

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์

HELICOPTER CONTROL

โดย

นางสาวชมพูนุท แน่นหนา รหัส 46010146

นายปรีพงษ์ เตชุปกรณ์ รหัส 46010428

นายเมธี ธีรชนากร รหัส 46010613

อาจารย์ที่ปรึกษา

รฟ. ศศ.ดร. ยุทธนา คิดใจเดียว
ช1727
9549

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

72837

23 ส.ย. 2550

b.....
11273121
i.....

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท
ภาควิชา
เรื่อง

ปีการศึกษา 2549
อิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
การควบคุมการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์
HELICOPTER CONTROL

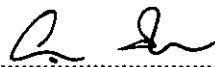
ผู้จัดทำ

นางสาว ชมพูนุท	แน่นหนา	รหัส 46010146	ชั้นปีที่ 4C
นาย ปริพงษ์	เดชุปรกรณ์	รหัส 46010428	ชั้นปีที่ 4C
นายเมธี	ธีรธนากร	รหัส 46010613	ชั้นปีที่ 4C

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ยุทธนา
คิดใจเดียว



ลงชื่อ..... 

(ผศ.ดร. ยุทธนา คิดใจเดียว)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์

นางสาวชมพูนุท แน่นหนา รหัส 46010146

นายปรีพงษ์ เตชุปกรณ์ รหัส 46010428

นายเมธี ชีรธนากร รหัส 46010613

ศศ.ดร.ยุทธนา ทิดใจเดียว (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างวงจรต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมเฮลิคอปเตอร์ให้สามารถทรงตัวอยู่กลางอากาศได้โดยอัตโนมัติ โดยทำการใช้ไจโร (Gyro) ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับการหมุนของเฮลิคอปเตอร์และส่งข้อมูลยังไมโครคอนโทรลเลอร์ (dsPIC) ให้ประมวลผลโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีระบบควบคุม เพื่อทำการสร้างสัญญาณพัลส์ส่งไปควบคุมความเร็วของมอเตอร์ (DC Motor) ทั้งสองตัว โดยมีเซ็นเซอร์ตรวจจับความเร่งชนิด MEMS (Micro-Electrical Mechanical Systems) เป็นตัวช่วยรักษาการทรงตัว นอกจากนี้จะต้องคำนึงถึงน้ำหนักของเฮลิคอปเตอร์ด้วย เพราะถ้าน้ำหนักที่มากเกินไปจะมีผลต่อการควบคุมการบิน เนื่องจากได้ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดลงบนตัวเฮลิคอปเตอร์

HELICOPTER CONTROL

Miss Chomphunut Nannar ID 46010146

Mr. Paripong Taychupakorn ID.46010428

Mr.Matee Tiradnakorn ID 46010613

Assist. Prof. Dr. Yutthana Kidjaideaw (Advisor)

Educational year 2006

Abstract

This project presents the design of automatic helicopter control. The system consists of gyro and sensor (MEMS) which are the detectors for the changed position of helicopter and send the data to microcontroller. Microcontroller (dsPIC) processes the data using control theory then generates multiple, pulse modulated signal to adjust the DC motor speed for stabilizing helicopter. Furthermore the weight of helicopter must be considered because the overweight can affect controlling of the helicopter.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

ผศ.ดร. ยุทธนา คิดใจเด็ชว (อาจารย์ที่ปรึกษา) ที่ให้การอุปการะในการให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับโครงการการควบคุมการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์ และทางภาคอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้อุปกรณ์เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในการทดลอง ให้ความรู้จนสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในการทำโครงการครั้งนี้ตลอดจนสนับสนุนด้านการเงิน

คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้ความเป็นห่วง และให้การสนับสนุนทางการเงินตลอดมา จนทำให้โครงการนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์ได้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีในโครงการนี้ ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ผู้จัดทำ: นร.แน่นหนา.....

(นางสาวชมพูนุท แน่นหนา)

น/รพิงษ์ ๑๓๖/๑๖๖.....

(นายปรีพงษ์ เตชุปกรณ์)

ผู้: ชีรธนากร.....

(นายเมธี ชีรธนากร)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ	2
2.1 เฮลิคอปเตอร์	2
2.1.1 หลักการทั่วไปของเฮลิคอปเตอร์	2
2.1.2 หลักของ Bernoulli และคำศัพท์ทางเทคนิคต่างๆ	3
2.1.3 เฮลิคอปเตอร์ชนิดใบพัด 2 ชั้น	6
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC	8
2.2.1 การจัดเรียงขาของ dsPIC30F2010	8
2.2.2 คุณสมบัติของซีพียู	11
2.2.3 คุณสมบัติด้านการประมวลสัญญาณดิจิทัล	12
2.2.4 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ	12
2.2.5 สถาปัตยกรรมโดยสรุปของ dsPIC30F2010	13
2.2.6 อินเทอร์รัปต์	15
2.2.7 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์	15
2.2.8 โมดูลฟังก์ชันพิเศษ	17
2.3 โมดูลฟังก์ชันพิเศษที่นำมาใช้ในโครงการ	17
2.3.1 โมดูล UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)	17
2.3.2 โมดูลเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม SPI (Serial Peripheral Interface)	20
2.3.3 โมดูลเปรียบเทียบข้อมูล (Output Compare : OC)	21
2.3.4 โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADC)	23
2.3.5 โมดูลตรวจจับสัญญาณ (Input Capture : IC)	24
2.3.6 โมดูลสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมมอเตอร์ (Motor Control PWM)	26
2.4 เซ็นเซอร์ (sensor)	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 เซนเซอร์ชนิด Micro-Electro-Mechanical Systems	28
2.4.2 เซนเซอร์วัดความเร่ง 3 (3-axis accelerometer H48C Sensors)	30
2.5 การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง	33
2.5.1 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor Structure)	33
2.5.2 วงจรขับและป้องกัน (Driver and Protection Circuit)	35
2.6 ไจโร (Gyro)	37
บทที่ 3 การติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก	39
3.1 การติดต่อระหว่าง dsPIC กับ ไจโร (Gyro)	40
3.2 การติดต่อระหว่าง dsPIC กับ โมดูลตรวจจับความเร่ง 3 แกน H48C	42
3.2.1 การวิเคราะห์การติดต่อ โมดูล H48C	42
บทที่ 4 หลักการออกแบบและวิธีการควบคุมการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์	53
4.1 โมเดลเฮลิคอปเตอร์ (Model Helicopter)	53
4.2 หลักการโดยรวมในการควบคุมการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์	54
4.3 ความเป็นมาของการควบคุมการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์	54
4.3.1 การอ่านค่าจากเซนเซอร์วัดความเร่งหรือความเอียง (H48C Sensor)	54
4.3.2 การนำไจโรมาควบคุมการหมุนของเฮลิคอปเตอร์	56
4.3.3 การขับมอเตอร์กระแสตรงด้วย MOSFET	57
4.3.4 หลักการควบคุมการหมุนของเฮลิคอปเตอร์ในขณะที่บินอยู่ในอากาศ	59
4.3.5 การนำ ADC Module มาใช้ในการปรับ Kp	61
4.4 การทดลองบินครั้งแรก	61
4.4.1 หลักการรักษาระดับความสูงของเฮลิคอปเตอร์ขณะบินอยู่ในอากาศ	61
4.5 การทดลองบินครั้งที่สอง	64
4.5.1 การปรับปรุงระบบความเร็วในการรับข้อมูลและเพิ่มอุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือน	64
4.6 การทดลองบินครั้งที่สาม	65
บทที่ 5 การทดลอง	
5.1 รูปเปรียบเทียบน้ำหนักก่อน และหลังการตัดแปลงเฮลิคอปเตอร์	67
5.2 ตารางการกินกระแสของเฮลิคอปเตอร์	68
5.3 รูปสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงและเซอร์โวมอเตอร์	68
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ ของเซนเซอร์ H48C	76

5.4.1 การหมุนระนาบ X-Y	76
5.4.2 การส่ายไป-มา รอบแกน Y จากน้อยไปมาก	77
5.4.3 การยกขึ้น 3 ครั้งความเร็วต่างกัน ที่ความสูงเท่าเดิม	78
5.4.4 ทดลองเร่งมอเตอร์โดยการถือไว้ด้วยมือ	79
บทที่ 6 สรุปผลโครงการ	80
บรรณานุกรม	81



สารบัญรูปลูกภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงไดอะแกรมการควบคุมเฮลิคอปเตอร์	1
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของ เฮลิคอปเตอร์	2
รูปที่ 2.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ เฮลิคอปเตอร์	3
รูปที่ 2.3 การเกิดแรงปฏิกิริยาจากอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านใบพัด	3
รูปที่ 2.4 ระบบใบพัดหลัก	4
รูปที่ 2.5 Swash Plate Assembly	5
รูปที่ 2.6 แสดงการเกิดแรงยก	5
รูปที่ 2.7 Kamov KA-50 เฮลิคอปเตอร์	7
รูปที่ 2.8 Kamov KA-25 เฮลิคอปเตอร์	7
รูปที่ 2.9 การจัดขาใช้งานของ dsPIC30F2010	8
รูปที่ 2.10 แสดงไดอะแกรมการทำงานและส่วนประกอบทั้งหมดของ dsPIC30F2010	10
รูปที่ 2.11 แสดงไดอะแกรมการทำงานของตัวส่งข้อมูลใน โมดูล UART	18
รูปที่ 2.12 แสดง ไดอะแกรมการทำงานของตัวรับข้อมูลใน โมดูล UART	19
รูปที่ 2.13 แสดงไดอะแกรมการทำงานของ โมดูล SPI	21
รูปที่ 2.14 คาบเวลาของเอาต์พุต PWM	22
รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมการทำงานของ โมดูล ADC	24
รูปที่ 2.16 แสดง ไดอะแกรมการทำงานของ โมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุต (Input Capture)	25
รูปที่ 2.17 แสดงไดอะแกรมการทำงานของ โมดูล MCPWM	27
รูปที่ 2.18 ตำแหน่งขาของ H48C	31
รูปที่ 2.19 แสดงภายในของ H48C	32
รูปที่ 2.20 แสดงไดอะแกรมของ H48C	32
รูปที่ 2.21 โครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์กระแสตรง	33
รูปที่ 2.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ω_m , I_a และ T	33
รูปที่ 2.23 กำลังงานที่สูญเสียในมอเตอร์กระแสตรง	35
รูปที่ 2.24 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยการใช้แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 2.24a, การปรับค่า Ra 2.24b และการใช้วงจร switching 2.24c	35
รูปที่ 2.25 วงจร Chopper (DC to DC converter) และ วงจร Inverter (DC to DC converter)	36
รูปที่ 2.26 วงจรป้องกันขณะต่าง ๆ	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 วงจรที่ใช้ในการควบคุมเฮลิคอปเตอร์	39
รูปที่ 3.2 ช่วงเวลาที่ใช้ในการกำหนดโหมคของใจโร	40
รูปที่ 3.3 ใจโรที่เลือกใจ	40
รูปที่ 3.4 Timing Diagram แบบ Pulse Position Modulation (PPM)	41
รูปที่ 3.5 Timing Diagram ที่จ่ายให้ใจโร	41
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง dsPIC กับ Gyro	41
รูปที่ 3.7 แสดงช่วงเวลาที่มีคูลตรวจจับสัญญาณจับได้	42
รูปที่ 3.8 ตำแหน่ง และหน้าที่แต่ละขาของ โมคูลตรวจจับความแรง H48C	42
รูปที่ 3.9 ตำแหน่ง และหน้าที่แต่ละขาของ MCP3204	43
รูปที่ 3.10 แนวแกนอ้างอิงเทียบกับตัว Sensor H48C	44
รูปที่ 3.11 ลำดับบิตข้อมูลที่ส่งไป ใช้ในการอ่านข้อมูลจากโมคูล	44
รูปที่ 3.12 บน Timing Diagram มีการส่ง MSB ก่อน แต่ไม่มีการส่ง LSB ล่าง Timing Diagram มีการส่ง MSB ก่อน และมีการส่ง LSB ตามมา	45
รูปที่ 3.13 Timing Diagram แสดงช่วงสัญญาณนาฬิกาที่เว้นระหว่างจังหวะรับ – ส่ง	46
รูปที่ 3.14 ซ้าย รูปสัญญาณนาฬิกาเปรียบเทียบกับ ข้อมูล 1 บิต และ ขวา การรับ – ส่งข้อมูล โดยไม่คำนึงถึง duty cycle ของสัญญาณนาฬิกา	46
รูปที่ 3.15 บน ตำแหน่งขาที่ใช้งานใน โหมค SPI ล่าง ไดอะแกรมแสดงการรับ – ส่งแบบ SPI	47
รูปที่ 3.16 Timing Diagram การส่งแบบ SPI Master Mode	48
รูปที่ 3.17 แสดงไดอะแกรมของ SPIBUF Register	49
รูปที่ 3.18 วงจรส่วนที่ติดต่อกับกับเซ็นเซอร์ (H48C)	50
รูปที่ 3.19 การติดต่อระหว่าง dsPIC และ โมคูล H48C -1	50
รูปที่ 3.20 การติดต่อระหว่าง dsPIC และ โมคูล H48C -2	51
รูปที่ 3.21 การติดต่อระหว่าง dsPIC และ โมคูล H48C -3	51
รูปที่ 3.22 การติดต่อระหว่าง dsPIC และ โมคูล H48C -4	51
รูปที่ 4.1 เฮลิคอปเตอร์ Walkera 5-4	53
รูปที่ 4.2 แสดงกระบวนการทำงานโดยรวมของระบบ	54
รูปที่ 4.3 แสดงการเก็บค่าระหว่างเฮลิคอปเตอร์บินอยู่ในอากาศ	55
รูปที่ 4.4 กราฟที่ได้จาก H48C Sensor ขณะเฮลิคอปเตอร์บินอยู่ในอากาศ	55
รูปที่ 4.5 กราฟที่ได้จากการยก H48C Sensor ขึ้นอย่างรวดเร็ว	56

รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณ PWM ที่ใช้ควบคุม Gyro	57
รูปที่ 4.7 วงจรขับมอเตอร์เฟดโดยใช้ ทรานซิสเตอร์แบบที่ 1	58
รูปที่ 4.8 วงจรขับมอเตอร์เฟดโดยใช้ ทรานซิสเตอร์แบบที่ 2	58
รูปที่ 4.9 วงจรขับมอเตอร์เฟดโดยใช้ Optoisolator	59
รูปที่ 4.10 กราฟที่ได้จากการ ใจโรขณะทำการหมุนหรือเหวี่ยงไปมา	59
รูปที่ 4.11 แสดงค่าเวลา Duty ของสัญญาณ PWM ขณะเกิดการหมุนหรือเหวี่ยง	60
รูปที่ 4.12 แสดงระนาบของตัวเซนเซอร์	62
รูปที่ 4.13 กราฟข้อมูลจากการอ่านเซนเซอร์ในแกนต่างๆ	62
รูปที่ 4.14 แสดงระนาบของตำแหน่งเซนเซอร์ ในระนาบปกติ และตามกราฟ ตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 5, 6 หรือจาก A-F	63
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงข้อมูลที่ได้จากการคำนวณผ่านสมการ	64
รูปที่ 4.16 แสดง Flow Chart การทำงานรวมของระบบ	66
รูปที่ 5.1 ก่อนทำการตัดแปลง น้ำหนัก 223 กรัม	67
รูปที่ 5.2 หลังทำการตัดแปลง น้ำหนัก 237 กรัม หนักเพิ่มขึ้น 14 กรัม	67
รูปที่ 5.3 สัญญาณที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ขณะปล่อยคันบังคับ	68
รูปที่ 5.4 สัญญาณที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ขณะโยกคันบังคับทางซ้ายสุด	69
รูปที่ 5.5 สัญญาณที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ขณะ โยกคันบังคับทางขวาสุด	69
รูปที่ 5.6 สัญญาณที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ขณะ โยกคันบังคับขึ้นสุด	70
รูปที่ 5.7 สัญญาณที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ขณะ โยกคันบังคับลงสุดใน	70
รูปที่ 5.8 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดบนขณะ โยกคันเร่ง 1/6 ของทั้งหมด	71
รูปที่ 5.9 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดบนขณะ โยกคันเร่ง 1/2 ของทั้งหมด	71
รูปที่ 5.10 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดบนขณะ โยกคันเร่งขึ้นสุด	72
รูปที่ 5.11 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดล่างขณะ โยกคันเร่ง 1/6 ของทั้งหมด	72
รูปที่ 5.12 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดล่างขณะ โยกคันเร่ง 1/2 ของทั้งหมด	73
รูปที่ 5.13 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดล่างขณะ โยกคันเร่งขึ้นสุด	73
รูปที่ 5.14 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดบนขณะ โยกคันเร่ง 1/2 ของทั้งหมด ไปทางซ้าย	74
รูปที่ 5.15 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดล่างขณะ โยกคันเร่ง 1/2 ของทั้งหมด ไปทางซ้าย	74
รูปที่ 5.16 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดบนขณะ โยกคันเร่ง 1/2 ของทั้งหมด ไปทางขวา	75
รูปที่ 5.17 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดล่างขณะ โยกคันเร่ง 1/2 ของทั้งหมด ไปทางขวา	75
รูปที่ 5.18 การหมุนระนาบ X-Y	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.19 กราฟการหมุนระนาบ X-Y	76
รูปที่ 5.20 การส่ายไป-มา รอบแกน Y จากน้อยไปมาก	77
รูปที่ 5.21 กราฟการส่ายไป-มา รอบแกน Y จากน้อยไปมาก	77
รูปที่ 5.22 กราฟการส่ายไป-มา รอบแกน Y จากน้อยไปมาก	78
รูปที่ 5.23 กราฟการส่ายไป-มา รอบแกน Y จากน้อยไปมาก	78
รูปที่ 5.24 กราฟการส่ายไป-มา รอบแกน Y จากน้อยไปมาก	79
ตารางที่ 2.1 ตารางอธิบายหน้าที่แต่ละขาของ H48C	31
ตารางที่ 3.1 แสดงบิตที่ใช้ควบคุมการทำงานของ MCP320	43
ตารางที่ 4.1 การคำนวณค่า เปรียบเทียบจากการประมาณ	64
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงการกินกระแสของเฮลิคอปเตอร์	68



บทที่ 1

บทนำ

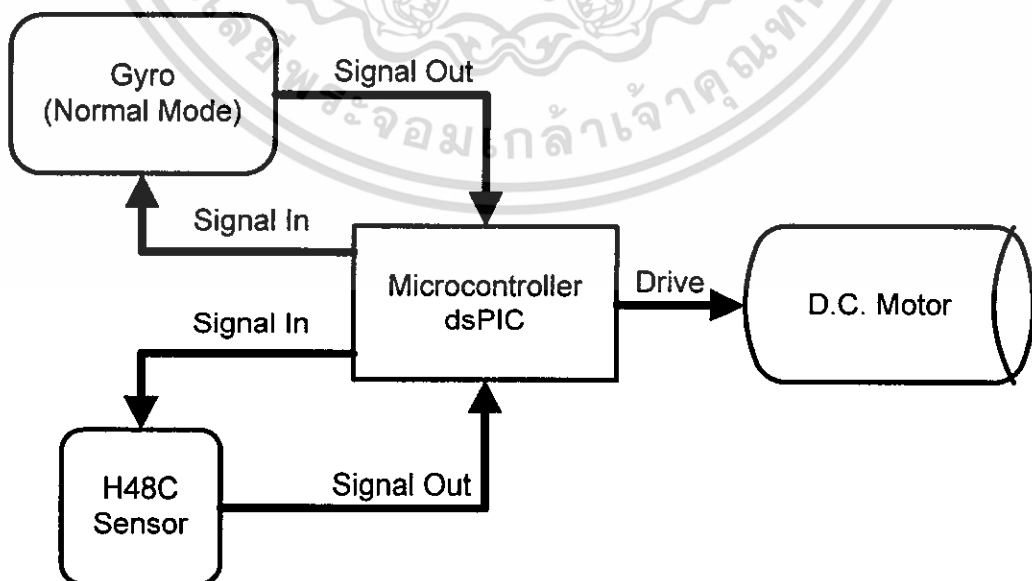
รายงานฉบับนี้ได้เสนอแนวคิดในด้านการควบคุมเฮลิคอปเตอร์แบบอัตโนมัติ (Automatic Helicopter) ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งการควบคุมในระบบนี้ มีองค์ประกอบที่สำคัญหลักๆคือ การใช้ไจโร (Gyro) ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับการหมุนของเฮลิคอปเตอร์และเซ็นเซอร์ตรวจจับความเร่งชนิด MEMS(Micro-Electrical Mechanical Systems) ตัวจับความเร่งในแนวดิ่ง แล้วส่งข้อมูลยังไมโครคอนโทรลเลอร์ (dsPIC) ให้ประมวลผลโดยการประยุกต์ เพื่อทำการสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulate) ส่งไปควบคุมความเร็วของมอเตอร์(DC Motor) ทั้งสองตัว

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหลักการบินของเฮลิคอปเตอร์ 2 ใบพัด(ใบพัด 2 ชั้น)
2. ประยุกต์ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม, ติดต่อสื่อสาร และใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ภายนอก
3. ศึกษาการส่งข้อมูลแบบ SPI (Serial Peripheral Interface) ที่นำมาใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวเซ็นเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์

ขอบเขตของโครงการ

เพื่อควบคุมเฮลิคอปเตอร์ให้สามารถทรงตัวอยู่กลางอากาศได้ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสั่งการ



รูปที่ 1.1 Block Diagram การควบคุมเฮลิคอปเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

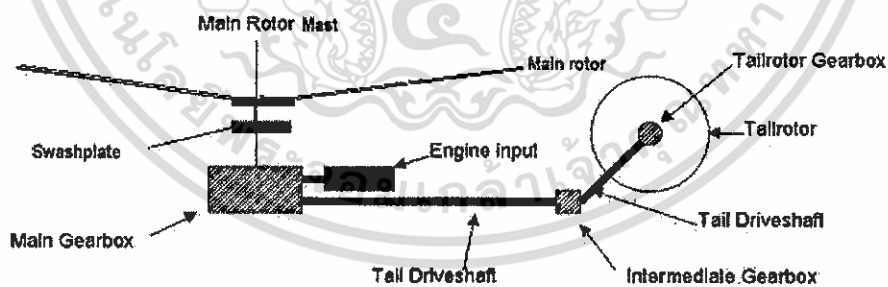
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

2.1 เฮลิคอปเตอร์

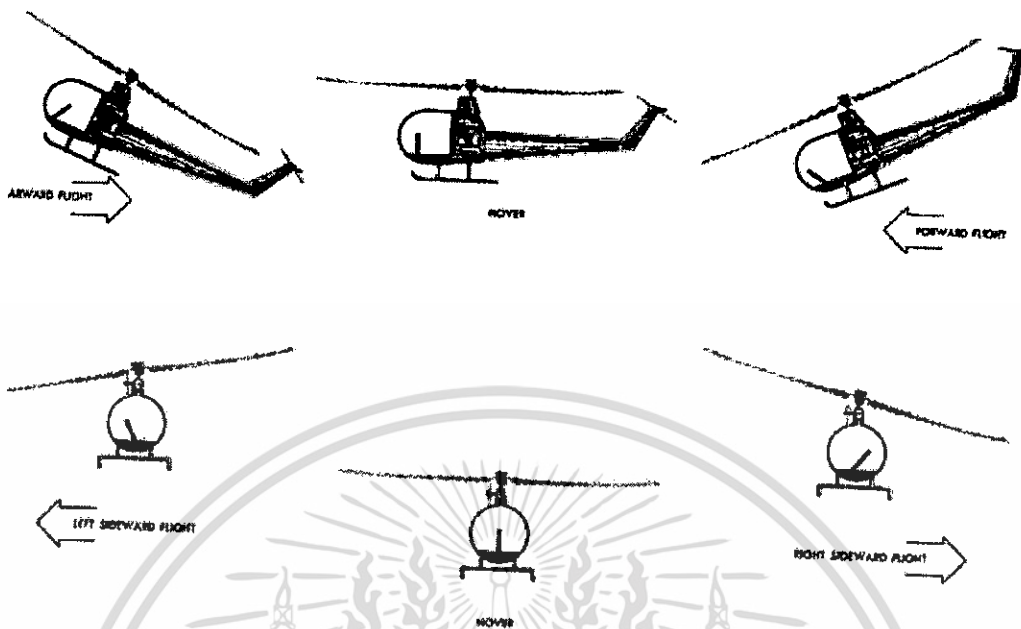
2.1.1 หลักการทั่วไปของเฮลิคอปเตอร์

การที่เครื่องบินสามารถบินได้ในอากาศนั้น เป็นเพราะปีกของเครื่องบินเป็นตัวที่ทำให้เกิดแรงยกของเครื่องบินเมื่อมันเคลื่อนที่ผ่านอากาศในระหว่างการบินจะมีแรงกระทำต่อเครื่องบินหรือเฮลิคอปเตอร์อยู่ 4 แรง คือ แรงยก, แรงต้านการเคลื่อนที่, แรงผลักไปข้างหน้า และน้ำหนักของเครื่องบิน การที่จะทำให้ปีกเครื่องบินเคลื่อนที่ผ่านอากาศนั้นตัวเครื่องบินต้องเคลื่อนที่ แต่เฮลิคอปเตอร์ทำงานโดยใช้ปีกเคลื่อนที่ผ่านอากาศ โดยที่ลำตัวคงอยู่กับที่ปีกของเฮลิคอปเตอร์เรียกว่า Main rotor blades หรือใบพัด (เฮลิคอปเตอร์ก็คือเครื่องบินปีกหมุน) แรงยกของเฮลิคอปเตอร์ได้มาจากการหมุนใบพัดหลัก ในแนวระนาบกับพื้น เมื่อ ใบพัดหลักของเฮลิคอปเตอร์หมุนมันก็จะเกิดแรงยก(lift) และในเวลาเดียวกันก็จะเกิด Reaction torque หรือแรงหมุนที่ลำตัวของเฮลิคอปเตอร์ด้วย โดยทั่วไปกับเฮลิคอปเตอร์ที่มีใบพัดหลักชุดเดียวก็จะมีใบพัดชุดเล็กที่หางซึ่งเรียกว่า Tail rotor เพื่อใช้ต้านแรงที่เรียกว่า Reaction torque รูปร่างและมุมของ Rotor blades ที่เคลื่อนที่ผ่านอากาศจะเป็นตัวกำหนดว่าจะเกิดแรงยกเท่าไร หลังจากที่เฮลิคอปเตอร์ ยกตัวขึ้นพ้นพื้นดินนักบินสามารถเอียงใบพัดและจะทำให้เฮลิคอปเตอร์เอียงตามทิศทางของใบพัดหลักที่เอียงจะไปข้างหน้า ข้างหลัง หรือ ด้านข้าง



Typical Helicopter Drive Train

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของเฮลิคอปเตอร์



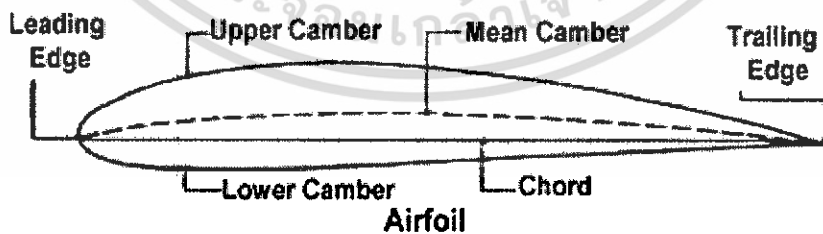
Cyclic Control Stick Position And The Main Rotor Disc Position

