเวลา หรือนับจำนวนพัลส์สัญญาณไฟฟ้าภายใน บางที่เรียกรีจิสเตอร์ตัวนี้ว่ารีจิสเตอร์ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C51 จะมีรีจิสเตอร์ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ตัว แบ่งเป็น T0 หรือ Timer0 และ T1 หรือ Timer1 ในรีจิสเตอร์ยังแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ไทมเมอร์ไบต์ต่ำ (TL) และรีจิสเตอร์ไทมเมอร์ไบต์สูง (TH) เหมือนกัน โดยรีจิสเตอร์ TL0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8AH รีจิสเตอร์ TH0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8BH ในขณะที่ TL1 และ TH1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8CH และ 8DH ตามลำดับ สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx จะมีรีจิสเตอร์ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ถึง 3 ตัว โดยมีรีจิสเตอร์ TL2 และ TH2 ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ CCH และ CDH ตามลำดับเพิ่มเติมเข้ามา

10. รีจิสเตอร์แคปเจอร์ (Capture register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต มีเฉพาะในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx เท่านั้น เนื่องจากต้องใช้ร่วมกับไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 (Timer 2) ซึ่งมีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx โดยรีจิสเตอร์แคปเจอร์มีชื่อเรียกอย่างย่อว่า รีจิสเตอร์ RCAP2 ซึ่งแบ่งออกเป็นไบต์ค่าคือ RCAP2L มีแอดเดรสอยู่ที่ CAH และไบต์สูงคือ RCAP2H มีแอดเดรสอยู่ที่ CBH

รีจิสเตอร์แคปเจอร์จะถูกใช้งานเมื่อกำหนดให้ไทมเมอร์ 2 ทำงานในโหมดแคปเจอร์ซึ่งเป็นโหมดที่กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสถานะทางลอจิกที่ขา T2EX ทั้งนี้เพื่อใช้ประโยชน์ในการวัดคาบเวลา ความถี่ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพัลส์ที่ขา T2EX นี้

11. รีจิสเตอร์ควบคุม (Control register)

รีจิสเตอร์ SFR ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ยังมีอีกหลายตัวเช่น

รีจิสเตอร์ PCON เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลของวงจรถูกสื่อสารอนุกรมและกำหนดการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

รีจิสเตอร์ SCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรถูกสื่อสารอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

รีจิสเตอร์ TCON และ T2CON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดย T2CON ใช้สำหรับไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx

รีจิสเตอร์ TMOD และ T2MOD เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดโหมดหรือลักษณะในการทำงานของไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดย T2MOD ใช้สำหรับไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx

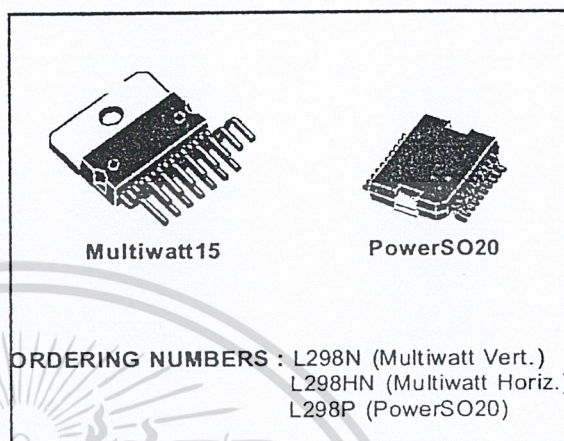
รีจิสเตอร์ IE และ IP เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ (interrupt : การขัดจังหวะการทำงานปกติของซีพียู) โดย IE เป็นรีจิสเตอร์สำหรับอินเอนเบิลหรือใช้ในการกำหนดลักษณะของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ ในขณะที่ IP เป็นรีจิสเตอร์สำหรับกำหนดลำดับความสำคัญของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ว่า จะให้ซีพียูตอบสนองการเกิดอินเตอร์รัปต์ในลักษณะใดก่อนหรือหลัง

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

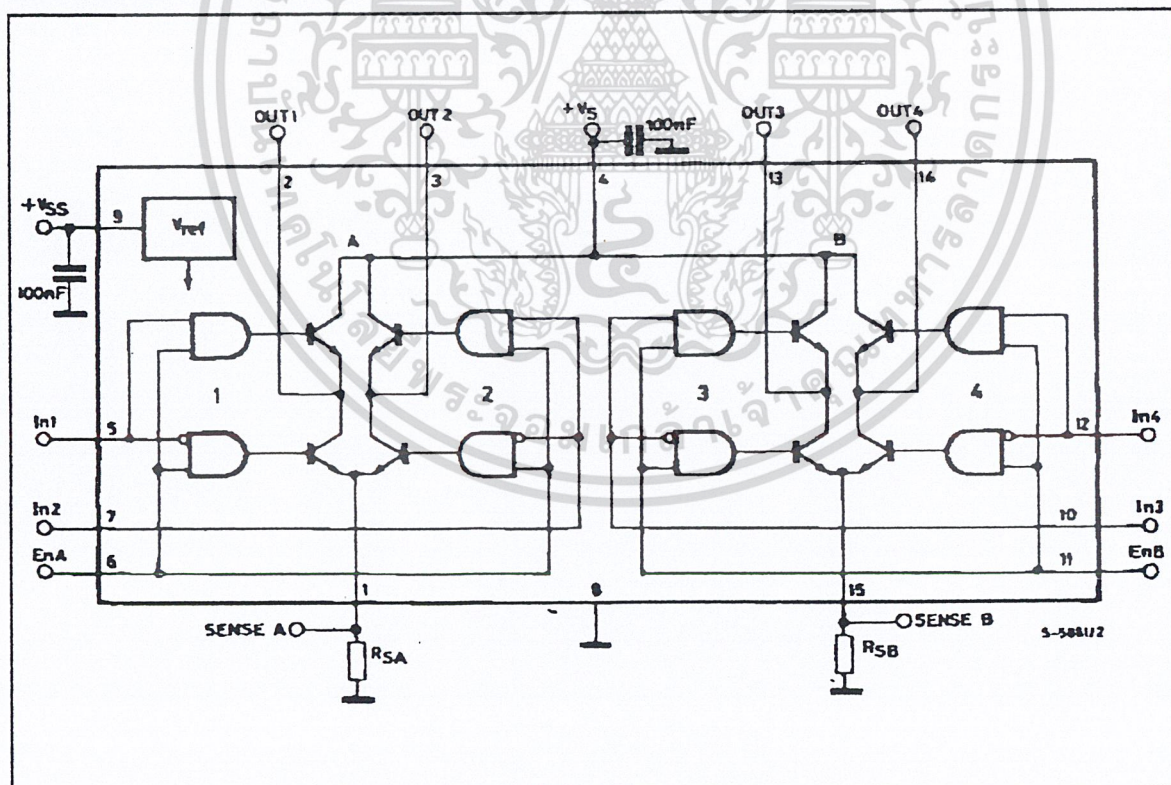
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

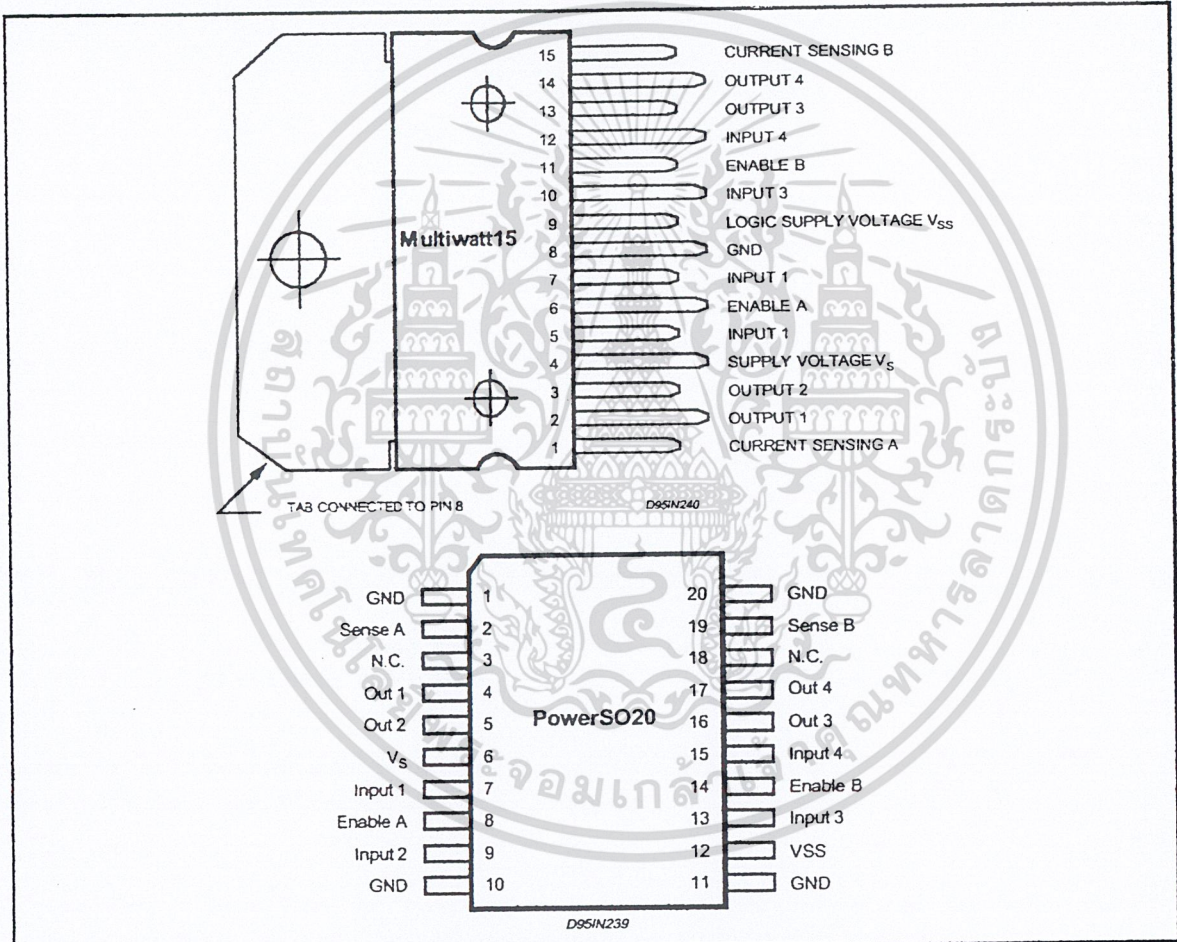
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	-	3	$^\circ C/W$
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	13 (*)	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate



PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW. 15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_J = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} +2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L V _i = H		13 50	22 70	mA mA
		V _{en} = L V _i = X			4	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L V _i = H		24 7	36 12	mA mA
		V _{en} = L V _i = X			6	mA
V _{iL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V _{iH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _{iL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = L			-10	μA
I _{iH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{en-L}	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V _{en-H}	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en-L}	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			-10	μA
I _{en-H}	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{CEsat(H)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
V _{CEsat(L)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V _{ss--}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T ₁ (V _i)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (2); (4)		1.5		μs
T ₂ (V _i)	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		0.2		μs
T ₃ (V _i)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _i to 0.1 I _L (2); (4)		2		μs
T ₄ (V _i)	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.7		μs
T ₅ (V _i)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4)		0.7		μs
T ₆ (V _i)	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₇ (V _i)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4)		1.6		μs
T ₈ (V _i)	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.2		μs
f _c (V _i)	Commutation Frequency	I _L = 2A		25	40	KHz
T ₁ (V _{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (2); (4)		3		μs
T ₂ (V _{en})	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		1		μs
T ₃ (V _{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.1 I _L (2); (4)		0.3		μs
T ₄ (V _{en})	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.4		μs
T ₅ (V _{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		2.2		μs
T ₆ (V _{en})	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.35		μs
T ₇ (V _{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₈ (V _{en})	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.1		μs

- 1) Sensing voltage can be -1V for t ≤ 50 μsec; in steady state V_{sens} min ≥ -0.5 V.
- 2) See fig. 2.
- 3) See fig. 4.
- 4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

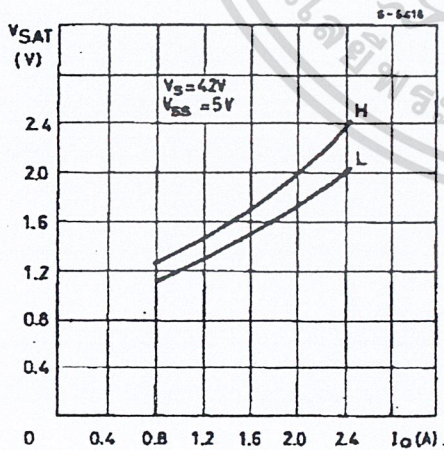
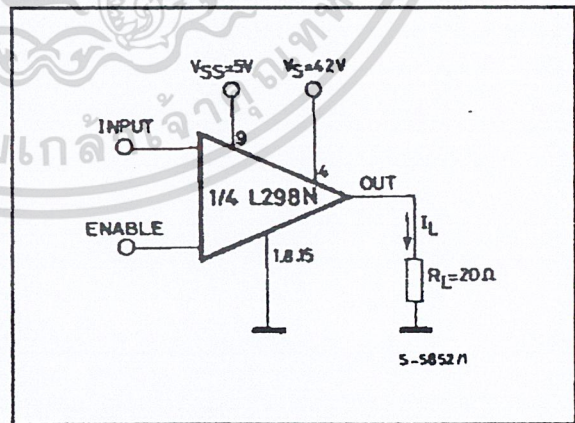


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H



Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

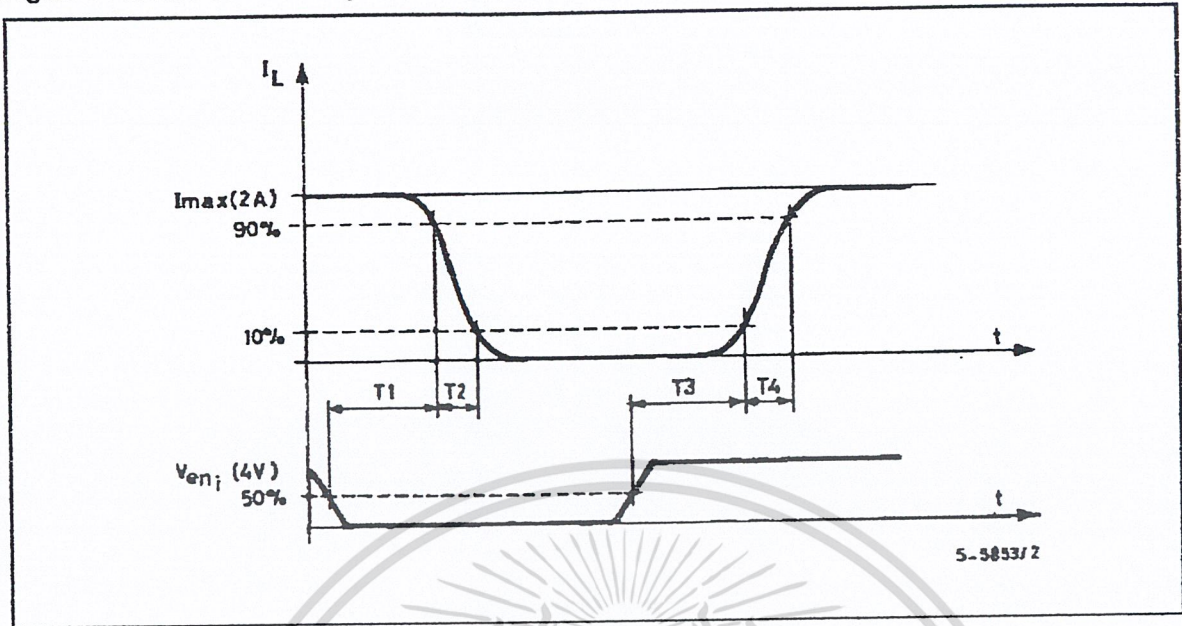
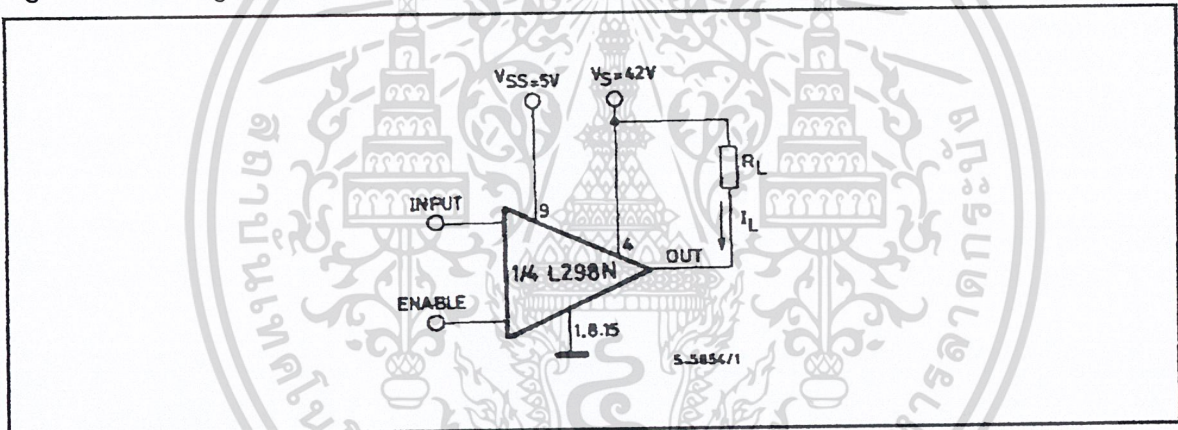


