

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

รถสำรวจทางรถไฟ

Car Survey Track



รพ.  
@1A75  
2550

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

82174

-9 ก.ค. 2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

41119109  
b.....  
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถสำรวจทางรถไฟ

Car Survey Track

โดย

นายอริรักษ์                      เกียรติ                      รหัสนักศึกษา   47010924

นางสาวอาทิตย์ยา              วิริยะพานิช              รหัสนักศึกษา   47010981

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ยุทธนา กิติใจเดียว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถสำรวจทางรถไฟ

ผู้จัดทำ

- |                    |             |                       |
|--------------------|-------------|-----------------------|
| 1. นายอริรักษ์     | เกรือบุดดี  | รหัสนักศึกษา 47010924 |
| 2. นางสาวอาทิตย์ยา | วิริยะพานิช | รหัสนักศึกษา 47010981 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รถสำรวจทางรถไฟ

นายอริรักษ์ เครือบุคดี รหัส 47010924  
นางสาวอาทิตย์ยา วิริยะพานิช รหัส 47010981  
ผศ.ดร. ยุทธนา ทิศจิตใจเดียว อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2550

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอการออกแบบและสร้างรถสำรวจทางรถไฟ ซึ่งมีความเร็วคงที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ โดยใช้สัญญาณดาวเทียมจีพีเอสในการระบุตำแหน่งของรถสำรวจ เพื่อประโยชน์ในการสำรวจทางรถไฟ และประยุกต์ใช้ในการป้องกันการก่อการร้ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้ง

ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคือ โครงสร้างรถสำรวจทางรถไฟ วงจรขับมอเตอร์ กระแสตรง วงจรควบคุมความเร็วโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมให้ความเร็วคงที่ โดยมีการป้อนกลับสัญญาณจากเอนโคเดอร์กลับมาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ และแสดงตำแหน่งของรถสำรวจโดยคอมพิวเตอร์

## Car Survey Track

Mr. Atiruk kruabuddee ID.47010924

Miss. Atitaya Viriyapanich ID.47010981

Assist. Prof.Dr. Yuttana kidjaideaw Advisor

Educational Year 2007

### Abstract

This report describes a design and construction of a Car Survey Track which is constant velocity via radio frequency and use GPS(Global Positioning System) to identify the car's position. The applications of this car is for surveying track to protect rebellion that always happen. The parts used in this project consist of car structure that can drive on track. The dc motor driver circuit controls speed from microcontroller that has signal feedback from the encoder and the position can be shown on the computer.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ปริญญาานิพนธ์รดสำรวจทางรถไฟ ซึ่งประกอบด้วยชิ้นงานและเอกสารประกอบ ปริญญาานิพนธ์นี้จะสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีมิได้เลย ถ้าหากขาด ผศ.ดร. ยุทธนา คิดใจเดี่ยว และอาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ ผู้ให้คำแนะนำและดูแลในเรื่องวงจรและโปรแกรมอย่างใกล้ชิดมาโดยตลอด เพื่อนๆที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และบุคคลที่จะลืมมิได้เลยคือ พ่อและแม่ผู้สนับสนุนเงินทุนและให้กำลังใจเสมอมา



นายอริรักษ์ เครือบุคดี  
นางสาวอาทิตย์ยา วิริยะพานิช  
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	B
Abstract	C
กิตติกรรมประกาศ	D
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทํางาน	3
2.1 ทฤษฎีมอเตอร์กระแสตรง	3
2.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขั้นพื้นฐาน	5
2.3 ทฤษฎีการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์	8
2.4 ระบบการสื่อสาร	15
2.5 จีพีเอส(GPS)	24
2.6 เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก	36
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง โครงสร้างของรถสำรวจ	48
3.1 แบบตัวรถ	48
บทที่ 4 วงจรอิเล็กทรอนิกส์และการทำงาน	51
4.1 วงจรควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์	51
4.2 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงและรีเลย์	52
4.3 วงจรรับ-ส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุ	53
4.4 วงจรเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก	54
บทที่ 5 ขั้นตอนและโปรแกรมการทำงาน	56
5.1 ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมความเร็วของมอเตอร์	56
5.2 ส่วนรับค่าและแสดงผลจากเครื่องรับจีพีเอสอินเตอร์เฟซกับคอมพิวเตอร์	57
บทที่ 6 ผลการทดลอง	61
6.1 กล่าวนำ	61
6.2 การทดลองโปรแกรมจากไมโครคอนโทรลเลอร์	61
6.3 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง	64
6.4 การทดลองเครื่องรับ จีพีเอส	65
6.5 ทดลองการแสดงผลในวิซวลเบสิก	69
บทที่ 7 สรุป ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการก่อวินาศกรรมเส้นทางรถไฟ	1
รูปที่ 1.2 Block Diagram ของระบบ	2
รูปที่ 2.1 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง	3
รูปที่ 2.2 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของโมเดลทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์	4
รูปที่ 2.3 แสดงโมเดลของดีซีมอเตอร์แบบฟิสิกส์แยกกระตุ่น	5
รูปที่ 2.4 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม	5
รูปที่ 2.5 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน	6
รูปที่ 2.6 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า duty cycles ที่ต่าง ๆ กัน	7
รูปที่ 2.7 วงจร H-Bridge Switching	8
รูปที่ 2.8 วงจร H-Bridge Switching ที่สวิตช์ S1 และ S3 On พร้อมกัน	8
รูปที่ 2.9 วงจร H-Bridge Switching ที่สวิตช์ S2 และ S4 On พร้อมกัน	9
รูปที่ 2.10 การทำงานของรีเลย์	10
รูปที่ 2.11 วงจร H-Bridge Switching จาก Relay	10
รูปที่ 2.12 กรณีที่ RY1 ทำงาน	10
รูปที่ 2.13 กรณีที่ RY2 ทำงาน	11
รูปที่ 2.14 วงจรสวิตช์การนำทรานซิสเตอร์ มาเป็นสวิตช์ควบคุมมอเตอร์	12
รูปที่ 2.15 วงจร H-Bridge Switching จาก Transistor	13
รูปที่ 2.16 กรณีที่ Q1 และ Q3 ทำงาน	14
รูปที่ 2.17 กรณีที่ Q2 และ Q4 ทำงาน	14
รูปที่ 2.18 ระบบสื่อสารพื้นฐาน	15
รูปที่ 2.19 การมอดูเลททางความถี่	18
รูปที่ 2.20 การตอบสนองความถี่ของ Quadratic poles	22
รูปที่ 2.21 แสดงดาวเทียมที่โคจรรอบโลก	26
รูปที่ 2.22 แสดงสถานีควบคุมระบบดาวเทียม GPS 5 แห่ง	28
รูปที่ 2.23 แสดงองค์ประกอบของระบบดาวเทียม GPS	28
รูปที่ 2.24 (ก). โครงสร้างภายในตัวอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก ที่ใช้สารเซรามิก	38
รูป 2.25 แสดงตัวอย่างการเขียนสัญลักษณ์ของอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.26 แสดงผลการทดลองตัวรับตัวหนึ่ง โดยลองเปลี่ยน โหลดเป็นค่าต่าง ๆ กัน แล้วป้อนคลื่นเสียงความถี่ต่างๆกันเข้ามา	41
รูปที่ 2.27 แสดงหลักการทำงานของอูตร้าโซนิค	41
รูปที่ 2.28 อูตร้าโซนิคเซ็นเซอร์ วงจรส่งผ่าน/รับ	42
รูปที่ 2.29 แสดงอูตร้าโซนิคเซ็นเซอร์ , วงจรเวลาคงที่	43
รูปที่ 2.30 อูตร้าโซนิคเซ็นเซอร์ , วงจรที่เปลี่ยนแปลงได้	44
รูปที่ 2.31 อูตร้าโซนิคเซ็นเซอร์ทรานซ์ดีวเซอร์แบบจิ้นส่วนการอิมพัลส์ (Impulse) ที่170 MHz	44
รูปที่ 2.32 อูตร้าโซนิคเซ็นเซอร์ , คุณสมบัติการตรวจจับ	45
รูปที่ 2.33 อูตร้าโซนิคเซ็นเซอร์,พื้นผิวตรง	45
รูปที่ 2.34 อูตร้าโซนิคเซ็นเซอร์,การตรวจจับสิ่งของ	46
รูปที่ 2.35 อูตร้าโซนิคเซ็นเซอร์ , การเบี่ยงเบนคลื่นเสียง	46
รูปที่ 2.36 อูตร้าโซนิคเซ็นเซอร์, ความเร็วของวัตถุที่ยอมให้ได้	47
รูปที่ 3.1 ลักษณะตัวรถ	48
รูปที่ 3.2 ยึดเพลลา	48
รูปที่ 3.3 แบร์ริงและเพลลา	49
รูปที่ 3.4 เพลลา	49
รูปที่ 3.5 ล้อ	50
รูปที่ 3.6 โครงรถสำรวจ	50
รูปที่ 4.1 วงจรควบคุมประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC16F877A)	51
รูปที่ 4.2 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงและรีเลย์	52
รูปที่ 4.3 วงจรภาคส่ง	53
รูปที่ 4.4 วงจรภาครับ	54
รูปที่ 4.5 วงจรตัวส่งเซนเซอร์อัลตราโซนิค	55
รูปที่ 4.6 วงจรตัวรับเซนเซอร์อัลตราโซนิคและวงจรถอมพาราเตอร์	55
รูปที่ 5.1 Flow chart ของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนที่ 1	56
รูปที่ 5.2 Flow chart ของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนที่ 2	57
รูปที่ 5.3 แสดงการ Mapping ค่าลองติจูด เป็นพิกเซล	58
รูปที่ 5.4 Flow chart ของโปรแกรมวิซวลเบสิก	59
รูปที่ 5.5 การแสดงผลของโปรแกรมวิซวลเบสิก	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.1 แสดงจุดที่ทำให้การวัดสัญญาณในวงจรขั้วมอเตอร์	61
รูปที่ 6.2 แสดงการทดสอบการควบคุมความเร็วมอเตอร์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเลือก input เป็น speed (0)	62
รูปที่ 6.3 แสดงการทดสอบการควบคุมความเร็วมอเตอร์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเลือก input เป็น speed (1)	62
รูปที่ 6.4 แสดงการทดสอบการควบคุมทิศทางมอเตอร์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเลือก input เป็น Backward (1)	63
รูปที่ 6.5 แสดงการทดสอบการควบคุมทิศทางมอเตอร์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเลือก input เป็น Forward (1)	63
รูปที่ 6.6 แสดงการทดสอบสัญญาณที่ออกมาจาก TLP250 เมื่อที่ไมโครคอนโทรลเลอร์มี input เป็น Forward (0)	64
รูปที่ 6.7 แสดงการทดสอบสัญญาณที่ออกมาจาก TLP250 เมื่อที่ไมโครคอนโทรลเลอร์มี input เป็น Forward (1)	65
รูปที่ 6.8 แสดงขอบเขตละติจูด ลองติจูดเทียบกับแผนที่	69
รูปที่ 6.9 การแสดงตำแหน่งรถสำรวจ ณ ป้ายหยุดรถพระจอมเกล้า	70
รูปที่ 6.10 การแสดงตำแหน่งรถสำรวจ ณ สะพานลอยพระจอมเกล้า	70
รูปที่ 6.11 การแสดงตำแหน่งรถสำรวจ ณ ถนนทดลองกรุงตัดผ่านทางรถไฟ	71
รูปที่ 6.12 การแสดงตำแหน่งรถสำรวจ ณ ทางรถไฟข้างหอสมุด	71
รูปที่ 6.13 การแสดงตำแหน่งรถสำรวจ ณ สะพานลอยหัวตะเข้	72
รูปที่ 6.14 การแสดงตำแหน่งรถสำรวจ ณ สถานีรถไฟหัวตะเข้	72

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงการจ่ายพัลส์ให้กับมอเตอร์	57
ตารางที่ 6.1 การทดลองการเปลี่ยนแปลงของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ทำได้โดยจ่ายพัลส์ PWM ที่ควิตซ์ไฟเกิดต่างๆ	64
ตารางที่ 6.2 การบันทึกค่าพิกัดของเครื่องรับจีพีเอสขณะหยุดนิ่ง	67
ตารางที่ 6.3 การบันทึกค่าพิกัดต่างของเครื่องรับจีพีเอสที่ระยะต่างๆ	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

ปัจจุบันยานสำรวจได้มีการสร้างกันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบของรถ เรือ หรือ ยานอวกาศ สามารถทำงานด้วยตัวเองได้ในระบบอัตโนมัติหรือระบบที่มีการควบคุม ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการสำรวจที่ต่างๆตามที่ต้องการ เพื่อรักษาความปลอดภัย หรือคอยช่วยเหลือมนุษย์ ฯลฯ และเนื่องจากประเทศไทยถูกก่อวินาศกรรมเส้นทางรถไฟอยู่บ่อยครั้ง เช่น การถูกวางระเบิด ถอดหมุดยึดรางรถไฟ เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่างๆมากมาย ไม่ว่าจะเป็นประชาชนจำนวนมากได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิต และชื่อเสียงของประเทศ

ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้มีการออกแบบและสร้างรถสำรวจทางรถไฟ ซึ่งมีความเร็วคงที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ โดยใช้สัญญาณดาวเทียมจีพีเอสในการระบุตำแหน่งของรถสำรวจ เพื่อประโยชน์ในการสำรวจทางรถไฟ และประยุกต์ใช้ในการป้องกันการก่อการร้ายต่างๆ ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 1.1 ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการก่อวินาศกรรมเส้นทางรถไฟ

### วัตถุประสงค์

- เพื่อการเรียนรู้การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC
- เพื่อเรียนรู้และสามารถใช้งานวงจรจับมอเตอร์กระแสตรง
- เพื่อเรียนรู้และสามารถใช้งานวงจรรับ-ส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุ
- เพื่อเรียนรู้และสามารถใช้งาน GPS ในการระบุตำแหน่ง
- เพื่อเป็นรถต้นแบบ ในการพัฒนารถสำรวจต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

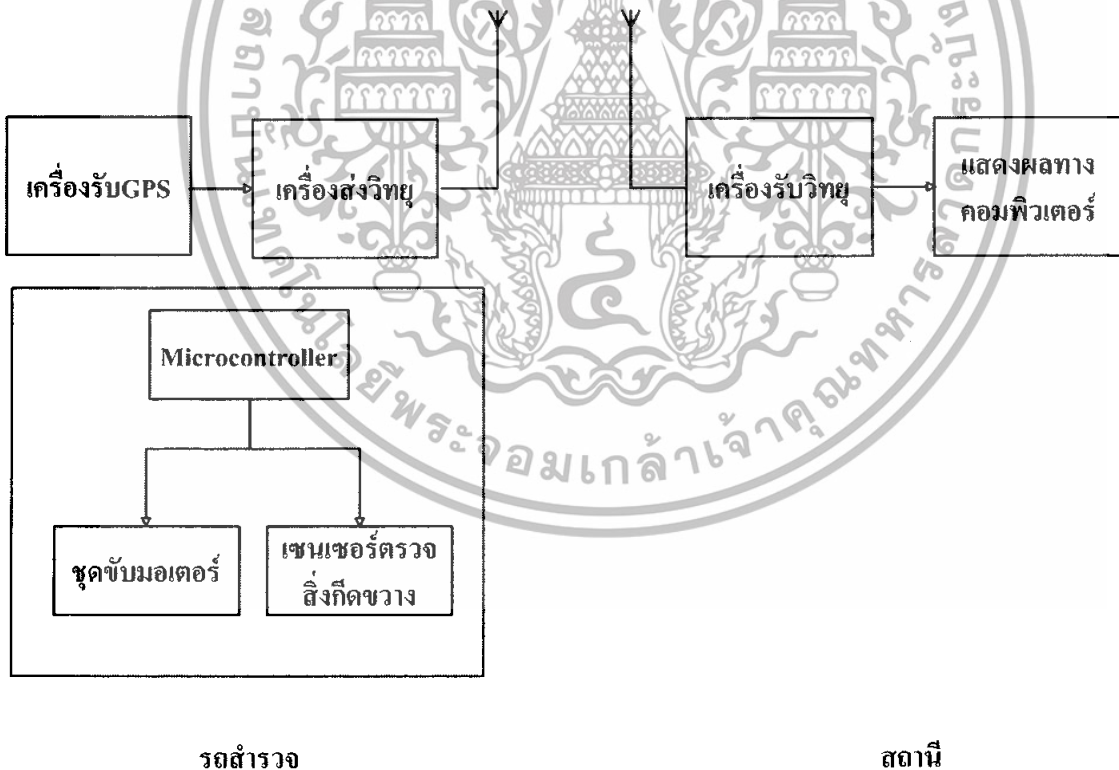
### ขอบเขตของการทำงาน

- ออกแบบรถสำรวจให้สามารถวิ่งบนรางรถไฟได้
- ออกแบบวงจรให้สามารถขับมอเตอร์ได้
- ออกแบบวงจรรับ-ส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุได้
- ควบคุมรถสำรวจได้โดยอัตโนมัติ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- ใช้ GPS ระบุตำแหน่งรถสำรวจ

### หลักการทำงาน

- ส่วนควบคุมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC มีระบบควบคุมการทำงานเป็นแบบ PWM และมีการป้อนกลับจากเอนโคเดอร์
- ส่วนขับเคลื่อนโดย DC MOTOR จำนวน 1 ตัว ในการขับเคลื่อน

### Block Diagram ของระบบ



รูปที่ 1.2 Block Diagram ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการทำงาน

#### 2.1 ทฤษฎีมอเตอร์กระแสตรง

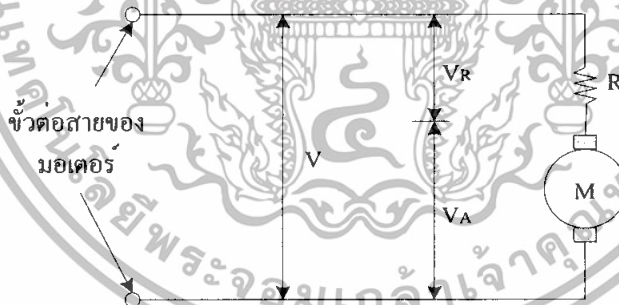
##### 2.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส และ สนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการทำงานได้

สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวรซึ่งจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็ก หรือเหล็กกล้า โดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดอยู่กับที่ และ ขดลวดเหนี่ยวนำจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนหมุนของมอเตอร์

##### 2.1.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง

ในการอธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงให้ละเอียดนั้นต้องพิจารณาแรงดันที่ป้อนและความต้านทานของโรเตอร์ด้วย วงจรภายในของมอเตอร์เขียนได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง

โดยสมมติให้หุ่น โรเตอร์ไม่มีความต้านทานอยู่เลย อนุกรมกับความต้านทานซึ่งในที่นี้ก็คือความต้านทานของขดลวดนั่นเอง แรงดันที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์ก็คือผลบวกระหว่างแรงดันที่หุ่นโรเตอร์ ( $V_A$ ) และ แรงดันตกคร่อมความต้านทานขดลวด ( $V_R$ )

แรงดัน  $V_A$  ถูกเรียกว่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำป้อนกลับ (BACK EMF) ซึ่งเกิดขึ้นในโรเตอร์ขณะที่หมุนแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก สัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำ แรงดันที่เกิดขึ้นจะมีข้อตรงกันข้ามกับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และ แปรผันตรงกับความเร็วในการหมุน ผลบวกของแรงดันที่ทวนโรเตอร์ ( $V_A$ ) และแรงดันตกคร่อมขดลวด ( $V_R$ ) ต้องเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ( $V$ )

$$V = V_A + V_R \quad (V) \quad (2.1)$$

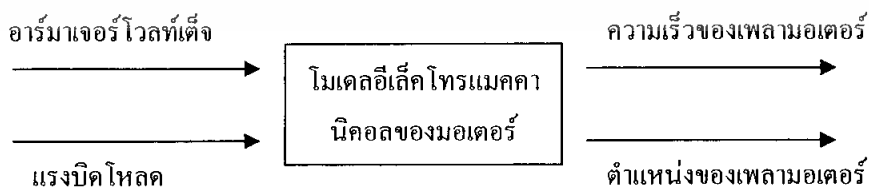
เมื่อพิจารณาตั้งแต่มอเตอร์หยุดนิ่ง ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น  $V_A = 0$ ,  $V_R = V$  กระแสที่ไหลในมอเตอร์หาได้จาก

$$I = V_R / R \quad (A) \quad (2.2)$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะมีความเร็ว และ  $V_A$  เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว  $V_R$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ ความแตกต่างระหว่าง  $V_A$  และ  $V$  จะเริ่มลดลงกระแส  $I$  ก็จะเริ่มลดลงเช่นกันขณะที่มอเตอร์ยังมีความเร็วอยู่ ความเร็วจะเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลงจนกว่าจะถึงจุดซึ่งแรงบิดของมอเตอร์รับภาระ โหลดได้สมดุลพอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด และ หมุนอย่างอิสระจะมีเพียงค่าความฝืดของแบร์ริง และ แรงต้านอากาศทำให้  $V_A$  เกือบเท่ากับค่า  $V$

### 2.1.3 โมเดลคณิตศาสตร์ของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์ที่ใช้ร่วมกับดีซีเอมเปลีไฟต์ทั้งในระบบการบังคับตำแหน่งและการบังคับความเร็ว มักจะได้รับการประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบสร้างกำลังงานในระบบการนำร่องและระบบบังคับต่างๆ และเนื่องจากวิทยากรเกี่ยวกับสารแม่เหล็กและการขยายด้วยโซลิดสเตททำให้ดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรได้รับความนิยมใช้เป็นส่วนประกอบการขับเคลื่อนในระบบการบังคับแบบปิดลูปต่างๆ มากขึ้น การออกแบบและการชดเชยระบบดังกล่าวได้อย่างเหมาะสมจะต้องใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ของส่วนประกอบทั้งหมดในระบบ

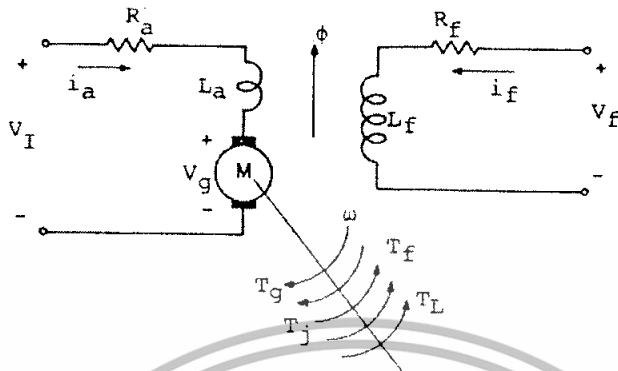


รูปที่ 2.2 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของโมเดลทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 โมเดลอิเล็กทรอนิกส์โทรมแมคคานิคอล

ส่วนสำคัญของดีซีมอเตอร์แบบฟีดแบ็คกระตุ้นมีโมเดลดังแสดงในรูป

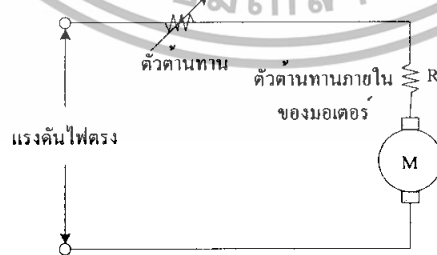


รูปที่ 2.3 แสดง โมเดลของดีซีมอเตอร์แบบฟีดแบ็คกระตุ้น

2.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์พื้นฐาน

2.2.1 การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของการควบคุมมอเตอร์คือใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ออกนุกรมกับมอเตอร์ โดยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ การบังคับแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพเพราะกำลังไฟสูญเสียไปในตัวความต้านทาน มักนิยมใช้กับมอเตอร์ตัวเล็ก ๆ การบังคับแบบนี้ให้คุณสมบัติการสตาร์ทดี (ให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ) แต่จะให้ความเร็วสูงมากเมื่อมอเตอร์อยู่ในภาวะที่มีโหลดน้อยๆ ดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะภาวะที่แรงต้านคงที่ เช่น การบังคับความเร็วของเครื่องจักรเย็บผ้า เป็นต้น

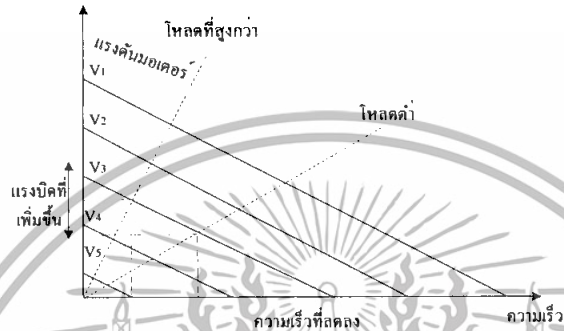


รูปที่ 2.4 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

วิธีการนี้ดีกว่าวิธีการแรกแต่จะซับซ้อนกว่าต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อัตราขยายกำลังสูง และ มอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ข้อดีของการควบคุมวิธีนี้คือ ถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการควบคุมวิธีนี้คือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วต่ำแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน



รูปที่ 2.5 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน

### 2.2.3 การควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse width modulation (PWM) คือ เทคนิคสำหรับควบคุมวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัลของไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม

#### การทำงานของสัญญาณ PWM

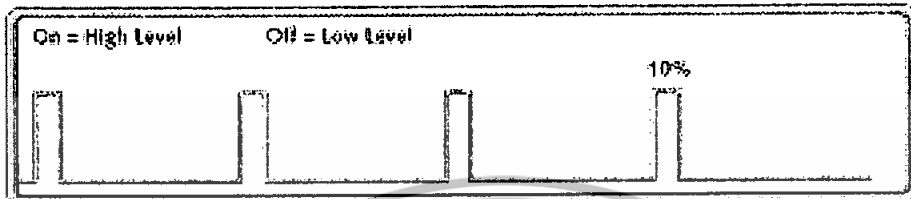
รูปที่ 1 แสดงสัญญาณ PWM ที่แตกต่างกัน 3 สัญญาณ

- โดย 10a แสดงสัญญาณ PWM ที่ 10% duty cycle คือ สัญญาณในการออนจะเป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 90% ของคาบสัญญาณ

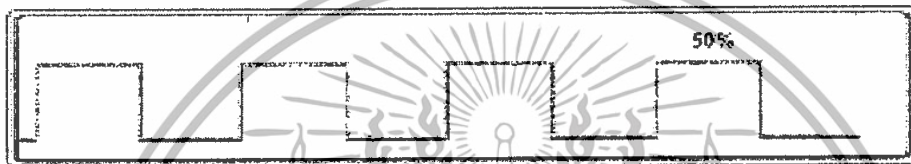
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดย 10b แสดงสัญญาณ PWM ที่ 50% duty cycle คือ สัญญาณในการอนจะเป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 50% ของคาบสัญญาณ
- โดย 10c แสดงสัญญาณ PWM ที่ 90% duty cycle คือ สัญญาณในการอนจะเป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 10% ของคาบสัญญาณ

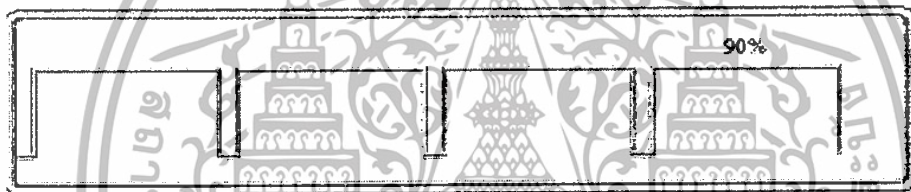
เช่น ถ้า Power Supply มี 9V และ duty cycle เป็น 10% จะได้อาท์พุต 0.9V



รูปที่ 3.6 a



รูปที่ 3.6 b 10b



รูปที่ 3.6 c

รูปที่ 2.6 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า duty cycles ที่ต่างกัน

### เหตุผลที่ช้ PWM ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์

มีหลายเหตุผลว่าทำไม PWM ถึงถูกเลือกใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เช่น :

- PWM ง่ายในการอินเตอร์เฟสกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ใช้เพียงแค่อาท์พุตสัญญาณเดียวในการควบคุมความเร็ว
- PWM มีประสิทธิภาพ คือ Power Supply จะจ่ายกำลังได้เต็มที่ทั้ง ON และ OFF(FULL ON and FULL OFF)
- PWM ทำให้ได้ค่า ทอร์ค และ ความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ เป็นเพราะ Power Supply จะจ่ายกำลังได้เต็มที่ทั้ง ON และ OFF(FULL ON and FULL OFF)

ซึ่งในโครงการนี้ที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตัดต่อวงจร เราสามารถจะควบคุมจังหวะในการจ่ายกระแสได้ การ on และ off ในสัดส่วนต่างๆกัน ด้วยความถี่ที่เหมาะสมก็จะทำให้ motor หมุนที่ความเร็วต่างๆ กันตามความต้องการได้ ถ้าความถี่ต่ำไป motor ก็จะมีเสียงกระตุกๆ ไม่เรียบ และอาจจะได้ยินเสียงจากการสั่นของขดลวดทองแดง ถ้าความถี่สูงกว่า 20 kHz เราก็จะไม่ได้ยินเสียง

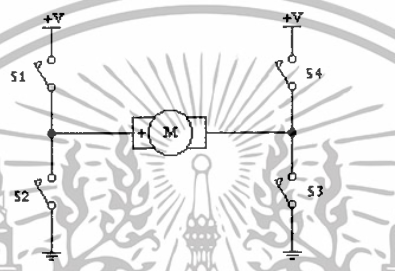
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่บนเว็บไซต์เป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดสั้นอีกต่อไป และ ที่ความถี่สูงขึ้นไป มากๆ ก็ จะเกิดการสูญเสีย พลังงาน ในวงจรมากเกิน ความจำเป็น

### 2.3 ทฤษฎีการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

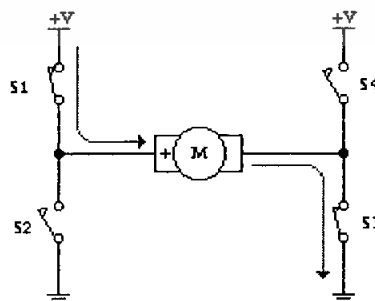
การควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้หมุนได้ทั้งเดินหน้าและถอยหลังนั้น สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งนิยมใช้วงจร H-Bridge Switching จากหลักการของวงจรมันั้น จะประกอบไปด้วย สวิตช์ 4 ตัว นั่นก็คือ S1 ,S2 ,S3 และ S4 นั่นเอง ซึ่งในรูปตัวอย่าง จะใช้ DC-Motor เป็น Load ของวงจรมันนั่นเอง



รูปที่ 2.7 วงจร H-Bridge Switching

ในสถานะเริ่มต้น สวิตช์ ทุกตัว Off อยู่ ก็จะไม่ทำอะไรเกิดขึ้นทั้งสิ้น เพราะ ไม่มีกระแสไฟฟ้า ไหลเข้าสู่มอเตอร์

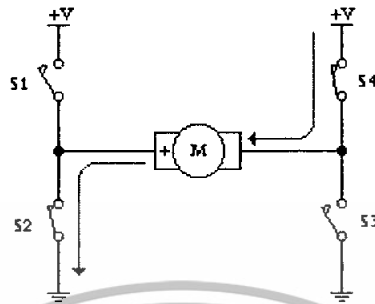
และเมื่อเราทำการ On สวิตช์ S1 และ S3 พร้อมกัน จะเป็นการเชื่อมวงจร ทำให้มีกระแสไฟฟ้า ไหลผ่านมอเตอร์ จากขั้วบวกของมอเตอร์ ไปยังขั้วลบของมอเตอร์ จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ ในทิศทาง Forward (จะหมุนแบบตามเข็มนาฬิกา หรือทวนเข็มนาฬิกานั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของการพันขดลวดภายในมอเตอร์)



รูปที่ 2.8 วงจร H-Bridge Switching ที่สวิตช์ S1 และ S3 On พร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในทางกลับกัน ถ้าหากเราทำการ On สวิตช์ S2 และ S4 พร้อมกัน ก็จะเป็นการเชื่อมวงจร และทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ไหลผ่านมอเตอร์ จากขั้วลบของมอเตอร์ ไปยังขั้วบวกของมอเตอร์ จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ และเป็นการหมุนในทิศทาง Revers (กลับทิศทางกับกรณีแรก)



รูปที่ 2.9 วงจร H-Bridge Switching ที่สวิตช์ S2 และ S4 On พร้อมกัน

ดังนั้นวงจรนี้จะอาศัยสวิตช์ 4 ตัว เพื่อบังคับทิศทางการไหล ของกระแสไฟฟ้า ที่ไหลผ่านมอเตอร์ เพื่อควบคุมให้มอเตอร์หมุนตามทิศทางที่เราต้องการ โดยการผลัดกัน On และ Off สวิตช์ พร้อมกัน 2 ตัว

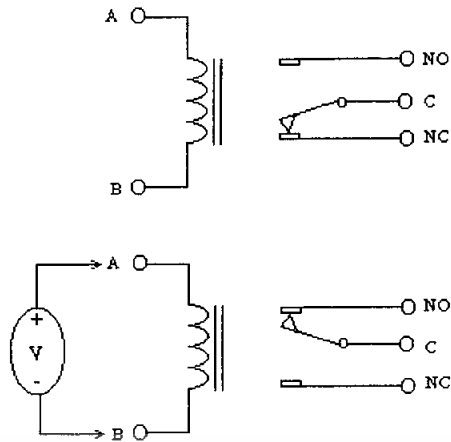
### 2.3.1 การสร้างวงจร H-Bridge Switching จาก Relay

รีเลย์เป็นอุปกรณ์แม่เหล็ก (Magnetics device) ที่ใช้กันมานาน แต่ในปัจจุบันก็ยังนิยมใช้กันอยู่ ปัจจุบันนี้ รีเลย์ ถูกพัฒนาให้มีคุณภาพดีกว่าสมัยก่อนมากในส่วนของวัสดุ รูปร่าง แต่ยังคงหลักการ และโครงสร้างเดิม เอาไว้