รูปที่ 2.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ เฮลิคอปเตอร์

2.1.2 หลักของ Bernoulli และคำศัพท์ทางเทคนิคต่างๆ

Bernoulli : กล่าวไว้ว่าถ้าความเร็วของลม (หรือของไหล) เพิ่มขึ้นแรงกดอากาศจะลดลงและตรงกันข้ามถ้าความเร็วลดลงแรงกดอากาศจะเพิ่มขึ้น

Airfoil : เป็นคำอธิบายทางด้านเทคนิคหมายถึง ลักษณะรูปร่าง เช่น aileron, elevator, rudder, wing, main rotor blades, or tail rotor blades ออกแบบมาเพื่อให้เกิดแรงปฏิกิริยาจากอากาศที่มันเคลื่อนที่ผ่านไป

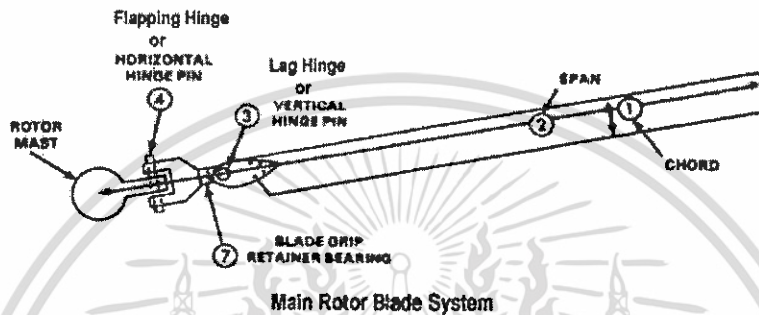


รูปที่ 2.3 การเกิดแรงปฏิกิริยาจากอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านใบพัด

Angle of Attack : เป็นมุมแหลมที่วัดระหว่าง chord ของ airfoil และ relative wind

Angle of Incidence : เป็นมุมแหลมระหว่างเส้น chord line ของปีกและแกน longitudinal axis ของตัวเครื่องบิน

Blades : ใบพัดของเฮลิคอปเตอร์ก็เป็น airfoils ที่มี aspect ratio สูง (span หารด้วย chord) angle of incidence ของเฮลิคอปเตอร์สามารถเปลี่ยนแปลงหรือปรับแต่งได้



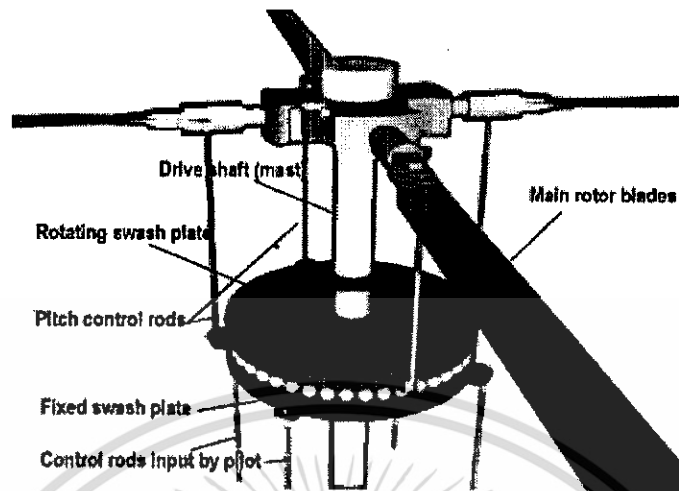
รูปที่ 2.4 ระบบใบพัดหลัก

Blade Root : ปลายด้านในหรือโคนใบพัด (blades) ซึ่งยึดติดกับที่ยึดใบพัด (blade grips)

Blade Grips : ที่ยึดใบพัดติดกับคอกจุดศูนย์กลาง

Main Rotor Mast : Shaft ที่หมุน โดยต่อมาจาก transmission และต่อชุดใบพัดกับลำตัวของ เฮลิคอปเตอร์

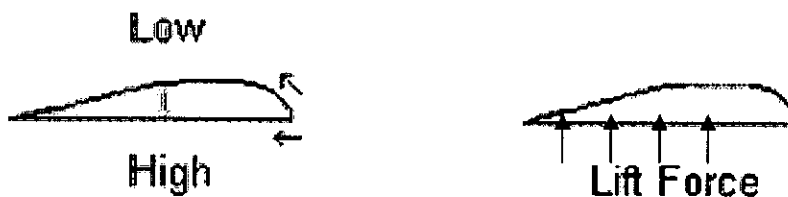
Swash Plate Assembly : ชุด Swash Plate Assembly ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญสองส่วนประกอบด้วยส่วนที่หนึ่งเป็นแผ่นกลม, ต่อกับคันทิ้งกับ cyclic pitch control. แผ่นกลมนี้สามารถเอียงได้ทุกตำแหน่งแต่จะไม่หมุนตามการหมุนของใบพัดใหญ่ (main rotor) แผ่นกลมที่ไม่หมุนนี้มีอีกจะเรียกว่า Stationary Star และติดกับแผ่นกลมอีกแผ่นโดยมี bearing surface อยู่ตรงกลางและแผ่นกลมอันที่สองนี้เรียกว่า Rotating Star แผ่นนี้จะหมุนตาม rotor และต่อกับ pitch change horns



รูปที่ 2.5 Swash Plate Assembly

Transmission : ระบบถ่ายทอดพลังงาน เป็นระบบทอโรน โดยใช้ ฟันเฟืองเป็นหลักทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานไปยังใบพัดหลัก, ใบพัดที่หาง, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและอุปกรณ์อื่นๆ เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบสูงแต่ความเร็วรอบของใบพัดหลักจะทำงานที่รอบต่ำความเร็วรอบที่ลดลงก็ด้วยเกียร์ทอโรนที่ Transmission System

Lift : แรงยกเกิดจาก การสร้าง lower pressure ที่พื้นผิวด้านบนของปีกเครื่องบินเมื่อเปรียบเทียบกับ high pressure ที่พื้นผิวด้านล่างของปีกเครื่องบินจึงเป็นเหตุให้ปีกของเครื่องบินถูกยกขึ้นรูปร่าง ลักษณะพิเศษ ของปีก (airfoil) ที่ถูกออกแบบมาให้อากาศที่ไหลผ่านพื้นผิวด้านบนมีระยะทางที่มากกว่าทำให้โมเมนตัมของอากาศต้องเดินทางเร็วกว่าพื้นผิวด้านล่างจึงทำให้ด้านบนเกิดเป็นบริเวณ lower pressure ที่มีแรงกดต่ำกว่า ดังนั้นจึงเกิดแรงยกขึ้นแรงยกเป็นแรงที่เกิดขึ้นตรงข้ามกับแรงดึงดูดของโลกหรือน้ำหนัก



รูปที่ 2.6 แสดงการเกิดแรงยก

แรงยกขึ้นอยู่กับ

- (1) รูปร่างลักษณะของ airfoil
- (2) มุมของปีกที่กระทำกับลม relative wind
- (3) บริเวณพื้นผิวหรือพื้นที่ ที่อากาศหรือลมพัดผ่าน
- (4) กำลังสองของความเร็วลมหรือความเร็วลมนั่นเอง
- (5) ความหนาแน่นของอากาศ

LIFT EQUATION

$$L = C_L \times d \times \frac{V^2}{2} \times A$$

L = Lift **d = Density of Air**
C_L = Lift Coefficient **V = Velocity of Air**
A = Wing Area

Relative Wind : เป็นทิศทางของลมที่กระทำต่อปีกเครื่องบินหรือ airfoil หรือใบพัดของเฮลิคอปเตอร์ PSEN

Pitch Angle : มุมของใบพัดจะเป็นมุมแหลมที่กระทำระหว่าง Chord line ของใบพัดกับแนวระนาบการหมุนของใบพัด. (คุณอาจจะเข้าใจว่ามันคือมุม incidence ก็ได้แต่ตามทฤษฎีเป็นคนละมุมกัน) . มุม pitch angle สามารถปรับเปลี่ยนได้ขณะบิน

2.1.3 เฮลิคอปเตอร์ชนิดใบพัด 2 ชั้น

เนื่องจากในโครงการนี้ได้ใช้เฮลิคอปเตอร์ไฟฟ้าชนิดใบพัด 2 ชั้น ซึ่งมีราคาไม่สูง เสถียรภาพการบินค่อนข้างดี มีการตั้งค่าก่อนบินน้อย เหมาะใช้ฝึกหัดบินในที่ปลอดภัย (Indoor) จึงขอกล่าวเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

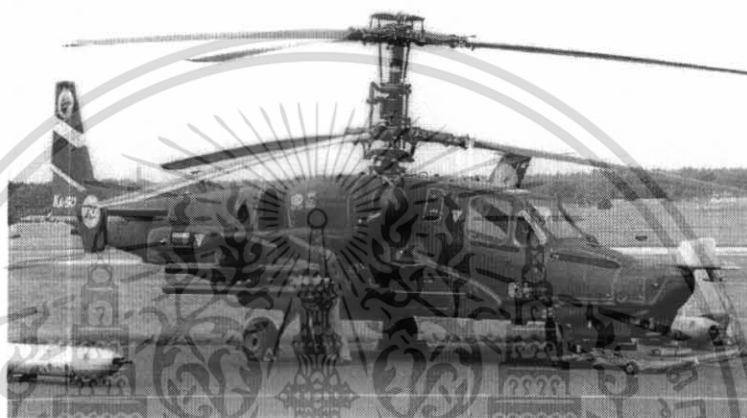
2.1.3.1 ระบบการขับเคลื่อนแบบ Contra-rotating propellers

Contra-rotating propellers หรือ coaxial contra rotating propellers เป็นหนึ่งในวิธีที่ใช้ในการดึงเอาพลังงานจากเครื่องยนต์ได้สูงสุดวิธีหนึ่ง ซึ่งมักพบในเรือดำน้ำ, เครื่องบินขนาดกลาง โดยใช้ใบพัด 2 ใบพัดซ้อนกันส่งกำลังผ่านชุดเกียร์ planetary (planetary gear transmission) รวมถึงเฮลิคอปเตอร์และเครื่องจักรที่ต้องการแรงทอร์ก (Torque)

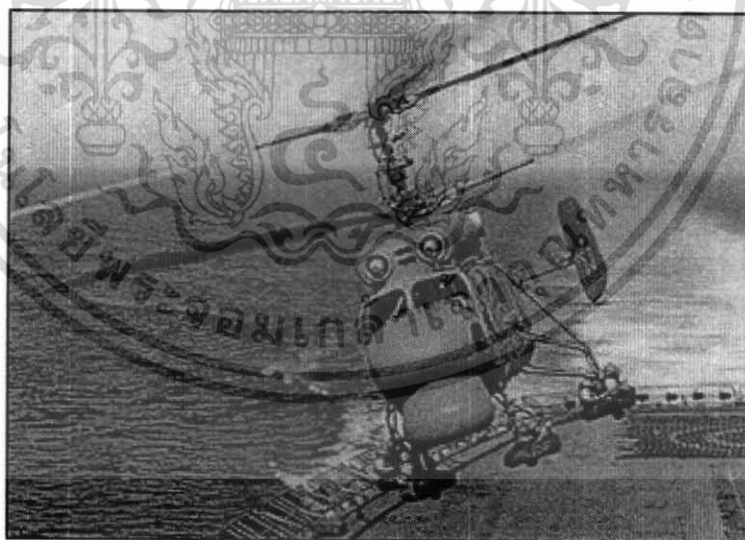
เมื่อความเร็วของกระแสอากาศต่ำๆ (เครื่องบินมีความเร็วต่ำ) กระแสอากาศที่ไหลผ่านใบพัดที่เรียกว่า Thrust จะเกิดการปั่นป่วนและเกิดพลังงานด้วย อย่างไรก็ตามในเครื่องที่มีใบพัดเดี่ยวยอมเสียพลังงานส่วนนี้ไปโดยเปล่าประโยชน์ จึงมีการเพิ่มใบพัดข้างหลังเอาพลังงานส่วนนี้มาใช้ประโยชน์ในการแก้การหมุน และยังเป็นการลดกระแส

อากาศปั่นป่วนหลังใบพัด ทำให้ลดอัตราการสูญเสียพลังงานจากแรงต้านจากกระแสอากาศ ส่วนนี้ทำให้แรงขับเพิ่มมากขึ้น

แต่ก็มีบางลำที่ไม่ได้ใช้ระบบนี้ตลอดเวลา ซึ่งใช้ระบบนี้เมื่อตอนเทค-ออฟ (Take Off) หรือเวลาต้องการกำลังสูงๆ แต่ถ้าในภารกิจทั่วไปเช่น การตรวจการณ์จะหยุดใบพัดตัวนี้เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานให้บินได้ ตัวอย่างเฮลิคอปเตอร์ชนิดนี้ เช่น Kamov KA-50, Kamov Ka-25