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = L

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

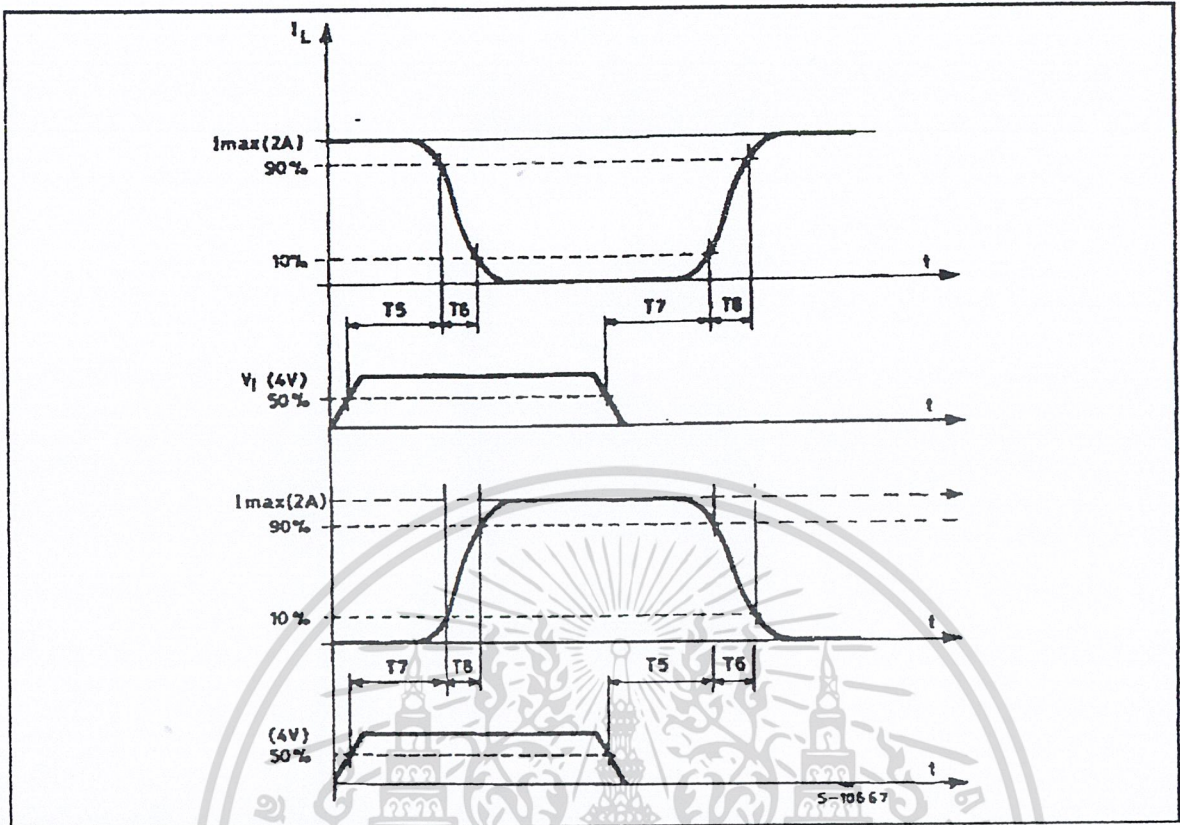


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

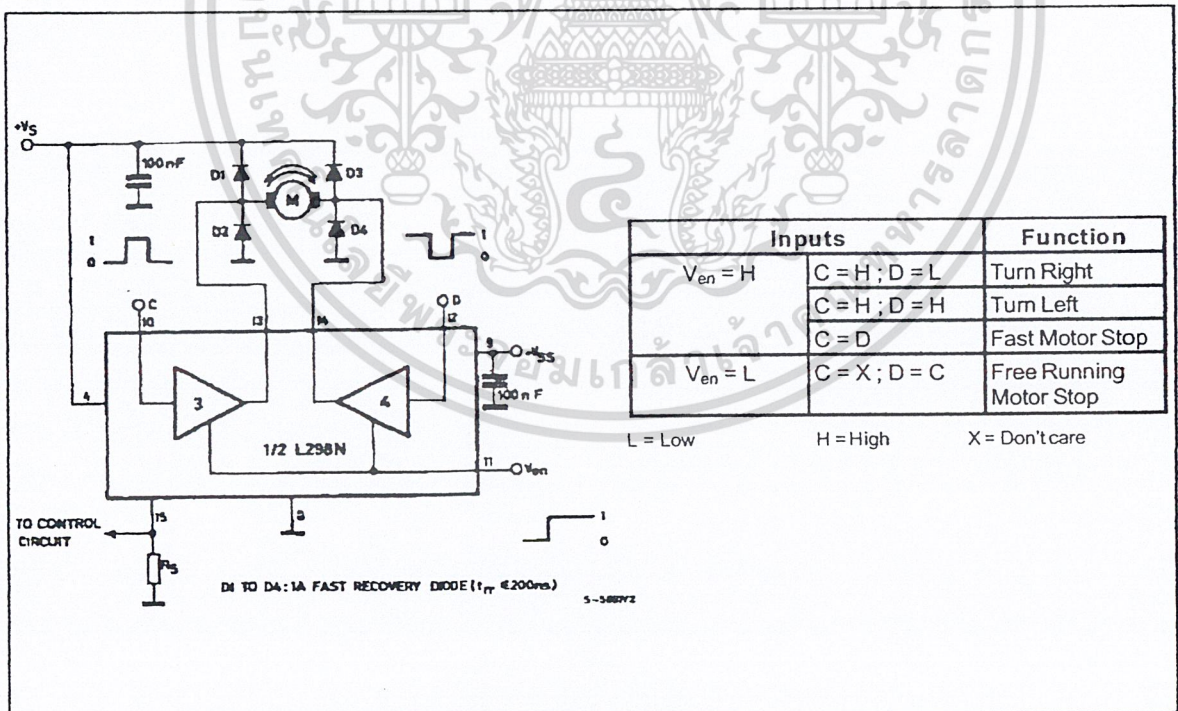
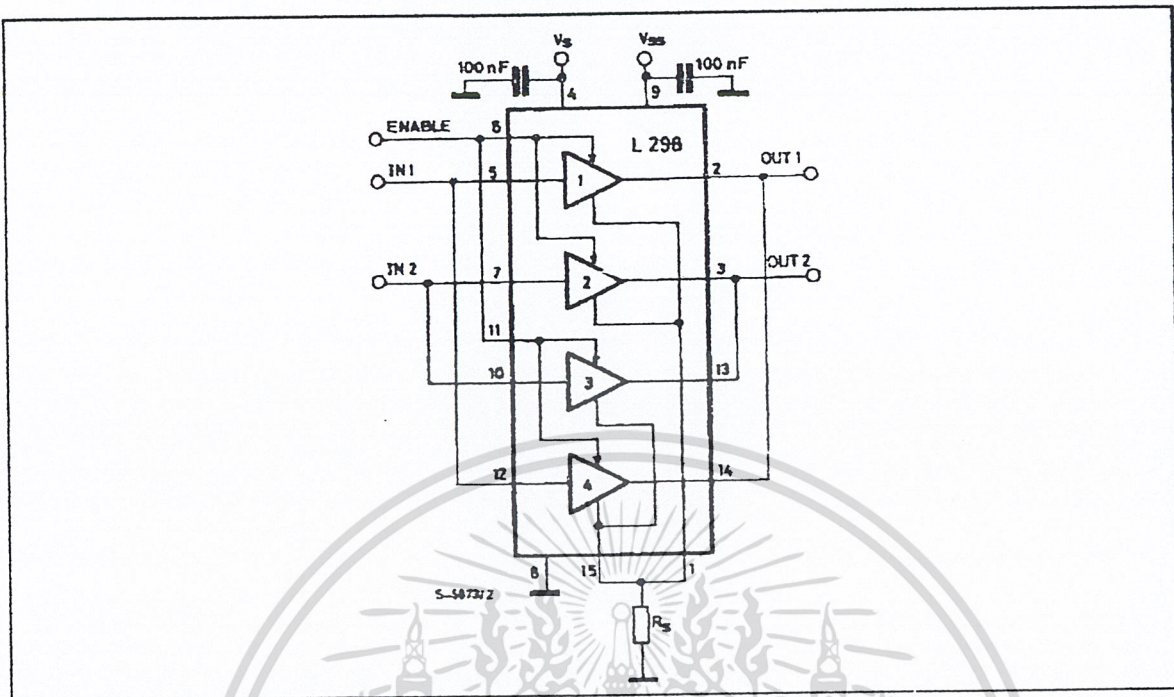


Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In_1 ; In_2 ; EnA and In_3 ; In_4 ; EnB . The In inputs set the bridge state when The En input is high; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both V_s and V_{ss} , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of V_s that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off: Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D_1 to D_4 is made by four fast recovery elements ($t_{tr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a VF as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Schottky diodes would be preferred.