ภายในโครงสร้างของ รีเลย์ จะประกอบไปด้วยขดลวด (Coil) 1 ชุด และ หน้าสัมผัส (Contactor) ซึ่งในหน้าสัมผัส 1 ชุด จะประกอบไปด้วย

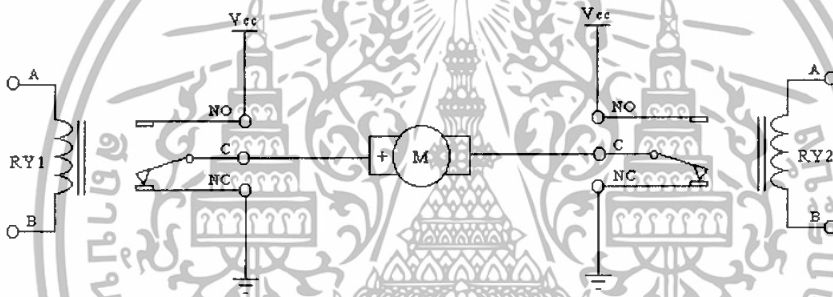
- หน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally Close หรือ NC.) ซึ่งในสภาวะปกติ ขานี้จะต่ออยู่กับขาร่วม (Common)
- หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open หรือ NO.) ขานี้จะต่อเข้ากับขาร่วม (Common) เมื่อขดลวดมีแรงดันตกคร่อม หรือกระแสไหลผ่าน (ในปริมาณที่เพียงพอ)

ใน รีเลย์ 1 ตัว อาจมีหน้าสัมผัสมากกว่า 1 ชุด เช่น 2 ชุด, 4 ชุด เป็นต้น นั้นขึ้นอยู่กับผู้ผลิต เมื่อขดลวดได้รับแรงดันตกคร่อม (ขา A และ B) จะทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวด ซึ่งจะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็ก ดึงดูดให้หน้าสัมผัส NO และ C ติดกัน ดังรูป



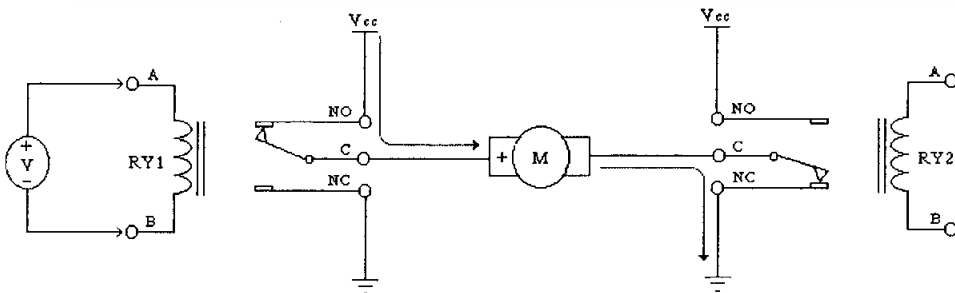
รูปที่ 2.10 การทำงานของรีเลย์

การสร้างวงจร H-Bridge Switching จาก Relay



รูปที่ 2.11 วงจร H-Bridge Switching จาก Relay

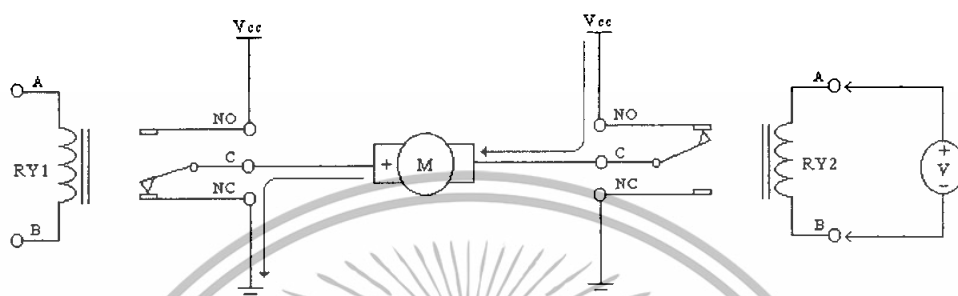
วงจรนี้ จะประกอบไปด้วย รีเลย์ 2 ตัว คือ RY1 และ RY2 ซึ่ง Load ก็คือ DC-Motor ซึ่งตั้งต่อกับขั้วร่วม (C.) ของ RY1. และ RY2. โดยขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ ตั้งอยู่ที่ขา C. ของ RY1 และขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ ตั้งอยู่ที่ขา C. ของ RY2 โดยที่ขา NO. ของ RY1 และ RY2 จะตั้งต่อกับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ ที่จะจ่ายให้มอเตอร์ (Vcc) และขา NC. ของ RY1 และ RY2 จะต่อลงกราวด์



รูปที่ 2.12 กรณีที่ RY1 ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ RY1 ทำงาน (มีกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่เพียงพอ) จะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดึงดูดให้ขา NO และขา C ของ RY1 ติดกัน ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (Vcc) ผ่านเข้าสู่ขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา C ของ RY2 ซึ่งต่ออยู่ที่ NC และลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวก และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทาง Forward ได้



รูปที่ 2.13 กรณีที่ RY2 ทำงาน

เมื่อ RY2 ทำงาน (มีกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่เพียงพอ) จะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดึงดูดให้ขา NO และขา C ของ RY2 ติดกัน ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (Vcc) ผ่านเข้าสู่ขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา C ของ RY1 ซึ่งต่ออยู่ที่ NC และลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางลบ และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทาง Reward ได้

ผลกระทบของการตอบสนองของรีเลย์ เป็นอุปกรณ์ที่มีความเร็วในการทำงานต่ำ เช่นรีเลย์ชนิดแรงดันต่ำ (กระดุนขดลวดไม่เกิน 24v.) จะใช้เวลาในการทำงานประมาณ 10 - 50 ms. และรีเลย์ขนาดใหญ่ ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม นั้น อาจใช้เวลาในการทำงานมากกว่า 100 ms.

ผลกระทบจากอำนาจแม่เหล็ก รีเลย์ เป็นอุปกรณ์แม่เหล็ก ดังนั้นเราจึงไม่สามารถหนีปัญหานี้ได้ ดังนั้นจึงไม่ใช่เรื่องแปลก ที่หลายคนอาจเคยมีปัญหของ รีเลย์ไปรบกวนการทำงานของวงจรไมโครฯ การแก้ไข อาจมีหลายวิธี เช่น

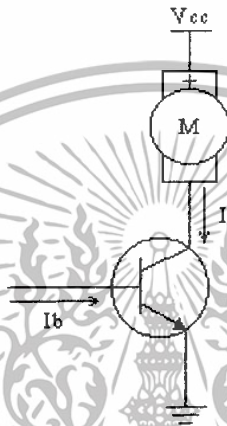
- แยกกราวด์ : คือ การแยกกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และแหล่งจ่ายไฟกระตุ้นรีเลย์ ออกจากกัน โดยใช้อุปกรณ์ Opto Coupler
- แยกบอร์ด : คือ การแยกการทำงานในส่วนของวงจรรีเลย์ ออกไปจากบอร์ดไมโครฯ แล้วทำการชิลด์ให้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ลดขนาดแรงดันกระตุ้น : คือ การเปลี่ยนตัวรีเลย์ เช่นเปลี่ยนจากรีเลย์ขนาด 24v. มาเป็น 12v.

### 2.3.2 สร้างวงจร H-Bridge Switching จาก Transistor

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor device) ที่เราสามารถนำคุณสมบัติของการ Cutoff และการ Saturation มาประยุกต์ใช้งานเป็นสวิตช์ได้ และที่สำคัญมันเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ที่เราสามารถควบคุมการปิด/เปิด



รูปที่ 2.14 วงจรสวิตช์การนำทรานซิสเตอร์ มาเป็นสวิตช์ควบคุมมอเตอร์

จากรูปเป็นวงจรสวิตช์แบบง่าย ๆ โดยการนำทรานซิสเตอร์ มาเป็นสวิตช์ควบคุมมอเตอร์ หลักการง่าย ๆ ก็คือ เมื่อเราป้อนกระแส  $I_b$  ด้วยปริมาณที่มากพอ ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน (On) จะทำให้กระแส  $I_c$  ไหล แปลว่ามีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ได้ (กระแส  $I_b$  จะต้องมากเพียงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะ "อิ่มตัว" ได้)

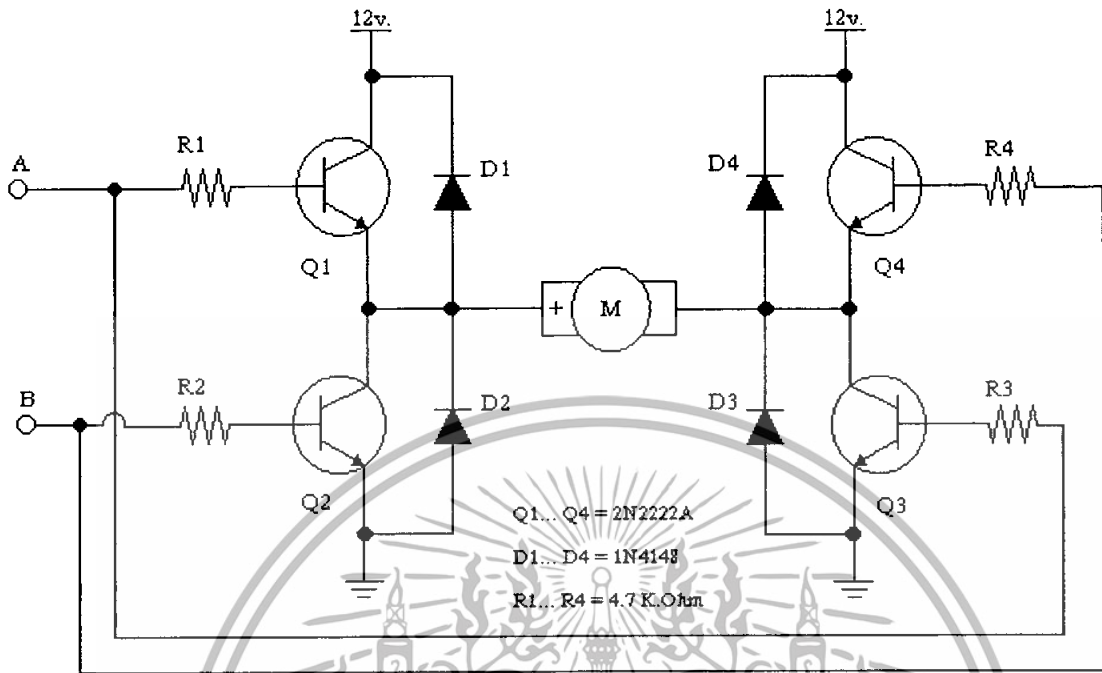
ในสถานะ อิ่มตัว (Saturation mode) นี้ ทรานซิสเตอร์จะทำงานเหมือนกับสวิตช์ปิดวงจร ค่าความต้านทานระหว่างขา C และขา E จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ กระแส  $I_c$  ที่ไหลจะมีค่าเข้าใกล้  $I_c(\max)$

ในสถานะ คัดออฟ (Cutoff mode) นี้ จะเกิดขึ้นเมื่อเราหยุดจ่ายกระแส  $I_b$  ( $I_b = 0$ ) ทรานซิสเตอร์จะทำงานเหมือนกับสวิตช์เปิดวงจร ค่าความต้านทานระหว่างขา C และขา E จะมีค่าเป็นอนันต์ กระแส  $I_c$  จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

ข้อดีของการนำทรานซิสเตอร์ มาประยุกต์ใช้งานเป็นสวิตช์นั้น น่าจะเป็นส่วนของการควบคุมที่สามารถตอบสนองจังหวะของการเปิด/ปิด สวิตช์ได้นับล้านครั้งต่อวินาที (ความเร็วในการตอบสนองมีหน่วยเป็น nS) และที่สำคัญ คือ ไม่ทำให้เกิดปัญหาการบวกรบกวนจากสนามแม่เหล็ก

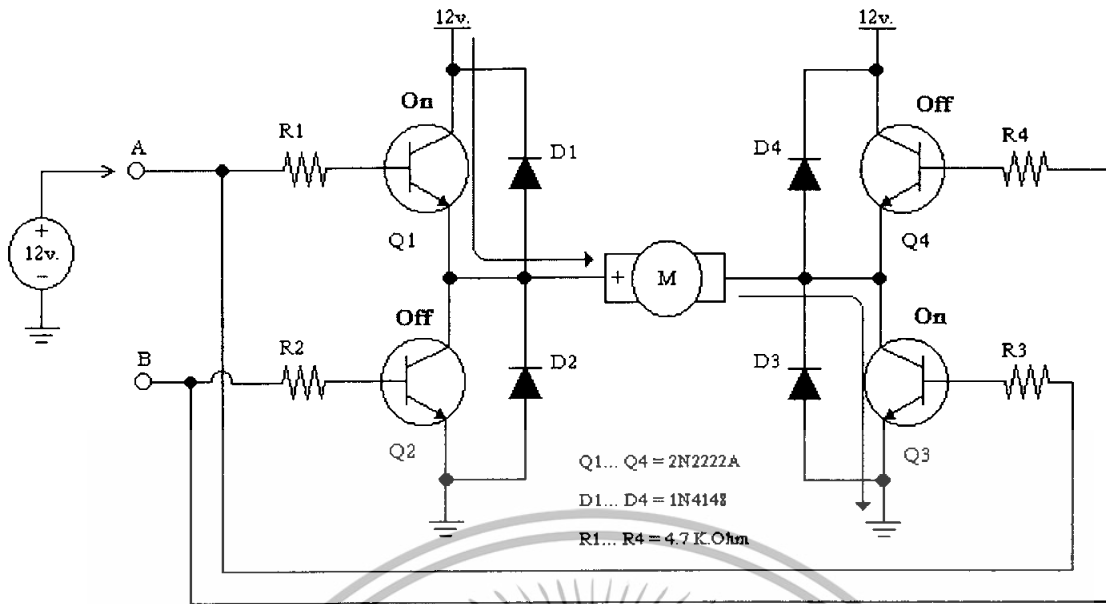
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การสร้างวงจร H-Bridge Switching จาก Transistor



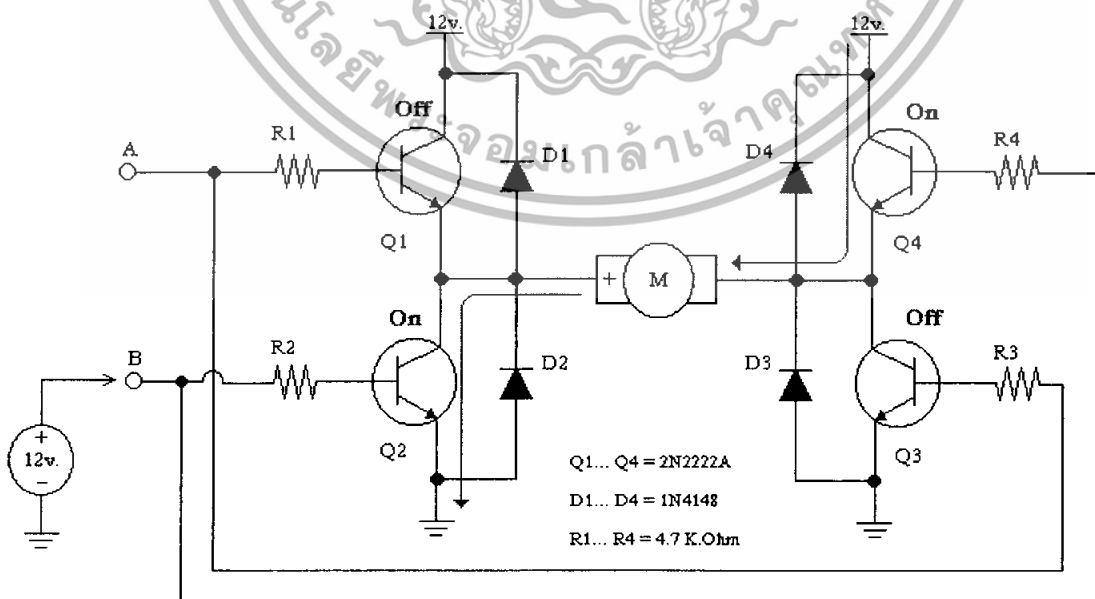
รูปที่ 2.15 วงจร H-Bridge Switching จาก Transistor

วงจรมอเตอร์นี้จะประกอบด้วย ทรานซิสเตอร์ Q1, Q2, Q3 และ Q4 ทุกตัวใช้เบอร์ 2N2222A ส่วน R1, R2, R3 และ R4 ใช้ค่าความต้านทาน 4.7k ทำหน้าที่จำกัดกระแส  $I_b$  ส่วนไดโอด D1, D2, D3 และ D4 ใช้เบอร์ 1N4148 ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไหลย้อนกลับจากมอเตอร์ ในขณะที่ทรานซิสเตอร์หยุดทำงาน แหล่งจ่ายของวงจรจะใช้เป็น แบตเตอรี่รีขนาด 12v. หรือจาก Power Supply



รูปที่ 2.16 กรณีที่ Q1 และ Q3 ทำงาน

เมื่อมีการจ่ายแรงดัน 12v. เข้าที่จุด A ทำให้มีกระแสไหลผ่าน R1 เข้าสู่ขา base ของ Q1 และมีกระแสไหลผ่าน R3 เข้าสู่ขา base ของ Q3 ทำให้ Q1 และ Q3 ทำงาน (On) เปรียบเสมือนสวิตช์ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (12v.) ผ่านขา Collector และ Emitter ของ Q1 ผ่านเข้าสู่ขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา Collector และ Emitter ของ Q3 ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวก และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุน ในทิศทาง Forward ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการจ่ายแรงดัน 12v. เข้าที่จุด B ทำให้มีกระแสไหลผ่าน R2 เข้าสู่ขา base ของ Q2 และมีกระแสไหลผ่าน R4 เข้าสู่ขา base ของ Q4 ทำให้ Q2 และ Q4 ทำงาน (On) เปรียบเสมือนสวิตช์ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (12v.) ผ่านขา Collector และ Emitter ของ Q4 ผ่านเข้าสู่ขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา Collector และ Emitter ของ Q2 ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางลบ และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุน ในทิศทาง Reward ได้

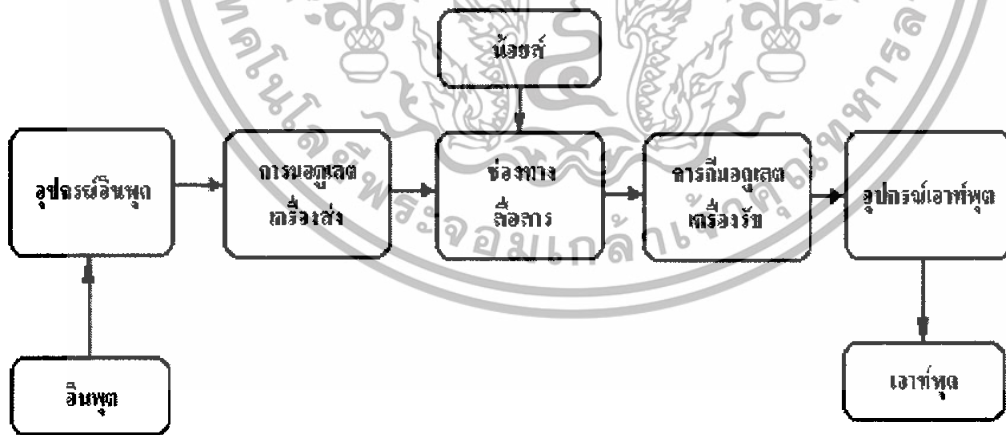
ข้อควรระวัง อย่าทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัว ทำงานพร้อมกันอย่างเด็ดขาด เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจร

ถึงแม้ว่าการสร้างวงจร H-Bridge switching จาก Transistor นั้นจะไม่มีปัญหา การรบกวนจากอำนาจสนามแม่เหล็ก และยังสามารถตอบสนองการทำงานได้เร็วมาก แต่ก็ยังมีอุปกรณ์หลายตัว ทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ และยุ่งยาก

## 2.4 ระบบการสื่อสาร

### 2.4.1 ระบบสื่อสารทางอิเล็กทรอนิกส์

การสื่อสารทางอิเล็กทรอนิกส์หมายถึง การส่ง(transmission),การรับ(reception) และการประมวลผลของข้อมูลหรือข่าวสาร(information,intelligence,data,signal) ระหว่างจุดสองจุดหรือมากกว่าด้วยการใช้อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งในรูจะเป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบสื่อสารทางอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.18 ระบบสื่อสารพื้นฐาน

ตัวกลางการสื่อสาร หรือ communication medium เป็นช่องทางหรือตัวกลางซึ่งสัญญาณของระบบสื่อสารใช้เป็นทางผ่านจากจุดส่งไปยังจุดรับ เราสามารถแบ่งชนิดของการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ ตามชนิดของตัวกลางการสื่อสาร ได้เป็น 2 แบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แบบมีสาย(wire) สายในที่นี้อาจเป็นสายตัวนำไฟฟ้าหนึ่งคู่ หรือ เส้นใยนำแสง(optic fiber)

2.แบบไร้สาย(wire less) หรือวิทยุ (radio) สัญญาณของระบบสื่อสารแบบไร้สายจะอยู่ในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งรวมถึงแสง

เครื่องส่ง(transmitter) เป็นอุปกรณ์ หรือ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ถูกออกแบบสำหรับ แปลงสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่จะสื่อสาร ให้กลายเป็นสัญญาณที่มีรูปแบบ และระดับพลังงานที่เหมาะสมกับตัวกลางการสื่อสารของแต่ละระบบ

เครื่องส่งอาจเป็นเพียงคีย์สวิตช์ของระบบ โทรเลขแบบใช้สายหรืออาจเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สลับซับซ้อน ของระบบสื่อสารดาวเทียม สัญญาณที่ต้องการจะสื่อสารจะอยู่ในรูปของสัญญาณเสียง,สัญญาณภาพ หรือข้อมูลในรูปของสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสัญญาณแต่ละชนิดจะมีค่าความกว้างของแถบความถี่ (band width) แตกต่างกัน ซึ่งความกว้างของแถบความถี่ของสัญญาณนี้เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดในการพิจารณา เลือกใช้หรือออกแบบระบบสื่อสาร

เครื่องรับ(receiver) จะเป็นอุปกรณ์ และวงจรอิเล็กทรอนิกส์อีกชุดหนึ่ง ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้รับมาจากตัวกลาง ให้กลายเป็นสัญญาณที่มีรูปแบบ และระดับพลังงานที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ปลายทางด้านรับ ตัวอย่างเช่น

เครื่องรับของระบบ โทรเลขใช้สายอาจเป็นเพียงขดลวด โซลินอยด์(solenoid) หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนของการรับสัญญาณ โทรทัศน์ผ่านดาวเทียม

ซึ่งสามารถคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณรบกวน ได้ดังนี้

1.อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน :S/N (Signal to noise ratio)

ค่า S/N นี้เป็นตัวเลขพื้นฐาน ในการบอกคุณสมบัติของสัญญาณรบกวน ของวงจรขยายซึ่งจะนิยามโดย

$$S/N = 10\text{LOG}[P_s/P_n] = 20\text{LOG}[V_s/V_n] \quad \text{dB} \quad (2.3)$$

ค่า S/N นี้จะมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบวงจรขยายก็ต่อเมื่อ ค่า S/N ที่นำมาพิจารณานั้น วัดหรือคำนวณมาจากระดับของสัญญาณไฟฟ้า  $P_s$  หรือ  $V_s$  ที่เท่ากัน เท่านั้น

2. NOISE FACTOR : F และ NOISE FIGURE : NF

ค่าของ NOISE FACTOR : F และ NOISE FIGURE :NF เป็นค่าตัวเลขที่บอกให้เราทราบว่าตัวอุปกรณ์หรือวงจรมีสัญญาณรบกวนมากน้อยเพียงใด นิยามโดย

$$\text{NOISE FACTOR : } F = [S/N]_{\text{input}}/[S/N]_{\text{output}} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{NOISE FIGURE : } NF = 10\log F \quad (2.5)$$

F และ NF เป็นตัวเลขที่มีความหมายเหมือนกัน แต่มีหน่วยที่ต่างกัน F เป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วย ในขณะที่ NF มีหน่วยเป็น และในการคำนวณค่า F หรือ NF จะต้องใช้ค่ากำลังไฟฟ้าในการคำนวณเท่านั้น

ถ้าต้องการคำนวณโดยใช้ค่า S/N ที่ได้มาจากแรงดันไฟฟ้าจะกระทำได้เฉพาะเมื่อ  $Z_{in} = R_I$  เท่านั้น

#### 2.4.2 การมอดูเลต( modulation)

คือขบวนการเลื่อนความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์ (Base Band ) โดยสัญญาณเบสแบนด์ หรือ สัญญาณมอดูเลตติ้ง (MODULATING SIGNAL : $V_m(t)$  ) จะไปทำให้คุณสมบัติบางประการของ คลื่นพาห์ (Carrier Signal : $V_c(t)$  ) ซึ่งมีความถี่สูงกว่าสัญญาณมอดูเลตติ้งเปลี่ยนแปลง ซึ่งเราสามารถแบ่งประเภทของการมอดูเลตได้ออกเป็น 2 แบบ คือ

1.การมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude Modulation) : AM

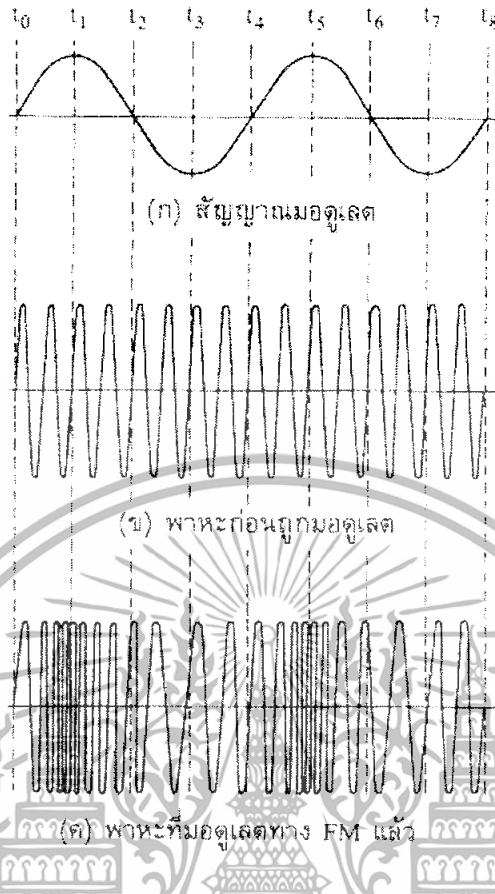
2.การมอดูเลตเชิงมุม (Angular Modulation)ซึ่งการมอดูเลตเชิงมุมนี้สามารถทำได้ 2 รูปแบบคือ การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation) การมอดูเลตทางเฟส (Phase Modulation)

#### การมอดูเลตเชิงความถี่

รูปคลื่นของสัญญาณ FM เกิดจากสัญญาณมอดูเลต ดังรูปที่ 2.19 ก.) เช่น สัญญาณเสียงซึ่งเป็น ข่าวดสารเข้าไปมอดูเลตลงบนสัญญาณพาหะ ดังรูปที่ 2.19 ข.) สัญญาณพาหะหลังจากถูกมอดูเลต แล้วดังรูปที่ 2.19 ค.) เป็นสัญญาณ FM จะเห็นว่าที่เวลา  $t_0$  สัญญาณ FM อยู่ที่ความถี่กลาง เมื่อ สัญญาณที่เข้ามา มอดูเลตมีค่าทางบวกสูงสุด ความถี่พาหะจะเพิ่มขึ้นสูงสุดด้วย นั่นคือสัญญาณมอดูเลต ถึงจุดสุดขยด ( สัญญาณมอดูเลตมีขนาดสูงสุดนั่นเอง) ที่เวลา  $t_1$

82174

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 การมอดูเลตทางความถี่

ที่เวลา  $t_2$  สัญญาณมอดูเลตลดลงมีค่าเป็นศูนย์ ความถี่ของพาหะก็จะลดลงมาที่ความถี่กลางดั้งเดิมหลังจากเวลาของสัญญาณมอดูเลตมีค่าตกลงต่ำกว่าศูนย์จนกลายเป็นลบ พาหะจะมีความถี่ลดลงต่ำกว่าความถี่กลาง และเมื่อเวลาสัญญาณมอดูเลตกลับเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่ง ความถี่ของพาหะก็จะกลับมายังความถี่กลางดั้งเดิม เช่นกัน ในช่วงเวลา  $t_4$  ถึง  $t_8$  ก็จะซ้ำแบบเดิมเรื่อยๆ ไป สรุปแล้วความถี่ของพาหะจะเปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลต และพาหะยังคงอยู่ที่ความถี่กลางเมื่อสัญญาณมอดูเลตเป็นศูนย์

ช่วงความถี่ที่พาหะเบี่ยงเบนไปจากความถี่กลางเรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบน (frequency deviation) หรือ “ดีวีเอชัน” ตัวอย่างเช่น พาหะมีความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ ลดลงต่ำสุดเป็น 99MHz และเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 100.1 MHz สลับไปมาเช่นนี้ หมายความว่าช่วงความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ  $+0.1, -0.1$  MHz หรือ  $+100, -100$  KHz

อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณ FM ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต ตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตเป็น โทน (สัญญาณเสียง) ความถี่ 1000 Hz อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณ FM จะเท่ากับ 1000 ครั้งต่อวินาที ถ้าสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตเพิ่ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่เป็น 10 KHz โดยคงค่าแอมพลิจูดเท่าเดิม ช่วงความถี่เบี่ยงเบนก็จะยังคงเท่าเดิม คือเท่า +100KHz หรือ -100KHz แต่อัตราการเบี่ยงเบนจะเพิ่มเป็น 1000 ครั้งต่อวินาที นั่นคือ ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลทเป็นตัวกำหนดอัตราการเบี่ยงเบนความถี่

สำหรับแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลท จะเป็นตัวกำหนดช่วงความถี่เบี่ยงเบน ตัวอย่างเช่น สัญญาณโตนที่มีแอมพลิจูดสูงสุดจะทำให้ความถี่เบี่ยงเบนไป +100KHz หรือ -100KHz สัญญาณโตนที่มีแอมพลิจูดน้อยลงจะทำให้ความถี่เบี่ยงเบนไป +50 KHz หรือ -50 KHz

กล่าวโดยสรุป สัญญาณ FM มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

1. มีแอมพลิจูดคงที่ตลอด แต่ความถี่เปลี่ยนตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลท
2. อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณพาหะจะมีค่าเท่ากับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลท
3. ช่วงความถี่ที่เบี่ยงเบน (หรือดีวีเอช) เป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลท

#### 2.4.3 แบนด์วิดท์ของสัญญาณ FM

ในระบบ FM จำนวนไซด์แบนด์และแอมพลิจูดของไซด์แบนด์ขึ้นอยู่กับค่าดัชนีการมอดูเลท โดยความถี่ของไซด์แบนด์มีค่าสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลท กล่าวคือ ไซด์แบนด์คู่แรกมีความถี่เท่ากับ  $f_c \pm f_m$  ไซด์แบนด์คู่ที่สองมีความถี่เท่ากับ  $f_c \pm 2f_m, \dots$  ฉะนั้นคลื่นแบนด์วิดท์ของ FM จะต้องครอบคลุมจำนวนไซด์แบนด์ที่สำคัญทุกตัว นั่นคือ แบนด์วิดท์ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลทและความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลท แต่ดัชนีเท่า  $f_d / f_m$  ดังนั้นถ้าเราทราบความถี่เบี่ยงเบนและความถี่ของสัญญาณมอดูเลทก็สามารถหาแบนด์วิดท์ได้

ตัวอย่างเช่น ความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามามอดูเลทเท่ากับ 3 KHz ความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ 18 KHz เราคำนวณหาค่าดัชนีการมอดูเลทได้ดังนี้

$$\begin{aligned} M &= f_d / f_m & (2.6) \\ &= 18\text{KHz} / 3\text{KHz} \\ &= 3 \end{aligned}$$

นำค่า  $m=3$  ไปหาไซด์แบนด์สำคัญที่พิจารณา จะเห็นว่าเมื่อดัชนีการมอดูเลท

นำค่า  $m=6$  ไปหาไซด์แบนด์สำคัญที่พิจารณา จะเห็นว่าเมื่อดัชนีการมอดูเลท เท่า 6 จำนวนไซด์แบนด์จะมีอยู่ 9 คู่ เราจึงคำนวณ หาแบนด์วิดท์ได้ดังนี้

$$BW = 2(m+1)f_m \text{MAX} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างดังกล่าวเราสามารถคำนวณได้ว่า

$$\begin{aligned} BW &= 2(6+1) \times 3 \\ &= 42 \text{ KHz} \end{aligned}$$

เสมือนกับที่เราพิจารณาใช้ไซด์แบนด์เพียง 7 คู่

#### 2.4.4 การดีมอดูเลต (demodulation)

การดีมอดูเลตเป็นวิธีการที่ตรงกันข้ามกับการมอดูเลต ซึ่งการมอดูเลต (modulate) นั้นจะหมายถึง การนำสัญญาณเสียงเข้าไปในคลื่นพาหะ ดังนั้นการดีมอดูเลตจะเป็นวิธีการที่จะนำสัญญาณเสียงออกมาจากคลื่นพาหะ

$$v_{\theta_{\text{mod}}} = A \sin(\omega_c t + \theta(t))$$

$$\theta(t) = m_f \sin \omega_m t$$

$$m_f = \frac{K_f V_m}{\omega_m} = K' V_m; \quad K' = \frac{K_f}{\omega_m}$$

$$V_{FM} = A \sin(\omega_c t + K' V_m \sin \omega_m t)$$

Phase shift or Quadrature detector

$$X_o (V_o \text{ or } i_o) = a_1 v_1 + a_2 v_1 v_q$$

$$v_1 = V_1 \sin \omega_c t$$

$$v_q = V_2 \sin(\omega_c t + \phi)$$

$$a_2 v_1 v_q = a_2 V_1 \sin \omega_c t \cdot V_2 \sin(\omega_c t + \phi)$$

$$= B \cos(\omega_c t + \phi - \omega_c t) - B \cos(\omega_c t + \phi + \omega_c t)$$

$$= B \cos \phi - B \cos(2\omega_c t + \phi)$$

$$X_o = C \sin(\omega_c t + m_f \sin \omega_m t) + B \cos(\phi(m_f, \omega_m))$$

$$- B \cos[2(\omega_c t + m_f \sin \omega_m t) + \phi(m_f, \omega_m)]$$

#### 2.4.5 การตอบสนองความถี่ของ Complex Poles

พิจารณาฟังก์ชันของ Quadratic poles

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + as + b}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{หรือ } |H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(b-\omega^2)^2 + a^2}}$$