รูปที่ 2.7 Kamov KA-50 helicopter



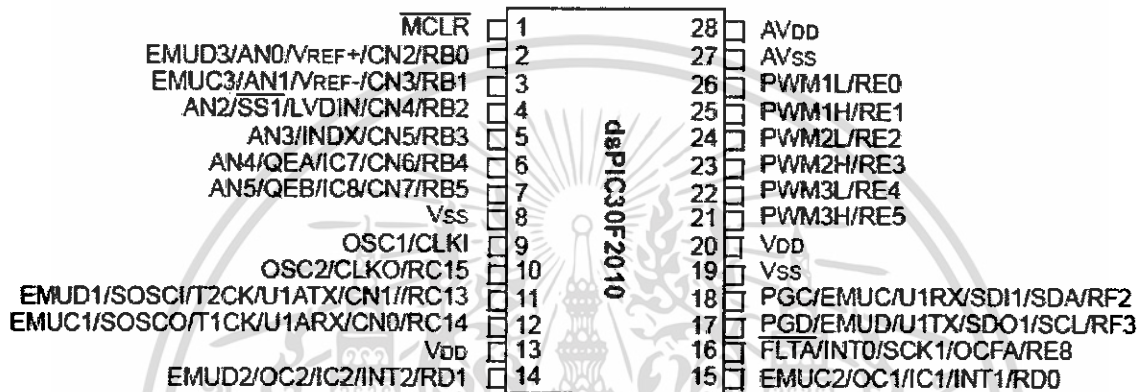
รูปที่ 2.8 Kamov KA-25 helicopter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

dsPIC คือชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตจาก Microchip ที่พัฒนามาจาก PIC โดยตั้งชื่อใหม่ว่า Digital Signal Control หรือ DSC นั่นคือได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง

2.2.1 การจัดเรียงขาของ dsPIC30F2010



รูปที่ 2.9 การจัดขาใช้งานของ dsPIC30F2010

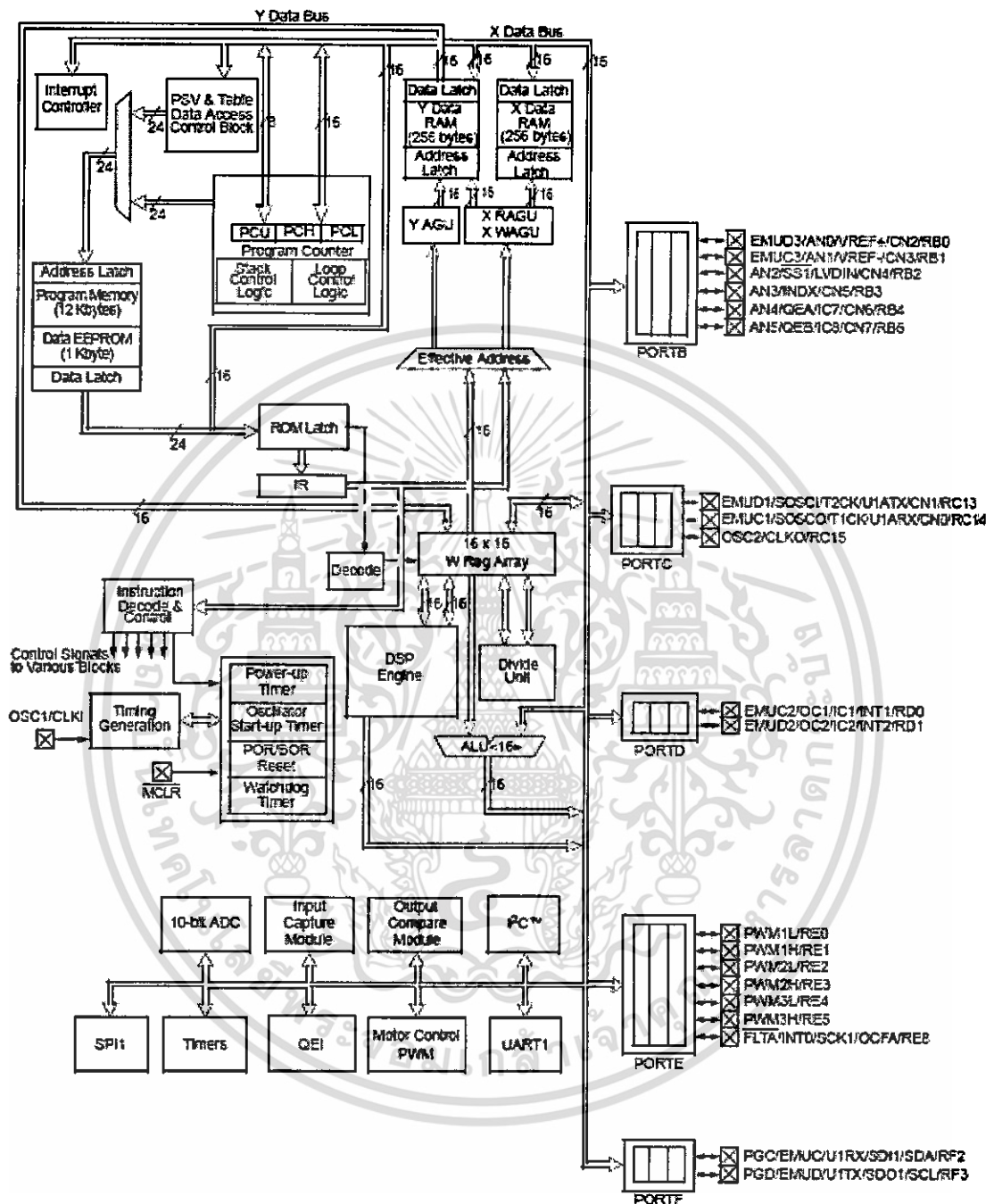
ขาต่าง ๆ ทำหน้าที่ดังนี้

AN0-AN5	อินพุต	อินพุตอนาลอก
AVdd , Vdd	เพาเวอร์	ขาดไฟเลี้ยงบวก 5 โวลต์ให้แก่โมดูล ADC
Avss , Vss	เพาเวอร์	ขาดไฟลบหรือกราวด์ให้แก่โมดูล ADC
CLKI	อินพุต	ขาจับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
CLKO	เอาต์พุต	เอาต์พุตสัญญาณนาฬิกา
CN0-CN7	อินพุต	อินพุตตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัล สามารถโปรแกรมให้มีการ pull-up ได้
EMUD	อินพุต/เอาต์พุต	ขาข้อมูลสำหรับติดต่อกับ ICD มี 4 กลุ่ม
EMUC	อินพุต/เอาต์พุต	ขาสัญญาณนาฬิกาติดต่อกับ ICD มี 4 กลุ่ม
IC1,IC2,IC7,IC8	อินพุต	อินพุตของโมดูลตรวจจับสัญญาณ
INQX	อินพุต	อินพุตสัญญาณพัลส์ของโมดูลเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์
QEA	อินพุต	อินพุต เฟส A ของโมดูลเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์
QEB	อินพุต	อินพุต เฟส B ของโมดูลเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INT0-INT2	อินพุต	อินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอก
FLTA	อินพุต	อินพุตรับสัญญาณผิดพลาดช่อง A ของ PWM
PWM	เอาต์พุต	เอาต์พุตสัญญาณ PWM (L=ต่ำ, H= สูง)
MLCR	อินพุต/เพาเวอร์	รีเซท
OCFA	อินพุต	อินพุตรับสัญญาณผิดพลาดช่อง A ของ โมดูลเปรียบเทียบ
OC1-OC2	เอาต์พุต	เอาต์พุตของ โมดูลเปรียบเทียบ
OSC1	อินพุต	ขาต่อคริสตอลภายนอก
OSC2	อินพุต/เอาต์พุต	ใช้ต่อคริสตอลเมื่อทำงานใน โหมดคริสตอล และเป็นเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกา (CLKO)
PGD	อินพุต/เอาต์พุต	ขาข้อมูลอนุกรมสำหรับการโปรแกรม
PGC	อินพุต	ขาจับสัญญาณนาฬิกาสำหรับการโปรแกรม
RB0-RB5	อินพุต/เอาต์พุต	ขาพอร์ต B
RC13-RC15	อินพุต/เอาต์พุต	ขาพอร์ต C
RD0-RD1	อินพุต/เอาต์พุต	ขาพอร์ต D
RE0-RE5,RE8	อินพุต/เอาต์พุต	ขาพอร์ต E
RF2,RF3	อินพุต/เอาต์พุต	ขาพอร์ต F
SCK1	อินพุต/เอาต์พุต	ขาสัญญาณนาฬิกาอนุกรมของโมดูล SPI
SDI1	อินพุต	ขาจับข้อมูลอนุกรมของโมดูล SPI
SDO1	เอาต์พุต	ขาส่งข้อมูลอนุกรมของโมดูล SPI
SS1	อินพุต	อินพุต Slave select เมื่อ โมดูล SPI ทำงานในโหมด Slave
SCL	อินพุต/เอาต์พุต	ขาสัญญาณนาฬิกาอนุกรมของ โมดูลระบบบัส I ² C
SDA	อินพุต/เอาต์พุต	ขาข้อมูลอนุกรมของ โมดูลระบบบัส I ² C
SOSCO	เอาต์พุต	เอาต์พุตสัญญาณนาฬิกา 32 KHz จากภายนอก
SOSCI	อินพุต	อินพุตสัญญาณนาฬิกา 32 KHz จากภายนอก และเป็นขมิตทริกเกอร์เมื่อทำงานในโหมด RC
T1CK,T2CK	อินพุต	อินพุตสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกของไทเมอร์ 1และ 2
UIRX, UIARX	อินพุต	ขาจับข้อมูลอนุกรมของส่วนสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART
UITX, UIRTX	เอาต์พุต	ขาส่งข้อมูลอนุกรมของส่วนสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART
Vref+	อินพุต	อินพุตแรงดันอ้างอิงขั้วบวก
Vref-	อินพุต	อินพุตแรงดันอ้างอิงขั้วลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงไดอะแกรมการทำงานและส่วนประกอบทั้งหมดของ dsPIC30F2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คุณสมบัติของซีพียู

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูแบบ RISC
- มี 84 คำสั่งมาตรฐาน รองรับรูปแบบการอ้างแอดเดรสได้อย่างอิสระ
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต
- มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash ความจุ 12 กิโลไบต์ สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง สามารถป้องกันการอ่านได้
- สามารถโปรแกรมหน่วยความจำโปรแกรมได้ด้วยตัวเอง โดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์
- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- มีหน่วยความจำข้อมูลอีพროม 1 กิโลไบต์ ที่สามารถลบและเขียนใหม่ได้
- มีหน่วยความจำข้อมูลแรม 512 ไบต์
- รีจิสเตอร์ W จัดในรูปของอะเรย์มีขนาด 12 บิต จำนวน 16 ตัว
- ความถี่สัญญาณพิกากจากภายนอก ตั้งแต่ย่าน ไฟตรงไปจนถึง 40 MHz
- ความถี่สัญญาณพิกากในกรณีใช้งานร่วมกับวงจรเฟสล็อกถูกภายใน ตั้งแต่ 4 MHz ถึง 10 MHz เลือกได้ 3 ระดับ คือ 4 ,8 หรือ 16 เท่า
- สามารถกำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองอินเทอร์รัปต์ได้ 8 ระดับ
- มีอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ 48 ตำแหน่ง
- มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
- มีเพาเวอร์-อนรีเซต , เพาเวอร์ – อัปไทเมอร์และออสซิลเลเตอร์สตาร์ท - อัปไทเมอร์
- มีวอลต์ด็อกไทมเมอร์แบบโปรแกรมได้
- มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรถูกกำหนดสัญญาณพิกาก หากผิดพลาดจะเข้าสู่โหมดสัญญาณพิกาก RC พลังงานต่ำทันที
- รองรับการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรม (ICSP : In-Circuit Serial Programming)
- สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้
- ย่านไฟเลี้ยง 2.5 – 5.5 V กระแสไฟฟ้า 2.6 - 44 mA ที่ไฟเลี้ยง +5V ขึ้นอยู่กับการกำหนดความเร็วในการทำงาน

2.2.3 คุณสมบัติด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

- มีแอกคิวมูเลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้เป็นอย่างดี
- มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและหารเลข 17 บิตในรูปของฮาร์ดแวร์ จึงทำให้สามารถทำการคูณและหารเลขได้รวดเร็ว
- ทำการคูณเลข 16 บิต ได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไชเคิล
- มีตัวเลื่อนข้อมูลบาร์เรล 40 Stage ช่วยให้การประมวลผลข้อมูลที่มีจำนวนบิตหลายๆ สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว
- มีวงจรมัลติเพล็กซ์ข้อมูล จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

2.2.4 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ

- สามารถจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25 mA ทั้งแบบกระแสซิงค์และซอร์ส
- ไทมเมอร์ / เคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิต ไม่น้อยกว่า 3 ตัว ต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทเมอร์ 32 บิตได้
- มีโมดูลตรวจจับสัญญาณดิจิทัลขนาด 16 บิต 4 ชุด
- มีโมดูลเปรียบเทียบสัญญาณข้อมูลและกำเนิดสัญญาณ PWM ความละเอียด 16 บิต 2 ชุด (ในการเปรียบเทียบสามารถเลือกการทำงานได้ 2 โหมด)
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมแบบ SPI
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านระบบบัส I²C ทั้งแบบ 7 และ 10 บิต กำหนดเป็นมาสเตอร์หรือสเลฟได้
- มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO
- มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ 6 ช่อง
 - เลือกรูปแบบเอาต์พุตได้ทั้งแบบคอมพลิเมนต์และแบบอิสระ
 - มีโหมดปรับตำแหน่งการหมุนทั้งแบบปรับขอบสัญญาณและแบบกึ่งกลาง
 - มีส่วนกำหนดควิต์ไชเคิล 4 ชุด
 - กำหนดฐานเวลาได้ 4 โหมด
 - สามารถเลือกขั้วของสัญญาณทางเอาต์พุตได้
 - มีสัญญาณกระตุ้นเพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์
 - สามารถควบคุมสัญญาณเอาต์พุตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ความละเอียด 10 บิต 6 ช่อง
 - อัตราการสุ่มและแปลงสัญญาณ 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที
 - สามารถแปลงสัญญาณเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในโหมดสแตนด์บายและไอเดิลได้
- มีโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์
 - มีอินพุต Phase A , Phase B และรับสัญญาณพัลส์เพื่อกำหนดตำแหน่ง
 - มีตัวนับตำแหน่งขนาด 16 บิต นับได้ทั้งขึ้นและลง
 - แสดงสถานะของทิศทางการนับได้
 - กำหนดโหมดของการวัดตำแหน่งได้ 2 โหมดคือ x2 และ x4
 - มีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบดิจิทัลจากอินพุตแบบโปรแกรมได้
 - สำหรับกำหนดให้ทำงานเป็น ไทมเมอร์ / เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตได้
 - กำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากตำแหน่ง overflow หรือ underflow