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

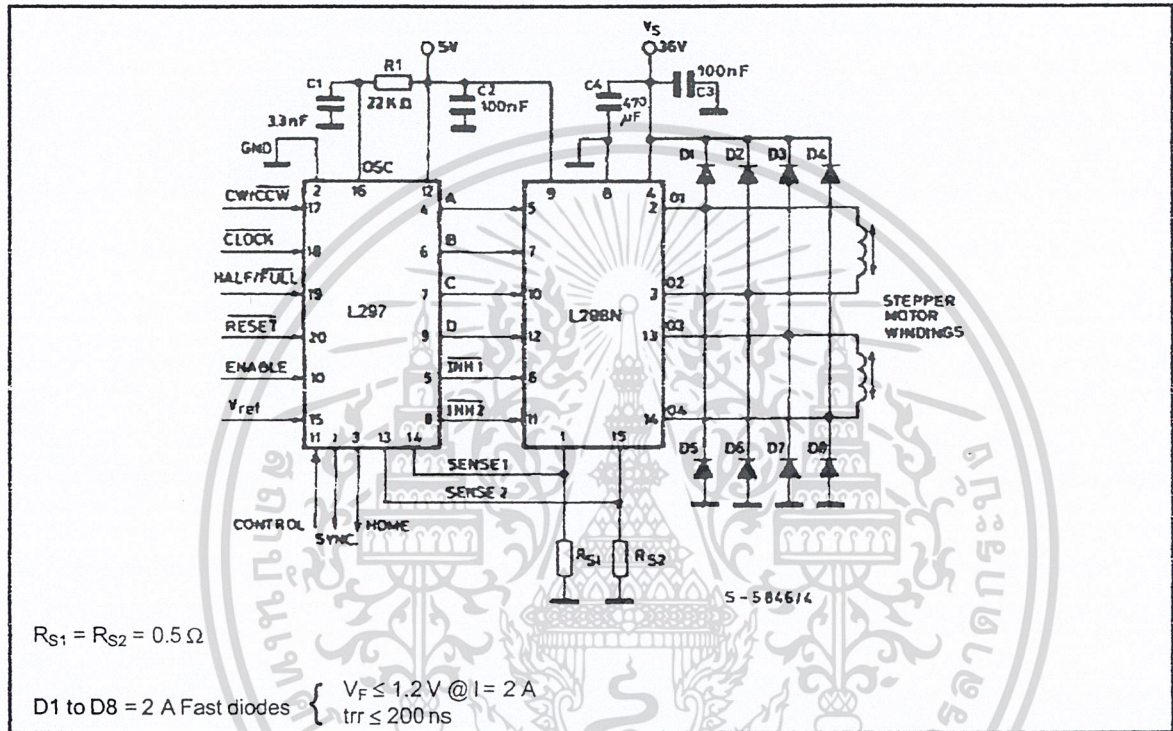


Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

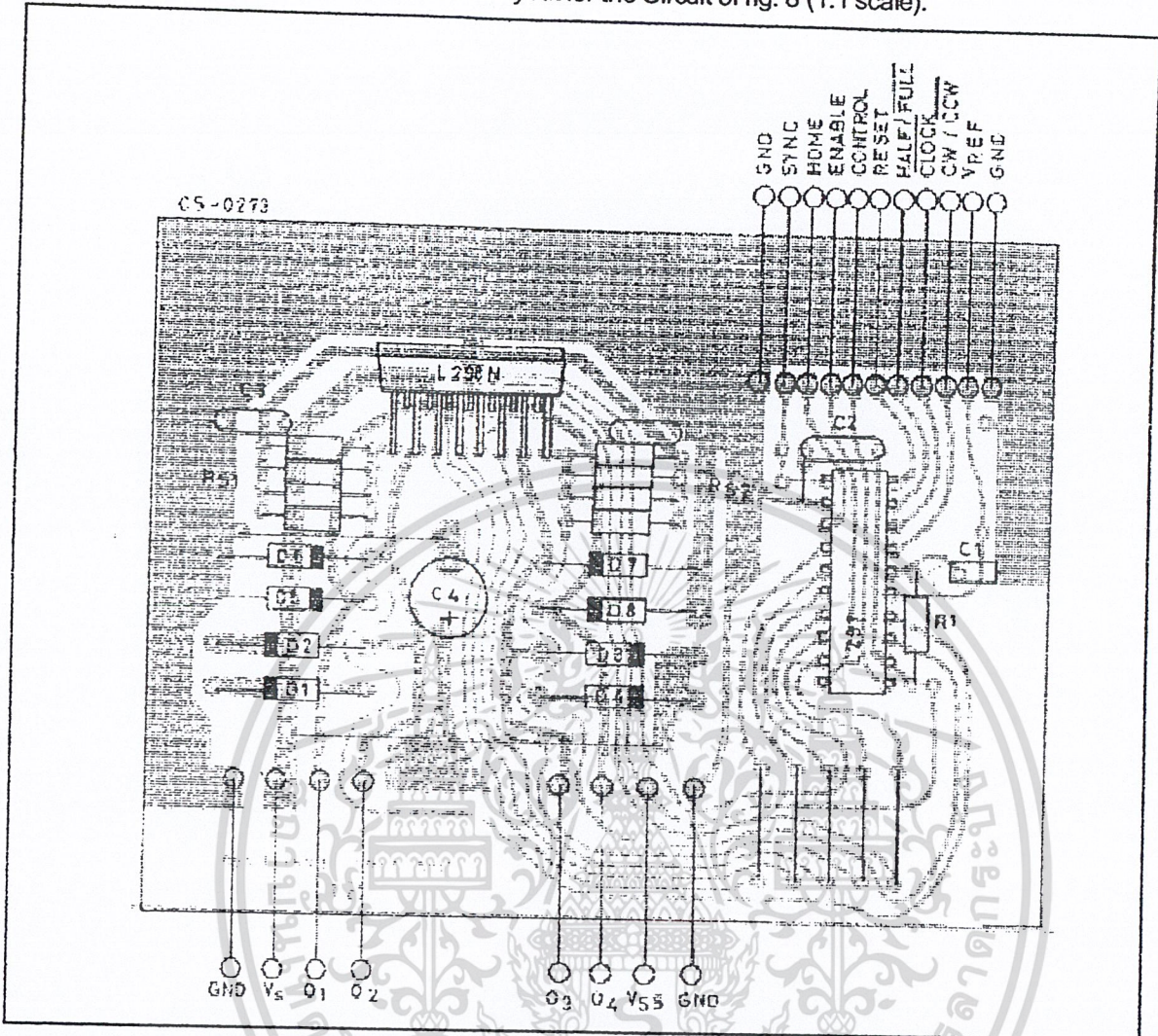
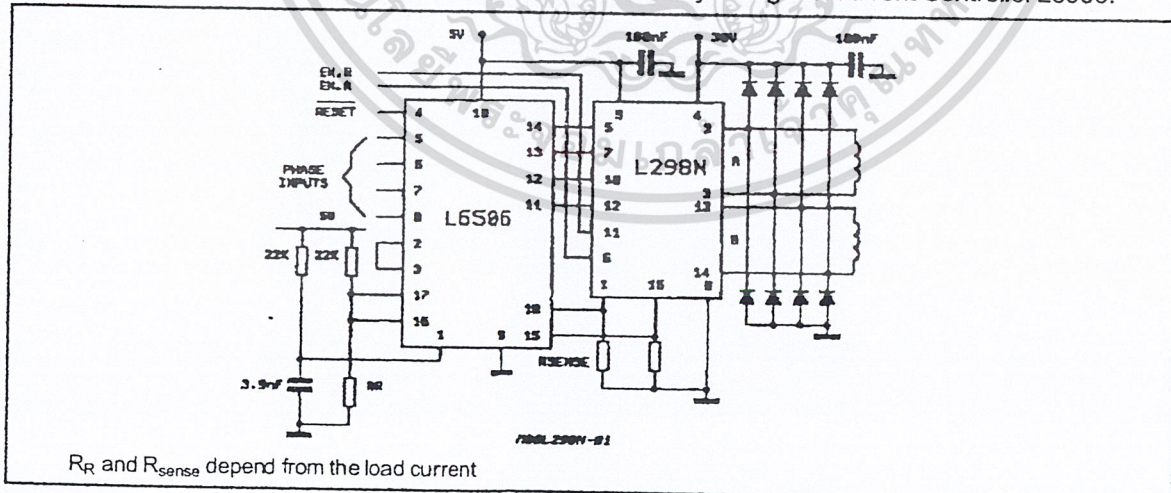
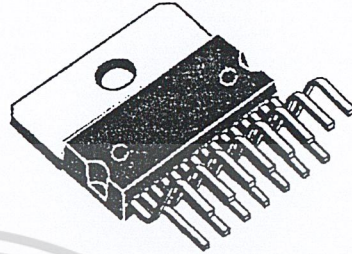


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.