ที่ความถี่ต่ำหรือไฟตรง

$$H(S) |_{\omega \rightarrow 0} = \frac{1}{s^2 + as + b} |_{\omega \rightarrow 0} \approx \frac{1}{b}$$

ดังนั้น Low Frequency MAG  $\approx -20 \log b$  dB

$$\text{และ } \theta_{\text{LowFreq.}} \approx -\tan^{-1}\left(\frac{0}{b}\right) \approx 0^\circ$$

ที่ความถี่สูงมาก

$$H(S) |_{\omega \rightarrow \infty} = \frac{1}{s^2 + as + b} |_{\omega \rightarrow \infty} \approx \frac{1}{s^2}$$

จะได้ว่าที่ความถี่สูงมาก จะมีการตอบสนองความถี่เสมือน  $\frac{1}{s^2}$  นั่นคือ High Frequency

Assymtote จะเป็นเส้นตรง ซึ่งตัดแกนความถี่ที่  $\omega = 1$  มีความลาดชัน  $-40$  dB/Decade หรือ  $-12$  dB/Octave และมี Low Frequency เป็น DC Assymtote ของ  $H(S)$  เป็นเส้นตรงที่มีความลาดชันเป็นศูนย์ และมีขนาด  $-20$  dB/Decade

ความถี่ของโพล:  $\omega_p$

ความถี่ของโพล:  $\omega_p$  ของ Quadratic poles คือความถี่ที่ทำให้ขนาดของฟังก์ชัน  $H(S)$  มีค่าสูงที่สุด สามารถหาได้โดยการแก้สมการ  $H(s)$  ค่า  $\omega$  ที่ได้จากการแก้สมการคือค่า  $\omega_p$  หรือ  $\omega_{\text{MAX}}$

$$\frac{d}{d\omega} \left| \frac{1}{-\omega^2 + aj\omega + b} \right| = 0$$

$$\text{จะได้ } \omega = \omega_{\text{MAX}} = \omega_p = \begin{cases} \sqrt{b} \cdot \sqrt{1 - \frac{a^2}{2b}} & ; \frac{a^2}{2b} < 1 \\ 0 & ; \frac{a^2}{2b} \geq 1 \end{cases}$$

$$\text{และถ้า } \frac{a^2}{2b} \ll 1 \text{ จะได้ } \omega_p \approx \sqrt{b}$$

ในการประยุกต์โดยทั่วไปแม้  $\frac{a^2}{2b} \ll 1$  ไม่เป็นจริง เรายังคงประมาณว่า  $\omega_p \approx \sqrt{b}$  เสมอ

ที่ความถี่ของโพล  $\omega_p \approx \sqrt{b}$  ขนาดและเฟสของ  $H(S)$  คือ

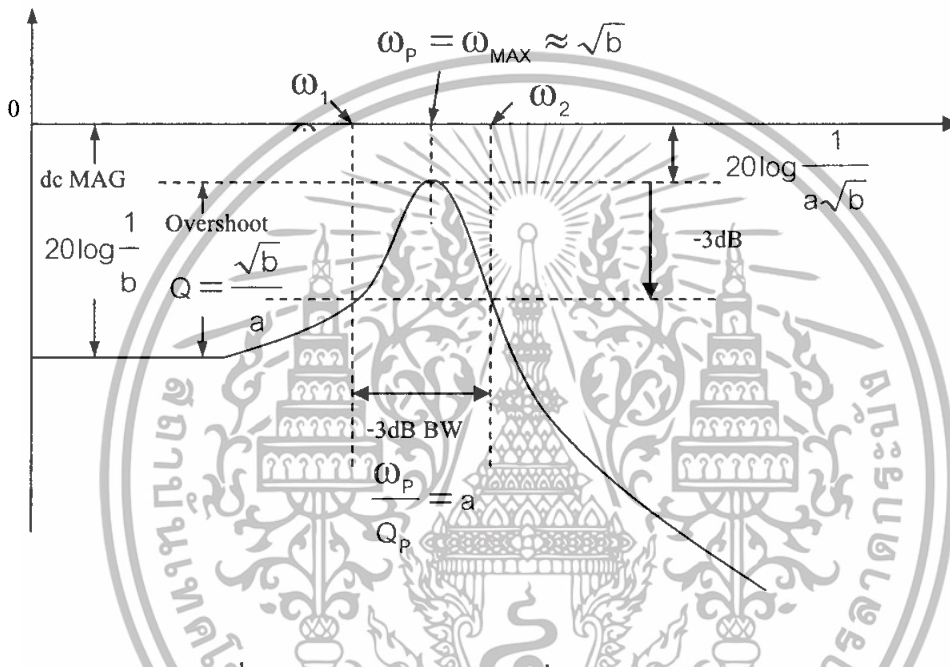
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H(s)|_{\omega=\sqrt{b}} = \frac{1}{(j\sqrt{b})^2 + aj\sqrt{b} + b} = \frac{1}{aj\sqrt{b}}$$

$$\text{MAG}|_{\omega=\omega_p} = 20\log \frac{1}{a\sqrt{b}} \text{ dB}$$

$$\theta = -\text{ian} \left[ \frac{a\sqrt{b}}{0} \right] = -90^\circ$$

การตอบสนองความถี่ของ Quadratic poles เป็นดังรูป



รูปที่ 2.20 การตอบสนองความถี่ของ Quadratic poles

ค่า  $Q$  ของโพล:  $Q_p$

การตอบสนองโดยประมาณของ Quadratic poles จะมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นเป็นลักษณะของการพุ่งเกินช่วงขณะ (Over shoot) ความสูงของ Over shoot จะมีค่าเป็น

$$\text{ขนาดของ Overshoot} = \text{MAG } H(S)|_{\omega=\omega_p} - \text{MAG } H(S)|_{\omega=dc}$$

$$= 20\log \frac{1}{a\sqrt{b}} - 20\log \frac{1}{\sqrt{b}}$$

$$= 20\log \left( \frac{1}{a\sqrt{b}} \times b \right)$$

$$\text{ขนาดของ Overshoot} = 20\log \frac{\sqrt{b}}{a}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore Q_p = \frac{\sqrt{b}}{a}$$

จาก  $\omega_p \approx \sqrt{b}$

$$a = \frac{\sqrt{b}}{Q_p} = \frac{\omega_p}{Q_p}$$

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + as + b} = \frac{1}{s^2 + \frac{\omega_p}{Q_p}s + \omega_p^2}$$

พิจารณาขนาดของ  $H(s)$  ที่ความถี่  $\omega_{1,2} = \omega_p \pm \frac{\omega_p}{2Q_p}$

$$H(s)|_{\omega=\omega_{1,2}} = \frac{1}{\left[ \omega_p \pm \frac{\omega_p}{2Q_p} \right]^2 + j \frac{\omega_p}{Q_p} \left[ \omega_p \pm \frac{\omega_p}{2Q_p} \right] + \omega_p^2}$$

$$= \frac{1}{-\omega_p^2 + \frac{\omega_p^2}{Q_p} + \frac{\omega_p^2}{4Q_p^2} + j \left[ \frac{\omega_p^2}{Q_p} \pm \frac{\omega_p^2}{2Q_p} \right] + \omega_p^2}$$

ถ้า  $Q_p \gg 1$  จะได้  $\frac{\omega_p^2}{Q_p} \gg \frac{\omega_p^2}{4Q_p^2}$

$$\text{ดังนั้น } H(s)|_{\omega_{1,2}} \approx \frac{1}{\pm \frac{\omega_p^2}{Q_p} + j \frac{\omega_p^2}{Q_p}}$$

$$|H(s)|_{\omega_{1,2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega_p^4}{Q_p^2} + \frac{\omega_p^4}{Q_p^2}}} = \frac{1}{\frac{\omega_p^4}{Q_p^2} \sqrt{2}} = \frac{1}{a\sqrt{b}\sqrt{2}}$$

$$\text{MAG}|H(s)|_{\omega_{1,2}} = 20 \log \left[ \frac{1}{a\sqrt{b}\sqrt{2}} \right] \text{ dB}$$

$$= 20 \log \left[ \frac{1}{a\sqrt{b}} \right] - 3 \text{ dB}$$

$$\text{MAG}|H(s)|_{\omega_{1,2}} = \text{MAG } H(s)_{\omega_p} - 3 \text{ dB}$$

ความกว้างของแถบความถี่ระหว่าง  $\omega_1$  กับ  $\omega_2$  คือ

$$\text{BW}_{\omega_{1,2}} = \omega_2 - \omega_1$$

$$\text{BW} = \omega_p + \frac{\omega_p}{2Q_p} - \left( \omega_p - \frac{\omega_p}{2Q_p} \right) = \frac{\omega_p}{Q_p}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จะได้ } -3 \text{ dB Bandwidth จะมีค่า } = \frac{\omega_p}{Q_p} = a \text{ หรือ } Q_p = \frac{\omega_p}{-3\text{dB BW}}$$

จากรูปก่อนหน้านี จะพบว่า การตอบสนองความถี่ของฟังก์ชัน Complex pole เป็นลักษณะของ Low Pass Filter โดยการเพิ่ม Single Zero ที่ origin ให้กับ Complex pole จะได้การตอบสนองความถี่แบบ BPF

เพราะฉะนั้น รูปทั่วไปของฟังก์ชัน BPF จะเป็น

$$\frac{X_o(\text{BPF})}{X_i} = \frac{s}{s^2 + as + b}$$

ซึ่งจะมีค่าสูงสุดของฟังก์ชันเกิดขึ้นที่  $\omega_p \approx \sqrt{b}$

จะได้ว่า ที่ความถี่  $\omega_p \approx \sqrt{b}$  Band Pass Gain ของ BPF เท่ากับ

$$\frac{X_o(\text{BPF})}{X_i} \Big|_{\omega=\sqrt{b}} = \frac{s}{s^2 + as + b} = \frac{1}{a}$$

ดังนั้น รูปทั่วไปของฟังก์ชัน BPF ที่มีอัตราขยาย K เท่า จะเป็น

$$\text{GAIN}_{\text{BPF}} = \frac{kas}{s^2 + as + b} = \frac{k \frac{\omega_p}{Q_p} s}{s^2 + \frac{\omega_p}{Q_p} s + \omega_p^2}$$

K : Pass band gain

$\omega_p$  : ความถี่ศูนย์กลางของ BPF

## 2.5 จีพีเอส (GPS)

ประวัติและพัฒนาการของดาวเทียมจีพีเอส คือในศตวรรษที่ 20 ในการพัฒนาเครื่องส่งวิทยุ ทำให้เครื่องช่วยการเดินทางได้พัฒนาไป อีกขั้นเรียกว่า Radio beacons รวมทั้ง Loran และ Omega ในที่สุดเทคโนโลยีของดาวเทียมทำให้เครื่องช่วยการเดินทางและการหาตำแหน่งจะพิจารณาจากเส้นที่สัญญาณเดินทางผ่านด้วยการวัดของ Doppler ที่เคลื่อนที่ไป ซึ่งมีระบบ Transit เป็นระบบเครื่องช่วยการเดินเรือโดยอาศัยดาวเทียม ได้รับการคิดค้นสำเร็จในปี ค.ศ.1950 และใช้งานอยู่ 33ปี จึงได้ปลดประจำการไป ระบบ Transit ได้พัฒนามาให้ข้อมูลการหาตำแหน่งที่แน่นอนให้กับเรือดำน้ำ polaris ที่มีจรวดนำวิถี หลักการคือ การคาดการณ์โดยใช้ความถี่ Doppler ที่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปจากดาวเทียม Sputnik ส่งโดยสหภาพโซเวียตในเดือนตุลาคม 1957 สัญญาณเปลี่ยนของ Doppler สามารถพิจารณาการโคจรของดาวเทียมใช้ข้อมูลที่จดเอาไว้ที่สถานีหนึ่งเมื่อดาวเทียมโคจรผ่านไป ระบบ Transit ประกอบด้วย ดาวเทียม 6 ดวงที่เกือบเป็นวงกลม การโคจรผ่านขั้วโลกที่ความสูง 1,075 กิโลเมตร ระยะเวลาของการหมุน 107 นาที การโคจรของดาวเทียม Transit จะแน่นอนกว่าโดยการติดตามจากสถานีพื้นโลกที่กำหนดไว้ ด้วยสภาพที่นำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ประการใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอใจความเร็วที่แน่นอนเป็น 35 ถึง 100 เมตร รอบค่อนาที ปัญหาของ Transit คือการครอบคลุมพื้นที่มีช่องว่างระหว่างกันมาก ผู้ใช้ต้องคำนวณโดยการ interpolate ตำแหน่งของตนเองระหว่างที่ดาวเทียมโคจรผ่านไป

ความสำเร็จของ Transit เป็นการกระตุ้นให้ทั้งกองทัพเรือและกองทัพอากาศของสหรัฐฯ พิจารณาระบบช่วยการเดินทางที่ก้าวหน้ากว่าเดิมและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทางกระทรวงกลาโหมของสหรัฐฯ ได้ผลิตระบบการหาดำแหน่ง Navstar ทั่วโลก ซึ่งจะเอาไว้ในการระบุตำแหน่งการนำวิถีของจรวดทั้งทางบกและทางอากาศและยังสามารถบอกได้ว่ากองกำลังทหารอยู่ ณ ที่ใดของสนามรบและนั่นก็เป็นจุดเริ่มต้นของการผลิตคิดค้นระบบวิธีการระบุตำแหน่งบนพื้นโลก ซึ่งระบบ GPS จะขัดแย้งกับ Transit คือระบบ GPS ให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ต่อเนื่องและให้ความถูกต้องและแม่นยำกว่าระบบเดิม ซึ่งได้ผลิตให้ดาวเทียมมีความทันสมัย (Modernization) และเหมาะสมในการนำไปใช้งานต่างๆจนถึงปัจจุบันดาวเทียม GPS ได้ถูกสร้างขึ้นมาแล้วถึง 4 รุ่น คือ

รุ่นที่ 1 เรียกว่า Block I

รุ่นที่ 2 เรียกว่า Block II/IIA

รุ่นที่ 3 เรียกว่า Block IIR

รุ่นที่ 4 เรียกว่า Block IIF

ปัจจุบันดาวเทียมที่ประเทศต่างๆทั่วโลก ใช้งานกันอยู่ทุกวันนี้มีหลายประเภท ได้แก่ ดาวเทียมที่ใช้เพื่อพยากรณ์อากาศ (NOAA) ดาวเทียมเพื่อการสื่อสาร (ไทยคม, ไอพีสตาร์) ดาวเทียมเพื่อการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ (Landsat Spot IKONOS QuickBird)

นอกจากนี้ยังแบ่งแยกออกเป็นประเภทของการโคจรของดาวเทียมรอบโลกที่แตกต่างกัน เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ดังนี้ ดาวเทียม ประเภทวงโคจรรอบโลกเท่ากับความเร็วของโลกหมุนรอบตัวเอง ทำให้เรามองเห็นดาวเทียมอยู่กับที่ ใช้ประโยชน์ทางการสื่อสาร ได้แก่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ สัญญาณดาวเทียมต่างๆ หรือใช้ประโยชน์เพื่อการพยากรณ์อากาศ ดาวเทียมประเภทที่วงโคจรรอบโลก ได้แก่ ดาวเทียมจีพีเอส(GPS) เป็นดาวเทียมที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก แนวโน้มการใช้เทคโนโลยีด้านดาวเทียมประเภทนี้ กว้างขวางมากยิ่งขึ้น และได้มีบทบาทสำคัญกับงานด้านต่าง ได้แก่งานสำรวจจริงวัดชนส่ง ด้านแผนที่ การวางผังเมือง ด้านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ การนำทางบนรถยนต์ การติดตามยานพาหนะ ด้านโทรศัพท์ ด้านไฟฟ้า และงานบริการต่างๆที่ต้องการข้อมูลทางตำแหน่ง อีกมากมาย ซึ่งมีข้อดีคือ มีค่าความถูกต้องหลายระดับ ใช้ได้ทั่วโลก ไม่เสียค่าบริการ ใช้ได้ทุกสภาพอากาศ ใช้ได้ตลอด 24 ชม. และเป็นเทคโนโลยีพื้นฐานเพื่อการพัฒนาของเทคโนโลยีด้านอื่นๆที่ต้องการใช้ข้อมูลตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1 ดาวเทียมจีพีเอส (GPS)

ดาวเทียมจีพีเอส (GPS) คือ ระบบบอกพิกัดหรือระบุตำแหน่งบนพื้นโลก ซึ่งย่อมาจาก Global Positioning System ซึ่งระบบจีพีเอสประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

#### 1. ส่วนอวกาศ ประกอบด้วยดาวเทียม 28 ดวง (สำรองไว้ 4 ดวง)

- แต่ละดวงโคจรรอบโลกวันละ 2 รอบ
- จัดแบ่งเป็นวงโคจรใน 6 ระนาบๆละ 4 ดวง
- ระนาบทั้ง 6 ทำมุมเอียงกับระนาบศูนย์สูตร 55 องศา และทำมุมระหว่างกัน 60 องศา
- โคจรอยู่สูงจากพื้นโลก 20,200 ก.ม.
- ใช้เวลาโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมง
- มีเวลาอยู่เหนือเส้นขอบฟ้าในแต่ละสถานที่ราว 5 ชั่วโมง

จากการออกแบบกลุ่มดาวเทียมในลักษณะนี้ทำให้จีพีเอส มีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง อยู่บนฟ้าที่ทุกๆจุดบนพื้นผิวโลกตลอด 24 ชั่วโมง



รูปที่ 2.21 แสดงดาวเทียมที่โคจรรอบโลก

คลื่นวิทยุที่ดาวเทียมจีพีเอส ส่งออกมาเป็นคลื่นในช่วง L-band (มี 2 ความถี่คือ คลื่น L1 และ L2) คลื่นส่งวิทยุที่ถูกมอดูเลต (Modulate) ด้วย รหัส ข้อมูลดาวเทียม รวมทั้งเวลา ที่มีความถูกต้องสูงมาก สิ่งต่างๆเหล่านี้เองที่นำมาใช้ประโยชน์ในการหาพิกัดตำแหน่ง รหัสที่ใช้มี 2 ชนิด

1. รหัส C/A มีความถี่ 1.023 MHz มีความเป็น 1 ใน 1,000 วินาที (1 วินาที จะสร้างรหัส C/A ที่มีรูปแบบเหมือนกันซ้ำถึง 1,000 ครั้ง)

2. รหัส P มีความถี่เท่ากับความถี่พื้นฐานคือ 10.23 มีความเป็น 267 วัน (รหัสถูกส่งออกมาไม่ซ้ำกันใน 267 วัน) ถูกส่งวนไว้ใช้งานข้อมูลดาวเทียมถูกส่งออกมาพร้อมกับคลื่นส่งทั้งสองความถี่ ใช้

ในการคำนวณบอกตำแหน่ง ประกอบด้วย วงโคจรดาวเทียม เวลามาตรฐานของดาวเทียม ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมของนาฬิกาบนดาวเทียม และสถานะภาพของระบบดาวเทียม อัลมาแนก ดาวเทียมสามารถตรวจสอบได้ว่าจะมีดาวเทียมอยู่ในท้องฟ้ากี่ดวงที่เวลาต่างกัน ได้มาจากนำเครื่องรับดาวเทียมไปรับสัญญาณดาวเทียม

สรุปได้ว่าข้อมูลที่ดาวเทียม GPS ส่งมายังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมมี 2 แบบคือ

1. คลื่นส่ง 2 คลื่น Two carrier frequencies (L1L2)

2. การล้าสัญญาณ (Modulation) รหัสในการกล้ำสัญญาณมี 3 ชนิดคือ

ใช้เพื่อกิจการพลเรือน ได้แก่ รหัส C/A (Clear access or coarse acquisition) code

มีความถี่ 1.023 เมกะเฮิร์ต เปิดให้พลเรือนใช้เสรี ในทางทฤษฎี การหาตำแหน่งให้ค่าความถูกต้องทางราบอยู่ระหว่าง 10-25 เมตร (ต้องไม่มี SA ถ้ามี อยู่ในระดับ 100 เมตรทางราบ 156 เมตรทางตั้ง และต่ำกว่า 10 เมตรเมื่อใช้รหัส P ต่อมานำมาเพิ่มในคลื่น L2

2.2. ใช้ในกิจการทหาร ได้แก่ รหัส P (Precise) Code มีความถี่ 10.23 เมกะเฮิร์ต ใช้ในกิจการทหารและหน่วยงานของรัฐบาลสหรัฐ

2.3. ข้อมูลเกี่ยวกับดาวเทียม Satellite Message (NAVDATA) Correction terms ได้แก่

- สถานะภาพของดาวเทียม Satellite health
- นาฬิกาบนดาวเทียม จำนวน 4 เรือน sat satellite clock correction
- การโคจร Ephemeris parameter
- วงโคจร Orbital parameter

2. ส่วนศูนย์กลางควบคุมกลาง (Control Station Segment) ซึ่งเป็นศูนย์กลางควบคุมระบบและบัญชาการการทำงานของระบบ GPS รวมไปถึงการตรวจตราความเรียบร้อยของระบบ ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศเมือง Colorado Spring สหรัฐอเมริกา และศูนย์กลางควบคุมกลางประกอบด้วย

- สถานีสังเกตการณ์ (Monitor Station) จำนวน 5 แห่ง กระจายอยู่ตามจุดต่างๆ ของโลก ได้แก่ Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia และ Colorado Spring
- งานส่งสัญญาณภาคพื้นดิน (Ground Antennas) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 จุด ได้แก่ Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein
- ศูนย์บัญชาการ (Master Control Station) ตั้งอยู่ฐานทัพอากาศสหรัฐฯ Schriever AFB รัฐ Colorado

เมื่อสถานีรับสัญญาณจากดาวเทียมมา เพื่อปรับแก้ไขข้อมูลวงโคจร (Ephemeris) และข้อมูลเวลา (Clock Correction) ของดาวเทียมแต่ละดวงแล้วจะทำการส่งข้อมูลวงโคจร (Ephemeris) และข้อมูลเวลา (Clock data) กลับไปยังดาวเทียม แล้วดาวเทียมก็จะทำการส่งข้อมูลที่ได้รับการแก้ไขแล้วมาพร้อมกับคลื่นวิทยุมายังเครื่องรับ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดงสถานีควบคุมระบบดาวเทียม GPS 5 แห่ง

3. ส่วนของผู้ใช้ ต้องมีเครื่องรับสัญญาณและเครื่องคำนวณสำหรับหาตำแหน่ง ในงานรังวัดดาวเทียม ตำแหน่งที่ทำการวัดคือ จุดศูนย์กลางเฟสเชิงไฟฟ้าของเสาอากาศ



รูปที่ 2.23 แสดงองค์ประกอบของระบบดาวเทียม GPS

ประเภทของการรับสัญญาณของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

1. Alone
2. Differential Centimeter

1. แบบรับด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเพียงเครื่องเดียว Alone ทำให้ได้ค่าพิกัด ณ ตำแหน่งใดๆโดยทันที ได้แก่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบนำหน ที่แสดงภาพข้างต้นนั้นความถูกต้องทางราบ +/- 10-25เมตร ความถูกต้องทางตั้ง +/- 20-75เมตร(ความถูกต้องทางตั้งเป็น2-3เท่าของความถูกต้องทางราบ) เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.1. รับสัญญาณดาวเทียมแบบ L1,L2 และ -C/A Code

ค่าความถูกต้องและน่าเชื่อถือของข้อมูลทางตำแหน่งที่ได้รับจากจีพีเอส นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนดาวเทียมและเรขาคณิตของดาวเทียมขณะรับสัญญาณคลื่นสัญญาณสัญญาณจีพีเอส ที่ส่งออกมา มีสองความถี่

L1 (ถูกกล้ำสัญญาณด้วยรหัส สองชนิด C/A, P ความถี่ 1572.42 MHz มีความถี่ 154 เท่าของความถี่พื้นฐาน (10.23 เมกะเฮิร์ต)

L2 (ถูกกล้ำสัญญาณด้วยรหัส P) 1227.60 เมกะเฮิร์ต มีความถี่ 124 เท่าของความถี่พื้นฐานถูกผสมผสานรหัสและข้อมูลดาวเทียม ไปกับคลื่นเรียกว่าการกล้ำสัญญาณ(Modulation)รหัสนในการกล้ำสัญญาณมี 2 ชนิดคือ

1. รหัส C/A Clear access or coarse acquisition code มีความถี่ 1.023 เมกะเฮิร์ต เปิดให้พลเรือนใช้เสรี ในทางทฤษฎี การหาตำแหน่งให้ค่าความถูกต้องทางราบอยู่ระหว่าง 10-25 เมตร(ต้องไม่มี SA ถ้ามี อยู่ในระดับ 100 เมตรทางราบ) 156 เมตรทางตั้ง และต่ำกว่า 10 เมตรเมื่อใช้รหัส P ต่อมานำมาเพิ่มในคลื่น L2

2. รหัส P Precise Code มีความถี่ 10.23 เมกะเฮิร์ต ใช้ในกิจการทหารและหน่วยงานของรัฐบาลสหรัฐ

ในปัจจุบันนี้จึงมีการผลิตเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ L1 และ L2 เพื่อเป็นการเพิ่มคลื่นสัญญาณใหม่ ให้เกิดประโยชน์โดยตรงต่องานที่ต้องการความถูกต้องสูงระดับมิลลิเมตร/เซนติเมตร จำเป็นต้องใช้การหาตำแหน่งแบบ สัมพัทธ์ Relative Positioning โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง Carrier phase measurement หัวใจของการหาตำแหน่งด้วยวิธีการข้างต้นเรียกว่า Ambiguity Resolution หรือ AR เป็นการเปลี่ยนข้อมูลเฟสของคลื่นส่งให้เป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงถึงระดับมิลลิเมตร นำเอาระยะทางที่ได้ไปคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ เหมาะกับการทำงานแบบสถิต Static Mode และแบบจลน์ Kinematic ผลกระทบด้านการรบกวน ความยาวเส้นฐานสั้นกว่า 10 กม. ใช้เวลาไม่กี่นาทีขึ้นอยู่กับจำนวนดาวเทียมและความยาวของเส้นฐานการหาตำแหน่งจุดเดียวด้วยรหัส C/A มีความถูกต้องอยู่ที่ +/- 2-5 เมตรทางราบและ +/- 4-10 เมตรทางตั้งถ้ามีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ความถูกต้องอยู่ในระดับมิลลิเมตร/เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 เครื่องรับจีพีเอส (GPS Receiver)

### ส่วนประกอบของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม จีพีเอส

โดยทั่วไปเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Receiver) ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. ตัวเครื่อง (Body)
2. ส่วนให้พลังงาน (Power Supply)
3. ส่วนเสาอากาศ (Antenna)

### ประเภทเครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส

เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม

#### 1. เครื่องรับแบบเรียงลำดับสัญญาณดาวเทียม ได้แก่

1.1 Starved-Power Single Receivers เครื่องแบบนี้ออกแบบให้พกพาได้และสามารถทำงานได้ด้วยอำนาจไฟฉายขนาดเล็ก การจำกัดการใช้กระแสไฟโดยให้ปิดการทำงานตัวเองโดยอัตโนมัติเมื่อแสดงตำแหน่งครั้งสองครั้งใน 1 นาที เหมาะสำหรับใช้งานบอกตำแหน่งส่วนตัว ข้อเสีย คือ ความถูกต้องของจีพีเอสไม่ดี และต่อเชื่อมกับอุปกรณ์อื่นไม่ได้ และไม่สามารถใช้วัดหาความเร็วได้

1.2 Single Channel Receivers เป็นเครื่องรับสัญญาณห้องเดียวใช้ทำงานหาระยะจากดาวเทียมทุกดวง แต่ที่ไม่เหมือนคือเครื่องรับช่องเดียวแบบมาตรฐานไม่จำกัดที่ค้างไฟ ดังนั้นจึงทำการรับต่อเนื่องได้ มีผลทำให้ความถูกต้องสูงกว่า และใช้วัดหาความเร็วได้

1.3 Fast-Multiplexing Single Receivers เครื่องรับนี้สามารถเปลี่ยนดาวเทียมได้เร็วกว่ามาก ข้อดีคือ สามารถทำการวัดได้ในขณะที่กำลังรับข้อมูลจากดาวเทียม ดังนั้นเครื่องทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และการที่มีนาฬิกาไม่เที่ยงจึงมีผลต่อเครื่องประเภทนี้น้อย

1.4 Two-Channel Sequencing Receivers การเพิ่มช่องรับสัญญาณขึ้นอีกหนึ่งช่องช่วยให้เครื่องเพิ่มขีดความสามารถขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

2. Continuous Receivers ได้แก่ เครื่องรับที่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมพร้อมกันได้ตั้งแต่ 4 ดวงขึ้นไป และสามารถแสดงผลค่าตำแหน่งและความเร็วได้ทันทีหรือต้องการ ความถูกต้องสูง นอกจากข้อดีที่ใช้วัดตำแหน่งอย่างต่อเนื่อง

### หลักการทำงานของจีพีเอส

หลักการพื้นฐานของจีพีเอสเป็นเรื่องง่ายๆ แต่อุปกรณ์ของเครื่องมือถูกสร้างขึ้นด้วยวิทยาการขั้นสูง การทำงานจีพีเอสคือ

1. จะอาศัยหลักพื้นฐานของจีพีเอส : Satellites Triangulation

หลักการ : อาศัยตำแหน่งของดาวเทียมในอวกาศเป็นจุดอ้างอิง แล้ววัดระยะจากดาวเทียม 4 ดวง และใช้หลักการทางเรขาคณิตในการคำนวณหาตำแหน่งบนพื้นโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัดระยะทางระหว่างเครื่องรับจีพีเอสกับความเทียมจีพีเอส โดยการวัดระยะเวลา ที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจาก ดาวเทียมสู่เครื่องรับใช้เวลาเดินทางของคลื่นวิทยุ

$$\text{สูตร : ระยะทาง} = \text{ความเร็ว} * \text{เวลาที่ใช้เดินทาง}$$

$$\text{คลื่นวิทยุ : ความเร็ว} = 186,000 \text{ ไมล์ต่อนาที่}$$

การวัดระยะเวลาในการเดินทาง คือ โดยการเทียบกันของคลื่นสัญญาณที่ดาวเทียมส่งมา กับ คลื่นสัญญาณที่เครื่องรับจีพีเอสส่งมา ส่วนคลื่นที่ใช้ในการส่งจะเป็น Pseudo Random Noise Code

3. การวัดระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางของจีพีเอส จะต้องใช้นาฬิกาที่ แม่นยำมาก ถ้า PRN CODE จากดาวเทียมมีข้อมูลเวลาที่คลื่นเริ่มออกเดินทางจากดาวเทียมเมื่อคลื่นสัญญาณ จากดาวเทียมและคลื่นสัญญาณจากเครื่องรับจีพีเอสสมวารกัน (Synchronize) และจะต้องใช้ Atomic Clock ในการวัดเวลา ส่วนเวลาที่ใช้ในการเดินทางจะสั้นมากประมาณ 0.06 วินาที คือ เวลาของเครื่องรับจีพีเอส \* เวลาของดาวเทียม ส่วนการบอกตำแหน่งจีพีเอสยังเป็นเวลาที่มีความ แม่นจนถึง 10 นาโนวินาทีหรือดีกว่า

4. ต้องรู้ตำแหน่งของดาวเทียมจีพีเอสที่แน่นอนในอวกาศ

- วงโคจรสูงมากประมาณ 11,000 ไมล์

- วงโคจรอาจคลาดเคลื่อน (Ephemeris Errors) เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของ ดวงจันทร์และดวงอาทิตย์

- สถานีควบคุมจะใช้เรดาร์ตรวจสอบการ โคจรของดาวเทียมจีพีเอส ตลอดเวลาแล้วส่ง ข้อมูลไปปรับแก้ข้อมูลวงโคจรและเวลาของดาวเทียม เมื่อข้อมูลได้รับการปรับแก้แล้วจะถูกส่ง มายังเครื่องรับจีพีเอส

5. ต้องแก้ไขความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเดินทางของคลื่นวิทยุมาสู่โลก

สาเหตุที่ของความคลาดเคลื่อน (GPS Errors) ของค่าพิกัดที่คำนวณได้

- เกิดจากการเดินทางสู่ชั้นบรรยากาศ Ionosphere จะมีประจุไฟฟ้า และชั้น

Troposphere จะมีทั้งความชื้น อุณหภูมิ ความหนาแน่นที่แปรเปลี่ยนได้ตลอดเวลาใน

- การสะท้อนของคลื่นสัญญาณไปในหลายทิศทาง (Multipath Error) ซึ่งที่ผิวโลก

คลื่นสัญญาณต้องกระทบกับวัตถุ ก่อนถึงเครื่องรับจีพีเอส จะทำให้มีการหักเหและสัญญาณจะ อ่อน

- ปัญหาที่เกิดจากดาวเทียม (Check error, Ephemeris error) อาจเกิดจากวงโคจรคลาดเคลื่อน เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของดวงจันทร์และดวงอาทิตย์หรืออาจจะเกิดจากความคลาดเคลื่อนของ นาฬิกาเพียงเล็กน้อยจะทำให้การคำนวณระยะทางผิดพลาดได้มากเนื่องจากดาวเทียมอยู่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างตำแหน่งของดาวเทียมและตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอส ซึ่งจะคำนวณเป็นค่า GDOP = Geometric Dilution of precision ซึ่งเนื่องจากลักษณะการวางตัวของดาวเทียม และ GDOP มีส่วนประกอบคือ