2.2.5 สถาปัตยกรรมโดยสรุปของ dsPIC30F2010

2.2.5.1 หน่วยประมวลผลกลาง

หน่วยประมวลผลของ dsPIC30F2010 ใช้คำสั่งที่มีความยาว 1 เวิร์ด ขนาด 24 บิต โดยมีโปรแกรมเคาน์เตอร์ขนาด 23 บิต เพื่อแจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมที่เข้าไปประมวลผล dsPIC30F2010 มีความจุของหน่วยความจำโปรแกรม 12 กิโลไบต์ เมื่อคำสั่งมีความยาว 24 บิต จึงบรรจุคำสั่งได้จริง 4 กิโลเวิร์ด

รีจิสเตอร์หลักที่ใช้ในการทำงานคือ รีจิสเตอร์ W (Working register) สำหรับใน dsPIC จะแตกต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC อย่างมาก โดยรีจิสเตอร์ W ได้รับการจัดโครงสร้างเป็นอะเรย์ขนาด 16 บิต จึงทำให้สามารถรองรับทั้งข้อมูล ค่าแอดเดรส หรือค่าของรีจิสเตอร์ใด ๆ ที่ต้องนำมาประมวลผลรีจิสเตอร์ W15 จะใช้ทำงานร่วมกันตัวชี้สแต็กในการทำงานของโปรแกรมย่อยและบริการอินเตอร์รัปต์

ด้านการตอบสนองอินเตอร์รัปต์นั้น dsPIC30F2010 มีการจัดสรรพื้นที่เก็บค่าอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ไว้มากถึง 54 ตำแหน่ง และยังสามารถกำหนดระดับความสำคัญได้อีก 8 ระดับด้วย

2.2.5.2 หน่วยความจำ

dsPIC30F2010 มีหน่วยความจำโปรแกรม 4 กิโลเวิร์ด แอดเดรสอยู่ในช่วง 0x000100 ถึง 0x001FFE สามารถโปรแกรมหรือเขียนข้อมูลลงไปได้ 2 วิธีคือ

(1) โดยใช้การโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรมหรือ ICSP ผ่านทางขาเข้า PGD และ PGC (ขาที่ 17 และ 18) แล้วป้อนสัญญาณพัลส์แรงดันสูงสำหรับโปรแกรมผ่านเข้ามาทาง ขอ MCLR

(2) โปรแกรมตัวเองในขณะที่ทำงานหรือ RTSP (Run Time Self-Programming)

ส่วนหน่วยความจำข้อมูลแรมนั้น dsPIC30F2010 ได้จัดสรรเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลแรม X และ Y แต่ละส่วนมีขนาด 16 บิต ความจุ 256 ไบต์รวมเป็น 512 ไบต์ โดยในแต่ละส่วนมีตัวกำหนดแอดเดรสแยกออกจากกัน เรียกว่า AGU (Address Generation Unit)

ในขณะที่หน่วยความจำข้อมูลอีพรอม dsPIC30F2010 จัดสรรไว้ที่แอดเดรส 0xFFC00 ถึง 0x7FFFFE มีความจุ 1 กิโลไบต์

2.2.5.3 ส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP Engine)

นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งของ dsPIC เนื่องจาก dsPIC ได้รับการออกแบบมาให้ทำงานในด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นหลัก ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มความสามารถในหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกอย่างมาก โดยในส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัลมีหน่วยจัดการคูณเลขขนาด 17 x17 บิตความเร็วสูง , หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิกหรือ ALU ขนาด 40 บิต , แอควิวมูเลเตอร์ขนาด 40 บิต อีก 2 ตัว และตัวเลื่อนข้อมูล 2 ทิศทางแบบบารีล ขนาด 40 บิต จึงทำให้สามารถจัดการข้อมูลขนาด 16 บิต ได้เสร็จสิ้นภายในสัญญาณนาฬิกาเพียงไซเคิลเดียว

2.2.5.4 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต

dsPIC30F2010 มีพอร์ตให้ใช้งานมากถึง 5 พอร์ต รวม 20 ขาดังนี้

PORT B มี 6 ขา คือ RB0-RB5 โดยทุกขาสามารถกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุตหรือเอาต์พุตได้ และยังสามารถขับกระแสทั้งแบบซิงก์และซอร์สได้สูงถึง 25 mA

PORT C มี 3 ขา คือ RC13-RC15

PORT D มี 2 ขา คือ RD0 ,RD1

PORT E มี 7 ขา คือ RE0-RE5 และ RE8

PORT F มี 2 ขา คือ RF2,RF3

2.2.6 อินเทอร์รัปต์

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ได้รับการเพิ่มเติมความสามารถด้านการจัดการและตอบสนองอินเทอร์รัปต์อย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์และอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ทำให้ข้อมูลจำกัดด้านอินเทอร์รัปต์ที่เคยมีใน PIC หดหายไป อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์มากมาย แต่ด้วยการจัดการของโมดูลควบคุมอินเทอร์รัปต์สามารถทำให้การจัดการเกี่ยวกับการเลือกใช้และการตอบสนองอินเทอร์รัปต์ (Interrupt controller module) สามารถทำได้อย่างเป็นระบบและไม่ซับซ้อนเกินไป คุณสมบัติเด่น ๆ ของ dsPIC30F2010 มีดังนี้

- กำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองอินเทอร์รัปต์ได้ 8 ระดับ
- มีแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์ 44 แหล่ง
- รองรับการขัดจังหวะ โปรเซสเซอร์หรือโปรเซสเซอร์แทร็ป (processor trap) หรืออาจเรียกง่าย ๆ ว่า การอินเทอร์รัปต์จากซีพียู ได้ 4 แบบ
- มีอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ 44 ตำแหน่ง รวมกับอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์อื่นเนื่องมาจากการทำงานของซีพียูหรือซีพียูแทร็ปเวกเตอร์อีก 4 ตำแหน่ง เป็น 48 ตำแหน่ง โดยได้รับการจัดสรรในรูปแบบของตารางเรียกว่า ตารางอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ (Interrupt Vector Table : IVT)
- มีตารางอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์เสริม (Alternate Interrupt Vector Table : AIVT) เพื่อรองรับการดีบั๊ก

2.2.7 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์

2.2.7.1 คุณสมบัติของไทเมอร์

ใน dsPIC30F2010 มีไทเมอร์ /เคาน์เตอร์ ขนาด 16 บิตให้ใช้งานรวม 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 1 (T1) , ไทเมอร์ 2 (T2), ไทเมอร์ 3 (T3)

(1) คุณสมบัติของไทเมอร์ 1

- รีจิสเตอร์ตัวนับความละเอียด 16 บิต
- ทำงานได้ทั้งแบบซิงโครนัสและอะซิงโครนัสเคาน์เตอร์
- ทำงานร่วมกับขาอินพุตประจำตัวของไทเมอร์ได้
- มีปริสเกลเลอร์สำหรับหารความถี่การนับ
- สามารถกำหนดการอินเทอร์รัปต์จากกการนับหรือจากการตรวจพบสัญญาณขอบขาลงที่อินพุตของไทเมอร์

(2) คุณสมบัติของไทเมอร์ 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไทเมอร์ 2 และ 3 เมื่อทำงานแยกอิสระต่อกัน มีคุณสมบัติคล้ายกับไทเมอร์ 1
- เมื่อนำไทเมอร์ 2 และ 3 มาทำงานร่วมกัน รีจิสเตอร์ตัวนับมีความละเอียดเป็น 32 บิต
- ทำงานร่วมกับอินพุตประจำตัวไทเมอร์ได้ (ขา TxCK1)
- มีปริสเกลเลอร์สำหรับหารความถี่การนับ
- สามารถกำหนดการอินเทอร์รัปต์จากการนับหรือจากการตรวจพบสัญญาณขอบขาตั้งที่อินพุตของไทเมอร์

- สามารถกำเนิดสัญญาณกระตุ้นการทำงานไปยัง โมดูล ADC ได้

2.2.7.2 การทำงานของไทเมอร์ตามลักษณะของฐานเวลา มีทั้งสิ้น 3 แบบ

(1) ไทเมอร์ที่ทำงานด้วยฐานเวลาแบบ A

- เป็นการทำงานในแบบมาตรฐานของ dsPIC โดยไทเมอร์ที่ทำงานในแบบนี้คือ ไทเมอร์ 1 ซึ่งมีคุณสมบัติเพิ่มเติมดังนี้
- กำหนดให้ทำงานกับแหล่งจ่ายสัญญาณนาฬิกากำลังงานต่ำกว่า 32 kHz จากภายนอกได้
- กำหนดทำงานในแบบอะซิงโครนัสโดยรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกได้ ดังนั้น ไทเมอร์ 1 จึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้สร้างฐานเวลานาฬิกาจริง

(2) ไทเมอร์ที่ทำงานด้วยฐานเวลาแบบ B

- ไทเมอร์ที่สามารถทำงานในลักษณะนี้ได้มี 2 ตัว คือ ไทเมอร์ 2 และ 4 (4 ไม่มีใน dsPIC30F2010) ซึ่งมีคุณสมบัติเพิ่มเติมดังนี้
- สามารถต่อกับไทเมอร์ฐานเวลาแบบ C เพื่อใช้งานเป็นไทเมอร์ขนาด 32 บิตได้ โดยการกำหนดสถานะที่บิต T32 ในรีจิสเตอร์ TxCON เมื่อทำงานด้วยฐานเวลาแบบ B ให้ลอจิกเป็น “1”

- มีวงจรกำหนดจังหวะของสัญญาณนาฬิกาให้สัมพันธ์กัน (ซิงโครไนซ์) หลังจากผ่านการปรับอัตราลดทอนความถี่ด้วยปริสเกลเลอร์แล้ว

(3) ไทเมอร์ที่ทำงานด้วยฐานเวลาแบบ C

- ไทเมอร์ที่สามารถทำงานในลักษณะนี้ได้มี 2 ตัว คือ ไทเมอร์ 3 และ 5 (5 ไม่มีใน dsPIC30F2010) ซึ่งมีคุณสมบัติเพิ่มเติมดังนี้
- สามารถต่อกับไทเมอร์ฐานเวลาแบบ B เพื่อใช้งานเป็นไทเมอร์ขนาด 32 บิตได้ โดยการกำหนดสถานะที่บิต T32 ในรีจิสเตอร์ TxCON เมื่อทำงานด้วยฐานเวลาแบบ B ให้ลอจิกเป็น “1”

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- สามารถสร้างสัญญาณกระตุ้นการทำงาน โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ได้ ทำให้ไทเมอร์และโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลทำงานสัมพันธ์กัน

2.2.8 โมดูลฟังก์ชันพิเศษ

dsPIC30F2010 ได้รวมเอาโมดูลสำหรับทำงานเฉพาะทางไว้อย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลความละเอียด 10 บิต , โมดูลเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมหรือ SPI , โมดูลสื่อสารข้อมูลบนระบบบัส I²C, โมดูลสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม หรือ UART, ไทเมอร์ขนาด 16 บิตถึง 3 ตัวและที่เป็นพิเศษอีก 2 โมดูล คือ โมดูลสร้างสัญญาณ PWM เพื่อการควบคุมมอเตอร์และโมดูลเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ โดยสามารถใช้งานร่วมกันเพื่อสร้างระบบควบคุมมอเตอร์แบบปิดประสิทธิภาพสูง

2.3 โมดูลฟังก์ชันพิเศษที่นำมาใช้ในโครงการ

2.3.1 โมดูล UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)

ใช้เพื่อการสื่อสารข้อมูลอนุกรมผ่านทางพอร์ตอนุกรม

2.3.1.1 .คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูล UART

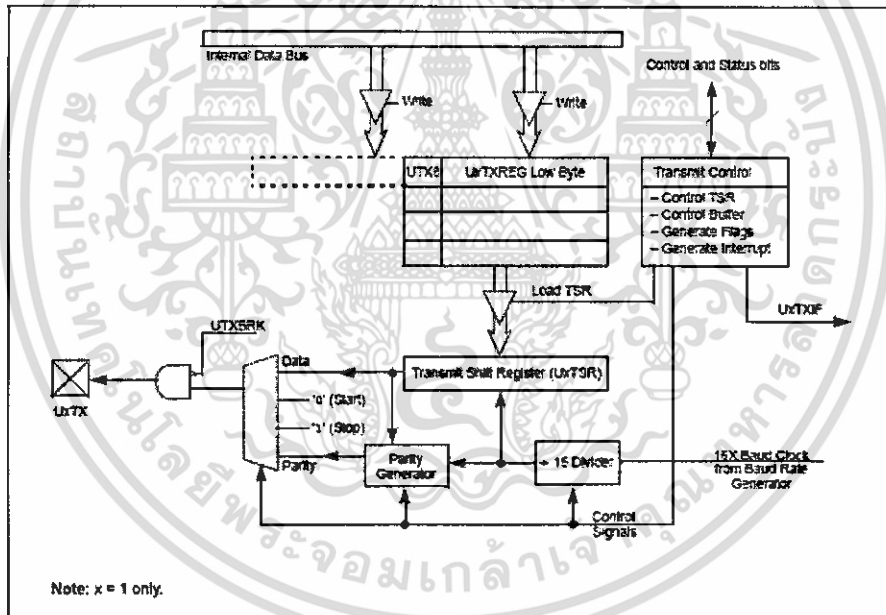
- สื่อสารข้อมูลแบบสองทิศทาง (Full-duplex) ในแบบ 8 และ 9 บิต
- เลือกการสื่อสารข้อมูลแบบตรวจสอบบิตพาริตีคู่ (Even) หรือคี่ (Odd) และไม่ตรวจสอบบิตพาริตี (None) สำหรับรูปแบบสื่อสารข้อมูลในแบบ 8 บิต มีบิตหยุด (Stop Bit) 1 หรือ 2 บิต
- มีส่วนกำเนิดอัตราบอด (Baud Rate Generator) ขนาด 16 บิต สำหรับกำหนดจังหวะและอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแยกอิสระเพื่อลดภาระการทำงานของโมดูลไทเมอร์
- กำเนิดอัตราบอดได้ตั้งแต่ 38 บิตต่อวินาที (bps) ถึง 1.875 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps)
- บัฟเฟอร์ข้อมูลขาส่ง (TX) และขารับ (RX) ขนาด 4 เวิร์ดแยกส่วนกัน
- มีบิตแฟล็กแจ้งข้อผิดพลาดในกรณีต่างๆ ของการสื่อสาร สามารถตรวจจับความผิดพลาดในการสื่อสารข้อมูลอนุกรม ได้แก่
 - ความผิดพลาดทางพาริตี
 - รับข้อมูลไม่ทัน
 - เฟรมข้อมูลผิดพลาด
- สนับสนุนความสามารถในการอินเตอร์รัปต์แอดเดรส (ข้อมูลบิต 9 เป็น “1”)
- อินเตอร์รัปต์เวกเตอร์แยกตำแหน่งกันระหว่างการส่งและการรับข้อมูล