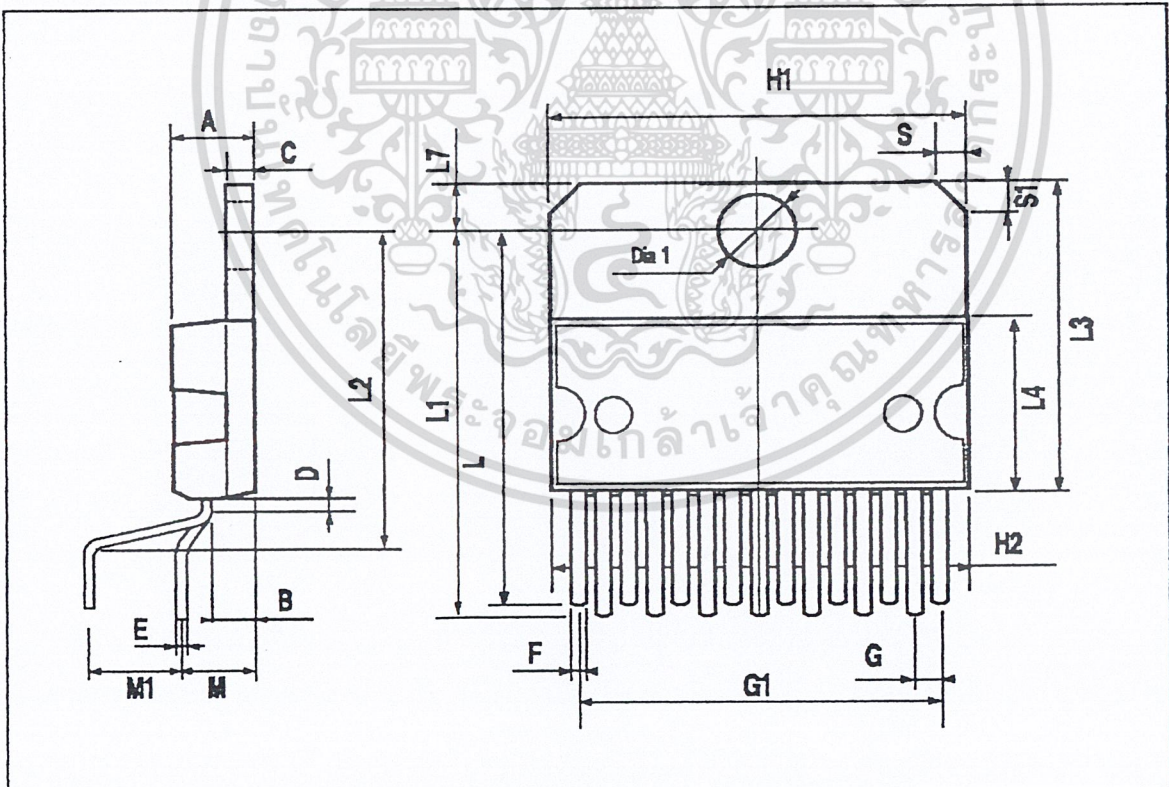


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

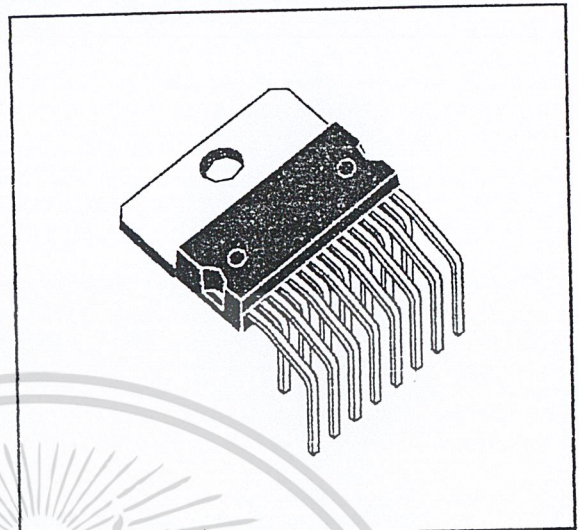


Multiwatt15 V

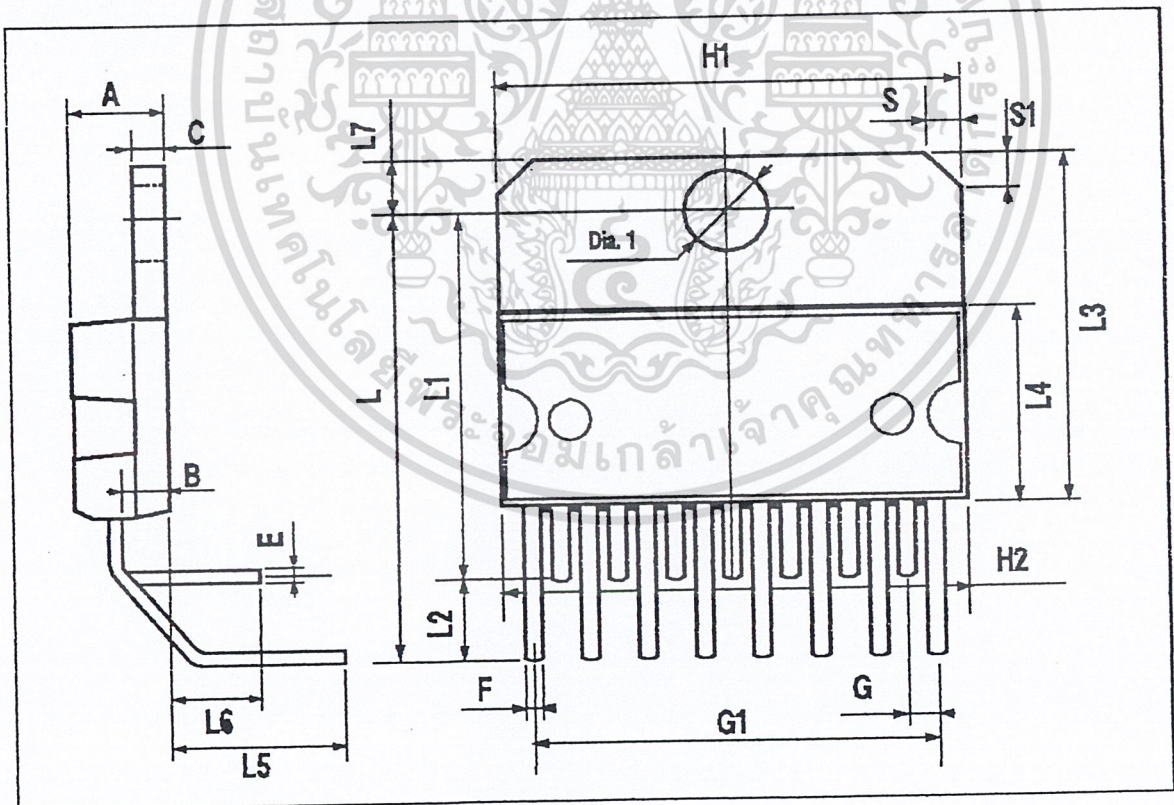


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

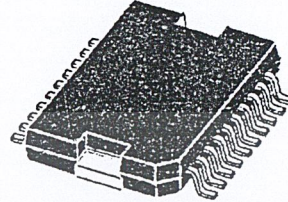


Multiwatt15 H



DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

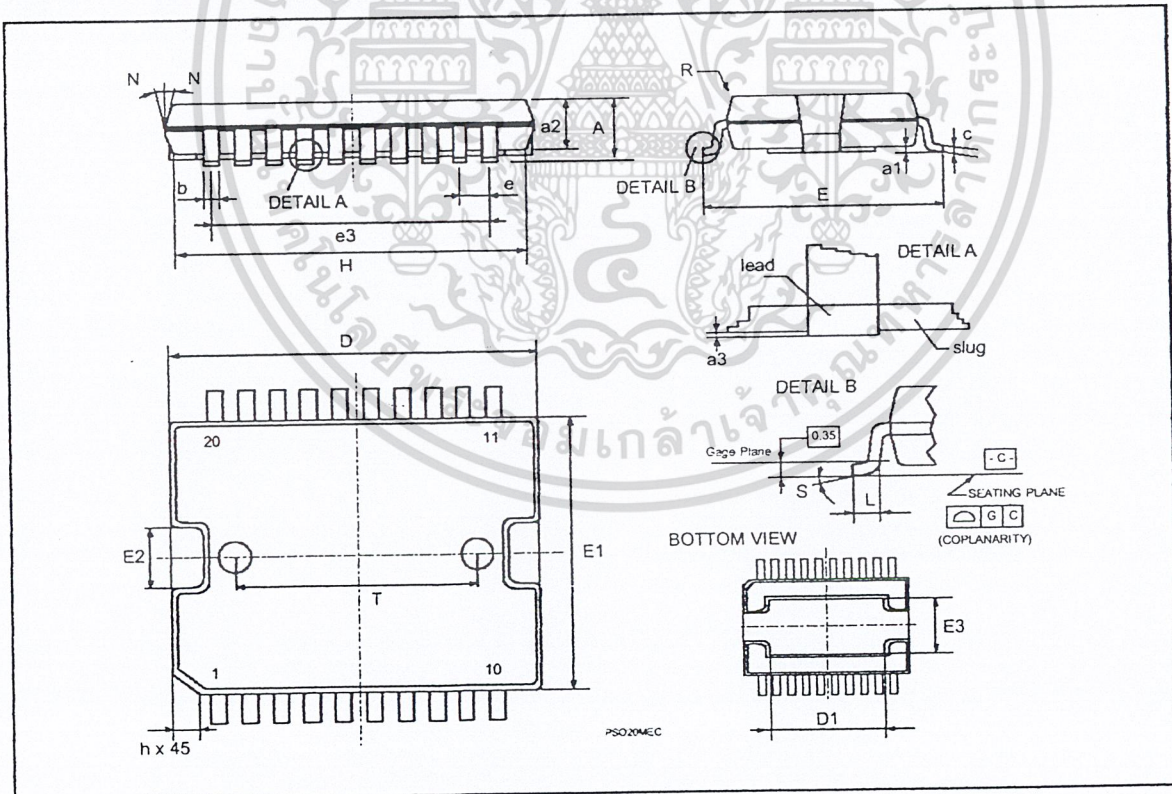
OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20