- อาจเกิดจากความผิดพลาดอื่นๆเช่น ความผิดพลาดของคอมพิวเตอร์ หรือมนุษย์ที่ควบคุม สถานี 1 เมตร ถึง 100 เมตร ซึ่งผิดพลาดได้มาก หรือความผิดพลาดของเครื่องรับจีพีเอส, Software, Hardware, ผู้ใช้ ซึ่งความผิดพลาดนี้ไม่แน่นอน

### 2.5.3 มาตรฐาน NMEA และโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารของจีพีเอส

มาตรฐาน NMEA (NMEA standard) คือ การอินเตอร์เฟซทางไฟฟ้าและโปรโตคอลการส่งข้อมูลสำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์การเดินเรือ (NMEA ยังมีมาตรฐานสำหรับการสื่อสารในแบบอื่นๆด้วย) โดย NMEA ย่อมาจาก The National Electronic Association ซึ่งการศึกษาและพัฒนาอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทางน้ำ

#### มาตรฐาน NMEA-0183

มาตรฐานที่เอาท์พุทจะเป็นแบบ อีไอเอ - 4221(EIA-4221) และมีสายสัญญาณ 2 เส้น เอ และบี แรงดันบนเส้นเอจะเหมือนกับสายทีทีแอล(FTL) เดียวแบบเดิม ขณะที่บี แรงดันจะกลับทางกันกับ เอ เช่น เอ เป็น +5 โวลต์ บีจะเป็นกราวด์ในการใช้งาน สายเพียงสายเดียวคือสายเอใน อีไอเอ - 422 อาจถูกเชื่อมต่อกับ อาร์เอส - 232 (RS-232) อินพุทของเครื่องคอมพิวเตอร์ในมาตรฐาน เอ็นเอ็มอีเอ - 0183 ตัวอักษรที่ใช้คือแอสกี ซึ่งสามารถพิมพ์ได้ เอ็นเอ็มอีเอ - 0183 นั้น ข้อมูลจะถูกส่งด้วยอัตรา 4800 บอร์ด ข้อมูลจะถูกส่งในรูปของประโยค แต่ละประโยคเริ่มต้นด้วย \$ ตัวอักษรที่ตามมาอีกสองตัวคือ เช่น เทน โอดี หรือตัวกำหนดรูปแบบประโยคหรือจะเรียกว่าชื่อประโยค (Sentence name) ตามด้วยฟิลด์ข้อมูลจำนวนหนึ่งซึ่งถูกแบ่งแยกโดยเครื่องหมายคอมม่า(,) และสิ้นสุดด้วยเครื่องหมายเช็คซัม(check sum) ที่สามารถเลือกได้ว่าจะมีหรือไม่ และจะจบลงหรือไม่ด้วยแครีเรียรีเทิร์นและไลน์ฟีด(carrier return/line feed) ซึ่งประโยคจะมีตัวอักษรถึง 82 ตัวรวมกับ \$ และแครีเรียรีเทิร์นและไลน์ฟีด

ถ้าข้อมูลสำหรับฟิลด์ไม่สามารถหาได้ ฟิลด์จะถูกเว้นข้ามไปแต่คอมม่าที่ทำหน้าที่แบ่งฟิลด์ ยังคงถูกส่งไปโดยไม่เว้นว่าง เพราะว่าในแต่ละฟิลด์มีความยาวไม่คงที่หรือไม่มีข้อมูลเครื่องรับจะระบุตำแหน่งของฟิลด์ของข้อมูลที่ต้องการ โดยการนับถือเครื่องหมายคอมม่าเช็คซัมที่เลือกได้ว่า จะมีหรือไม่ประกอบด้วย “ \* ” และ 2 บิตของเลขฐาน 16 แทนการเอกซ์คูซิฟออร์ของตัวอักษรทั้งหมดแต่ไม่รวม “ \$ ” และ “ \* ” ในการใช้งานจะมีความต้องการใช้เช็คซัมในบางประโยคในมาตรฐานจะอนุญาตแต่ละผู้ผลิตในการนิยามรูปแบบประโยคผู้ผลิตในการนิยามรูปแบบประโยคเหล่านี้เริ่มต้นด้วย “ SPG ” และตัวอักษรสามตัว ที่ตามมาเป็นไอดีที่ถูกกำหนดมาจากโรงงานตามด้วยข้อมูลซึ่งเป็นไปตามรูปแบบทั่วไปของประโยคมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรโตคอล NMEA 183

เอ็นเอ็มอีเอ คือ โปรโตคอลมาตรฐาน ถูกนำมาใช้โดยเครื่องรับ จีพีเอส เพื่อส่งข้อมูล เอ็นเอ็มอีเอ เอาท์พุทจะเป็นโปรโตคอล อีไอเอ – 422 เอ แต่เราสามารถนำไปใช้ร่วมงานกับ อาร์เอส – 232 ได้โดยอัตราการส่งข้อมูลเป็น 4800 บิตต่อวินาที, 8 คาต่าบิต, ไม่มีพาริตีบิต แต่มีหนึ่งสตอปบิต และประโยชน์ของเอ็นเอ็มอีเอ 0183 จะป็นแอสกีทั้งหมด แต่ละประโยคจะเริ่มต้นด้วย “\$” และจบลงด้วย “<CR><LF>” และข้อมูลจะถูกแบ่งชั้นด้วย “,” เครื่องรับจีพีเอสบางตัวไม่ส่งฟิลด์ข้อมูลเช็คซัม ถูกเพิ่มเข้าไป(ในบางกรณี) ส่วนที่ตามหลัง \$ คือ แอดเดรสฟิลด์ aaccc aa คือ device id. GP ใช้เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นข้อมูล จีพีเอส การส่ง device id. ตามปกติแล้วเลือกได้ ccc คือ รูปแบบประโยค

## รูปแบบประโยคของ NMEA

### RMB

**\$GPRMB,A,x.x,a,c -- cc,d -- d,lll.ll,e,yyyy.yy,f,g,h,h,i,i,j\*kk**

RMB = เป็นข่าวสารที่น้อยที่สุดในการนำร่อง (Recommended Minimum Navigation information)

- 1 = สถานะของข้อมูล(V=การเตือนเครื่องรับในการนำร่อง(navigation receiver warning))
- 2 = ความคลาดเคลื่อนของครอสแทรค(Crosstrack error) ในหน่วยไมล์
- 3 = ทิศทางที่ต้องเบนเข็มไป(Direction)
- 4 = หมายเลขเริ่มต้นของเวย์พอยด์ waypoint)
- 5 = หมายเลขเวย์พอยด์ปลายทาง
- 6 = ละติจูดของเวย์พอยด์ปลายทาง
- 7 = เหนือหรือใต้
- 8 = ลองจิจูดของเวย์พอยด์เป้าหมาย
- 9 = ตะวันออกหรือตะวันตก
- 10 = ระยะทางไปยังปลายทางในหน่วยไมล์
- 11 = แบริ่ง(มุมที่มำกับปลายทาง)ในหน่วยองศา
- 12 = ความเร็วในการเข้าถึงเป้าหมาย(Destination closing velocity) ในหน่วย น็อต
- 13 = สถานะเมื่อเข้ามาถึง(Arrival status)(A=เข้าถึงหรือผ่านไปอย่างตั้งฉาก)
- 14 = เช็คซัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**RMC****\$GPRMC,hhmmss.ss,A,llll.ll,a,yyyyy.yy,a,x.x,x.x,ddmmyy,x.x,a\*hh**

RMC = ข้อมูลเฉพาะของจีพีเอส/ทรานสิทน้อยที่สุดที่จำเป็น(Recommended Minimum

Specific GPS/TRANSIT Data)

- 1 = เวลาปัจจุบันในระบบยูทีซี
- 2 = สถานะของข้อมูล
- 3 = ละติจูด
- 4 = ทิศเหนือหรือใต้
- 7 = ความเร็วหน่วย น็อต
- 8 = มุมที่วัดจากทิศเหนือ
- 9 = วันเดือนปี
- 10 = ความแปรปรวนเนื่องจากสนามแม่เหล็ก
- 11 = ตะวันออกหรือตะวันตก
- 12 = เช็คซั้ม

**GGA****\$GPGGA,hhmmss.ss,lll.ll,s,yyyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M,x.x,xxxx\*hh**

GGA = ข้อมูลเฉพาะของระบบจีพีเอส Global Positioning System Fix Data

- 1 = ตำแหน่งของยูทีซี
- 2 = ละติจูด
- 3 = ทิศเหนือหรือใต้
- 4 = สองติจูด
- 5 = ตะวันออกหรือตะวันตก
- 6 = ชี้ถึงคุณภาพของระบบจีพีเอส
- 7 = จำนวนดาวเทียมที่ใช้
- 8 = เอสดีไอพี (Horizontal dilution of position)
- 9 = ความสูงของสายอากาศเหนือกว่า/ต่ำกว่าระดับน้ำทะเล
- 10 = หน่วยความสูงของสายอากาศ(เมตร)
- 11 = ค่าความแตกต่างระหว่างระบบ ดับเบิลยูจีเอส -84 กับระบบจีออซด์
- 12 = ความต่างของจีออซด์
- 13 = ระยะตั้งแต่อัปเดตข้อมูลครั้งสุดท้ายจากสถานีอ้างอิง
- 14 = หมายเลขประจำสถานีอ้างอิง
- 15 = เช็คซั้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**VGT****\$SPVGT,t,T,,,s.ss,N,s.ss,k\*hh**

VGT = มุมที่ทำกับทิศเหนือจริงๆและความเร็ว(Actual track made good and speed over ground)

- 1 = มุมที่ทำกับทิศเหนือ
- 2 = อักษร 'T' แสดงว่ามุมที่วัดเทียบกับทิศเหนือ
- 3 = ไม่ใช่
- 4 = ไม่ใช่
- 5 = ความเร็วหน่วยน็อต
- 6 = อักษร 'N' แสดงความเร็วในหน่วยน็อต
- 7 = ความเร็วหน่วยกิโลเมตร/ชั่วโมง
- 8 = อักษร 'T' แสดงความเร็วในหน่วยกิโลเมตร/ชั่วโมง
- 9 = เช็คซัม

**GSA****\$GPGSA,A,3,19,28,14,18,27,22,31,39,,,,,1.7,1.0,1.3\*5**

GSA = โหมดการทำงานของเครื่องรับจีพีเอส, ดาวเทียมที่ใช้ในการนำร่องและค่าดีไอพี(GPS receiver operating mode, SVS used for navigation, DOP values)

- 1 = โหมด  
M = Manual, ให้ผู้เล่นเลือกว่าจะใช้ 2 มิติ หรือ 3 มิติ  
A = Automatic, 2มิติ/3มิติ
- 2 = โหมด  
1 = ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้  
2 = 2 มิติ  
3 = 3 มิติ
- 3-14 = หมายเลขของดาวเทียมที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง(เป็น 0 สำหรับพีดส์ที่ไม่ใช้)
- 15 = พีดส์ไอพี
- 16 = เอสดีไอพี
- 17 = วีดีไอพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## GPV

SGPGSV,4,1,13,02,213,,03,-3,000,,11,00,121,,14,13,172,05\*67

GSV = จำนวนของดาวเทียมที่มองเห็น, หมายเลข, พีอาร์เอ็น, เอเลเวชัน, อาซิมุท และค่าเอสเอ็นอาร์ (Number of S Vs in view, PRN number, elevation, azimuth & SNR value )

- 1 = จำนวนหมายเลขของข่าวสารทั้งหมดของข้อมูลนี้ใน 1 รอบ
- 2 = หมายเลขข่าวสาร
- 3 = จำนวนทั้งหมดของดาวเทียมที่ย่านในพิสัย
- 4 = หมายเลข พีเอ็นอาร์ ของดาวเทียม
- 5 = มุมเอเลเวชันหรือมุมเงยมีค่าสูงสุด 90 องศา
- 6 = มุมอาซิมุททำกับขั้วเหนือมีค่า 0-359 องศา
- 7 = ค่าเอสเอ็นอาร์ มีค่า 0-99 เดซิเบล(เมื่อ ไม่มีการแทรกคั้ง)
- 8-11 = ข่าวสารเกี่ยวกับดาวเทียมดวงที่สอง, เหมือนกับฟิลด์ 4-7
- 12-15 = ข่าวสารเกี่ยวกับดาวเทียมดวงที่สาม, เหมือนกับฟิลด์ 4-7

## 2.6 เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic Sensor)

ระบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic) หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 KHz เท่านั้น แต่พวกที่อายุน้อย ๆ อาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่าอัลตราโซนิกจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป จะสูงขึ้นไปจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้

สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิกมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด ( ที่ให้เสียงนั้นออกมา ) ของตัวกำเนิดเสียงความถี่นั้นเช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตรเศษ ๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมายคลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่นแต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิก อย่างเช่น 40 KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มม. เท่านั้นซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มากคลื่นเสียงจะไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่เราเรียกว่า มีทิศทาง

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกทำให้นำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยส่งกระแยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล ใช้ในเรือดำน้ำตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วไหลของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น คลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 KHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นไปกว่านี้ อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้น ๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz (  $10^9$  Hz ) ก็มีใช้กันในหลาย ๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่ในอากาศ

### 2.6.1 ประเภทของเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก

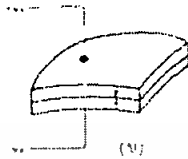
อุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานทางกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศได้หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้นั้น มีชื่อเรียกว่า อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer) ในปัจจุบันอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้ แบบที่นิยมใช้กันมากได้แก่

- แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง
- แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่
- แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล

ทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก ภายในตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก แบบที่มีใช้กันในปัจจุบันซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมาในระดับหนึ่งแล้วจะประกอบด้วยชิ้นสารเซรามิกสี่เหลี่ยมซึ่งมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้ง 2 หน้าเพื่อให้ต่อสายไฟออกมาเป็นขา 2 ขา ชิ้นสารเซรามิกนี้ประกอบขึ้นจากสารเซรามิก 2 ชิ้น ประกบกันอยู่โดยวางให้ขั้วโคโพลทางไฟฟ้าภายในอะตอมของมันมีทิศทางตรงข้ามกันดังรูป



(ii)



(vi)

รูปที่ 2.24 (ก). โครงสร้างภายในตัวอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก  
ที่ใช้สารเซรามิก

(ข). เมื่อป้อนแรงดันให้แก่ตัวมันจะทำให้ชั้นสารเซรามิก โกงงอไปมา ทำให้เกิดคลื่นเสียง  
อุลตราโซนิคกระจายไปในอากาศ

ชั้นสารเซรามิกถูกยึดติดภายในตัวถังอย่างดีเพื่อไม่ให้เกิดการสั่นขณะทำงานอยู่ได้รับ  
ผลกระทบกระเทือนจากภายนอกตัวถังมักจะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูง  
ประมาณ 1 ถึง 2.5 ซม. ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดมีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอุลตราโซนิคเข้ามาหรือ  
ออกจากช่องเปิดได้โดยสะดวก ถ้าตัวถังทำมาจากโลหะก็ควรต่อตัวถังลงกราวด์เพื่อทำหน้าที่ชิลด์  
สำหรับบางยี่ห้อเขาจะต่อขาหนึ่งติดกับตัวถังมาให้เลย เมื่อพลิกดูขา 2 ขาที่โผล่ออกมาจากตัวถังจะ  
เห็นมีขาหนึ่งติดกับตัวถัง

เมื่อมีสัญญาณแรงดันมาคร่อมขั้วทั้งสองของชั้นสารเซรามิกดังรูป (ข) จะทำให้ชั้นสาร โกง  
งอมากหรือน้อยหรือในทิศทางใดตามขนาดและทิศทาง การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณนั้น ๆ  
ทำให้เกิดการกดอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณนั้นออกไป โดยทั่ว  
ไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป แต่กำลังเอาท์พุทจะ  
สูงสุดที่ค่าประมาณนี้ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งเป็นความถี่ทางกล  
ตามธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้มาก

ในการทำงานกลับกันเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชั้นสารเซรามิกเข้า  
มาจะทำให้ชั้นสาร โกงงอไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นมารวมขั้วทั้งสองของตัว  
มันเองได้ คุณสมบัติโดยทั่วไปของอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกก็คือมีค่าความ  
ต้านทานไฟตรงสูงมากอาจสูงถึง 100 MW เรียกว่าถ้าเอาอิมพีแดนซ์มาตั้งสเกลวัดค่าความ  
ต้านทานสูง ๆ เข็มจะไม่กระดิกเลย แต่ในขณะที่มันทำงานความต้านทานทางด้านไฟสลับจะลดลง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 ตัวส่งและตัวรับ

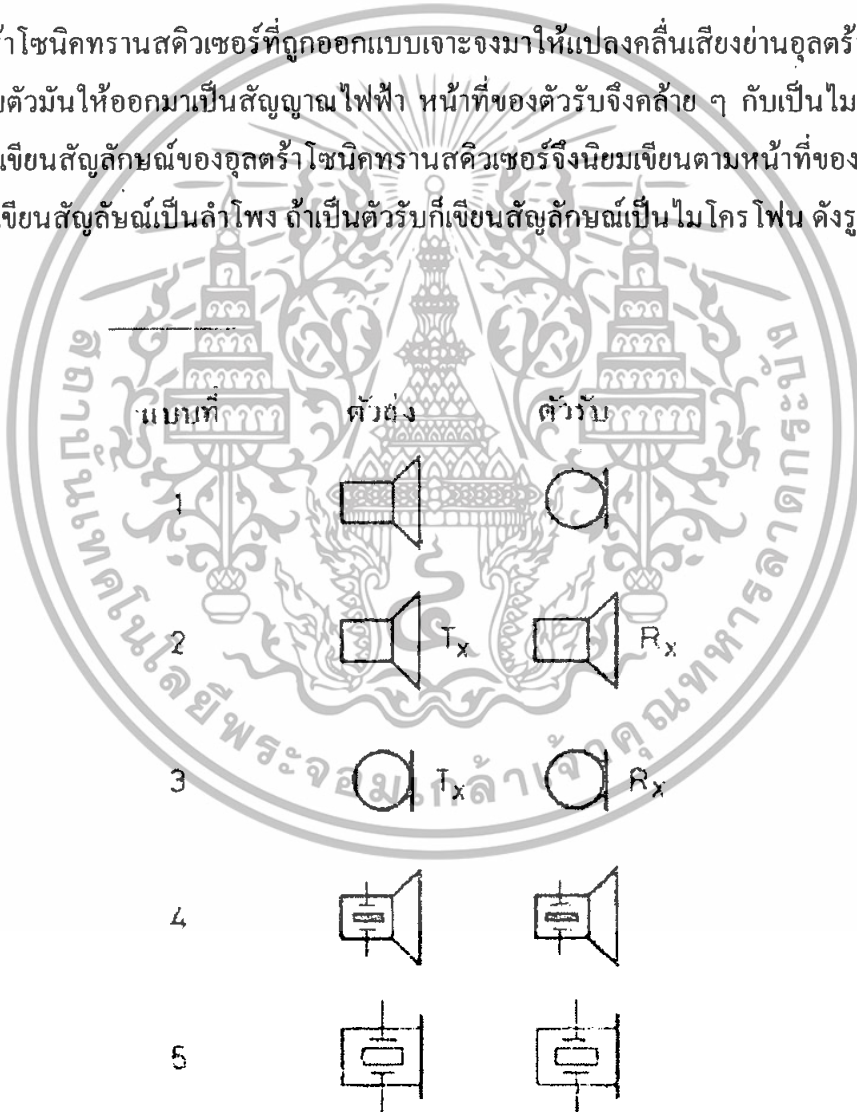
ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกที่ใช้สารเซรามิก ( หรือที่ผู้ผลิตบางรายเรียกว่าอูลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเซรามิก ) จะมีอยู่ 2 อย่าง คือ ตัวส่งหรือ Transmitter และ ตัวรับ ( เสียง ) หรือ Receiver

### - ตัวส่ง

ก็คืออูลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบเจาะจงมาให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ให้แก่วัสดุให้ออกมาเป็นคลื่นเสียงย่านอูลตราโซนิค หน้าทีของตัวส่งจึงคล้าย ๆ กับเป็นลำโพง

### - ตัวรับ

ก็คืออูลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบเจาะจงมาให้แปลงคลื่นเสียงย่านอูลตราโซนิคที่มาดกระทบตัวมันให้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า หน้าทีของตัวรับจึงคล้าย ๆ กับเป็นไมโครโฟน ด้วยเหตุนี้เวลาเขียนสัญลักษณ์ของอูลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์จึงนิยมเขียนตามหน้าทีของมันคือ ถ้าเป็นตัวส่งก็เขียนสัญลักษณ์เป็นลำโพง ถ้าเป็นตัวรับก็เขียนสัญลักษณ์เป็นไมโครโฟน ดังรูป



รูปที่ 2.25 แสดงตัวอย่างการเขียนสัญลักษณ์ของอูลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมสควเซอร์แบบเซรามิกที่มีจำหน่ายกันจะมีค่าความถี่เรโซแนนซ์ให้เลือกตั้งแต่ 23 KHz ขึ้นไปจนถึง 40 KHz แต่ที่พบเห็นกันบ่อยก็มี 23 KHz, 25 KHz, และ 40 KHz โดยความถี่ 40 KHz เป็นรุ่นที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพราะมีทิศทางดีกว่า

เนื่องจากสเปคตลอดจนรายละเอียดต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมสควเซอร์หาได้ยาก ดังนั้นจึงสามารถที่จะสรุปสิ่งที่ควรรู้ในขั้นต้นของอุปกรณ์อุตสาหกรรมสควเซอร์เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานดังนี้

1. ไม่ควรให้ตัวทรานสควเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย

2. ทรานสควเซอร์ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกินกว่า 20 Vrms ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับทรานสควเซอร์ก็ควรจะอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้

3. ความถี่เรโซแนนซ์ ( ความถี่ที่ตัวมันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ) ของทรานสควเซอร์ 40 KHz ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะผิดพลาดไปไม่เกิน  $\pm 1$  KHz และมีแถบความถี่ (Bandwidth) ประมาณ 4.5 KHz สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 KHz สำหรับตัวรับ จะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของตัวส่งอยู่เล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้

4. อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสควเซอร์ควรอยู่ภายในช่วง  $-20^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+60^{\circ}\text{C}$

5. ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมากกล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ  $30^{\circ}$  ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ  $30^{\circ}$  ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาก็ลดลงไปประมาณ 10 dB ด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้งจึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงเข้าหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตามในกรณีที่อยู่ในห้องอาจจะเบี่ยงเบนจากกันได้เล็กน้อย เพราะคลื่นเสียงอุตสาหกรรมสามารถสะท้อนกับกำแพง พื้น และวัตถุที่อยู่ในห้อง ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง

6. ในกรณีที่ใช้งานตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานต่อขนานกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติแล้วตัวต้านทานตัวนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วงจาก 10 kW - 100 kW จากการ

ทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยนโหลดจาก 100 kW มาเป็น 10 kW ความไวจะลดลงประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 ถึง 20 dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลงไปอีก ความถี่เรโซแนนซ์ ( ความถี่กลาง ) จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมาก ควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงสักหน่อย เพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีแถบความถี่แคบ ตัวอย่างการทดสอบแสดงไว้ดังรูป

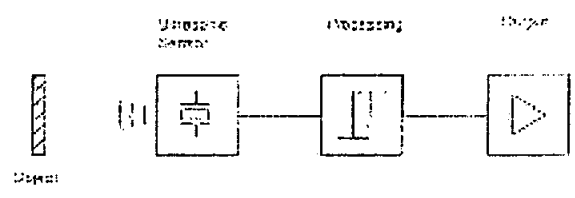
7. ตามปกติแล้วเราสามารถนำเอาตัวส่งและรับมาใช้แทนกันได้ในการใช้งานส่วนใหญ่ และตัวส่งหรือตัวรับของยี่ห้อใด รุ่นใด ก็สามารถที่จะนำมาใช้แทนกันได้ในงานส่วนใหญ่ ขอเพียงแต่ให้มีความถี่เรโซแนนซ์เดียวกันเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมมูลย์ทางด้านไฟสลับเพื่อให้ลักษณะผลตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม



รูปที่ 2.26 แสดงผลการทดลองตัวรับตัวหนึ่ง โดยลองเปลี่ยน โหลดเป็นค่าต่าง ๆ กัน แล้วป้อนคลื่นเสียงความถี่ต่างๆกันเข้ามา

2.6.3 อุลตราโซนิกเซ็นเซอร์หน้าที่และการทำงาน

รูปแบบต่าง ๆ ของอุลตราโซนิกเซ็นเซอร์ประกอบด้วย ตัวตรวจจับด้วยคลื่นอุลตราโซนิก ชุดส่งสัญญาณ ชุดประมวลผล และชุดเอาต์พุต



รูปที่ 2.27 แสดงหลักการการทำงานของอุลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มักจะใช้เป็นภาครับ และ ภาคส่ง อาจมีระบบซึ่งประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ แยกกันอยู่ 2 ส่วน ในระหว่างการทำงานเซ็นเซอร์จะทำการส่งสัญญาณเสียงซึ่งเรียกว่า “ซาวด์พาร์เซลส์” (Sound parcels) ให้ขบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ ของเวลาทำงานไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีการ รับการสะท้อนครั้งแรกเกิดขึ้น

- วงจรส่งผ่าน / รับ

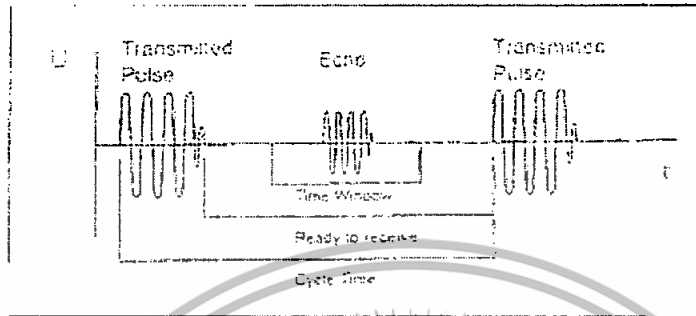
สำหรับการทำงานเป็นวงจรของอุลตราโซนิคเซ็นเซอร์ จะส่งผ่านคลื่นพัลส์เสียงที่ช่วงเวลาสม่ำเสมอ หรือช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลง คลื่นเสียงที่ปล่อยออกไปจะถูกสะท้อนได้โดยวัตถุที่เหมาะสม โดยเซ็นเซอร์ และระบบการทำงานจะรับการสะท้อนของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมา (ดังแสดงในรูป)ความกว้างของคลื่นพัลส์ของเสียงอยู่ในช่วง 2.-200 ไมโครเซท



รูปที่ 2.28 อุลตราโซนิคเซ็นเซอร์ วงจรส่งผ่าน/รับ

เวลาในการเดินทางของคลื่นพัลส์ของคลื่นเสียงเป็นการวัดระยะห่างจากวัตถุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเซ็นเซอร์ ระยะห่างนี้มาไปแสดงในรูปของ สัญญาณอนาล็อก (Analogue Signal) (เช่น 0-20 mA) สัญญาณลอจิก (Logic Signal) (เช่น สัญญาณลอจิก 8 bit) ดลอคทั้ง ซีเรียลอินเตอร์เฟส (Serial Interface) (RS232) หรือการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในรูปของสวิชพัลส์ที่เรียกว่า ไทม์เฟรม (Time Frame) เนื่องจากขบวนการดำเนินไปตามเวลาที่คลื่นสะท้อนเดินทาง ไม่ใช่เป็นไปตามความเข้มของคลื่นสะท้อน จึงจัดได้ว่าอุลตราโซนิคเซ็นเซอร์ มีข้อดีเหนือกว่าเซ็นเซอร์แบบออปติคัล (Optical Sensor) เวลาที่คลื่นสะท้อนการเดินทางจะทำให้ขบวนการดำเนิน โดยไม่ขึ้นกับความเข้มของคลื่นสะท้อน ตรวจจับที่วัตถุยังคงสะท้อนคลื่นที่สามารถตรวจจับได้ออกมา ดังนั้นคุณลักษณะการสวิทช์ไม่เปลี่ยนไป แม้ในสถานะที่การสะท้อนเป็นไปอย่างไม่ดีคลื่นสะท้อนที่อ่อนจะมีผลต่อความถูกต้องในการตรวจจับวัตถุ ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถทำการตรวจจับวัตถุได้เลยความเร็วที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนไปของคลื่นพัลส์ของเสียง มีผลกระทบต่อพิสัย การทำงานของสวิทช์ (ระยะทาง) โดยตรง เซ็นเซอร์ทำงานด้วยวงจรเวลาที่คงที่ (เช่น  $t = 20 \text{ ms}$ ) จะส่งคลื่นเสียงออกมาอย่างสม่ำเสมอ (ดังแสดงในรูป) ดังนั้นวงจรเวลาจะเป็นตัวกำหนดช่วงและวงจรการทำงานของสวิทช์ของเซ็นเซอร์

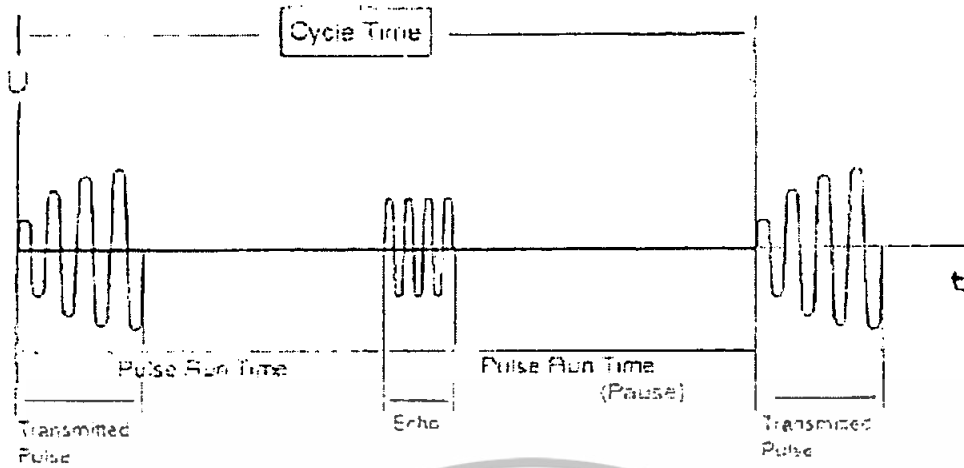


รูปที่ 2.29 แสดงอุลตราโซนิกเซ็นเซอร์, วงจรเวลาที่

ยกตัวอย่าง เช่นคลื่นเสียงที่มีความเร็ว  $v = 340 \text{ m/s}$  ( $20^\circ\text{C}$ ) ในช่วงเวลา  $t = 20 \text{ ms}$  ( $50 \text{ Hz}$ ) จะเดินทาง  $S = Vxt = 6.8 \text{ m}$  เนื่องจากระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์ และวัตถุที่ได้จากการทำงานของเซ็นเซอร์ คิดที่ไปและกลับจึงได้ระยะทางจริงสูงสุดสำหรับวงจรวลเวลานี้เป็น  $3.4 \text{ m}$  แอมพลิจูดของส่วนของคลื่นเสียงและซีทีวีดี (Sensitivity) ของตัวรับต้องมีการพิจารณาเลือกใช้ เพื่อให้คลื่นสะท้อนที่เดินทางมาถึงหลังจากเลยเวลาของวงจรวลเวลาที่

กำหนดไปแล้วจะ ไม่ได้รับการตรวจจับเนื่องจากคลื่นสะท้อนนั้นอ่อนมากซึ่งสัญญาณคลื่นนี้จะทำให้เซ็นเซอร์สวิทช์ มีการทำงานผิดพลาดหรือให้ข้อมูลที่ผิด เซ็นเซอร์แบบ อนุาลอก (Analog Sensor) เพื่อให้การตรวจจับวัตถุเป็น ไปอย่างถูกต้อง วัตถุต้องอยู่นิ่งเป็นเวลาเพียงพอสำหรับสำหรับสะท้อนอย่างน้อย 1 ส่วน ของคลื่นเสียงภายในขอบเขตที่เซ็นเซอร์จะทำงานได้รอบมากที่สุดของการสวิทช์ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงกับอัตราส่วนของวัตถุต่อที่ว่าง และจะพิจารณาให้มีค่าน้อยกว่ารอบของความถี่ที่จุดนี้ เวลาที่ขยายจะสิ้นสุดระหว่างการส่งผ่านของพัลส์ และการรับคลื่นสะท้อนแรกจะถูกนำไปใช้วัดสำหรับวงจรวลเวลา เมื่อเวลาดำเนินไปเท่ากับเวลาที่คลื่นสะท้อนเดินทางไป และกลับสิ้นสุด ส่วนของคลื่นสะท้อนต่อไปจะถูกส่งออก การหยุดลงชั่วขณะของเวลาพิเศษที่คลื่นเดินทางทำขึ้นเพื่อลดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่ดำเนินมาจากตรวจจับวัตถุมากกว่าหนึ่งระยะ โดยเซ็นเซอร์สามารถถูกปรับให้เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมซึ่งหมายถึง สำหรับการตรวจจับวัตถุที่อยู่ไกลเวลาการเดินทางจะนานเป็นผลให้

ต้องการความถี่ต่ำในทางตรงกันข้าม ความถี่ของวงจรวลจะเพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุเข้าใกล้เซ็นเซอร์ทำงานให้วงจรวลเวลาสั้นลง และพลังงานที่ส่งออกไปสามารถปรับในช่วงเวลาของคลื่นเสียงที่ปล่อยไป เวลาที่เพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดเมื่อมีการสวิทช์ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 อุลตราโซนิกเซ็นเซอร์, วงจรที่เปลี่ยนแปลงได้