- สามารถทำงานในโหมด Loopback

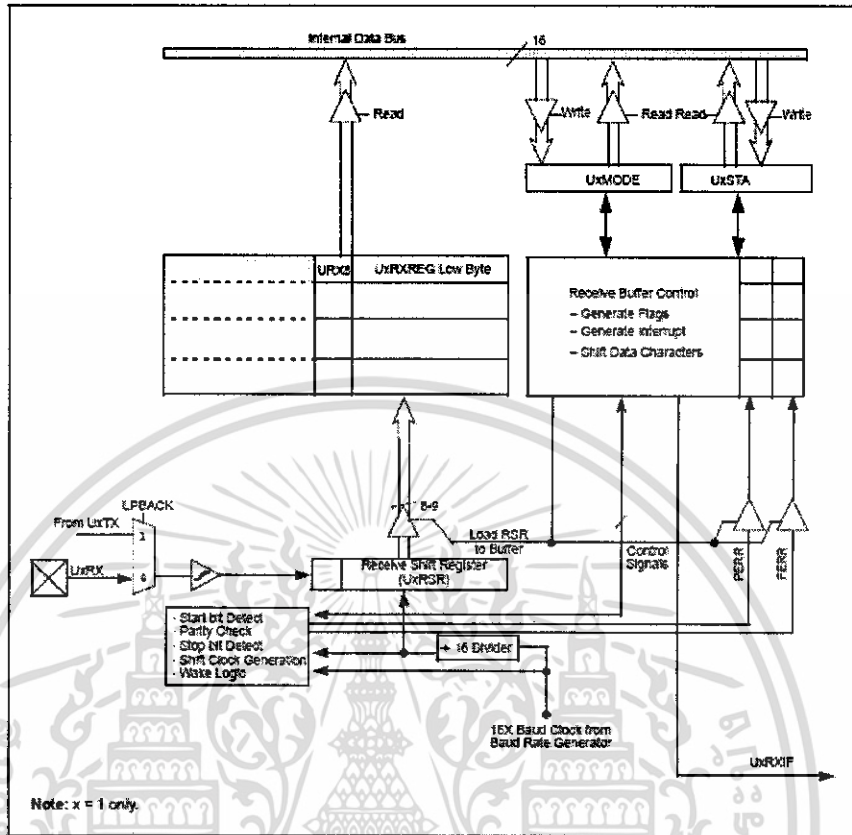
2.3.1.2 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในโหมด UART

มีทั้งสิ้น 5 ตัวคือ UxMODE , UxSTA , UxRXREG , UxTXREG , UxBRG

1. U1MODE (UART Mode Register) ใช้กำหนดโหมดการทำงานโหมด UART
2. U1STA (UARTS Status and Control Register) ใช้แสดงสถานะการทำงานของโหมด UART
3. U1RXREG (UARTX Receiver Register) ใช้เก็บข้อมูลที่รับเข้ามาทางขาเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม
4. U1TXREG (UARTX Receiver Register) ใช้เก็บข้อมูลสำหรับส่งออกทางขาเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม
5. U1BRG (UARTX Baud Rate) ใช้เก็บค่าสำหรับกำหนดอัตราบอด



รูป 2.11 แสดงไดอะแกรมการทำงานของตัวส่งข้อมูลในโหมด UART



รูป 2.12 แสดงไดอะแกรมการทำงานของตัวรับข้อมูลในโมดูล UART

2.3.1.3 การกำหนดให้โมดูล UART ทำงาน

โมดูล UART ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ใช้รูปแบบข้อมูลในมาตรฐาน NRZ นั่นคือ มีบิตเริ่มต้น 1 บิต , บิตข้อมูล 8 หรือ 9 บิต และบิตปิดท้าย 1 หรือ 2 บิต ส่วนบิตพาริตีสามารถเลือกได้แบบคู่ , คี่ หรือไม่มี โดยปกติแล้วจะเลือกใช้รูปแบบ 8N1 คือ มีบิตเริ่มต้น 1 บิต , บิตข้อมูล 8 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต สำหรับ dsPIC30F2010 สามารถกำหนดได้ที่บิต PDSEL1, PDSEL0 และ STSEL ซึ่งเป็นบิต 2, 1 และ 0 ในรีจิสเตอร์ UIMODE ส่วนการกำหนดอัตราบิตนั้นกระทำผ่านรีจิสเตอร์ UXBRG ขนาด 16 บิต

การรับส่งข้อมูลใน โมดูล UART นั้นจะรับและส่งข้อมูลบิต LSB หรือบิตน้อยสำคัญต่ำสุดก่อน โดยตัวรับและส่งข้อมูลในโมดูล UART ของ dsPIC จะทำงานเป็นอิสระแยกจากกัน โดยใช้อัตราบิต และรูปแบบข้อมูลที่เหมือนกัน จึงสามารถรับส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทางพร้อมกันตลอดเวลา

2.3.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณนาฬิกาของระบบกับอัตราบอด

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สัญญาณนาฬิกาของระบบกับอัตราบอดในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมนั้นสามารถแสดงในรูปสมการได้ดังนี้

$$\text{BoudRate} = \frac{Fcy}{16x(\text{BRG} + 1)}$$

และ

$$Fcy = \frac{Fosc}{4}$$

โดยที่ BRG คือ ค่าข้อมูลของรีจิสเตอร์ UxBRG

Fosc คือ ความถี่สัญญาณนาฬิกาหลัก

2.3.1.5 ขาพอร์ตเสริมของโมดูล UART (Alternate UART I/O Pins)

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ได้บรรจุขาพอร์ตสำหรับรับและส่งข้อมูลกับโมดูล UART เสริมเพิ่มเติมจากที่มีอยู่เดิมเป็นขา UxATX และ UxARX ทั้งนี้เพื่ออำนวยความสะดวกและเพิ่มช่องทางการใช้งานขาพอร์ตของ dsPIC ที่อาจพบข้อจำกัดด้านการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์หรือด้านการเขียนโปรแกรม โดยใน dsPIC30F2010 นั้นได้บรรจุความสามารถนี้ไว้ด้วยนั่นคือ ขาพอร์ต U1ATX และ U1ARX โดยเลือกใช้งานต้องทำการเซตบิต ALTIO ซึ่งเป็นบิต 10 ในรีจิสเตอร์ U1MODE เมื่อเลือกใช้งานขาพอร์ตเสริมนี้แล้ว ขาพอร์ตหลักจะกลายเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตสำหรับใช้ในงานอื่นแทน

2.3.2 โมดูลเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม SPI (Serial Peripheral Interface)

โดยจะช่วยอำนวยความสะดวกในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่ระบบการติดต่อ SPI เหมือนกัน เช่น ไอซีวัดอุณหภูมิ, ไอซีขับ LED ตัวเลข 7 ส่วนหลายๆ หลัก เป็นต้น

2.3.2.1 .ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโมดูล SPI

ในโมดูล SPI มีขาสำหรับต่อใช้งาน 4 ขาซึ่งใช้ร่วมกับขาพอร์ตปกติด้วยประกอบด้วย

SDIx (Serial Data Input) เป็นขารับข้อมูลอนุกรม

SDOx (Serial Data Output) เป็นขาส่งข้อมูลอนุกรม

SCKx (Serial Clock Input/Output) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาอนุกรม

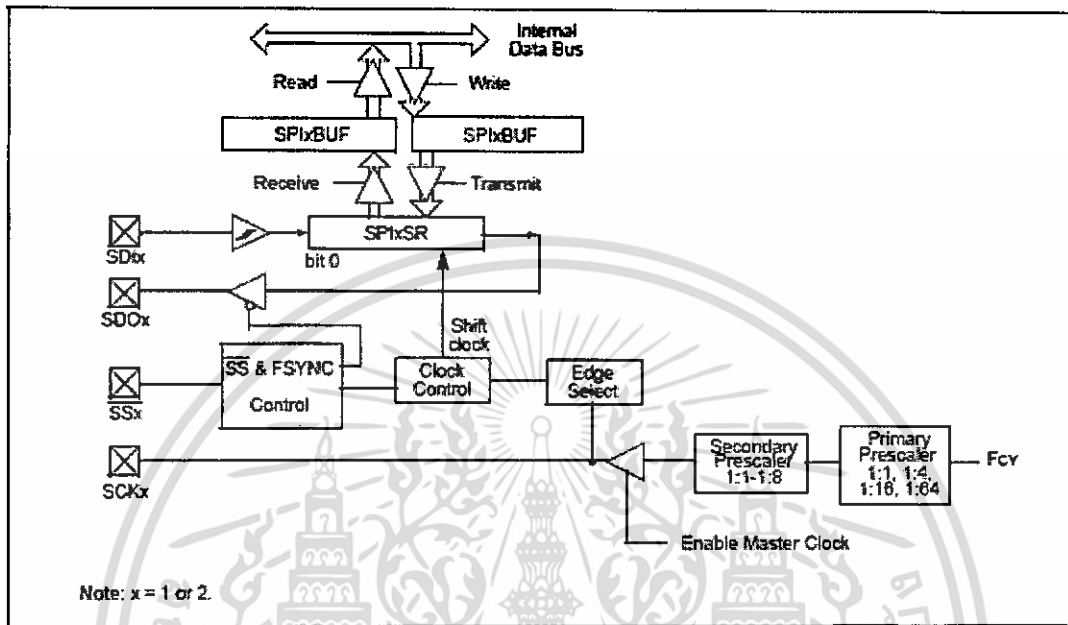
SSx (Slave select) เป็นขาเลือกอุปกรณ์สเลฟ ทำงานที่ “0” หรือใช้เป็นขา

รับส่งสัญญาณพัลส์สำหรับกำหนดจังหวะของเฟรมข้อมูลอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตามปกติแล้วจะใช้เพียง 3 ขาหลักคือ SDI, SDO, SCK ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดโหมดการทำงาน



รูป 2.13 แสดงโคอะแกรมการทำงานของโมดูล SPI

2.3.3 โมดูลเปรียบเทียบข้อมูล (Output Compare : OC)

โมดูลเปรียบเทียบข้อมูลใช้ในการประมวลผลและสร้างสัญญาณทางดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ใน dsPIC30F2010 ได้บรรจุโมดูล OC ไว้ 2 ชุด โดยมีการใช้งานขาพอร์ตเอาต์พุตร่วมกับโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุตหรือ IC จึงทำให้เมื่อใช้งานจำเป็นต้องเลือกการทำงานระหว่างโมดูล IC และ OC เพราะทำงานพร้อมกันไม่ได้ แต่เนื่องจากใน dsPIC30F2010 มีให้ 2 ชุด การแยกใช้งานจึงเป็นทางออกของข้อจำกัดนี้

การทำงานหลักๆ คือ เปรียบเทียบข้อมูลที่ค่าของฐานเวลาหนึ่ง ๆ กับข้อมูลในรีจิสเตอร์ หากเท่ากันเมื่อใดก็จะกำเนิดสัญญาณพัลส์เดี่ยวหรือขบวนสัญญาณพัลส์ออกมาทางเอาต์พุต ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดโหมดทำงาน ดังนั้นจึงมักนำโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลมาใช้ในการกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการนำมาใช้สร้างสัญญาณพัลส์ PWM (Pulse Width Modulate)

2.3.3.1 คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูลเปรียบเทียบ

- สามารถกำเนิดสัญญาณ PWM
- ใช้ไทเมอร์ 2 หรือ 3 ร่วมในการทำงาน

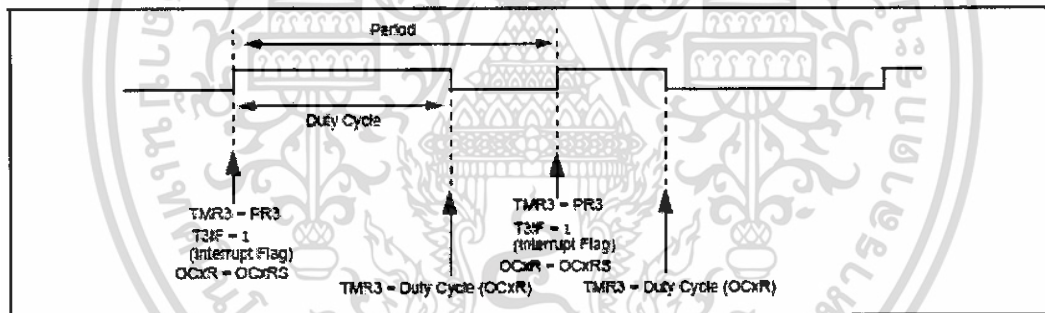
- สามารถกำหนดเงื่อนไขเมื่อถึงคาบเวลานับ (MATCH)
- อินเทอร์รัปต์เนื่องจากถึงคาบเวลานับ
- มีอินพุตป้องกันความผิดพลาดในการสร้างสัญญาณ PWM (Input Pin Fault Protection for PWM ขา OCFA และ OCFB)