- (1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.
- Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
- Critical dimensions "E", "G" and "a3"



Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

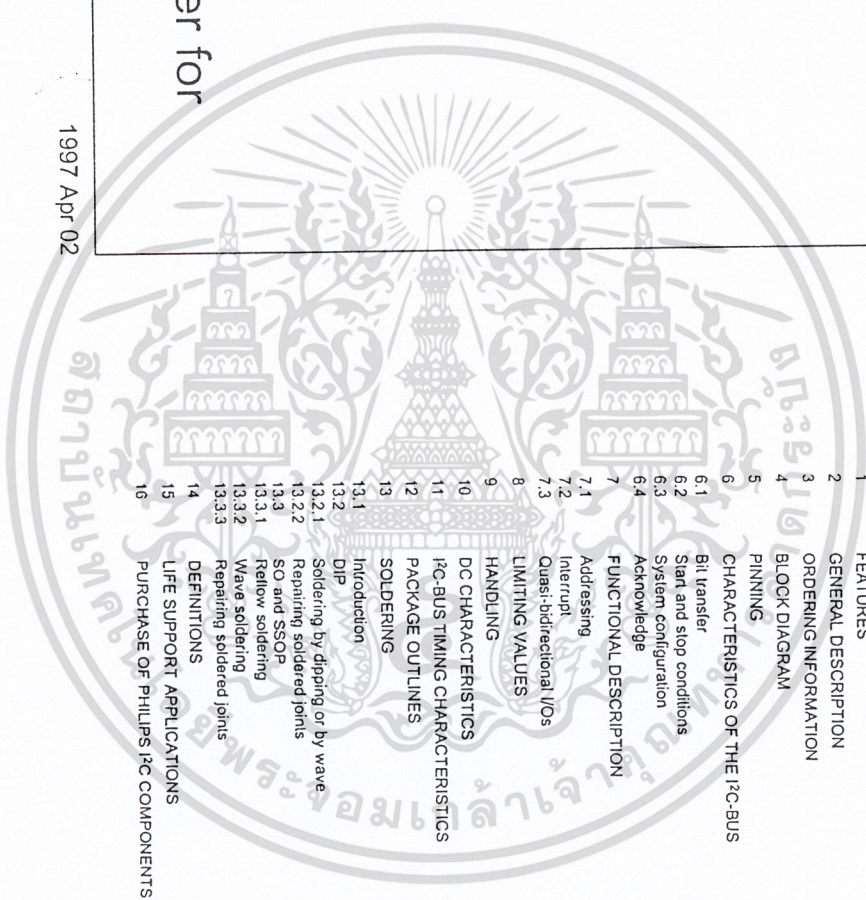
DATA SHEET

PCF8574 Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

Product specification
Supersedes data of September 1994
File under Integrated Circuits, IC12

1997 Apr 02

1	FEATURES
2	GENERAL DESCRIPTION
3	ORDERING INFORMATION
4	BLOCK DIAGRAM
5	PINNING
6	CHARACTERISTICS OF THE I ² C-BUS
6.1	Bit transfer
6.2	Start and stop conditions
6.3	System configuration
6.4	Acknowledge
7	FUNCTIONAL DESCRIPTION
7.1	Addressing
7.2	Interrupt
7.3	Quasi-bidirectional I/Os
8	LIMITING VALUES
9	HANDLING
10	DC CHARACTERISTICS
11	I ² C-BUS TIMING CHARACTERISTICS
12	PACKAGE OUTLINES
13	SOLDERING
13.1	Introduction
13.2	DIP
13.2.1	Soldering by dipping or by wave
13.2.2	Repairing soldered joints
13.3	SO and SSOP
13.3.1	Reflow soldering
13.3.2	Wave soldering
13.3.3	Repairing soldered joints
14	DEFINITIONS
15	LIFE SUPPORT APPLICATIONS
16	PURCHASE OF PHILIPS I ² C COMPONENTS



Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

1 FEATURES

- Operating supply voltage 2.5 to 6 V
- Low standby current consumption of 10 μ A maximum
- I²C to parallel port expander
- Open-drain interrupt output
- 8-bit remanent I/O port for the I²C-bus
- Compatible with most microcontrollers
- Latched outputs with high current drive capability for directly driving LEDs
- Address by 3 hardware address pins for use of up to 8 devices (up to 16 with PCF8574A)
- DIP16, or space-saving SO16 or SSOP20 packages.

2 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8574 is a silicon CMOS circuit. It provides general purpose remanent I/O expansion for most microcontroller families via the two-line bidirectional bus (I²C).
The device consists of an 8-bit quasi-bidirectional port and an I²C-bus interface. The PCF8574 has a low current consumption and includes latched outputs with high current drive capability for directly driving LEDs. It also possesses an interrupt line (INT) which can be connected to the interrupt logic of the microcontroller. By sending an interrupt signal on this line, the remanent I/O can inform the microcontroller if there is incoming data on its ports without having to communicate via the I²C-bus. This means that the PCF8574 can remain a simple slave device.
The PCF8574 and PCF8574A versions differ only in their slave address as shown in Fig. 9.

3 ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		VERSION
	NAME	DESCRIPTION	
PCF8574P	DIP16	plastic dual in-line package: 16 leads (300 mil)	SOT38-1
PCF8574AP	SO16	plastic small outline package: 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1
PCF8574T	SSOP20	plastic shrink small outline package: 20 leads; body width 4.4 mm	SOT216-1

4 BLOCK DIAGRAM

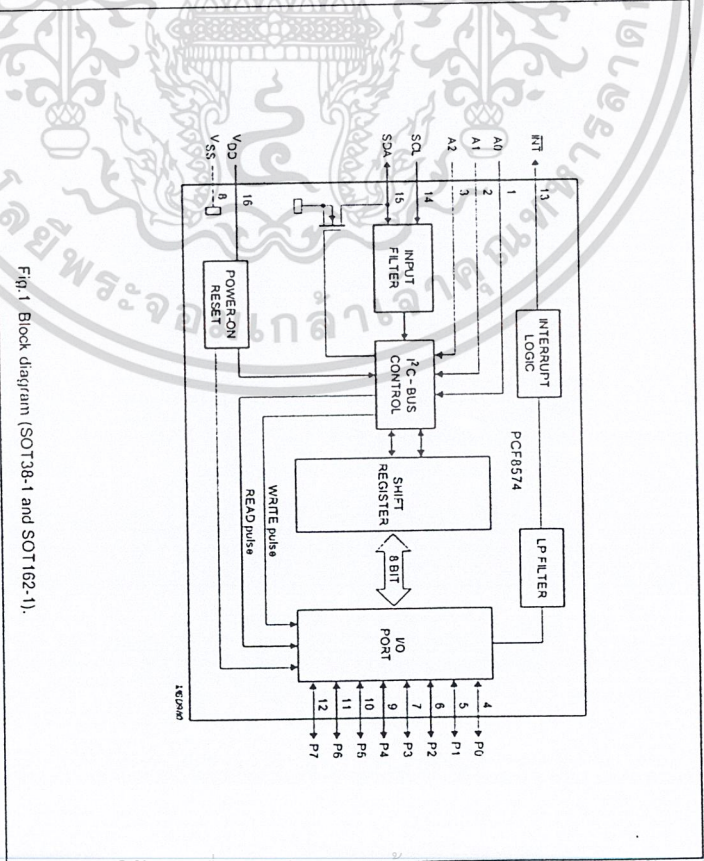


Fig. 1 Block diagram (SOT38-1 and SOT162-1).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

5 PINNING

SYMBOL	PIN		DESCRIPTION
	DIP16; SO16	SSOP20	
A0	1	6	address input 0
A1	2	7	address input 1
A2	3	9	address input 2
P0	4	10	quasi-bidirectional I/O 0
P1	5	11	quasi-bidirectional I/O 1
P2	6	12	quasi-bidirectional I/O 2
P3	7	14	quasi-bidirectional I/O 3
Vss	8	15	supply ground
P4	9	16	quasi-bidirectional I/O 4
P5	10	17	quasi-bidirectional I/O 5
P6	11	19	quasi-bidirectional I/O 6
P7	12	20	quasi-bidirectional I/O 7
INT	13	1	interrupt output (active LOW)
SCL	14	2	serial clock line
SDA	15	4	serial data line
VDD	16	5	supply voltage
n.c.	-	3	not connected
n.c.	-	8	not connected
n.c.	-	13	not connected
n.c.	-	18	not connected

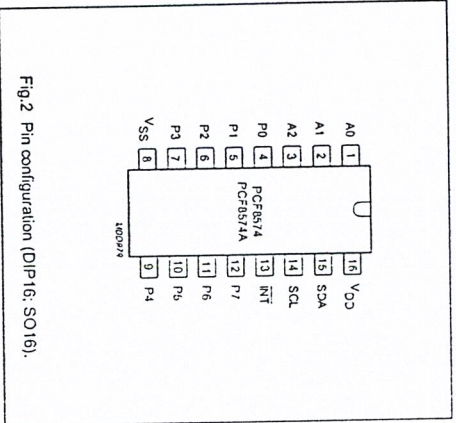


Fig. 2 Pin configuration (DIP16; SO16).