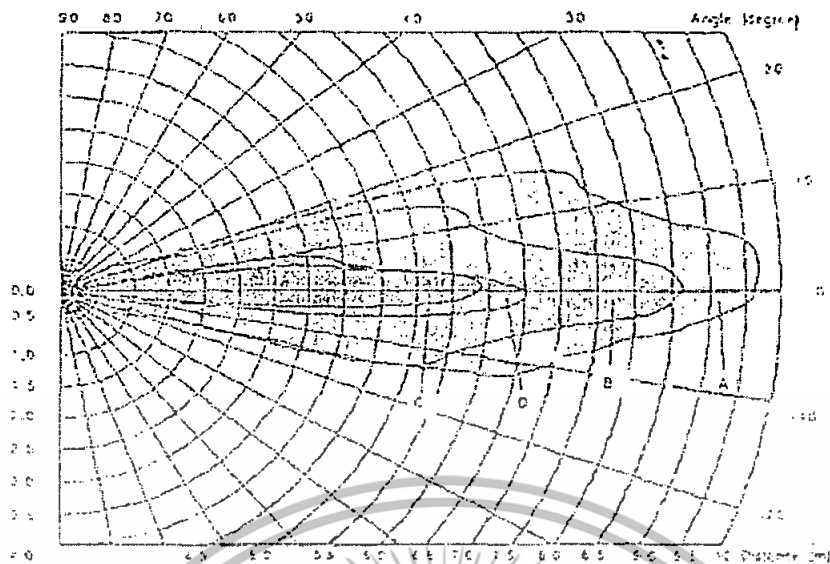
ทรานซ์ดิวเซอร์จะถูกใช้สำหรับพลังงานที่ส่งออกไป (ดังแสดงในรูป) ดังนั้นคลื่นสะท้อน  
เบื้องหลังสามารถควบคุมได้ด้วยการลดพลังงานในการส่งผ่านวัตถุที่อยู่ใกล้เซ็นเซอร์

รูปที่ 2.31 อุลตราโซนิกเซ็นเซอร์ทรานซ์ดิวเซอร์แบบชิ้นส่วนการอิมพัลส์ (Impulse)  
ที่ 170 MHz

#### 2.6.4 การลดสัญญาณรบกวน และสภาวะการทำงาน

ผลที่เกิดจากคลื่นรบกวน และการทอดแทรกในการประยุกต์ใช้อุลตราโซนิกเซ็นเซอร์คือการ  
ตรวจจับวัตถุได้แต่ระยะที่ใกล้กับเซ็นเซอร์ และไม่สามารถตรวจจับวัตถุที่มีการสะท้อนได้ไม่ดี  
เนื่องจากความจริงที่ว่า คลื่นอุลตราโซนิกจะสะท้อนได้จากวัตถุเกือบทุกชนิด และง่ายต่อการเบี่ยง  
เบน วัตถุเหล่านั้นจะทำให้สวิทช์เปิด-ปิด เมื่อเข้าใกล้บริเวณที่เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับได้ ดัง  
กราฟทำนายคุณลักษณะของเซ็นเซอร์ ดังรูป

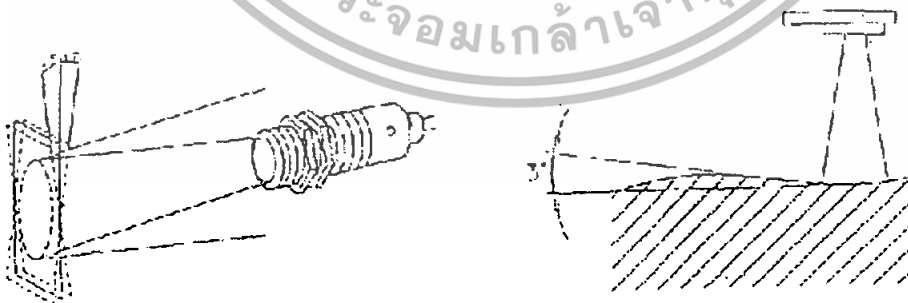
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 อุตตราโซนิคเซ็นเซอร์, คุณลักษณะการตรวจจับ

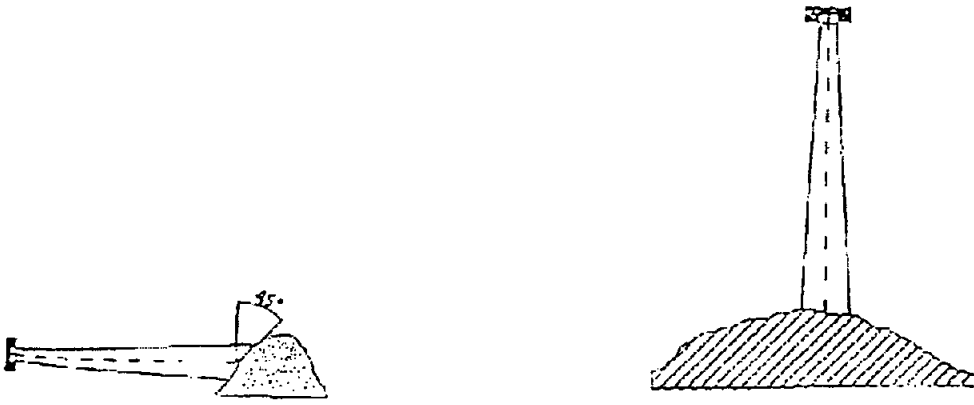
เพื่อหาคุณลักษณะของวัตถุชนิดต่าง ๆ จะวางในตำแหน่งของวัตถุในระยะห่างเท่า ๆ กันที่มุมตั้งฉากกับแนวแกนของเซ็นเซอร์ จุดที่สวิตช์ทำงานก็จะถูกกำหนดขึ้น

เพื่อให้ปราศจากปัญหาในการทำงาน จะไม่มีวัสดุอื่นใดที่ไม่ใช่เป้าหมายในขอบเขตนอกสุดในทางกลับกันวัตถุเป้าหมายต้องอยู่ภายในบริเวณพื้นที่ที่สามารถตรวจจับได้ทั้งขนาด รูปร่าง เพื่อป้องกันปัญหาการตรวจจับคลั่นเสียง พื้นผิวของวัตถุควรมีขนาดใหญ่เท่าที่จะเป็น ได้ราบเรียบ และมีมุมเอียงไม่เกิน 3 กับแกนของเซ็นเซอร์ (ดังแสดงในรูป) จากข้อกำหนดดังกล่าว เมื่อทำการตรวจจับวัตถุทรงกลม หรือวัตถุผิวไม่เรียบ (ของเหลว, ของผสม) ก็จะทำให้เกิดปัญหาขึ้น



รูปที่ 2.33 อุตตราโซนิคเซ็นเซอร์, พื้นผิวตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 อุลตราโซนิคเซ็นเซอร์, การตรวจจับสิ่งของ

อุลตราซาวด์สามารถนำมาเบี่ยงเบนด้วยตัวสะท้อนอย่างง่าย ที่ทำจากวัสดุใด ๆ ดังแสดงในรูป พื้นที่ตรวจจับยังคงเท่าเดิม ทำให้ใช้กับตัวสะท้อนขนาดใหญ่ได้ โดยใช้ตัวเบี่ยงเบนไม่เกิน 2 ตัว ติดตั้งภายในทางเดินของคลื่นเสียงในแนวทางเดินตั้งฉากอย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.35 อุลตราโซนิคเซ็นเซอร์, การเบี่ยงเบนคลื่นเสียง

ด้วยวิธีนี้สามารถนำไปใช้ป้องกันป้องกันเซ็นเซอร์ จากการใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตราย ต่อเซ็นเซอร์และทำให้ลดคลื่นสะท้อนที่ไม่ต้องการจากวัตถุ การรวมคลื่นเสียงผ่านม่านกัน หรือท่อ โดยปกติไม่สามารถทำได้ เนื่องจากการหักเหของแสง บนขอบ และกำแพง เพื่อหลีกเลี่ยงการ สอดแทรกจากเครื่องมือที่ให้กำเนิดคลื่นเสียงอื่น ๆ สัญญาณที่รับได้จะถูกทดสอบความถี่ใน ตัวเอง วิธีทำนี้ไม่สามารถทำให้สำเร็จ ได้เมื่อใช้เซ็นเซอร์ชนิดเดียวกัน (ทรานส์ดิวเซอร์และความถี่ ชนิดเดียวกัน) หรือมีย่านรบกวนกว้าง (เช่น ในอากาศอัด) สอดแทรกกัน เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบ ระหว่างเซ็นเซอร์จะต้องมีการติดตั้งที่ระยะปลอดภัย คลื่นรบกวนกับแอมพลิจูดขนาดใหญ่ สามารถ ปิดกั้นเซ็นเซอร์ไม่ให้รับคลื่นสะท้อนที่อ่อนกว่าคลื่นรบกวนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์บางชนิดแก้ปัญหาการสอดแทรกนี้ โดยสัญญาณเตือนที่เอาท์พุทที่แยกต่างหาก เพื่อเป็นการชดเชยการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเสียงจากอุณหภูมิที่ขึ้น ๆ ลง ๆ เซ็นเซอร์บางชนิดจึงรวมเอาเซ็นเซอร์อุณหภูมิเข้าไปด้วย โดยจะทำการวัดอุณหภูมิบริเวณเซ็นเซอร์ และวัตถุ (ระยะสูงสุด 6 m) ขบวนการหลาย ๆ ขบวนการของสัญญาณที่ช่วยในการเกิดคลื่นรบกวนที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว เช่น คลื่นรบกวนเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศ หรือคลื่นรบกวน กับคลื่นอุลตราซาวด์ ที่มีองค์ประกอบมาก (ในอากาศ , เครื่องจักรกล) ด้วยวิธีการนี้เอาท์พุทที่ได้จากการเซ็นเซอร์จะถูกกระตุ้นเมื่อจำนวนของคลื่นสะท้อนมีความเข้มข้นเดียวกัน และในการเดินทางเท่ากัน ได้ถูกรับเอาไว้ ข้อเสียคือ ความถี่ของการทำงานค่อนข้างลดน้อยลงเมื่อทำการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ผ่านอย่างรวดเร็วผ่านจุดที่ทำมุมตั้งฉากกับแกนของเซ็นเซอร์ ในกรณีนี้ความเร็วของวัตถุที่ยอมรับได้ กำหนดมาจากขนาดของวัตถุ และระยะห่างจากเซ็นเซอร์ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.36 อุลตราโซนิกเซ็นเซอร์, ความเร็วของวัตถุที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

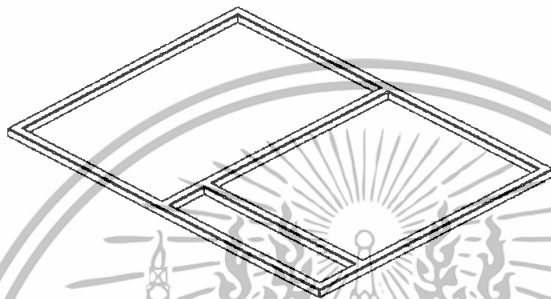
#### การออกแบบและการสร้างโครงสร้างของรถสำรวจ

##### 3.1 แบบตัวรถ

การออกแบบนั้นจะต้องให้สามารถวิ่งบนรางรถไฟได้ โดยจะมีรายละเอียด ดังนี้

##### 3.1.1 ขนาดตัวรถ

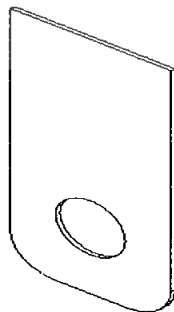
ใช้เหล็กสี่เหลี่ยมกว้างขนาด 6 หุนเป็นวัสดุในการทำมีขนาดกว้าง 50 cm ยาว 70 cm



รูปที่ 3.1 ลักษณะตัวรถ

##### 3.1.2 ยึดเพลลา

การทำงานเป็นชิ้นส่วนที่จะติดกับตัวรถอย่างมั่นคง เป็นอุปกรณ์ที่จะยึดเพลากับตัวรถโดยที่ตรงรูจะมีแบริ่งเพื่อให้เพลลาสามารถหมุนได้อย่างสะดวก โดยในการออกแบบจะต้องเลือกใช้วัสดุที่แข็งแรงสามารถรับน้ำหนักที่จะวางบนตัวรถได้ ดังนั้นจึงได้ออกแบบโดยใช้ เหล็กหนา 3 mm กว้าง 7.5 cm สูง 15 cm จุดศูนย์กลางของรู อยู่ต่ำลงมาจากด้านบนสุด 11.5 cm

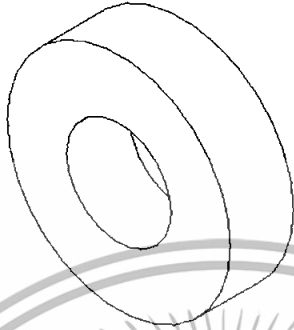


รูปที่ 3.2 ยึดเพลลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 แบร้ง

การทำงานของแบร้งจะลดแรงเสียดทานระหว่างเพลากับยึดเพลาในการออกแบบใช้แบร้งเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 1.5 cm ด้านนอก 3.2 cm



รูปที่ 3.3 แบร้งและเพลา

### 3.1.4 เพลา

เป็นชิ้นส่วนที่จะช่วยให้รถสามารถเคลื่อนที่ได้ โดยจะยึดติดกับเฟืองและล้อ ในการออกแบบเลือกใช้เหล็กเพลา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm ยาว 120 cm



รูปที่ 3.4 เพลา

### 3.1.5 เฟือง

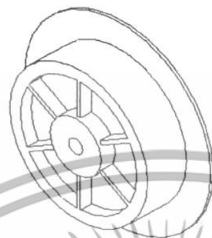
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างมอเตอร์กับเพลาเพื่อให้รถเคลื่อนที่ได้ โดยในการออกแบบเลือกใช้เฟืองที่เป็นแบบโซ่ ดังนี้

- เฟืองที่มอเตอร์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm
- เฟืองที่เพลา เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.6 ล้อ

จะต้องออกแบบให้วิ่งบนรางรถไฟได้โดยที่ไม่ตกราง จึงให้ออกแบบให้ที่ริมด้านในของล้อมีขอบที่กั้นไม่ให้ล้อหล่นจากราง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก 15 cm ด้านใน 3.2 cm ขอบที่กั้นเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm

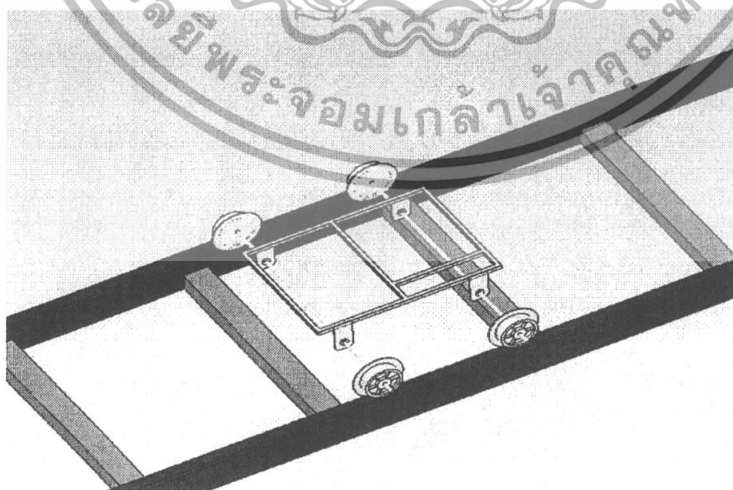


รูปที่ 3.5 ล้อ

### 3.1.7 มอเตอร์

ในการเคลื่อนที่ของรถ จะต้องใช้แรงขับที่มากพอที่จะขับเคลื่อนน้ำหนักทั้งหมดที่จะอยู่บนตัวรถให้เคลื่อนที่ไปได้ จึงต้องเลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงที่มีทอร์คมากๆ ในการออกแบบได้เลือกใช้ มอเตอร์กระแสตรงขนาด 18 Vdc 78 rpm

เมื่อได้ออกแบบในแต่ละชิ้นส่วนแล้วก็นำมาประกอบรวมกันได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 โครงรถสำรวจ

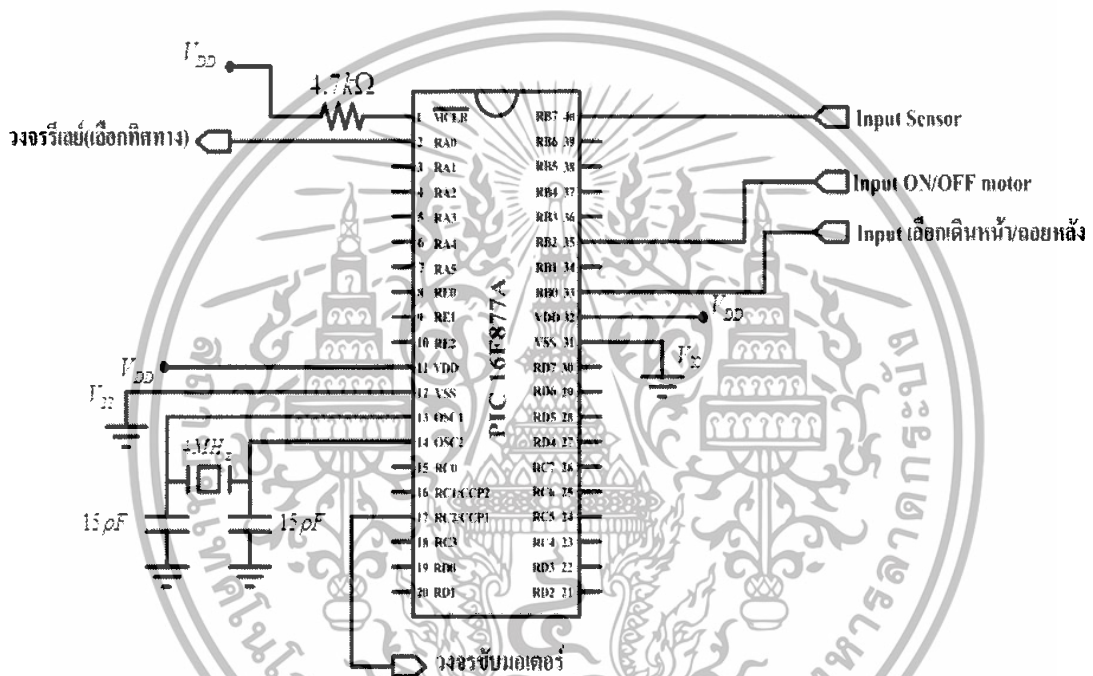
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### วงจรอิเล็กทรอนิกส์และการทำงาน

ในการออกแบบวงจรที่ใช้ในรถสำรวจทางรถไฟนี้ อาศัยหลักการควบคุมความเร็วและทิศทางของรถจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC) ซึ่งมีการป้อนกลับจากวงจรเอนโค้ดเดอร์โดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดเป็นตัวจับรอบความเร็วมอเตอร์ วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง วงจรรับ-ส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุ โดยมีวงจรในส่วนต่างๆ ดังนี้

#### 4.1 วงจรควบคุมความเร็วและทิศทางมอเตอร์



รูปที่ 4.1 วงจรควบคุมประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC16F877A)

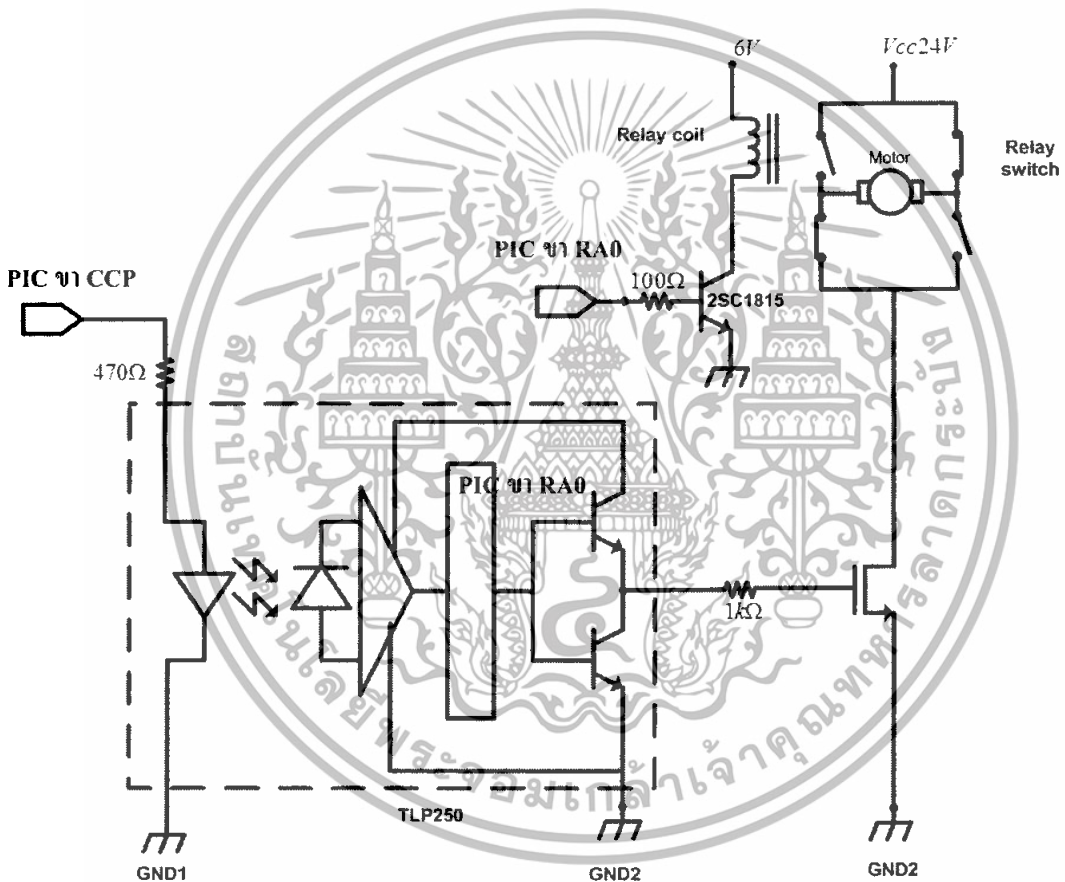
วงจรควบคุมประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC16F877A) โดยมี input เป็น port B คือ B0, B2, และ B7 โดย B0 จะทำหน้าที่เป็นตัวเลือกทิศทางการหมุนเดินหน้าหรือถอยหลังของมอเตอร์ B2 จะทำหน้าที่เป็นตัวสั่งให้มอเตอร์หมุน โดยมีการป้องกันการกระชากกระแสเมื่อสั่งให้เริ่มทำงานโดยอาศัยการค่อยๆ เพิ่มความเร็วให้ขึ้นจาก 0 ไปจน 50 % และ B7 จะทำหน้าที่เป็นอินพุตที่รับค่ามาจากวงจรเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก เพื่อใช้ตรวจสอบสิ่งกีดขวาง และไมโครคอนโทรลเลอร์นี้มีเอาต์พุตเป็น port A ที่ขา A0 และ port C ที่ขา ccp1 โดยเอาต์พุตที่ A0 จะทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการหมุนเดินหน้าหรือถอยหลังของมอเตอร์จากอินพุต B0 และเอาต์พุตที่ ccp1 จะทำหน้าที่กำเนิดพัลส์ใช้ควบคุมความเร็วในการหมุนของมอเตอร์จากอินพุต B2 และ B7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์(PIC16F877A) ใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาขนาด4MHz และปฏิบัติการที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ซึ่งได้จาก IC 7805 โวลต์เตจเรกูเลเตอร์(Voltage regulator) โดยมีแหล่งจ่าย แบตเตอรี่ ขนาด 6 โวลต์

#### 4.2 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงและรีเลย์

วงจรถับมอเตอร์กระแสตรง นำไปขับมอเตอร์กระแสตรง โดยมีสัญญาณควบคุมความเร็วการหมุนของมอเตอร์ด้วย PIC ขา CCP และทิศทางจากไมโครคอนโทรลเลอร์ นำไปขับรีเลย์เพื่อทำการเลือกเดินหน้า ถอยหลังด้วย PIC ขา RA0 ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรถับมอเตอร์กระแสตรงและรีเลย์

จากวงจรถับสัญญาณรับสัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์มาสู่ออปโตไดโอด (TLP250) ซึ่งเป็นตัวแยกกราวด์ระหว่างส่วนไฟเลี้ยงวงจรถับสัญญาณไมโครคอนโทรลเลอร์กับส่วนไฟเลี้ยงมอเตอร์ เพื่อจะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานอย่างเสถียรเพราะไม่ได้รับผลกระทบจากการกระชากไฟของมอเตอร์ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อไปขับขาคท เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของมอสเฟต และยังช่วยป้องกันการเสียหายของวงจรถวายได้ เมื่อวงจรด้านใดเสียหายจะไม่ส่งผลถึงวงจรรีกด้านหนึ่ง และนำสัญญาณที่ได้ไปขับเกทของมอสเฟต(IRF540) จากนั้นรับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์อีกขามาคำหนดการสวิตส์การทำงานของรีเลย์ที่ต่อกันแบบ H-Bridge โดยไม่ให้ทั้ง 2 ชุด on พร้อมกัน เพื่อเลือกเดินหน้า ถอยหลัง

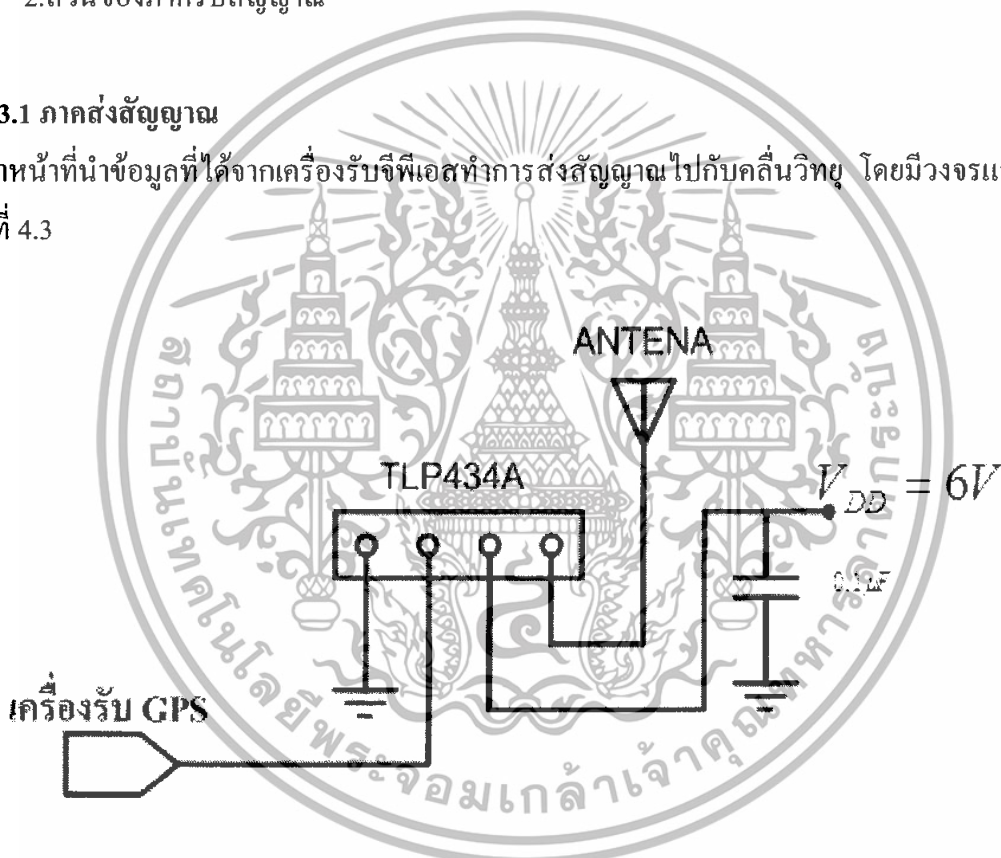
#### 4.3 วงจรรับ-ส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุ

การออกแบบวงจร แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ

1. ส่วนของภาคส่งสัญญาณ
2. ส่วนของภาครับสัญญาณ

##### 4.3.1 ภาคส่งสัญญาณ

ทำหน้าที่นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องรับจีพีเอสทำการส่งสัญญาณไปกับคลื่นวิทยุ โดยมีวงจรแสดงดังรูปที่ 4.3



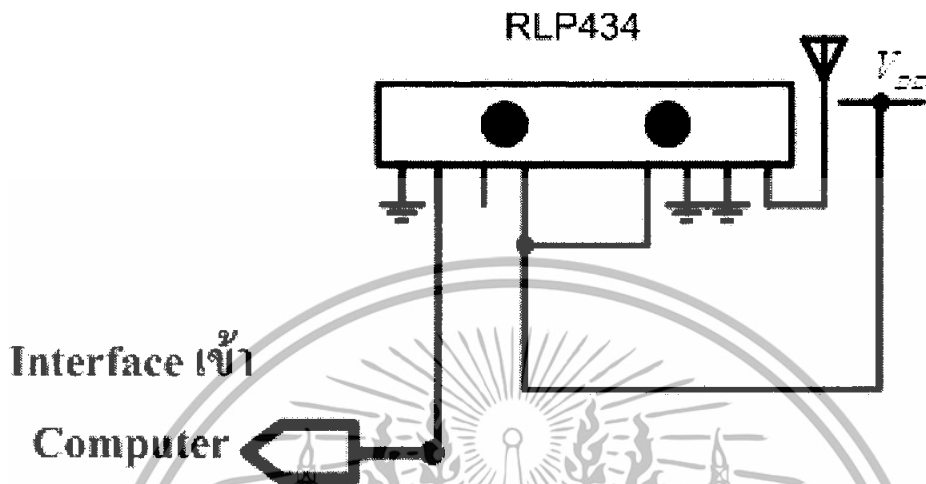
รูปที่4.3 วงจรภาคส่ง

จากรูป RF Module TLP434A เป็น โมดูลภาคส่งสัญญาณผ่านความถี่วิทยุ ที่ความถี่ 433.92 MHz โดยเป็นการมอดคูเลทสัญญาณแบบ Amplitude Shift Keying(ASK) โดยมีการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลที่ส่งนี้เป็นข้อมูลแบบตัวอักษร โมดูลจะทำการแปลงเป็นรหัสแอสกีแล้ว จากนั้นทำการมอดคูเลชัน แล้วทำการส่งออกไปทางสายอากาศ(Antena) โดยไม่จำเป็นต้องใช้เอนโค้ดเดอร์ (Encoder) เพื่อเข้ารหัสเพราะข้อมูลมีการส่งเป็นแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 ภาครับสัญญาณ

ทำหน้าที่ถอดรหัสสัญญาณที่รับมาจากภาคส่งข้างต้น แล้วนำไปแสดงผลยังคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะของวงจรมีดังนี้



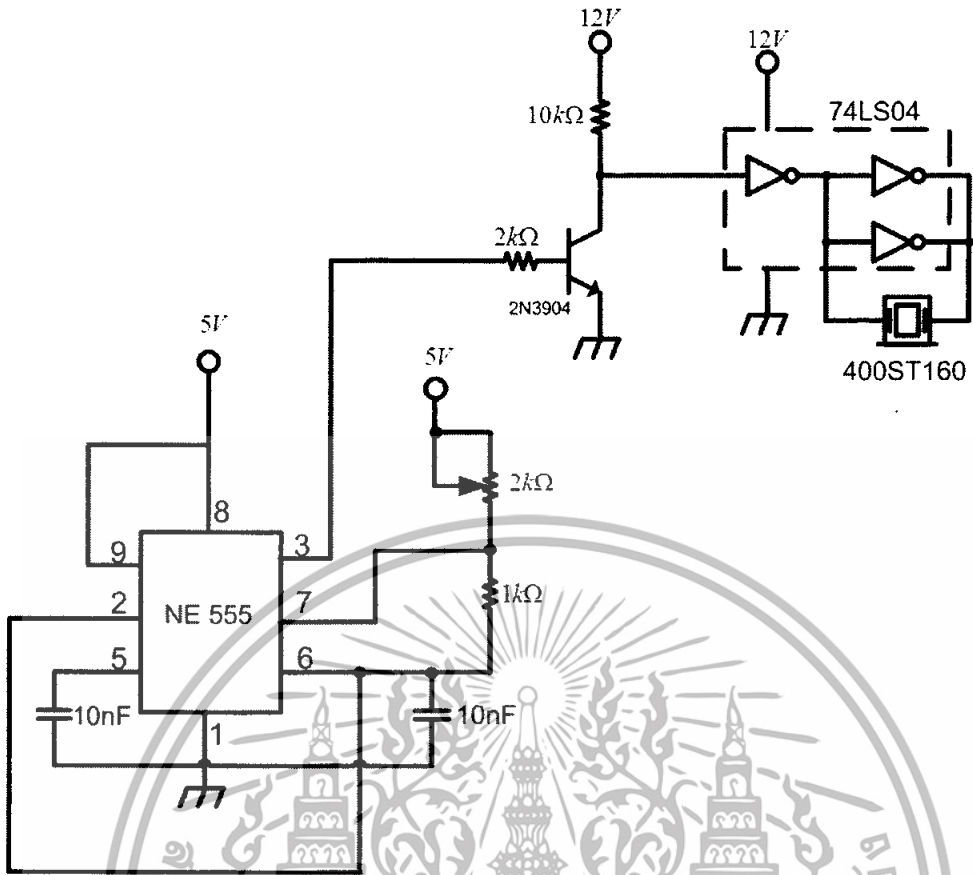
รูปที่ 4.4 วงจรภาครับ

วงจรภาครับประกอบด้วย RF Module RLP434A ทำหน้าที่รับข้อมูลที่ส่งมาจาก RF Module TLP434A ทางสายอากาศมาทำการตีโมดูลสัญญาณแล้วส่งออกจากคลื่นพาห์ และส่งข้อมูลที่ตีโมดูลแล้วส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลได้โดยไม่ต้องใช้ดีโคเดอร์ (Decoder) เช่นกัน