Protection for PWM ขา OCFA และ OCFB)

2.3.3.2 โหมดการทำงานของโมดูลเปรียบเทียบ

มี 3 โหมดหลักดังนี้

- (1) โหมดเปรียบเทียบข้อมูลตรงกันแบบเดี่ยว (Single Compare Match Mode)
- (2) โหมดเปรียบเทียบข้อมูลตรงกันแบบคู่เพื่อสร้างสัญญาณ (Dual Compare Match Mode generating) ซึ่งให้ผลลัพธ์เป็นสัญญาณพัลส์เดี่ยวหรือพัลส์ต่อเนื่อง
- (3) โหมดสร้างสัญญาณ PWM ซึ่งยังแบ่งได้อีก 2 ลักษณะการทำงาน คือ
 - แบบมีการตรวจสอบและป้องกันความผิดพลาดผ่านทางขา OCFA และ OCFB
 - แบบไม่มีการตรวจสอบและป้องกันความผิดพลาดผ่านทางขา OCFA และ OCFB



รูป 2.14 คาบเวลาของเอาต์พุต PWM

2.3.3.3 การคำนวณเกี่ยวกับคาบเวลาของสัญญาณ PWM (T_{pwm})

สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$T_{pwm} = [(PRx) + 1] \times 4 \times T_{osc} \times (TMRx \times presclae.value)$$

โดยที่ x = 2 หรือ 3 ขึ้นอยู่กับการเลือกไทเมอร์มาใช้งาน

PRx คือ รีจิสเตอร์เก็บค่าการนับของไทเมอร์ที่ถูกเลือก

Tosc คือ คาบเวลาของระบบ (1/Fosc)

TMRx prescale value คือ ค่าปริสเกลเลอร์ของไทเมอร์ที่ถูกเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADC)

2.3.4.1 คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูล ADC

- เป็นโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง
- ใช้วิธีการแปลงสัญญาณแบบประมาณค่าหรือชั๊กเซสซีฟ แอ็ปพร็อกซิเมชัน

(Successive Approximation)

- มีอัตราเร็วในการสุ่มสัญญาณสูงสุด 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที (ksps) หรือ 500,000 จุดตัวอย่างต่อวินาที

- สามารถกำหนดให้ทำงานได้ขณะเข้าสู่โหมดสลีป (sleep mode)

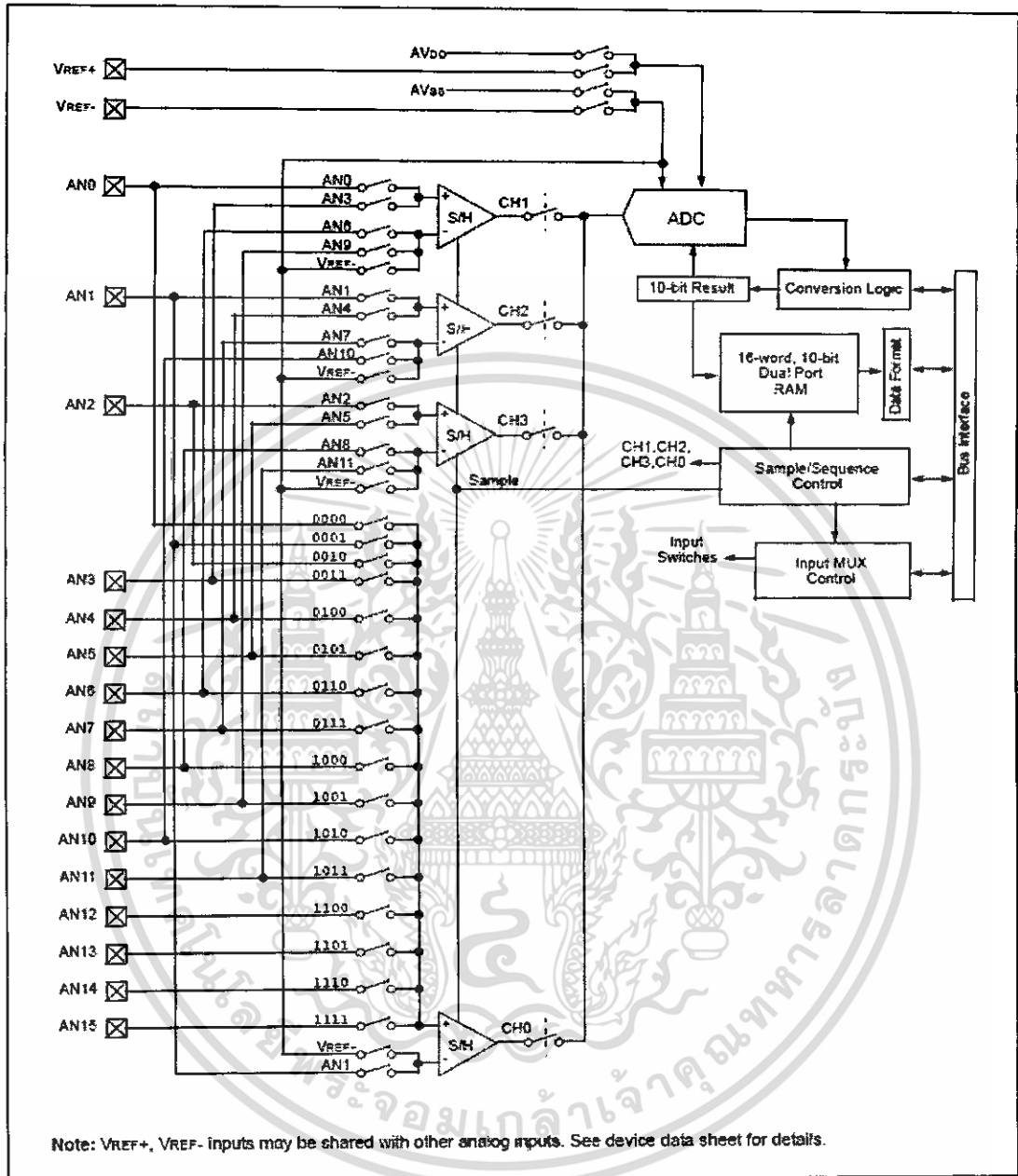
- สามารถกำหนดระดับแรงดันอ้างอิงได้ทั้งจากภายในผ่านทางขา V_{DD} กับ V_{SS} และภายนอกผ่านทางขา V_{REF+} และ V_{REF-}

2.3.4.2 การทำงานเบื้องต้นของโมดูล ADC

จากรูปที่ 2.15 เป็นไดอะแกรมการทำงานของโมดูล ADC ใน dsPIC30F2010 ซึ่งมีขาพอร์ตอินพุตอนาล็อกทั้งสิ้น 6 ขาคือ AN0-AN5 โดยมี 2 ขาที่สามารถใช้รับแรงดันอ้างอิงเพื่อขยายย่านของแรงดันอินพุตภายใน โมดูลมีวงจรสุ่มและเก็บค่าสัญญาณ (Sample and Hold : S/H) จำนวน 4 ชุด โดยทำงานร่วมกับส่วนควบคุมการมัลติเพล็กซ์สัญญาณอินพุตทำให้สามารถจัดสรรวงจร S/H ให้สามารถรองรับกับสัญญาณอินพุตอนาล็อกทั้ง 6 ช่องได้ด้วยความเร็วสูงสุด

สัญญาณที่ผ่านจากวงจร S&H จะถูกป้อนเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบชั๊กเซสซีฟ แอ็ปพร็อกซิเมชัน ขนาด 10 บิต ข้อมูลที่ได้จากการแปลงถูกพักไว้ในหน่วยความจำแรมจากนั้นจะได้รับการจัดรูปแบบตามที่ผู้พัฒนาโปรแกรมกำหนด จากนั้นข้อมูลจะถูกถ่ายถอดลงบนบัสข้อมูลเพื่อส่งไปยังซีพียูต่อไป

อีกองค์ประกอบหนึ่งที่ทำให้โมดูล ADC สามารถแปลงสัญญาณได้รวดเร็วคือภายในโมดูล ADC มีบัฟเฟอร์ความจุ 16 เวิร์ด นั่นคือ สามารถรองรับข้อมูลที่ได้จากการแปลงสูงสุด 16 ชุดข้อมูล ดังนั้นเมื่อแปลงสัญญาณครั้งหนึ่งก็นำมาเก็บไว้ที่บัฟเฟอร์ยังไม่เต็มก็สามารถกลับไปแปลงสัญญาณต่อได้ทันที โดยไม่ต้องรอให้การถ่ายถอดข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าการแปลงเสร็จสิ้น

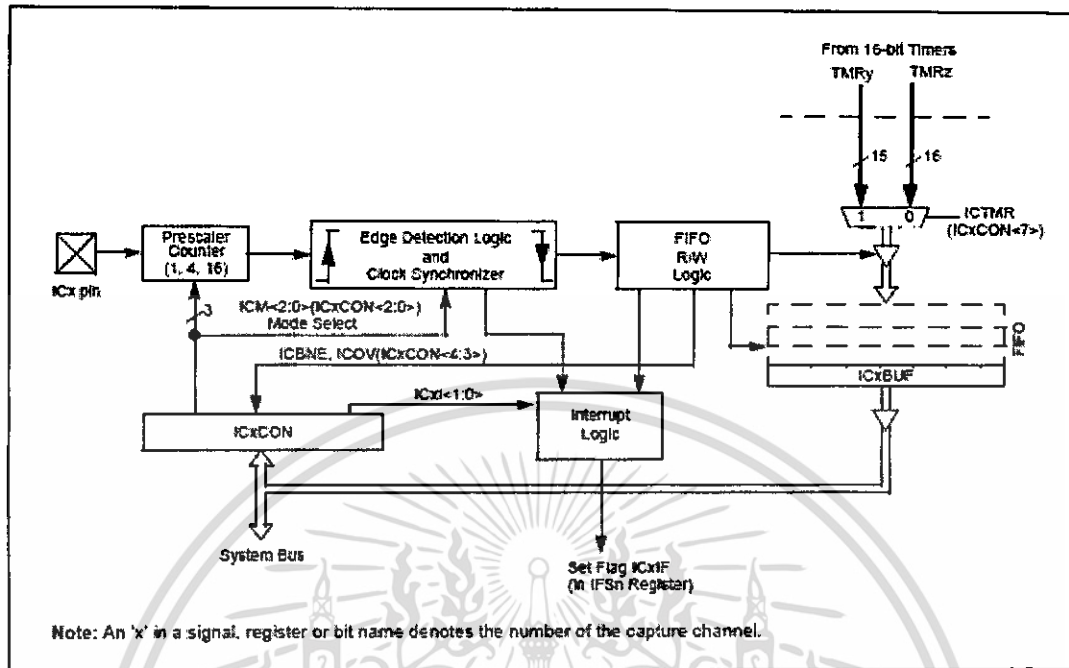


รูปที่ 2.15 แสดงโคะแกรมการทำงานของ โมดูล ADC

2.3.5 โมดูลตรวจจับสัญญาณ (Input Capture : IC)

ใน dsPIC30F2010 ได้บรรจุโมดูลตรวจจับสัญญาณนี้ไว้ 4 โมดูล คือ IC1, IC2, IC7 และ IC8 โดยข้อมูลที่ตรวจจับได้นั้นจะมีขนาด 16 บิต ส่วนไทเมอร์ที่ทำงานเกี่ยวข้องด้วยคือ ไทเมอร์ 2 และ 3 ซึ่งต้องเลือกตัวใดตัวหนึ่งในการทำงาน ในรูปที่ 2.16 แสดงโคะแกรมการทำงานของโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุตหรือ IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงไคอะแกรมการทำงานของโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุต (Input Capture)

2.3.5.1 คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูลตรวจจับสัญญาณ (IC Module)

- มีความละเอียดในการตรวจจับสัญญาณ 16 บิต
- สามารถกำหนดการเชื่อมโยงการทำงานร่วมกับไทมเมอร์ 2 และ 3
- ในแต่ละ โมดูลมีบัฟเฟอร์แบบ FIFO ขนาด 4 เวิร์ด พร้อมคุณสมบัติในการแจ้งข้อผิดพลาดในการตรวจจับสัญญาณ ได้แก่ บัฟเฟอร์ไม่ว่าง (Input Capture Buffer Not Empty) และค่าในการตรวจจับสัญญาณเกินหรือเกิดโอเวอร์โฟลว (Capture Overflow)
- สามารถกำหนดรูปแบบการตรวจจับสัญญาณได้หลากหลายรูปแบบดังนี้
 - ตรวจจับเมื่อพบสัญญาณขอบขาลง
 - ตรวจจับเมื่อพบสัญญาณขอบขาขึ้น
 - ตรวจจับเมื่อพบสัญญาณขอบขาขึ้นลำดับที่ 4
 - ตรวจจับเมื่อพบสัญญาณขอบขาขึ้นลำดับที่ 16
 - ตรวจจับเมื่อพบสัญญาณทั้งขอบขาขึ้นและขาลง
- สามารถกำเนิดการอินเตอร์รัปต์เมื่อตรวจพบสัญญาณตามเงื่อนไขที่กำหนด
- มีปริสเกลเลอร์สำหรับหารความถี่และลดทอนอัตราकरणนับ