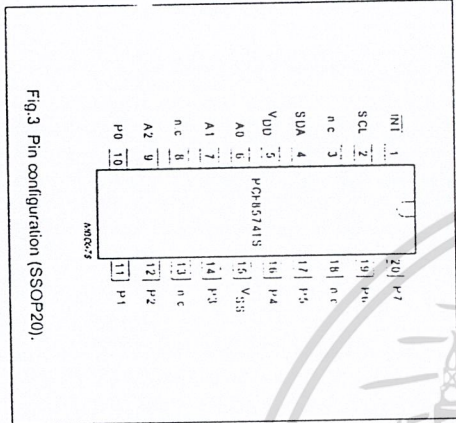


Fig. 3 Pin configuration (SSOP20).

6 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS

The I²C-bus is for 2-way, 2-line communication between different ICs or modules. The two lines are a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL). Both lines must be connected to a positive supply via a pull-up resistor when connected to the output stages of a device. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

6.1 Bit transfer

One data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as control signals (see Fig. 4).

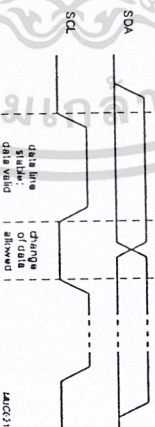


Fig. 4 Bit transfer.

6.2 Start and stop conditions

Both data and clock lines remain HIGH when the bus is not busy. A HIGH-to-LOW transition of the data line, while the clock is HIGH is defined as the start condition (S). A LOW-to-HIGH transition of the data line while the clock is HIGH is defined as the stop condition (P) (see Fig. 5).

6.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves' (see Fig. 6).

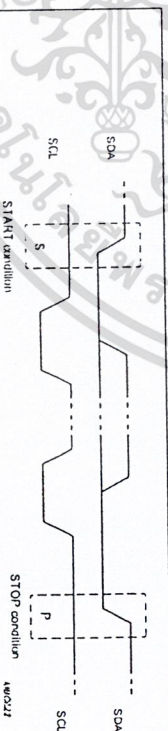


Fig. 5 Definition of start and stop conditions.

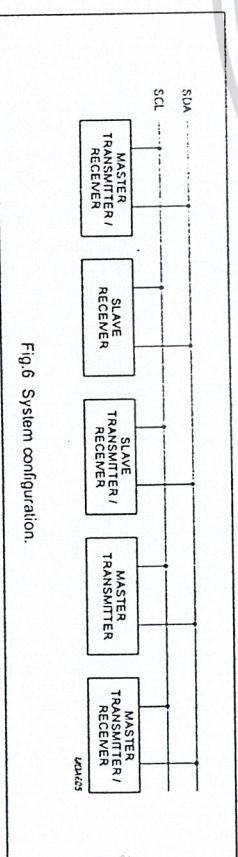


Fig. 6 System configuration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

6.4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the start and the stop conditions from transmitter to receiver is not limited. Each byte of eight bits is followed by one acknowledge bit. The acknowledge bit is a HIGH level put on the bus by the transmitter, whereas the master generates an extra acknowledge related clock pulse. A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also a master must generate an acknowledge after the reception of each byte that has been clocked out of the slave

transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse, so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. set-up and hold times must be taken into account.

A master receiver must signal an end of data to the transmitter by not generating an acknowledge on the last byte that has been clocked out of the slave. In this event the transmitter must leave the data line HIGH to enable the master to generate a stop condition.

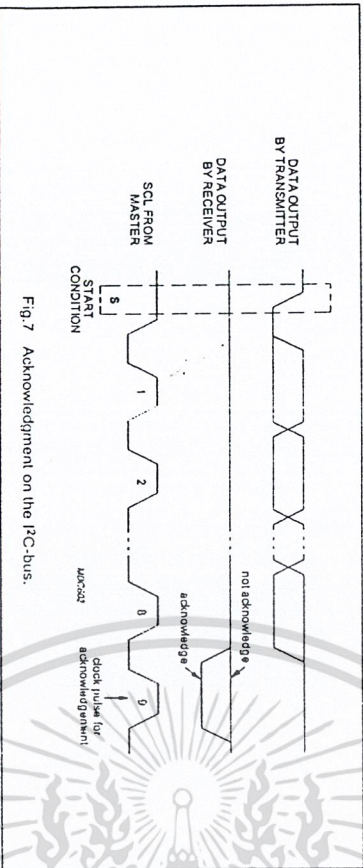


Fig.7 Acknowledgment on the I²C-bus.

7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

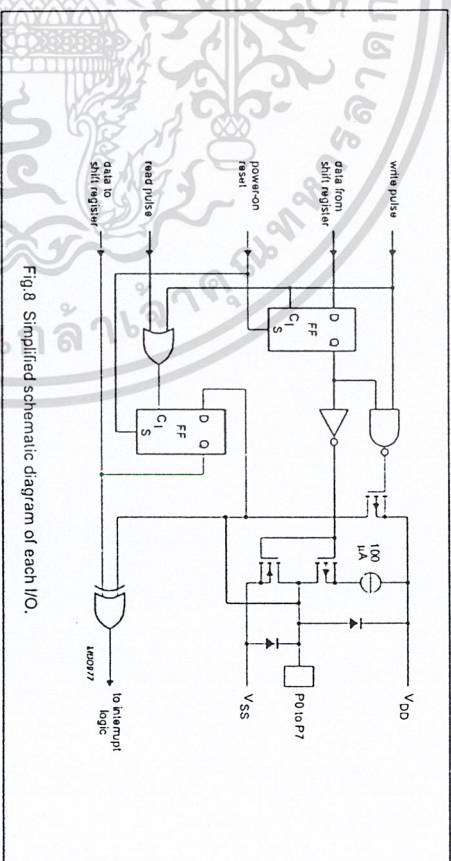


Fig.8 Simplified schematic diagram of each I/O.

7.1 Addressing

For addressing see Figs 9, 10 and 11.

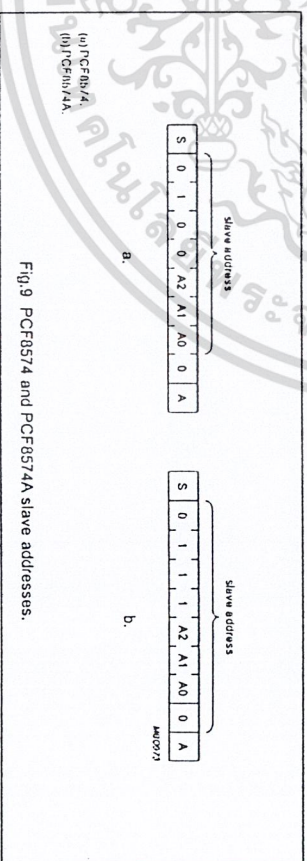


Fig.9 PCF8574 and PCF8574A slave addresses.

Each of the PCF8574's eight I/Os can be independently used as an input or output. Input data is transferred from the port to the microcontroller by the READ mode (see Fig. 11). Output data is transmitted to the port by the WRITE mode (see Fig. 10).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

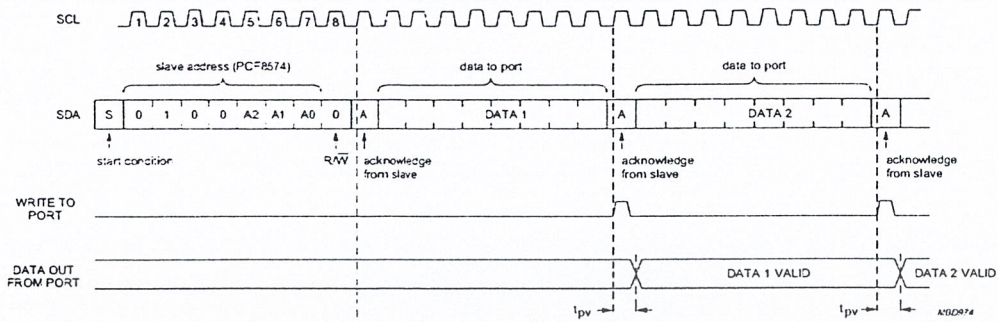
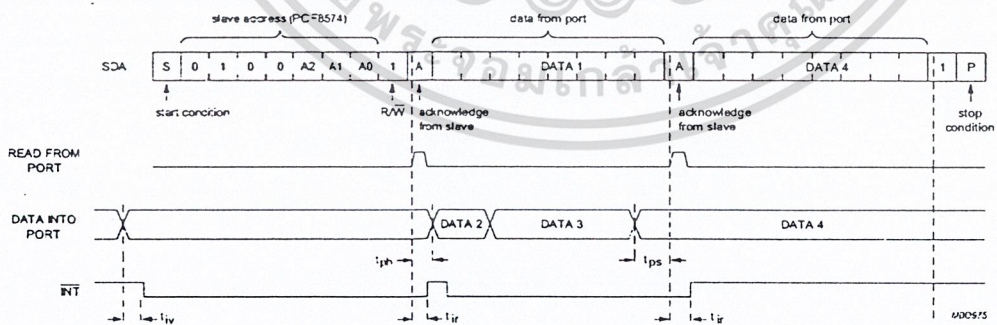


Fig.10 WRITE mode (output).