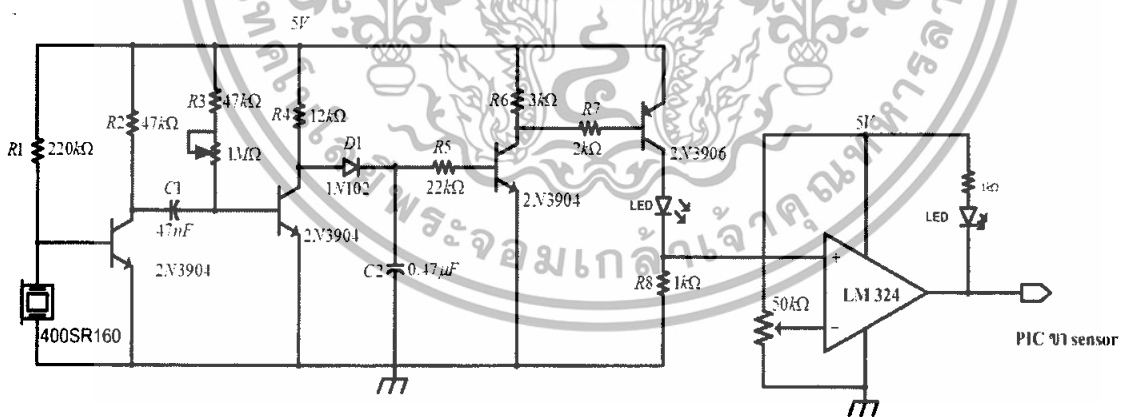
ซึ่งข้อมูลที่ได้จากโมดูลเครื่องรับนี้ สามารถส่งเข้าคอมพิวเตอร์ได้โดยผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ทาง DB9

### 4.4 วงจรเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก

เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกถูกนำมาใช้ในการตรวจจับสิ่งกีดขวางในระยะไกลได้ โดยอาศัยหลักการทำงาน คือ ส่งสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิกออกไปด้วยตัวส่งสัญญาณ และมีตัวรับสัญญาณคอยตรวจจับเมื่อมีการสะท้อนกลับมาของคลื่นอัลตราโซนิกเมื่อเจอวัตถุ หากไม่มีการสะท้อนกลับมาของสัญญาณอัลตราโซนิกแสดงว่าตรวจสอบไม่เจอกลับวัตถุ และจะนำไปเป็นอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่านวงจรคอมพาราเตอร์ก่อนเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการตรวจเจอวัตถุกับไม่เจอวัตถุโดยทำการแปลงสัญญาณจาก 0-12 โวลต์ที่ออกจากวงจรเซ็นเซอร์ให้เป็น 0-5 โวลต์ เพื่อตรวจสอบสิ่งกีดขวางด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีวงจรแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนตัวส่ง กับส่วนตัวรับและคอมพาราเตอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 วงจรตัวส่งเซนเซอร์อัลตราโซนิก



รูปที่ 4.6 วงจรตัวรับเซนเซอร์อัลตราโซนิกและวงจรคอมพาราเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

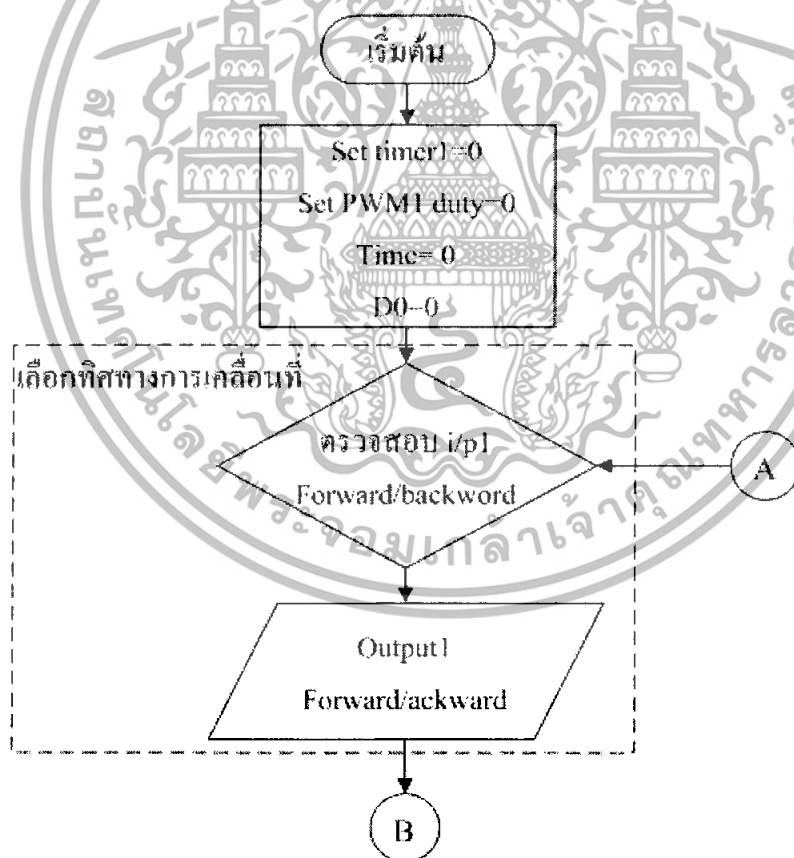
### ขั้นตอนและโปรแกรมการทำงาน

ขั้นตอนและโปรแกรมการทำงานของรถสำรวจทางรถไฟนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และส่วนรับค่าและแสดงผลจากเครื่องรับจีพีเอสอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ ดังนี้

#### 5.1 ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมความเร็วของมอเตอร์

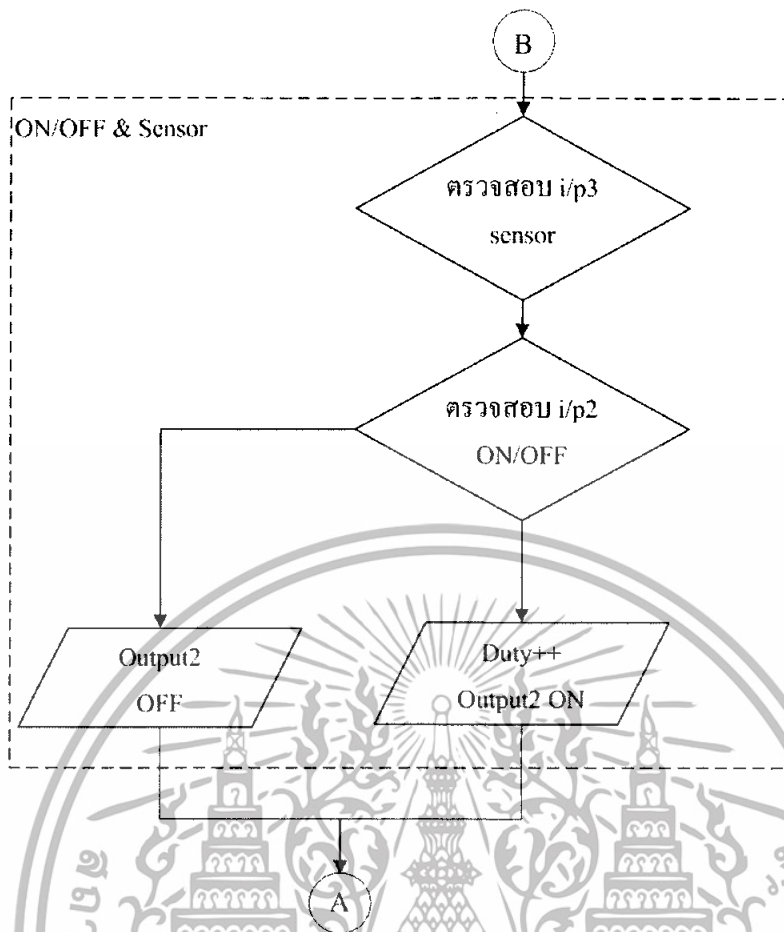
การทำงานของรถสำรวจทางรถไฟจะทำการตรวจอินพุตเลือกเดินหน้าหรือถอยหลัง จากนั้นทำการตรวจอินพุตเซ็นเซอร์ แล้วตรวจ ON/OFF จากนั้นจึงส่งเอาต์พุตออกมาในรูป PWM ในค่า Duty cycle ที่ 0% แล้วค่อยๆเพิ่ม ไปเป็น 50% เพื่อป้องกันกระแสกระชากของมอเตอร์ เมื่อไม่เจอสิ่งกีดขวาง และตรวจสอบเจอสิ่งกีดขวางก็จะสั่งให้เอาต์พุต 2 มี Duty cycle = 0%

จากเงื่อนไขข้างต้นสามารถนำมาเขียน Flow chart ได้ดังรูป



รูปที่ 5.1 Flow chart ของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 Flow chart ของ โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนที่ 2

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงการจ่ายพัลส์ให้กับมอเตอร์

ระดับความเร็ว (Speed)	รหัส	%Duty	แรงดันกร่อม มอเตอร์(Volt)
1	00	0	0
2	10	50	12
3	01	60	14
4	11	70	16

## 5.2 ส่วนรับค่าและแสดงผลจากเครื่องรับจีพีเอสอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์

การแสดงผลใช้ ไมโครซอฟต์ วิววลเบสิก 6 ในการออกแบบโปรแกรม รวมทั้งติดต่อพอร์ตอนุกรมเพื่อนำข้อมูลจากเครื่องรับจีพีเอสมาแสดงผล ซึ่งในการทดลองนี้ใช้แผนที่จากป้ายหยุดรถพระจอมเกล้า ถึงสถานีรถไฟหัวตะเข้ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้ในการออกแบบโปรแกรม

เอกล่าวนเป็นเอกล่าวนที่ลงวันไว้สำหรับการเขียนเพื่อการศึกษา เท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นเอกล่าวนนี้เป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครซอฟต์แวร์ วิศวกรรมศาสตร์ กับเครื่องรับจีพีเอส ผ่านพอร์ตอนุกรม นั้น จะมีความเร็วในการส่งข้อมูล 4,800 บิต/วินาที,  $n$  คือจำนวนข้อมูลที่จะเข้ามาเป็นจำนวน  $n$  บิต, ซึ่งข้อมูลจะมีขนาด 8 บิต/ซิมไบต์ ข้อมูลที่จีพีเอสส่งมายังพอร์ตสื่อสารอนุกรมนั้นจะเป็นรหัสแอสกี จากนั้นก็ทำการรับข้อมูล โดยข้อมูลที่รับเมื่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมจะถูกแปรค่าเป็นรหัสแอสกี โดยข้อมูลของจีพีเอสจะขึ้นต้นด้วย “\$” ซึ่งเป็นตัวบอกว่าเป็น จุดเริ่มต้นของประโยคใหม่ของข้อมูลที่ได้ทำการกำหนดไว้ในตอนแรกคือ \$GPDTM, \$GPGGA, \$GPZDA และ \$GPVTG ซึ่งข้อมูลแต่ละชุดที่ประกอบอยู่ในแต่ละประโยคมีความหมายที่แตกต่างกันออกไป เมื่อตรวจ “\$” พบแล้วก็จะทำการตรวจสอบต่อไปว่าเป็น GPDTM, GPGGA, GPZDA หรือ GPVTG จากนั้นก็ทำการตรวจสอบข้อมูลชุดต่อไป คือ GPGGA เมื่อเราทำการตรวจพบ GPGGA ก็ทำการตรวจสอบเครื่องหมายคอมม่าแล้วนำข้อมูลที่อยู่หลังเครื่องหมายคอมม่ามาใช้งาน โดยแสดงผลค่าละติจูด, ลองจิจูด และจำนวนดาวเทียม จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณและเคลื่อนที่บนแผนที่ ด้วยวิธีการแมปปีง (Mapping) ค่าละติจูดและลองจิจูดให้อยู่ในรูปพิกเซล เพื่อให้สามารถแสดงออกทางมอนิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง แล้วตรวจสอบละติจูดที่ทางรถไฟจากป้ายหยุดรถพระจอมเกล้าถึงสถานีรถไฟหัวตะเข้มีค่าก่อนข้างกึ่งที่ เพราะทางรถไฟเป็นเส้นตรง ดังนั้นจึงทำการแมปปีงเพียงลองจิจูดเพียงอย่างเดียว โดยเทียบกับแกน X จากซ้ายไปขวา



รูปที่ 5.3 แสดงการ Mapping ค่าลองจิจูด เป็นพิกเซล

โดยกำหนดค่าต่างๆดังนี้

PX1 คือ ค่าลองจิจูด เริ่มต้น

PX2 คือ ค่าลองจิจูด สิ้นสุดของขอบเขตแสดงผล

X1 คือ ตำแหน่งพิกเซลเริ่มต้นของภาพ

X2 คือ ตำแหน่งพิกเซลสุดท้ายของจอภาพซ้ายสุด

ในการออกแบบจะทำการหาอัตราส่วนระหว่างผลต่างของพิกเซล(ทางแกน X) หาดด้วยผลต่างของลองจิจูด และผลต่างของพิกเซล(ทางแกน X) หาดด้วยผลต่างของละติจูด ซึ่งเราจะได้ค่าคงที่ออกมา ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

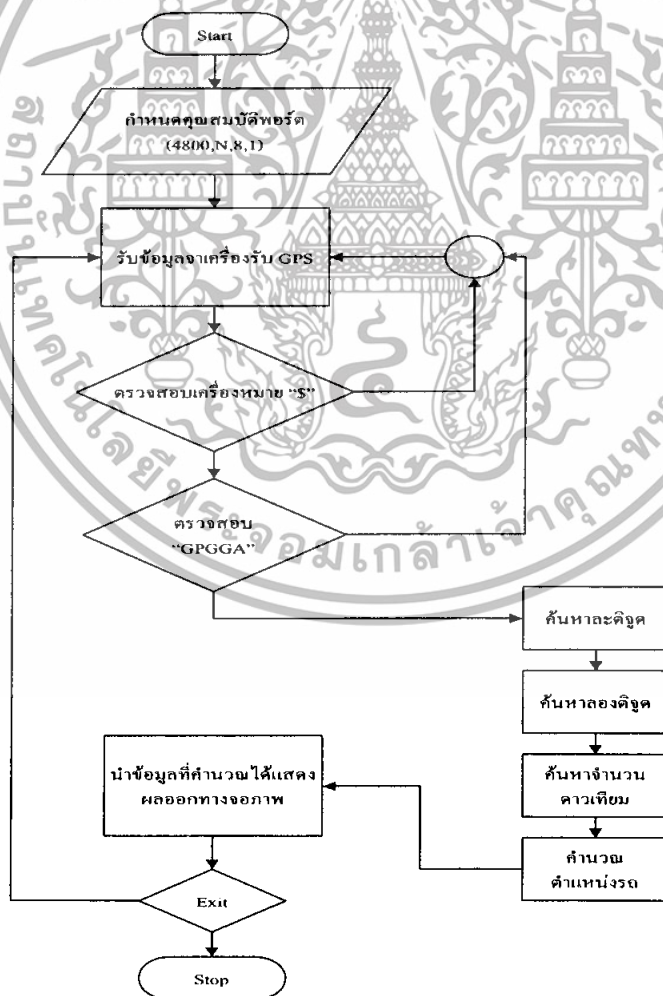
$$K = \text{Abs}((X2-X1)/(PX2-PX1)) \tag{5.1}$$

ซึ่งค่าคงที่ K จะเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการแปลงค่าจากลองจิจูดมาเป็นพิกเซลในแนวแกน X และให้ตัวแปร O เป็นตัวแปรที่ จีพีเอสแสดงค่าลองจิจูดที่แท้จริงของรถซึ่งสามารถแปลงค่าที่ได้เป็นพิกเซลได้คือ

$$X = \text{Abs}(((O - PX1) * K)) + X1 \tag{5.2}$$

เมื่อเราได้ค่า X ที่แปลงเป็นพิกเซลเรียบร้อยแล้วก็สามารถนำไปแสดงตำแหน่งของรถที่มอร์นิเตอร์ซึ่งจะเห็นว่าขอบเขตของการค้นหารถนั้นจะอยู่บนแผนที่ แต่หากรถเกิดเคลื่อนที่ออกจากแผนที่ไป รถจะหายไปจากจอแสดงผล

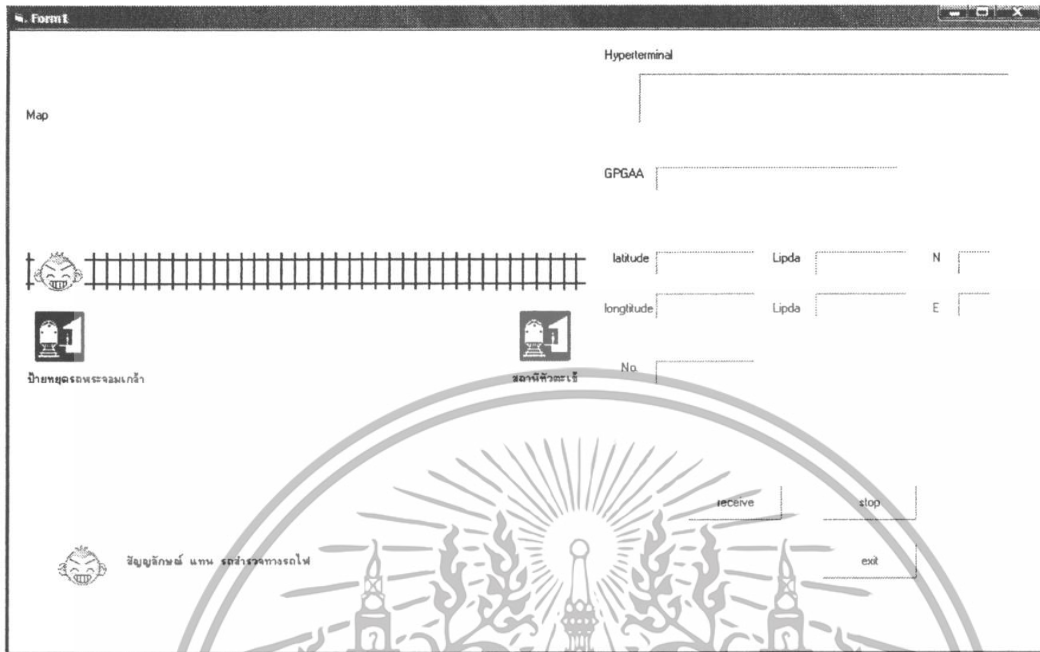
จากเงื่อนไขข้างต้นสามารถนำมาเขียน Flow chart ได้ดังรูป



รูปที่ 5.4 Flow chart ของโปรแกรมวิชาการเบสิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะได้โปรแกรมแสดงผลดังรูป



รูปที่ 5.5 การแสดงผลของโปรแกรมวิชาวัดเบสิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

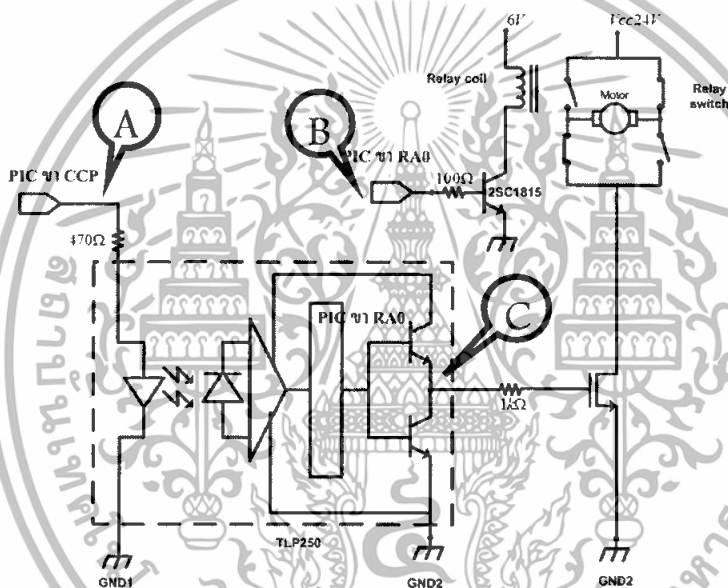
### การทดลองและผลการทดลอง

#### 6.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการทดลองและผลการทดลอง โดยขั้นตอนแรกทำการทดลองโปรแกรมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ทดลองวงจรขับมอเตอร์ ทดลองเครื่องรับจีพีเอส และทดลองการแสดงผลในวิชวลเบสิก ดังนี้

#### 6.2 การทดลองโปรแกรมจากไมโครคอนโทรลเลอร์

##### 6.2.1 ทดสอบการควบคุมความเร็วมอเตอร์

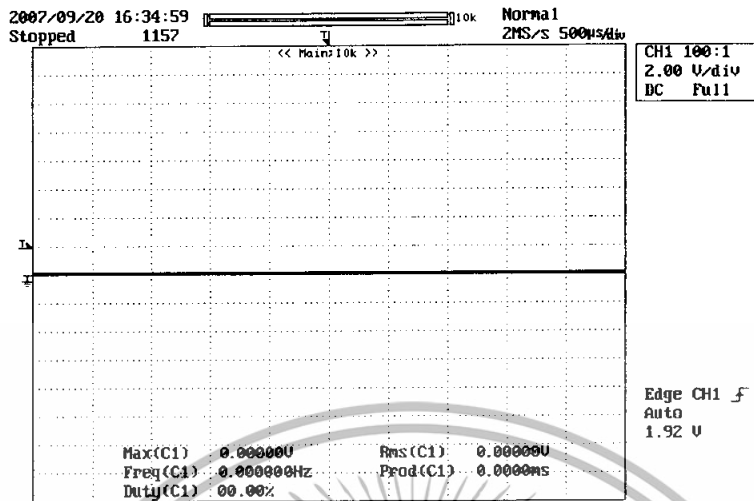


รูปที่ 6.1 แสดงจุดที่ทำการ วัดสัญญาณ ในวงจรขับมอเตอร์

ทดสอบจากวงจรรวม โดยวัดค่าพัลส์ ขา ccp1 คือพัลส์ที่จ่ายเข้าวงจรขับมอเตอร์ หรือที่จุด 1 จากรูปที่ 6.1 จะได้ผลการทดลอง ดังนี้

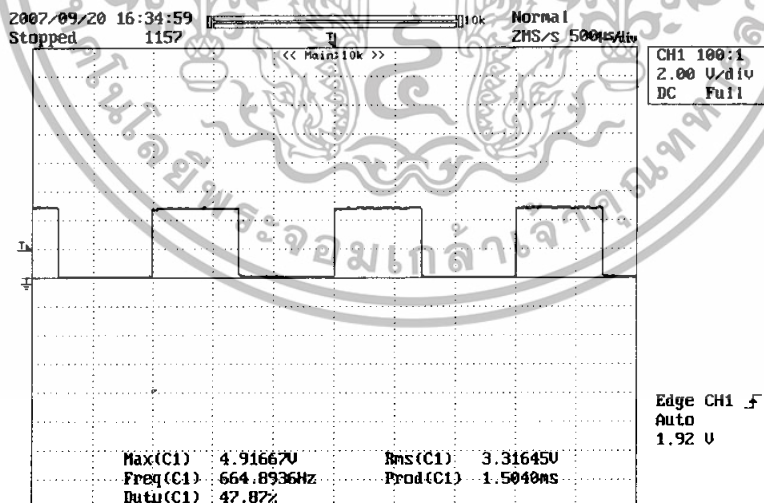
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

input เป็น speed (0)



รูปที่ 6.2 แสดงการทดสอบการควบคุมความเร็วมอเตอร์จากไมโครคอนโทรลเลอร์  
เมื่อเลือก input เป็น speed (0)

input เป็น speed (1)



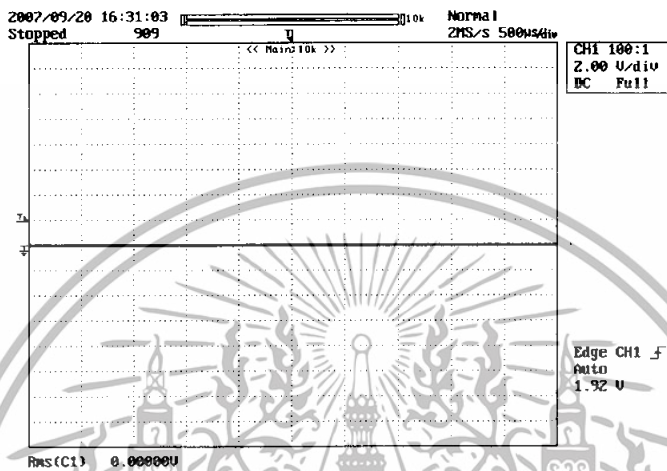
รูปที่ 6.3 แสดงการทดสอบการควบคุมความเร็วมอเตอร์จากไมโครคอนโทรลเลอร์  
เมื่อเลือก input เป็น speed (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2.2 ทดสอบการควบคุมทิศทางมอเตอร์

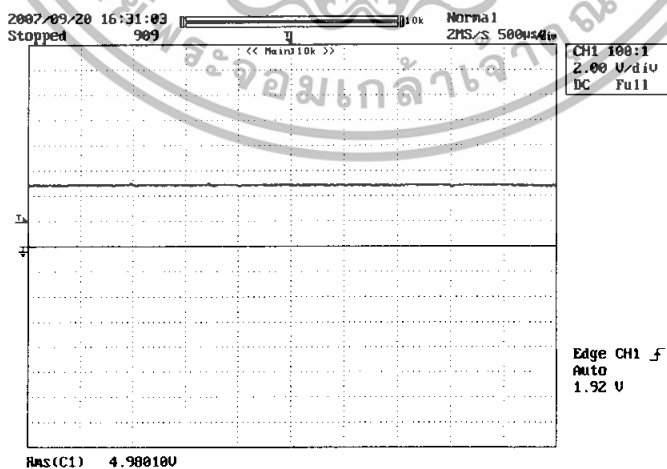
ทดสอบจากวงจรรวม โดยวัดค่าoutput A0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จ่ายเข้าวงจรขับมอเตอร์ หรือจุดที่ 2 จากรูปที่ 6.1

input เป็น Backward (0)



รูปที่ 6.4 แสดงการทดสอบการควบคุมทิศทางมอเตอร์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเลือก input เป็น Backward (0)

input เป็น Forward (1)



รูปที่ 6.5 แสดงการทดสอบการควบคุมทิศทางมอเตอร์จากไมโครคอนโทรลเลอร์

เมื่อเลือก input เป็น Forward (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง

#### 6.3.1 การทดลองการเปลี่ยนแปลงของวงจรขับมอเตอร์

การทดลองการเปลี่ยนแปลงของวงจรขับมอเตอร์ทำได้โดยจ่ายพัลส์ PWM ที่ความถี่และแอมพลิจูดต่างๆ ดำเนินการ ทำการวัดแรงดันตกคร่อมที่มอสเฟต และมอเตอร์ได้ผลดังตาราง

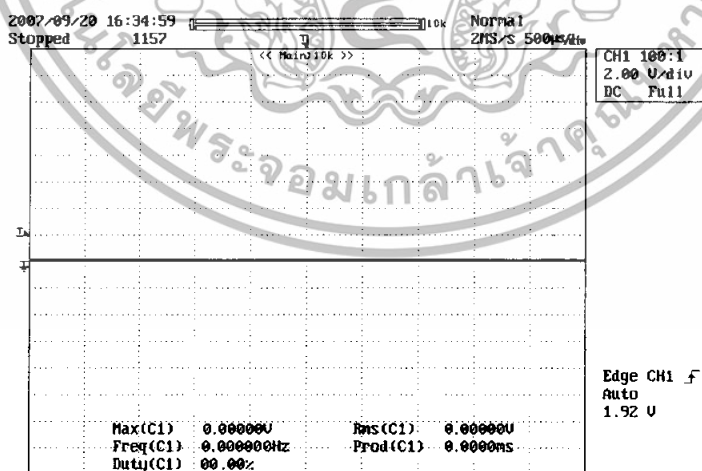
ตารางที่ 6.1 การทดลองการเปลี่ยนแปลงของวงจรขับมอเตอร์ทำได้โดยจ่ายพัลส์ PWM ที่ความถี่และแอมพลิจูดต่างๆ

PWM	$V_{GS}(V)$	$V_{DS}(V)$	$V_{Motor}(V)$
0%	0	0	0
50%	11.7	6.5	19.3
100%	23.2	0.1	25.6

#### 6.3.2 การทดลองการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ออกมาจาก TLP250

จากวงจรขับมอเตอร์กระแสตรงดังรูปที่ 6.1 ทำการวัดสัญญาณที่จุด 3 ด้วยออสซิลิโ斯科ป จะได้สัญญาณดังนี้

input เป็น speed (0)

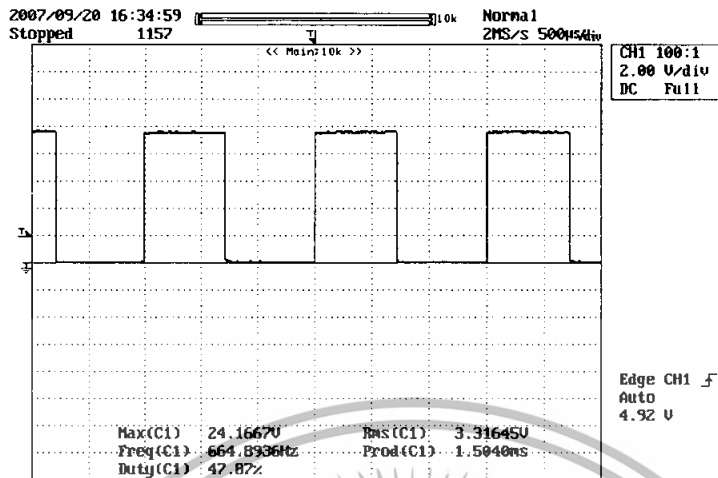


รูปที่ 6.6 แสดงการทดสอบสัญญาณที่ออกมาจาก TLP250

เมื่อที่ไมโครคอนโทรลเลอร์มี input เป็น Forward (0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

input เป็น speed (1)



รูปที่ 6.7 แสดงการทดสอบสัญญาณที่ออกมาจาก TLP250  
เมื่อที่ไมโครคอนโทรลเลอร์มี input เป็น Forward (1)

## 6.4 การทดลองเครื่องรับ จีพีเอส

### 6.4.1 ตรวจสอบข้อมูลที่เครื่องรับจีพีเอสส่งมาทางไฮเปอร์เทอร์มินอล

ในการทดลองเครื่องรับจีพีเอสนี้ จะใช้โปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล ของวินโดวส์มาใช้ในการตรวจสอบข้อมูลที่เครื่องรับจีพีเอสส่งมา

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล โดยกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

Bitrate	=	4,800
Databit	=	8
Parity	=	None
Stopbit	=	1

เมื่อกำหนดค่าการติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมเรียบร้อยแล้วก็จะสามารถรับข้อมูล จีพีเอสได้ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งออกมาเป็นประโยคต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\$GPGSV,3,2,12,14,28,250,00,15,17,033,00,18,36,345,30,21,69,342,41\*70  
 \$GPGSV,3,3,12,22,14,307,30,24,63,121,44,29,27,195,30,30,10,176,00\*7B  
 \$PGRME,19.4,M,,M,21.0,M\*0F  
 \$GPGLL,1343.600,N,10046.456,E,110609,A\*22  
 \$PGRMZ,-3250,f,2\*03  
 \$PGRMM,WGS 84\*06  
 \$GPBOD,,T,,M,,\*47  
 \$GPRTE,1,1,c,0\*07  
 \$GPRMC,110610,A,1343.600,N,10046.455,E,000.0,219.6,050208,000.3,W\*67  
 \$GPRMB,A,,,,,,,,,V\*71  
 \$GPGGA,110610,1343.600,N,10046.455,E,1,03,4.3,-990.7,M,-26.0,M,,\*46  
 \$GPGSA,A,2,,,09,,,,,21,,24,,,4.3,4.3,\*11  
 \$GPGSV,3,1,12,05,14,159,00,06,33,22  
 \$GPGSV,3,2,12,14,28,250,00,15,17,033,00,18,36,345,30,21,69,342,41\*70  
 \$GPGSV,3,3,12,22,14,307,30,24,63,121,44,29,27,195,30,30,10,176,00\*7B  
 \$PGRME,19.5,M,,M,20.8,M\*07  
 \$GPGLL,1343.601,N,10046.455,E,110611,A\*29  
 \$PGRMZ,-3250,f,2\*03  
 \$PGRMM,WGS 84\*06  
 \$GPBOD,,T,,M,,\*47  
 \$GPRTE,1,1,c,0\*07  
 \$GPRMC,110612,A,1343.601,N,10046.455,E,000.0,219.6,050208,000.3,W\*64  
 \$GPRMB,A,,,,,,,,,V\*71  
 \$GPGGA,110612,1343.601,N,10046.455,E,1,03,4.3,-990.7,M,-26.0,M,,\*45  
 \$GPGSA,A,2,,,09,,,,,21,,24,,,4.3,4.3,\*11  
 \$GPGSV,3,1,12,05,14,159,00,06,33,22  
 \$GPGSV,3,2,12,14,28,250,00,15,17,033,00,18,36,345,30,21,71,342,41\*79  
 \$GPGSV,3,3,12,22,14,307,30,24,63,121,44,29,27,195,30,30,10,176,00\*7B  
 \$PGRME,19.5,M,,M,20.8,M\*07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 6.4.2 ตรวจสอบข้อมูลที่เครื่องรับจีพีเอส

เป็นการบันทึกค่าพิกัดต่างๆ ของเครื่องรับจีพีเอส ที่ทำการบันทึกทุก 1 นาที ในขณะที่อยู่นิ่ง เป็นเวลา 20 นาที ตั้งแต่เวลา 17.00 ถึง 17.20 น. วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2551

สภาพภูมิอากาศ : ท้องฟ้าปลอดโปร่ง

ตารางที่ 6.2 การบันทึกค่าพิกัดของเครื่องรับจีพีเอสขณะหยุดนิ่ง

เวลา	ละติจูด	ลองจิจูด
17.00	13° 43.592	100° 46.532
17.01	13° 43.594	100° 46.531
17.02	13° 43.594	100° 46.532
17.03	13° 43.595	100° 46.536
17.04	13° 43.594	100° 46.532
17.05	13° 43.592	100° 46.531
17.06	13° 43.592	100° 46.531
17.07	13° 43.593	100° 46.531
17.08	13° 43.593	100° 46.531
17.09	13° 43.593	100° 46.532
17.10	13° 43.596	100° 46.534
17.11	13° 43.593	100° 46.534
17.12	13° 43.593	100° 46.532
17.13	13° 43.594	100° 46.531
17.14	13° 43.592	100° 46.533
17.15	13° 43.591	100° 46.532
17.16	13° 43.592	100° 46.535
17.17	13° 43.594	100° 46.535
17.18	13° 43.591	100° 46.534
17.19	13° 43.591	100° 46.533
17.20	13° 43.594	100° 46.534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.4.3 ตรวจสอบระยะผิดพลาดของเครื่องรับจีพีเอส

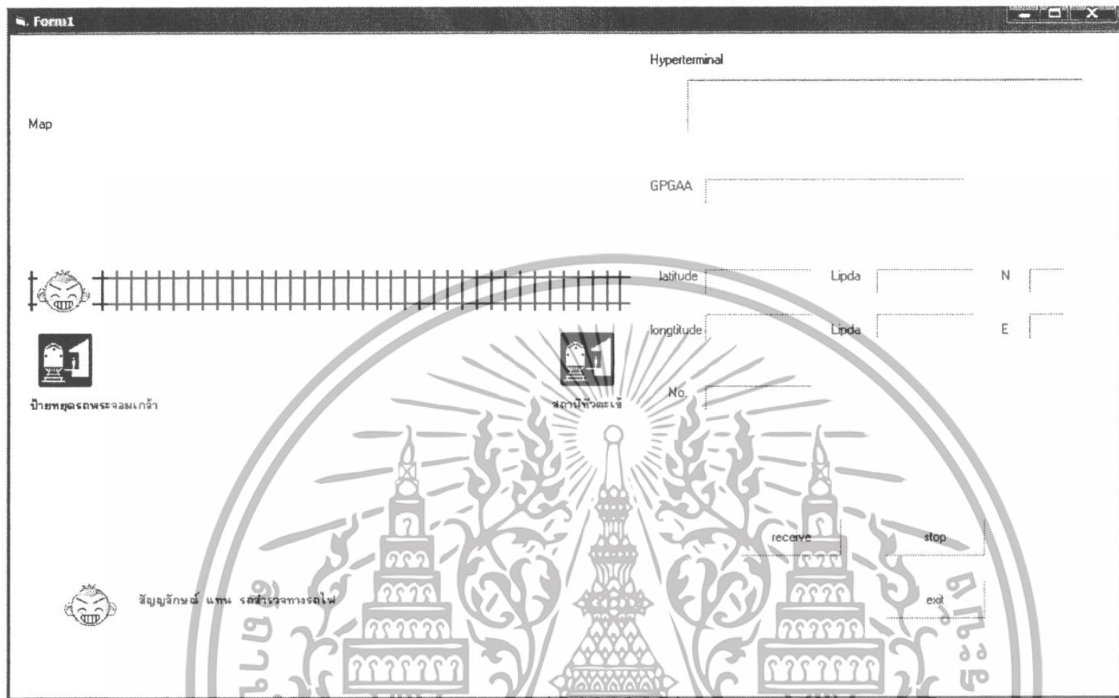
ตารางที่ 6.3 การบันทึกค่าพิกัดต่างของเครื่องรับจีพีเอสที่ระยะต่างๆ

ระยะทาง	ครั้งที่	จุดเริ่มต้น	จุดสิ้นสุด
5 m	1	N 13°43.600 E 100°46.533	N 13°43.600 E 100°46.531
	2	N 13°43.600 E 100°46.534	N 13°43.599 E 100°46.531
	3	N 13°43.601 E 100°46.535	N 13°43.601 E 100°46.532
10 m	1	N 13°43.602 E 100°46.535	N 13°43.600 E 100°46.529
	2	N 13°43.600 E 100°46.533	N 13°43.599 E 100°46.528
	3	N 13°43.600 E 100°46.534	N 13°43.599 E 100°46.530
20 m	1	N 13°43.599 E 100°46.534	N 13°43.599 E 100°46.525
	2	N 13°43.601 E 100°46.532	N 13°43.599 E 100°46.522
	3	N 13°43.601 E 100°46.535	N 13°43.599 E 100°46.524

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.5 ทดลองการแสดงผลในวิชาวลเบสิก

ในการทดลองจะต้องทราบขอบเขตของแผนที่ก่อน จึงได้ทำการวัดตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด ทั้งหมด 2 ตำแหน่ง คือ



รูปที่ 6.8 แสดงขอบเขตละติจูด ลองจิจูดเทียบกับแผนที่

PX1 = 100°46.966 E

คือ ค่าลองจิจูด เริ่มต้นทำการวัดที่ ป้ายหยุดรถพระจอมเกล้า

PY1 = 13°43.710 N

คือ ค่าละติจูด เริ่มต้นทำการวัดที่ ป้ายหยุดรถพระจอมเกล้า

PX2 = 100°46.568 E

คือ ค่าลองจิจูด สิ้นสุดทำการวัดที่ สถานีรถไฟหัวตะเข้

PY2 = 13°43.700 N

คือ ค่าละติจูด สิ้นสุดทำการวัดที่ สถานีรถไฟหัวตะเข้

X1 = 120

คือ ตำแหน่งพิกเซลเริ่มต้นของแผนที่

X2 = 7080

คือ ตำแหน่งพิกเซลสิ้นสุดของแผนที่

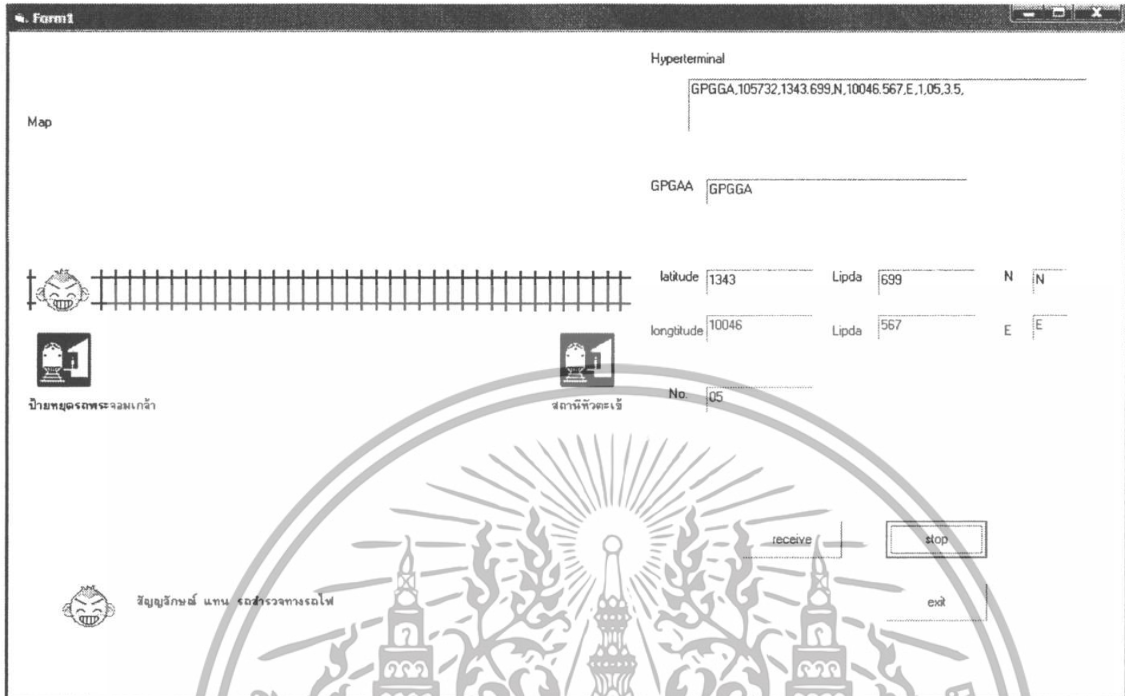
Y = 1560

คือ ตำแหน่งพิกเซลในแนวแกน y

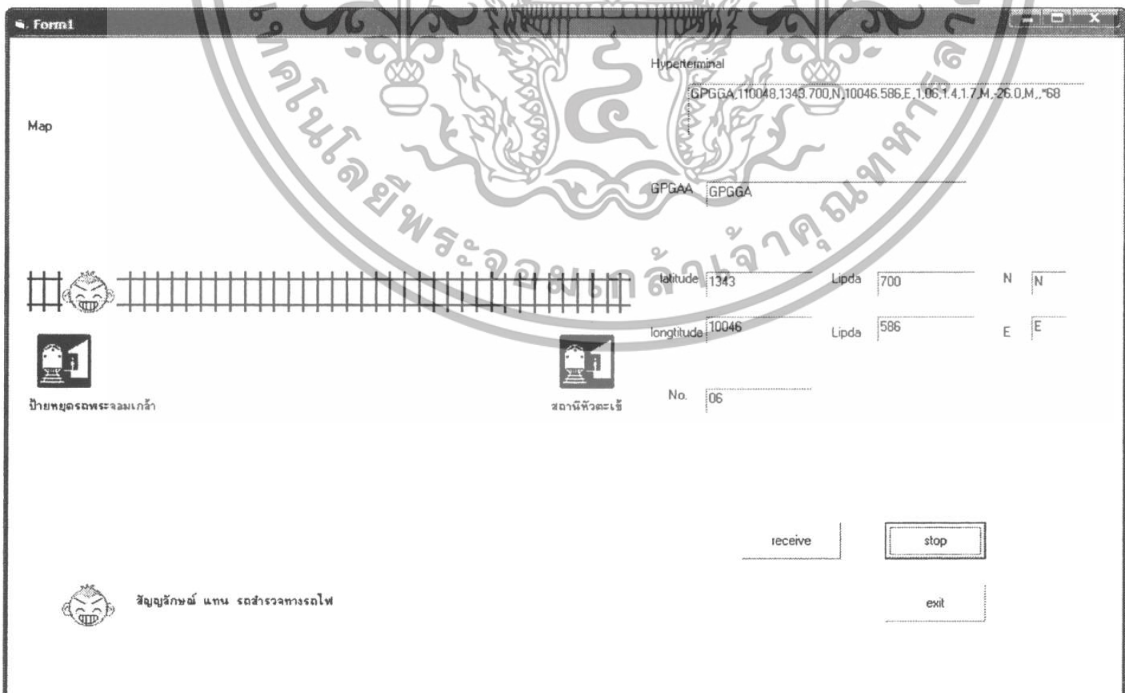
แต่เนื่องจาก PY1 และ PY2 มีค่าใกล้เคียงกัน จึงสมมติให้  $Y1 = Y2 = Y$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.5.1 การทดลองการแสดงผลทางจอภาพ

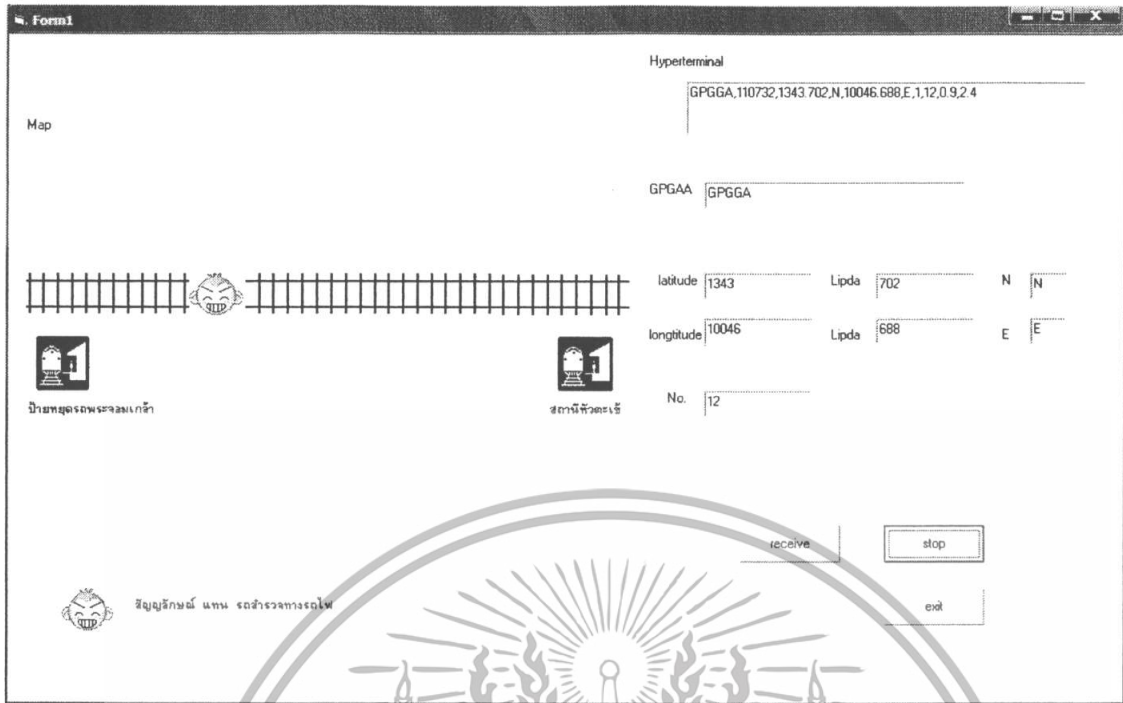


รูปที่ 6.9 การแสดงตำแหน่งรถสำรวจ ณ ป้ายหยุดรถพระจอมเกล้า



รูปที่ 6.10 การแสดงตำแหน่งรถสำรวจ ณ สะพานลอยพระจอมเกล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

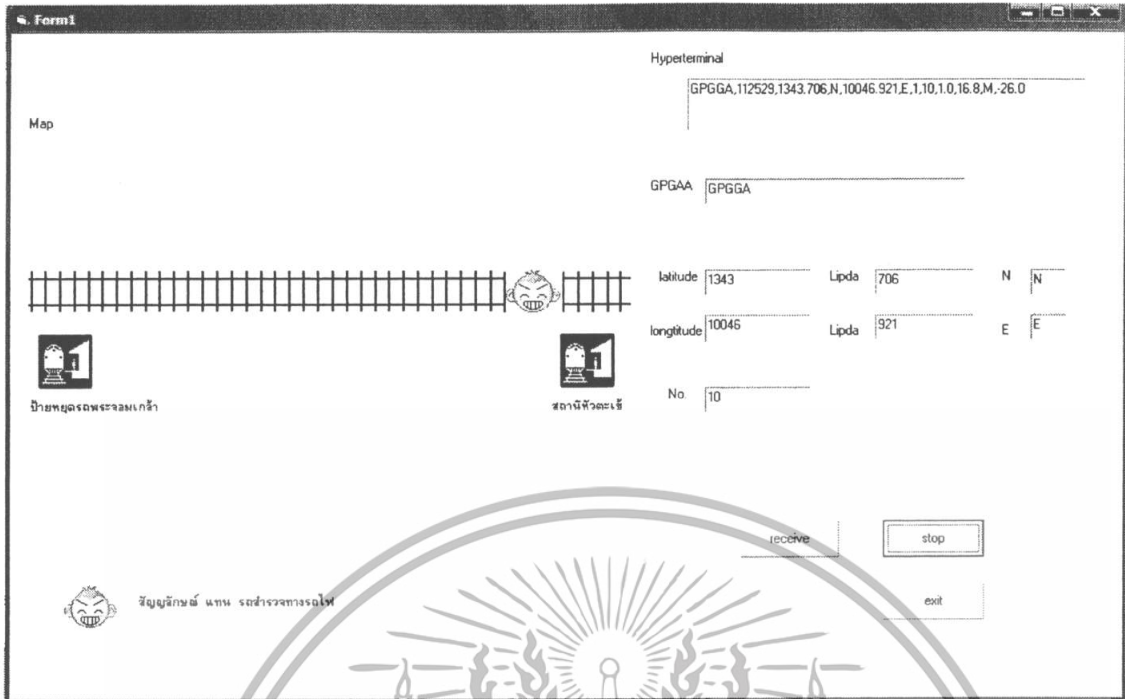


รูปที่ 6.11 การแสดงตำแหน่งรถสำรวจ ณ ถนนคลองกรุงตัดผ่านทางรถไฟ

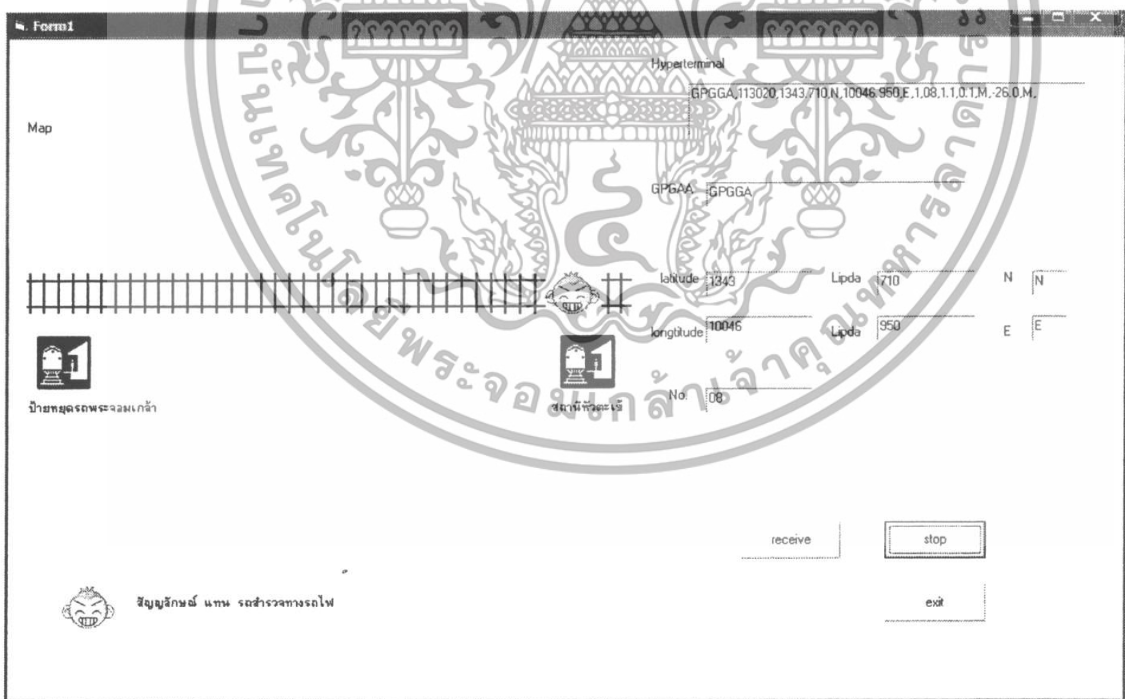


รูปที่ 6.12 การแสดงตำแหน่งรถสำรวจ ณ ทางรถไฟข้างหอสมุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.13 การแสดงตำแหน่งรถสำรวจ ณ สะพานลอยหัวตะเข้



รูปที่ 6.14 การแสดงตำแหน่งรถสำรวจ ณ สถานีรถไฟหัวตะเข้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สรุป ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

#### สรุป

การดำเนินโครงการสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้คือ

1. สามารถใช้งานวงจรรับมอดูเลเตอร์กระแสตรง
2. รถสำรวจให้สามารถวิ่งบนรางรถไฟได้
3. ควบคุมรถสำรวจได้โดยอัตโนมัติ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
4. ออกแบบวงจรรับ-ส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุได้
5. สามารถระบุพิกัดของรถสำรวจ จากเครื่องรับจีพีเอสและแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ได้

#### ข้อเสนอแนะในการแก้ไขปรับปรุง

1. เพื่อความสะดวกในการใช้งานจริง ควรจะส่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ที่สถานีรถไฟได้
2. ควรมีระบบสำรองเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินเกิดขึ้นกับรถสำรวจ เพื่อไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับรถไฟที่กำลังแล่นมา
3. ควรใช้โมดูลรับ ส่ง ในระยะที่มากกว่านี้เพื่อให้ใช้งานได้จริง