A LOW-to-HIGH transition of SDA, while SCL is HIGH is defined as the stop condition (P). Transfer of data can be stopped at any moment by a stop condition. When this occurs, data present at the last acknowledge phase is valid (output mode). Input data is lost.

Fig.11 READ mode (input).

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

7.2 Interrupt (see Figs 12 and 13)

The PCF8574 provides an open drain output (INT) which can be led to a corresponding input of the microcontroller. This gives these chips a type of master function which can initiate an action elsewhere in the system.

An interrupt is generated by any rising or falling edge of the port inputs in the input mode. After time t_{IV} the signal INT is valid.

Resetting and reactivating the interrupt circuit is achieved when data on the port is changed to the original setting or data is read from or written to the port which has generated the interrupt.

Resetting occurs as follows:

- In the READ mode at the acknowledge bit after the rising edge of the SCL signal
- In the WRITE mode at the acknowledge bit after the HIGH-to-LOW transition of the SCL signal

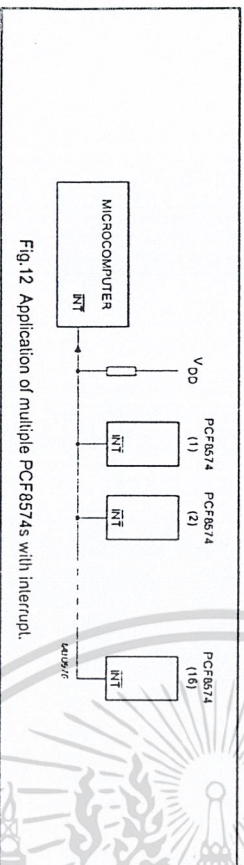


Fig.12 Application of multiple PCF8574s with interrupt.

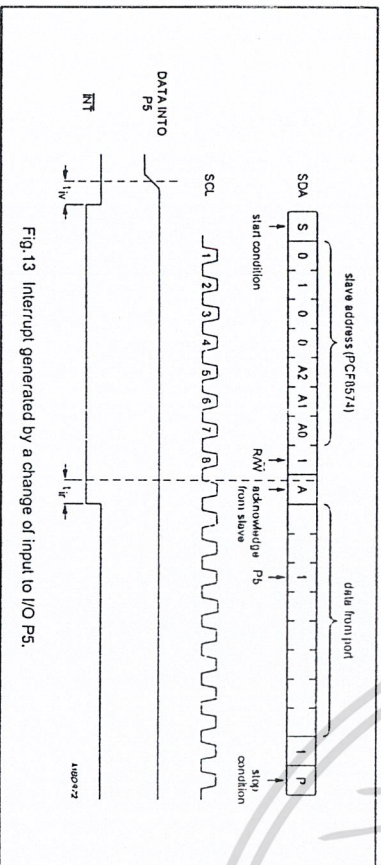


Fig.13 Interrupt generated by a change of input to I/O P5.

7.3 Quasi-bidirectional I/Os (see Fig. 14)

A quasi-bidirectional I/O can be used as an input or output without the use of a control signal for data direction.

All power-on the I/Os are HIGH. In this mode only a current source to V_{DD} is active. An additional strong pull-up to V_{DD} allows fast rising edges into heavily loaded outputs. These devices turn on when an output is written HIGH, and are switched off by the negative edge of SCL. The I/Os should be HIGH before being used as inputs.

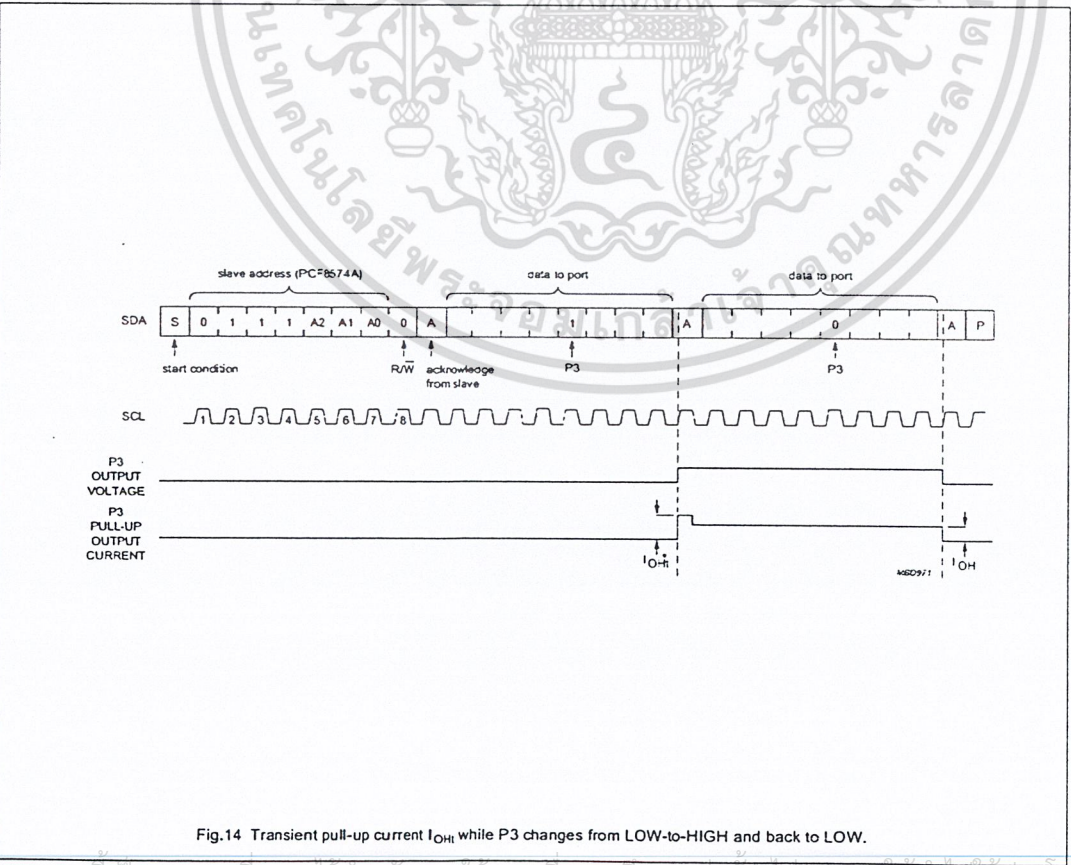


Fig.14 Transient pull-up current I_{OH} while P3 changes from LOW-to-HIGH and back to LOW.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถจัดทำสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ก็เพราะได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจากท่าน รศ. ณรงค์ เหมกรณ์ อาจารย์ ชเนศ พัฒนชาติพงษ์ คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจและเป็นผู้ซึ่งให้โอกาสทางการศึกษาและทุกสิ่งทุกอย่างมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่รัตนกร ฤกษ์ดี ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ และเอื้อเฟื้อเครื่องมืออุปกรณ์ทั้งยังให้การช่วยเหลือต่าง ๆ

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์มาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำ

นายชาญณรงค์ กิ่งแส

นายวุฒิชัย จันทิมา

นายสุรพงษ์ เศษะเทียมจันทร์



หนังสืออ้างอิง

1. Tri T.Ha, "Digital Satellite Communication", Second edition, McGraw-Hill, Publishing Company, 1990.
2. Thomas W.Schultz, "C AND THE 8051", Second Edition, Prentice Hall PTR, 1998.
3. ณรงค์ เหมกรณ์, "การสื่อสารดาวเทียม", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2533.
4. ดร.ประสิทธิ์ ทิมพูลิ, "การสื่อสารดาวเทียม", โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 4, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2540.
5. ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล, "หลักการระบบสื่อสาร", สำนักพิมพ์ หจก.เม็ตรรายพริ้นท์, 2540.
6. ชัยวัฒน์ ถิมพรจิตรวิไล และวราพงษ์ กรแก้ววัฒนกุล, "เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51", สำนักพิมพ์ บริษัทอินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.
7. พิพัฒน์ เลาหสงคราม, "ไมโครคอนโทรลเลอร์", พิมพ์ครั้งที่ 2, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537.
8. ชันวา ศรีประโมง, "การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกร", พิมพ์ครั้งที่ 4, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2539.