#### ปัญหา

1. การแสดงผลมี delay time ค่อนข้างมาก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการส่งข้อมูลที่ bit rate ต่ำเกินไป และโปรแกรมทำงานหลายบรรทัดจึงทำให้เกิดช่วงเวลาที่ delay ค่อนข้างสูง
2. เกิดการแสดงผลข้อมูลที่ผิดพลาด เนื่องจากที่ภาครับ RF มี offset ค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ประจัน พลังสันติกุล, เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์ เขียนโปรแกรมภาษา C ควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC, 2521, อินโนเวตีฟ เอ็ดจิวเออร์เมนท์, 312 หน้า
- [2] อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เล่มที่ 1, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 220 หน้า
- [3] จัฑทวุฒิ พีชผล, พิชิต สันติภูตานนท์, พร้อมเลิศ หล่อวิจิตร, คู่มือเรียน Visual Basic 6, 2537, บริษัท โปรวิชั่น จำกัด, 555 หน้า
- [4] นางสาวจริญญา คำไสย, นางสาวฟาติน ปาทาน, นางสาววันวิสา จันทินอก, นางสาวหทัย โสภานุญ, รายงานเรื่อง GPS, 13 หน้า
- [5] <http://www.thaimtb.com/cgi-bin/viewkatoo.pl?id=20315>
- [6] <http://www.thainavi.co.th/whatsgps.html>
- [7] [http://www.mut.ac.th/~c\\_micro/knowledge/circuit/dc\\_con03.html](http://www.mut.ac.th/~c_micro/knowledge/circuit/dc_con03.html)
- [8] <http://homepages.which.net/~paul.hills/Motors/Motors.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรม Microcontroller

```
// solf start pwm duty 250 Hz 2 sensor
```

```
#include <16F877A.h>
```

```
#use delay(clock=4000000)
```

```
#fuses HS,NOWDT,NOLVP
```

```
#define speed pin_b0
```

```
#define gear_in PIN_b2
```

```
#define bsensor pin_b6
```

```
#define fsensor pin_b7
```

```
#define gear_out PIN_A0
```

```
int d0;
```

```
void main() {
```

```
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
```

```
    setup_adc(ADC_OFF);
```

```
    setup_psp(PSP_DISABLED);
```

```
    setup_spi(FALSE);
```

```
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_2);
```

```
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
```

```
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,249,1);
```

```
    setup_ccp1(CCP_PWM);
```

```
    setup_ccp2(CCP_OFF);
```

```
    port_b_pullups(true);
```

```
    set_tris_a(0x00);
```

```
    output_a(0x00);
```

```
    d0=0;
```

```
    while(1)
```

```
    {
```

```
// check input F/B
```

```
    if(input(gear_in))
```

```
    {
```

```
        output_high(gear_out);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
else
{
    output_low(gear_out);
}
// check input ON/OFF
if ((!input(fsensor)&&input(gear_in)) || (!input(bsensor)&&!input(gear_in)))
{ if (input(speed))
    {
        while (d0 < 125)
        { d0=d0+5;
          delay_ms(100);
          set_pwm1_duty(d0); // speed 50%
        }
    }
else
{
    d0=0;
    //while (d0 = 0)
    {
        set_pwm1_duty(d0); // speed stop
    }
}
}
else
{
    d0=0;
    set_pwm1_duty(d0); // speed stop
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรม Visual Basic

Private Declare Function Inp Lib "inout32.dll" Alias "Inp32" (ByVal Portaddress As String)

Dim buffer As String

Dim result As String

Dim str(300) As String

Dim str1 As String

Dim str2 As String

Dim keep As String

Dim latitude As String

Dim N As String

Dim longitude As String

Dim E As String

Dim No As String

Dim data As String

Dim lipdala As Integer

Dim lipdalong As Integer

Dim lipdala1 As String

Dim lipdala2 As String

Dim lipdalong1 As String

Dim lipdalong2 As String

Dim lati As String

Dim longti As String

Dim x As String

Dim y As String

Dim j As Integer

Dim i As Integer

Private Sub Command1\_Click()

MSComm1.PortOpen = True

Timer1.Interval = 1

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Command2_Click()  
MSComm1.PortOpen = False  
Timer1.Interval = 0  
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()  
End  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
MSComm1.CommPort = 10  
MSComm1.Settings = "1200,n,8,1"  
MSComm1.InputLen = 1  
MSComm1.DTREnable = False  
MSComm1.RTSEnable = False  
Timer1.Interval = 0  
j = 0  
Refresh  
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
If (MSComm1.PortOpen = True) Then
```

```
    buffer = MSComm1.Input
```

```
    Text1.Text = buffer
```

```
    str(i) = buffe
```

```
    If (i > 250) Then
```

```
        i = 0
```

```
    Else
```

```
        i = i
```

```
    End If
```

```
    If buffer = "$" Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

i = 0
Else
    i = i + 1
End If

'Text7.Text = i
data = str(0) & str(1) & str(2) & str(3) & str(4)
If (data = "GPGGA") Then
    Text3.Text = "GPGGA"
    Text4.Text = str(13) & str(14) & str(15) & str(16)
    Text6.Text = str(24) & str(25) & str(26) & str(27) & str(28)
    lipdala1 = str(18) & str(19) & str(20)
    lipdalong1 = str(30) & str(31) & str(32)
    lipdala2 = str(18) & str(19)
    lipdalong2 = str(30) & str(31)
    Text12.Text = lipdala1
    Text13.Text = lipdalong1
    Text5.Text = str(22)
    Text7.Text = str(34)
    Text8.Text = str(38) & str(39)
    lipdala = Val(lipdala2)
    lipdalong = Val(lipdalong2)
    Text12.Text = lipdala1
    Text13.Text = lipdalong1
    If (lipdala = 6) Or (lipdala = 7) Then
        y = 1560
        x = Abs((lipdalong - 56) * 174) + 120
        Picture1.Move x, y
    End If
Else
    Text3.Text = ""

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End If

Else

Exit Sub

End If

End Sub



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาพประกอบ



### รูปเครื่องรับจีพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

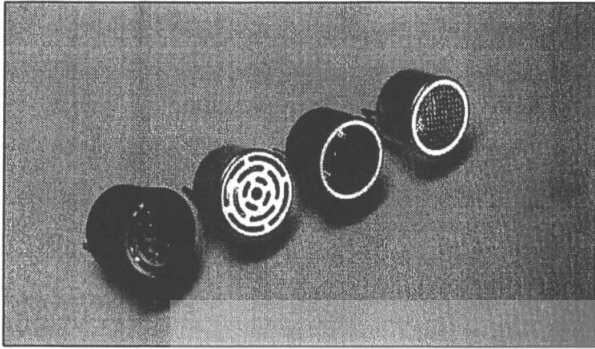
# Datasheet



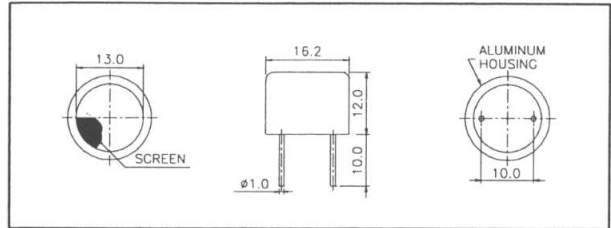
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Air Ultrasonic Ceramic Transducers

400ST/R160



Dimensions: dimensions are in mm



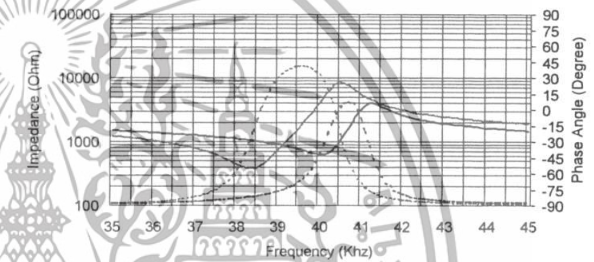
## Specification

<b>400ST160</b>	Transmitter
<b>400SR160</b>	Receiver
<b>Center Frequency</b>	40.0±1.0Khz
<b>Bandwidth (-6dB)</b>	400ST160 2.0Khz 400SR160 2.5Khz
<b>Transmitting Sound Pressure Level</b>	120dB min.
at 40.0Khz; 0dB re 0.0002µbar per 10Vrms at 30cm	
<b>Receiving Sensitivity</b>	-65dB min.
at 40.0Khz 0dB = 1 volt/µbar	
<b>Capacitance at 1Khz</b>	±20% 2400 pF
<b>Max. Driving Voltage (cont.)</b>	20Vrms
<b>Total Beam Angle</b>	-6dB 55° typical
<b>Operation Temperature</b>	-30 to 80°C
<b>Storage Temperature</b>	-40 to 85°C

## Impedance/Phase Angle vs. Frequency

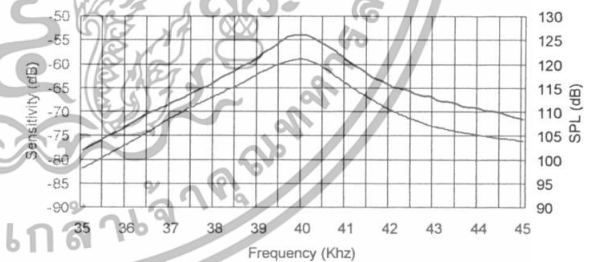
Tested under 1Vrms Oscillation Level

400SR160 Impedance	_____
400SR160 Phase	_____
400ST160 Impedance	_____
400ST160 Phase	_____

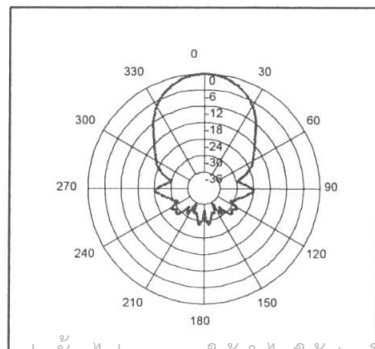


## Sensitivity/Sound Pressure Level

Tested under 10Vrms @30cm



Beam Angle: Tested at 40.0Khz frequency



All specification taken typical at 25°C  
Closer frequency tolerance can be supplied upon request.

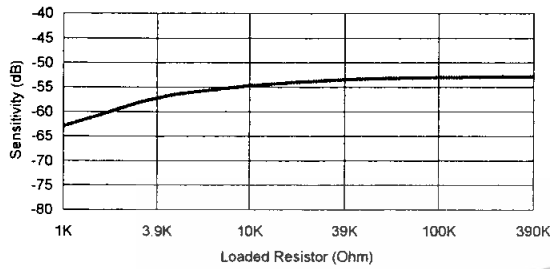
Models available:

1	400ST/R160	Aluminum Housing
2	400ST/R16B	Black Al. Housing
2	400ST/R10P	Plastic Housing
3	400ST/R16F	Al. Housing w/Solid Grid

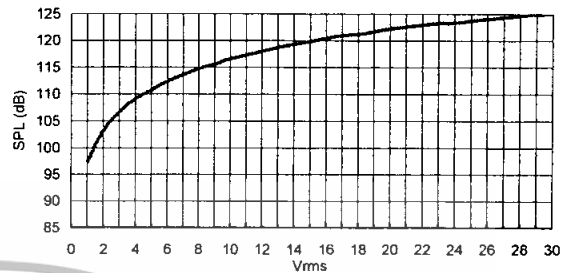
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

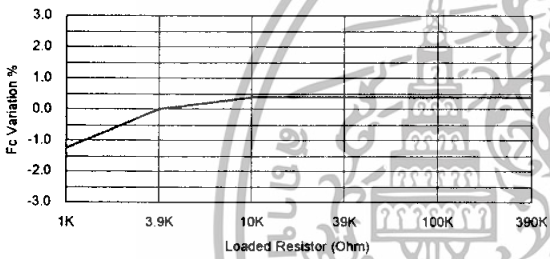
Sensitivity Variation vs. Loaded Resistor



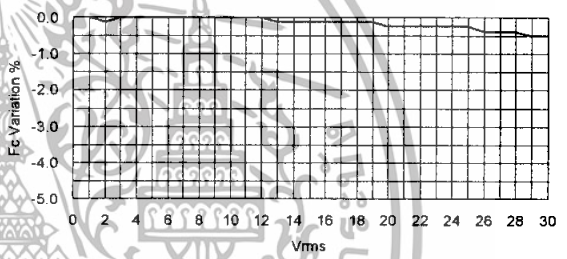
SPL Variation vs. Driving Voltage



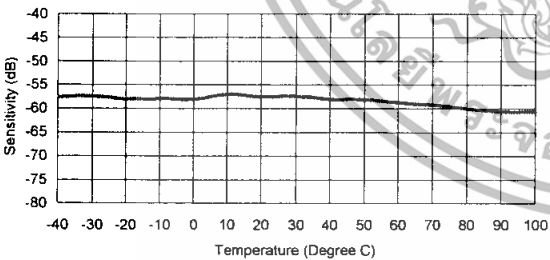
Center Frequency Shift vs. Loaded Resistor



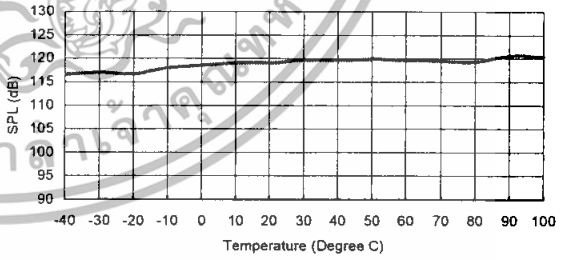
Center Frequency Shift vs. Driving Voltage



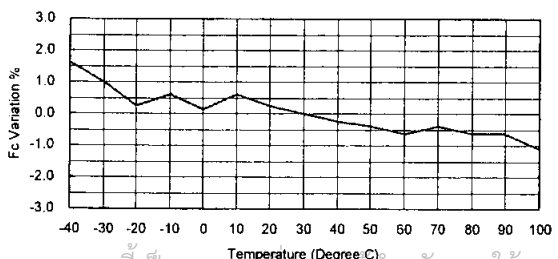
Sensitivity Variation vs. Temperature



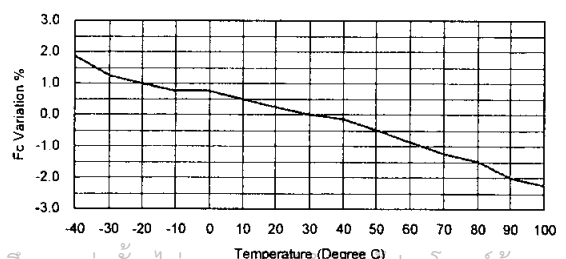
SPL Variation vs. Temperature



Center Frequency Shift vs. Temperature



Center Frequency Shift vs. Temperature



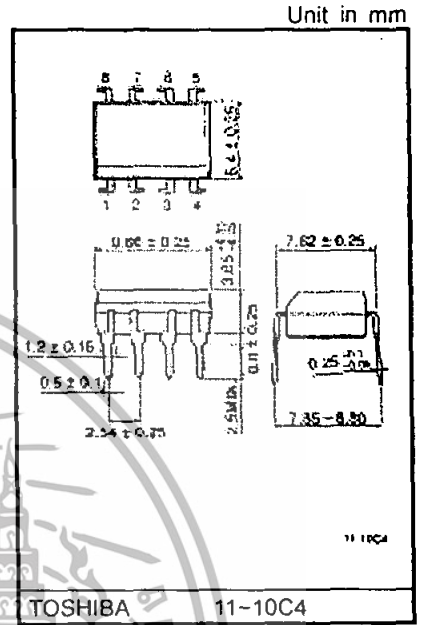
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TLP250

- Transistor Inverter
- Inverter For Air Conditionor
- IGBT Gate Drive
- Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.  
 This unit is 8-lead DIP package.  
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

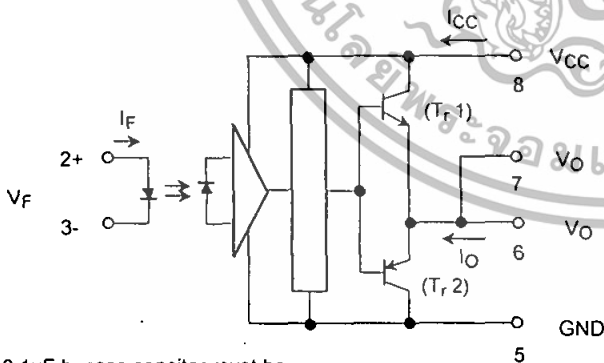
- Input threshold current:  $I_F=5\text{mA(max.)}$
- Supply current ( $I_{CC}$ ):  $11\text{mA(max.)}$
- Supply voltage ( $V_{CC}$ ):  $10\text{--}35\text{V}$
- Output current ( $I_O$ ):  $\pm 1.5\text{A (max.)}$
- Switching time ( $t_{pLH}/t_{pHL}$ ):  $1.5\mu\text{s(max.)}$
- Isolation voltage:  $2500V_{rms(min.)}$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type  
 VDE approved: DIN VDE0884/06.92, certificate No.76823  
 Maximum operating insulation voltage:  $630\text{Vpk}$   
 Highest permissible over voltage:  $4000\text{Vpk}$



**(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"**

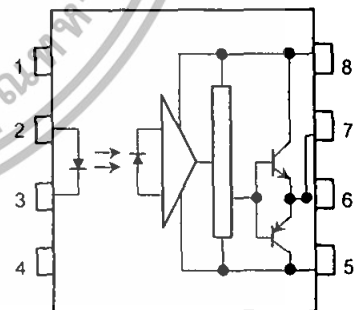
- Creepage distance:  $6.4\text{mm(min.)}$
- Clearance:  $6.4\text{mm(min.)}$

**Schematic**



A  $0.1\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

**Pin Configuration (top view)**



- 1: N.C.
- 2: Anode
- 3: Cathode
- 4: N.C.
- 5: GND
- 6:  $V_O$  (Output)
- 7:  $V_O$
- 8:  $V_{CC}$

**Truth Table**

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ ซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	$I_F$	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	$I_{FPT}$	1	A	
	Reverse voltage	$V_R$	5	V	
	Junction temperature	$T_j$	125	°C	
Detector	"H" peak output current ( $P_{W} \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$ ) (Note 2)	$I_{OPH}$	-1.5	A	
	"L" peak output current ( $P_{W} \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$ ) (Note 2)	$I_{OPL}$	+1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_O$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_{CC}$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Junction temperature	$T_j$	125	°C	
	Operating frequency (Note 3)	$f$	25	kHz	
Operating temperature range	$T_{opr}$	-20~85	°C		
Storage temperature range	$T_{stg}$	-55~125	°C		
Lead soldering temperature (10 s) (Note 4)	$T_{sol}$	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 5)	$BV_S$	2500	Vrms		

Note 1: Pulse width  $P_W \leq 1\mu s$ , 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform,  $I_{OPH} \leq -1.0A (\leq 2.5\mu s)$ ,  $I_{OPL} \leq +1.0A (\leq 2.5\mu s)$

Note 4: It is 2 mm or more from a lead root.

Note 5: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 6: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

## Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Input current, on (Note 7)	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA	
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V	
Supply voltage	$V_{CC}$	15	—	30	20	V
Peak output current	$I_{OPH}/I_{OPL}$	—	—	±0.5	A	
Operating temperature	$T_{opr}$	-20	25	70	85	°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการเผยแพร่

2004-06-25

**Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)**

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V <sub>F</sub>	—	I <sub>F</sub> = 10 mA, Ta = 25°C		1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV <sub>F</sub> / ΔTa	—	I <sub>F</sub> = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I <sub>R</sub>	—	V <sub>R</sub> = 5V, Ta = 25°C		—	10	μA
Input capacitance		C <sub>T</sub>	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output current	"H" level	I <sub>OPH</sub>	3	V <sub>CC</sub> = 30V (*1) I <sub>F</sub> = 10 mA V <sub>8-6</sub> = 4V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	I <sub>OPL</sub>	2		I <sub>F</sub> = 0 V <sub>6-5</sub> = 2.5V	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V <sub>OH</sub>	4	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, I <sub>F</sub> = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V <sub>OL</sub>	5	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>F</sub> = 0.8V	—	14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I <sub>CCH</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I <sub>CCL</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I <sub>FELH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I <sub>FHL</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage		V <sub>CC</sub>	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 500V, Ta = 25°C R.H. ≤ 60%	1×10 <sup>12</sup>	10 <sup>14</sup>	—	Ω

\* All typical values are at Ta = 25°C (\*1): Duration of I<sub>O</sub> time ≤ 50μs

**Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)**

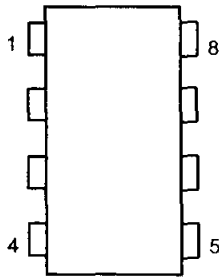
Characteristic	Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t <sub>pLH</sub>	I <sub>F</sub> = 8mA (Note 7) V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t <sub>pHL</sub>		—	0.15	0.5	
Output rise time	t <sub>r</sub>	6		—	—	—	
Output fall time	t <sub>f</sub>			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	C <sub>MH</sub>	7	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 8mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output	C <sub>ML</sub>	7	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 0mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

\* All typical values are at Ta = 25°C

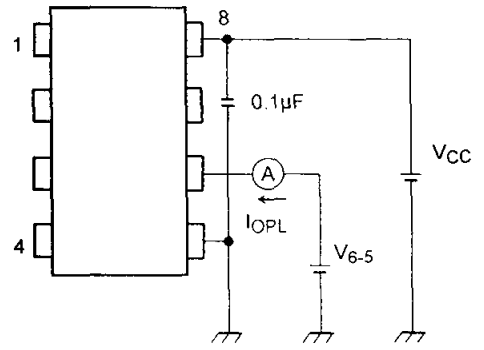
Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.



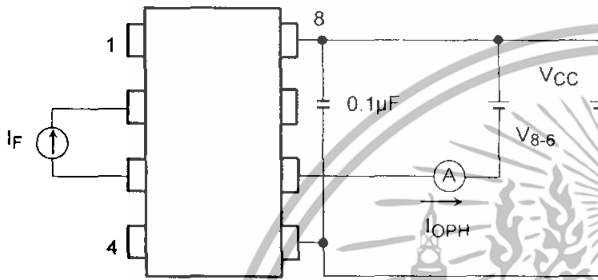
Test Circuit 1 :



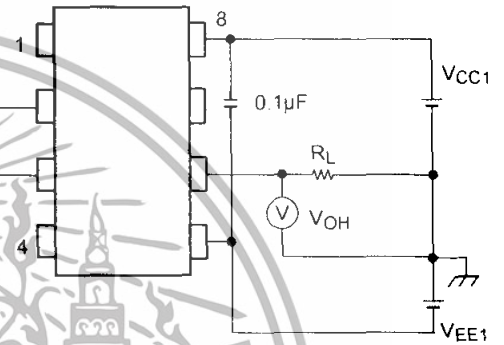
Test Circuit 2 : IOPL



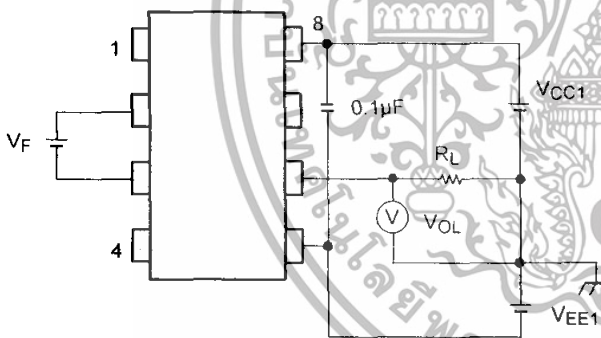
Test Circuit 3 : IOPH



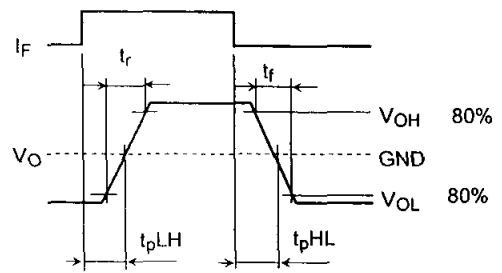
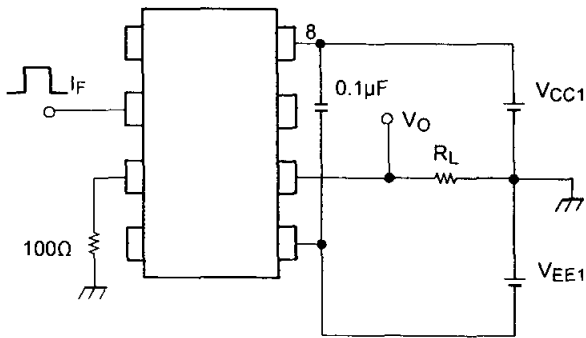
Test Circuit 4 : VOH



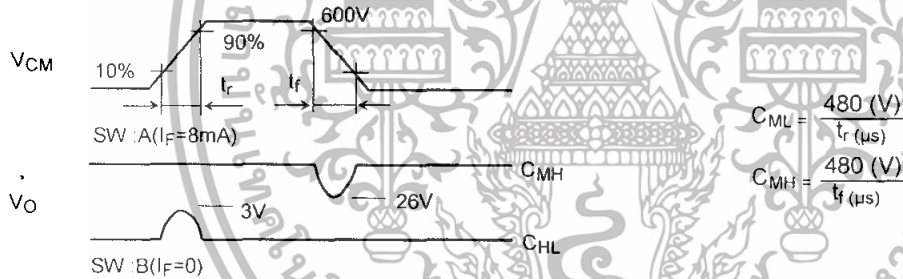
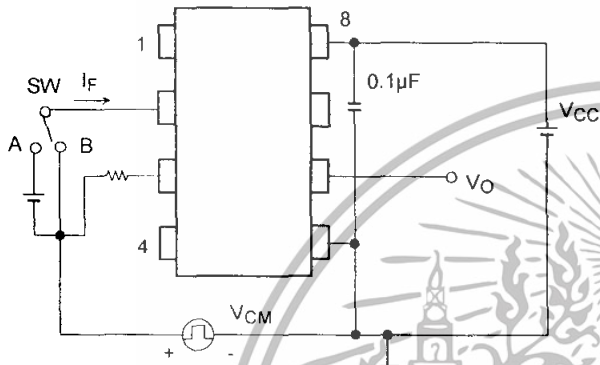
Test Circuit 5 : VOL



Test Circuit 6:  $t_{pLH}$ ,  $t_{pHL}$ ,  $t_r$ ,  $t_f$



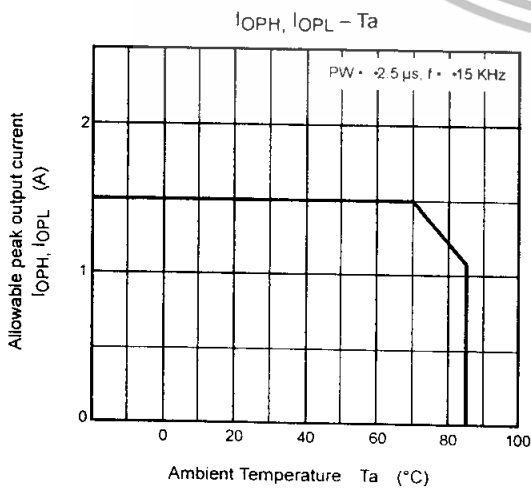
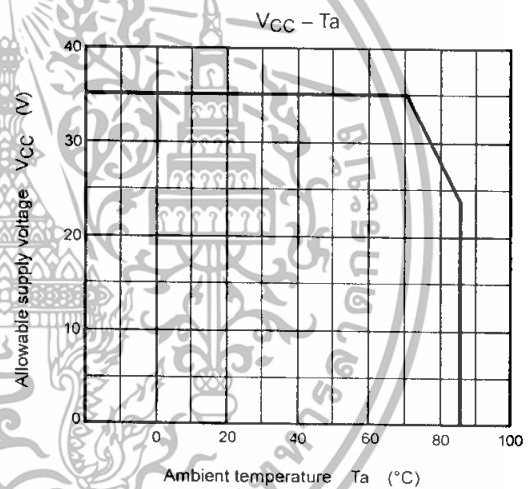
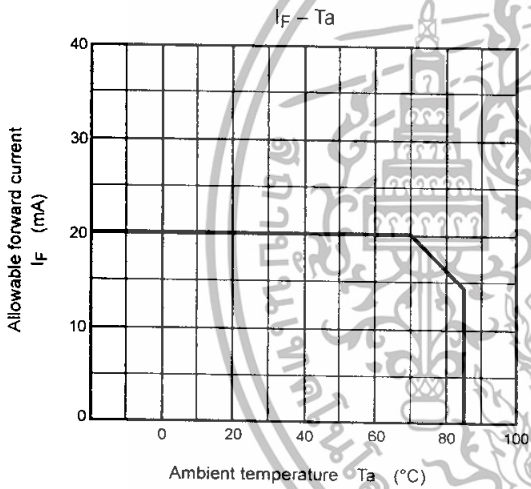
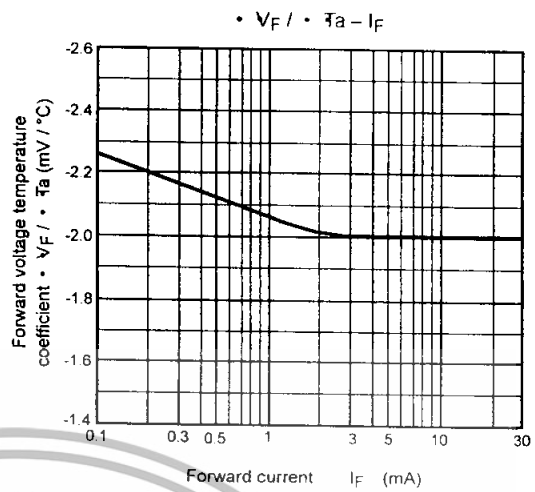
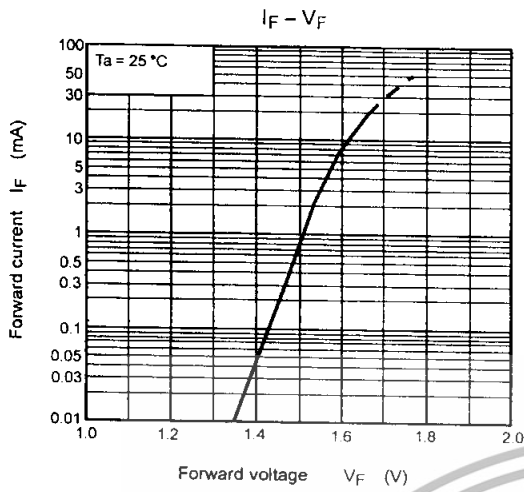
Test Circuit 7:  $C_{MH}$ ,  $C_{ML}$



$$C_{ML} = \frac{480 \text{ (V)}}{t_r \text{ (}\mu\text{s)}}$$

$$C_{MH} = \frac{480 \text{ (V)}}{t_f \text{ (}\mu\text{s)}}$$

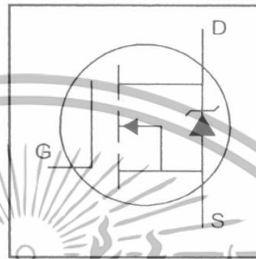
$C_{ML}(C_{MH})$  is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.



# IRF540N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

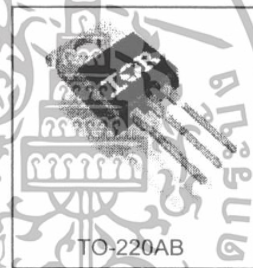


$V_{DSS} = 100V$
$R_{DS(on)} = 44m\Omega$
$I_D = 33A$

### Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	33	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	23	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	110	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	130	W
	Linear Derating Factor	0.87	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$I_{AR}$	Avalanche Current ②	16	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ②	13	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	7.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case )	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

### Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.15	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.12	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	44	mΩ	$V_{GS} = 10V, I_D = 16A$ ③
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	21	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_D = 16A$ ④
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250	μA	$V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{DS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	71	nC	$I_D = 16A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	14	nC	$V_{DS} = 80V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	21	nC	$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	$V_{DD} = 50V$
$t_r$	Rise Time	—	35	—	ns	$I_D = 16A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	39	—	ns	$R_G = 5.1\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	35	—	ns	$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 10 ⑤
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—	nH	
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	1960	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	250	—	pF	$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	40	—	pF	$f = 1.0\text{MHz}$ , See Fig. 5
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ⑥	—	700 ⑤	185 ⑥	mJ	$I_{AS} = 16A, L = 1.5\text{mH}$

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	33	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	110	A	
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.2	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 16A, V_{GS} = 0V$ ②
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	115	170	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 16A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	505	760	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$ )				

### Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)  
② Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}, L = 1.5\text{mH}$   
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 16A$ . (See Figure 12)

- ③  $I_{SD} \leq 16A, di/dt \leq 340A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ .  
 $T_J \leq 175^\circ\text{C}$

- ④ Pulse width  $\leq 400\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .

- ⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.

- ⑥ This is a calculated value limited to  $T_J = 175^\circ\text{C}$ .

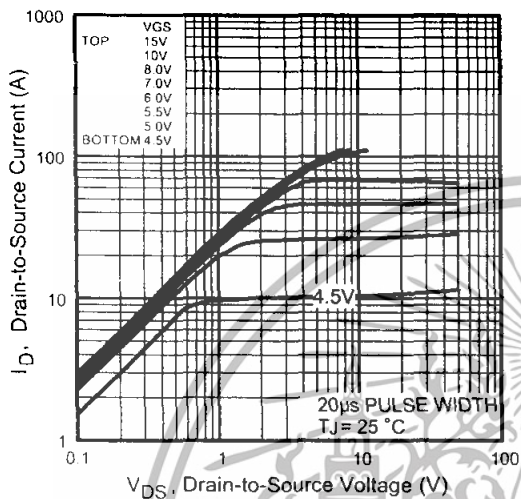


Fig 1. Typical Output Characteristics

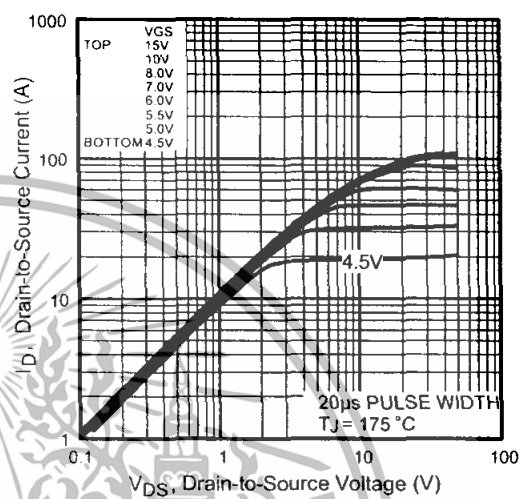


Fig 2. Typical Output Characteristics

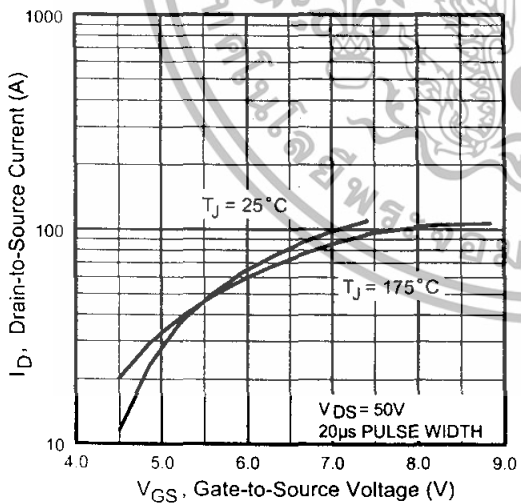


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

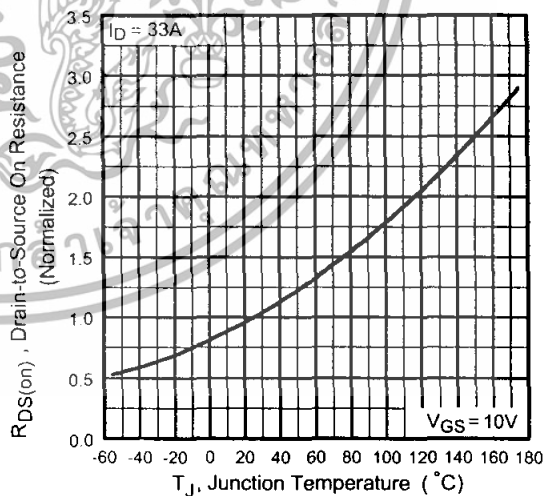


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

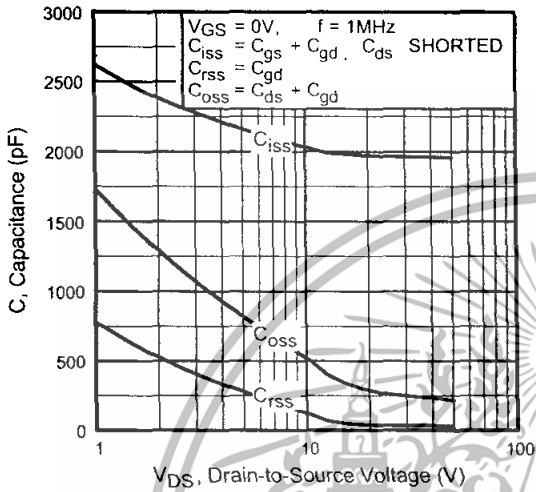


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

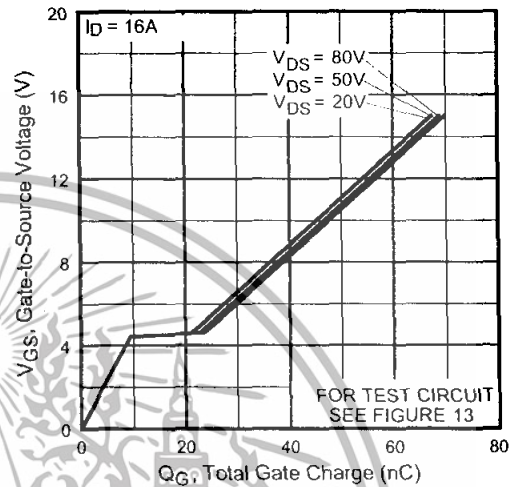


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

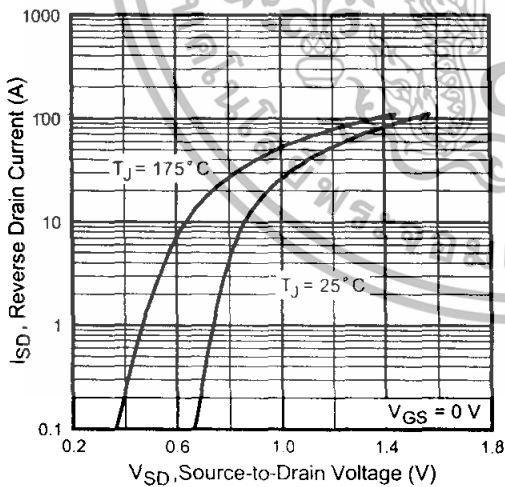


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

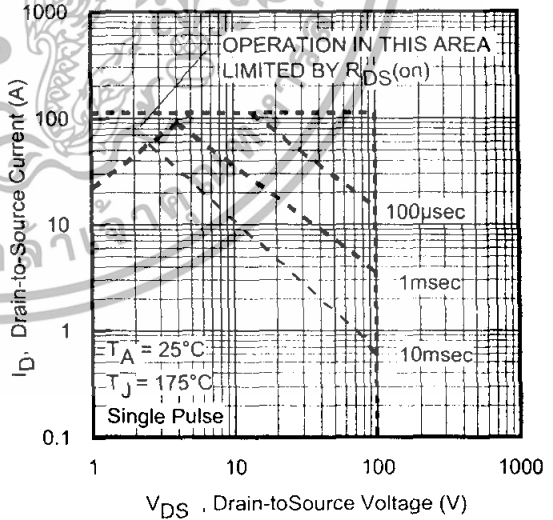


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

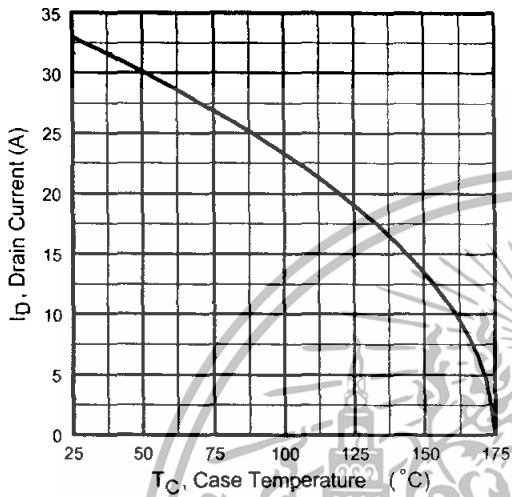


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

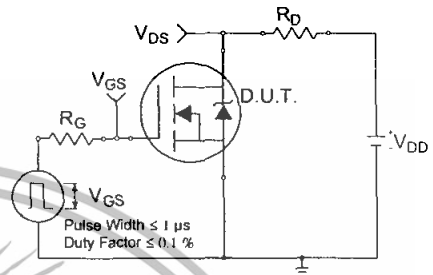


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

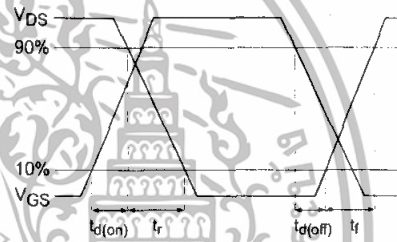


Fig 10b. Switching Time Waveforms

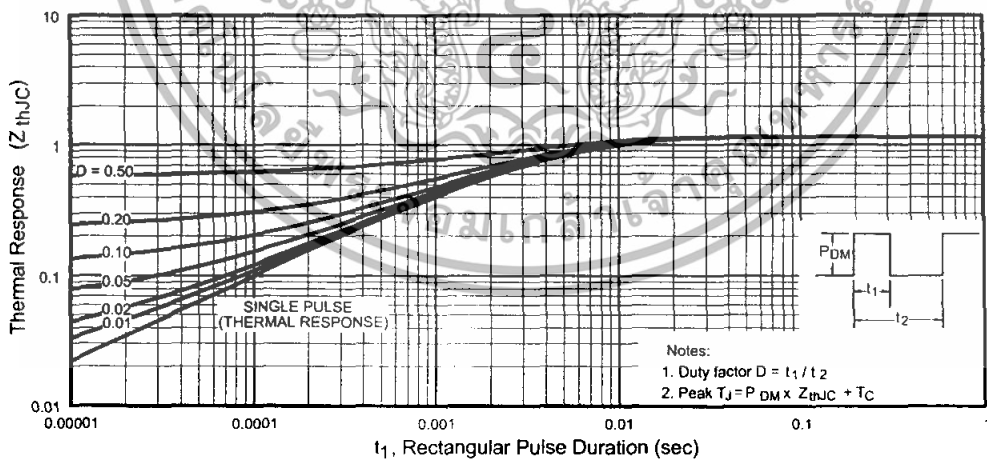


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

# IRF540N

International  
**IOR** Rectifier

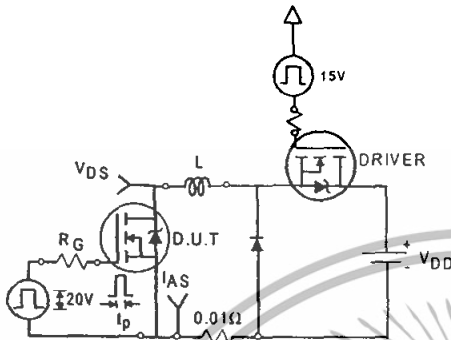


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

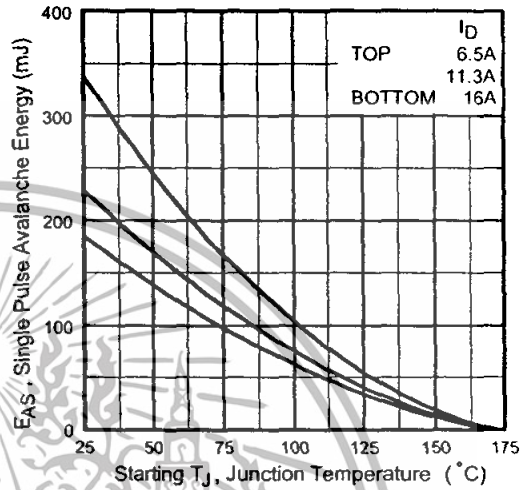


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

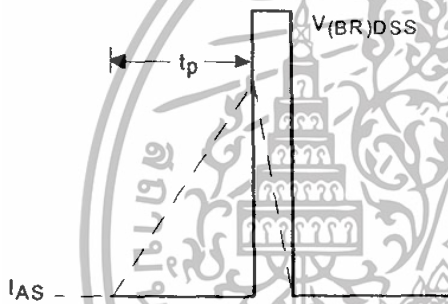


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

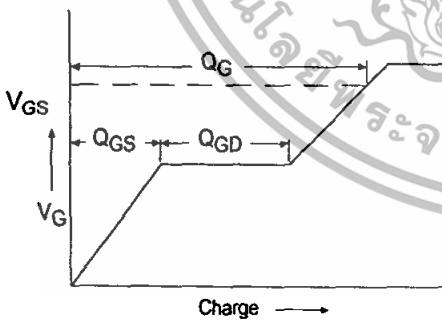


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

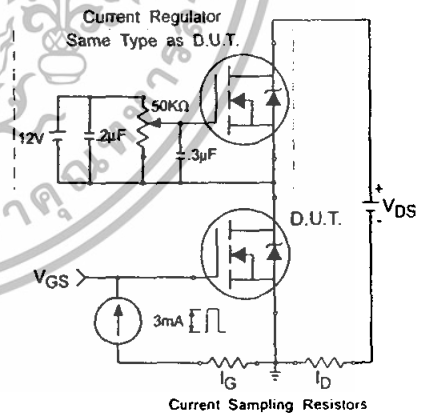


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Diode Recovery  $dv/dt$  Test Circuit

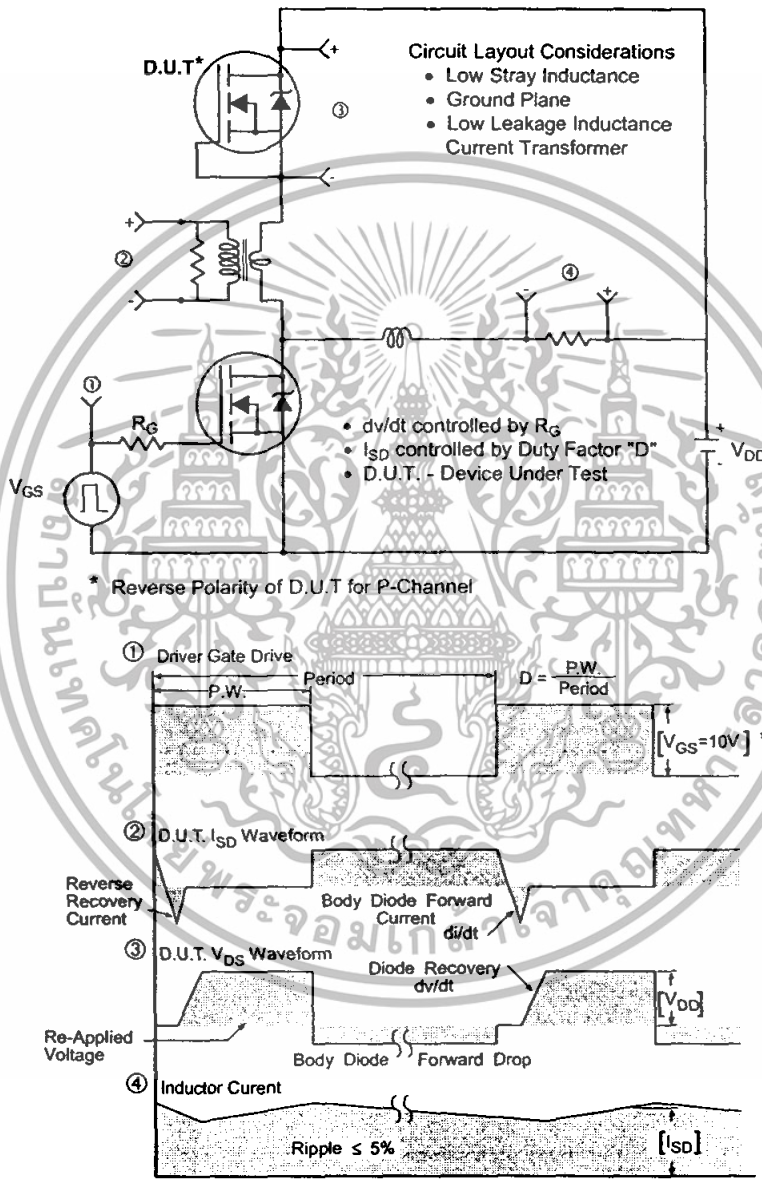


Fig 14. For N-channel HEXFET® power MOSFETS