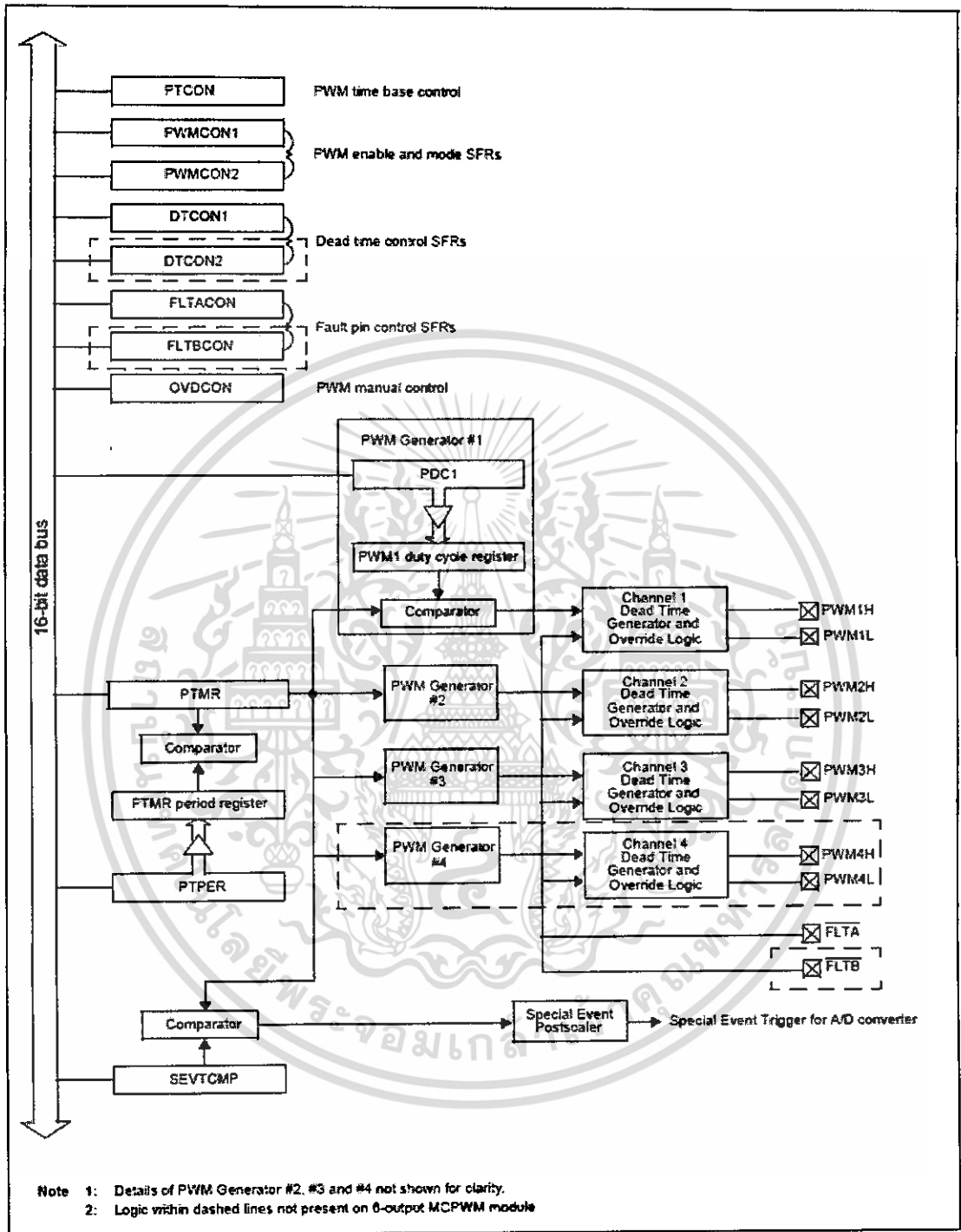
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 โมดูลสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมมอเตอร์ (Motor Control PWM: MCPWM)

ใน dsPIC30F2010 ได้บรรจุโมดูล MCPWM ไว้ 6 ช่อง จึงสามารถขับมอเตอร์แบบเฟสเดี่ยวได้ 3 ตัว และมอเตอร์ 3 เฟส ได้ 1 ตัว คำนึงถึงเหมาะอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้ควบคุมอินดักชันและในระบบเครื่องสำรองไฟฉุกเฉินหรือ UPS (Un-interrupted Power Supply)

2.3.6.1 คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูล MCPWM

- ความละเอียดของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นเท่ากับ $\frac{T_{CY}}{2}$
- ในโมดูล MCPWM 1 ชุด มี 2 เอาท์พุท ใน dsPIC30F2010 มีโมดูล 3 ชุด จึงมีทั้งสิ้น 6 ช่อง
- สามารถใช้งานเอาท์พุทของ โมดูล MCPWM แยกกันอย่างอิสระและร่วมกัน
- เมื่อทำงานในแบบร่วมกันหรือคอมพลิเมนต์าริสามารถกำหนดค่าเวลาวิกฤต (dead time) เพื่อช่วยให้การขับมอเตอร์ 3 เฟสเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
- สามารถเลือกโหมดเอาท์พุทได้ 4 โหมด
 - โหมดปรับขอบสัญญาณ (Edge aligned mode)
 - โหมดสัญญาณเดี่ยว (Single event mode)
 - โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลาง (Center aligned mode)
 - โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลางพร้อมปรับปรุ่ค่า (Center aligned mode with double updates)
- มีอินพุทสำหรับตรวจจับความผิดพลาดในการทำงาน (FAULT) แบบโปรแกรมได้
- สามารถสร้างสัญญาณกระตุ้นส่งไปยังโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลเพื่อกำหนดจังหวะการทำงานให้สัมพันธ์กัน



รูปที่ 2.17 แสดงไดอะแกรมการทำงานของโมดูล MCPWM

2.4 เซ็นเซอร์ (Sensor)

เซ็นเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับการเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณอนาล็อก(analog) ไปสู่รูปแบบสัญญาณดิจิทัล(digital) สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเกี่ยวกับวิธีการเปลี่ยนแปลงนั้นคือ การเปลี่ยนให้อยู่ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบสัญญาณดิจิทัลโดยตรง หรือ รูปแบบกลางก่อนที่จะเปลี่ยนไปสู่รูปแบบสัญญาณอนาล็อก การเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลโดยตรงเป็นวิธีที่นิยมใช้ เพราะสามารถลดความผิดพลาดในการใช้สัญญาณอนาล็อก แต่การเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบกลางก่อนจะทำ 2 แบบคือ รูปแบบแรงดันทางไฟฟ้าและรูปแบบเวลา รูปแบบการเปลี่ยนทางระดับไฟฟ้าสามารถวัดผลได้ถูกต้องในช่วง ที่จำกัดค่าหนึ่ง รูปแบบเวลาจะใช้วัดค่าที่ได้้อย่างถูกต้องและความละเอียดตามที่เราต้องการ ซึ่งคุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงมีดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลโดยตรง
2. การเปลี่ยนแปลงเวลาหรือความถี่ของสัญญาณ
3. การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า กระแส และการทำให้ไปสู่ระบบดิจิทัล(digitize)

2.4.1 เซ็นเซอร์ชนิด Micro-Electro-Mechanical Systems

MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) มักถูกเรียกว่า "เครื่องกลจิ๋ว" ซึ่งมักถูกนำมาผลิตเซ็นเซอร์มีคุณสมบัติดีกว่าเซ็นเซอร์รุ่นเก่า ที่ให้ความแม่นยำ และมีการใช้งานได้หลายหลากกว่า โดยสามารถทำงานประสานได้สอดคล้องกับวงจรไฟฟ้าที่ถูกย่อส่วนเล็กลง เช่นเดียวกับ ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีวงจรรวม (IC)

เทคโนโลยีเมมส์ นั้นเป็นชุดอุปกรณ์ขนาดเล็กที่รวมระบบกลไกเข้ากับวงจรรวมทางอิเล็กทรอนิกส์ เมมส์ยุคแรกจะเป็นเซ็นเซอร์ที่ไม่เคลื่อนไหว ต่อมาเริ่มมีการเคลื่อนไหวบ้างเล็กน้อยอย่าง เซ็นเซอร์วัดแรงดัน (Pressure Sensor) ในยุคแรก แต่ไม่ได้เคลื่อนไหวเหมือนกับเฟืองเกียร์ ขณะที่เมมส์ในยุคหลังๆ จะมีการขยับของแขนหรือเฟืองถ้าเป็นเกียร์ก็มีเพลลาที่หมุนได้

โดยภาพรวมแล้ว เมมส์มักนิยมใช้เป็นเซ็นเซอร์ขนาดเล็ก(Mini Sensor) อย่างเช่น เซ็นเซอร์วัดแรงกระทำในอุดมนิรภัย ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตชุดอุดมนิรภัยมีราคาถูกลงกว่าการใช้เซ็นเซอร์สมัยก่อนมาก หรือพวกเซ็นเซอร์วัดแรงดัน เซ็นเซอร์วัดกำลังแม่เหล็ก เซ็นเซอร์ตรวจจับสารเคมี แต่เมมส์ยังถูกนำมาใช้งานด้านอื่นๆ ด้วย เช่น ใช้เป็นวาล์วขนาดเล็ก กระจกสะท้อนจิ๋ว ปัมป์ขนาดเล็ก ชุดวิเคราะห์สารเคมี เป็นต้น

หากเปรียบเทียบแล้ว ส่วนของวงจรรวมหรือ IC เปรียบเสมือน "สมอง" ของระบบ ขณะที่เมมส์เปรียบเสมือนกับ "อวัยวะ" ที่มีความสามารถในการมองเห็น และขยับแขนขา เพื่อช่วยให้ระบบสามารถตัดสินใจ ในการดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยตัวไมโครเซ็นเซอร์จะทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลจากสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยอาศัยการวัดระยะจากการขยับตัวของกลไก จากความร้อน จากสารชีวภาพ และสารเคมี จากแสง และคลื่นแม่เหล็ก

ในอุตสาหกรรมไอทีเอง ปัจจุบันเริ่มนำเอาเทคโนโลยีเมมส์มาใช้เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ ยกตัวอย่าง ฮาร์ดดิสก์รุ่นล่าสุดที่มีขนาดเล็กมาก แผ่นแม่เหล็กจะถูกนำมาจัดเรียงตัวกันชิดมากจนหัวอ่านธรรมดาที่ใช้ระบบเซอร์โวไม่สามารถขยับไปยังตำแหน่งที่ต้องการอ่านได้ละเอียดขนาดนั้น จึงมีการนำเอาไมโครเซอร์โวมาใช้งาน หรือพวกอุปกรณ์อย่างเครื่องพิมพ์หมึกพ่น หรืออิงค์เจ็ต ที่มีความสามารถพ่นหมึกในขนาดเล็กมากๆ จะมีฮีตเตอร์สำหรับคัดหมึกก่อนที่จะพ่นออกมาจากเครื่องพิมพ์ ตัวอย่างการนำไปใช้งานของเซ็นเซอร์เมมส์ ได้แก่

Pressure sensor เป็นกลุ่มแรกที่มีการผลิตในเชิงพาณิชย์ มีการนำไปอย่างแพร่หลายมาก เช่น การวัดความดันโลหิตโดยตรง เป็นเซ็นเซอร์ในเส้นเลือด หรือการวัดความดันลมยางรถยนต์

Flow sensor เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดการไหลของแก๊ส หรือของเหลว ตัวอย่างการนำไปใช้งาน ได้แก่ ใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมการให้ยาทางเส้นเลือดแก่ผู้ป่วย ซึ่งสามารถจำกัดปริมาณของยาตามที่ผู้ป่วยจำเป็น ต้องใช้เพื่อรักษาโรคเท่านั้น นอกจากนี้จะช่วยลดค่ายาแล้ว ยังช่วยให้ผู้ป่วยไม่ต้องรับยาเกินขนาดด้วย

Accelerometers เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดอัตราเร่ง มักนำไปใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์เป็นหลัก ในรถยนต์หนึ่งคันจะใช้เซ็นเซอร์วัดอัตราเร่งอยู่ในระบบต่างๆ อาทิ ถุงลมนิรภัย เซ็นเซอร์ดังกล่าวจะวัดว่ามีการหยุดอย่างกะทันหันเกินกว่าในระดับที่ปลอดภัยหรือไม่ ในระบบสันสะเทือนจะใช้เซ็นเซอร์วัดอัตราเร่งวัดค่าความสะเทือน และในระบบนำทางก็จะมีเซ็นเซอร์ชนิดนี้อยู่เช่นกัน

เมมส์อีกชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในกลุ่มของแอคทูเอเตอร์คือ ไมโครมิลเลอร์ มีลักษณะเป็นกระจกสะท้อนแสงขนาดเล็ก ส่วนใหญ่ทำจากอะลูมิเนียมกระจกเหล่านี้จะถูกบังคับให้หันในทิศทางที่ต้องการได้ด้วยแรงจากไฟฟ้าสถิต ในเชิงพาณิชย์ บริษัทเท็กซัส อินสทรูเมนต์ ได้ผลิตไมโครมิลเลอร์ หรือกระจกจีวปีละ 1.3 ล้านชิ้น เพื่อใช้ในเครื่องโปรเจคเตอร์ทั้งระบบขาวดำ และระบบสี

ข้อดีประการหนึ่งของเมมส์คือ เทคโนโลยีนี้จะสามารถผลิตได้เป็นจำนวนมากๆ ในแต่ละครั้ง เหมือนการผลิตวงจรรวมทั่วไป ทำให้ราคาต้นทุนต่ำลง มีความสามารถในการเพิ่มรูปแบบการทำงาน (functionality) และความเสถียร (reliability) เมมส์จึงมีความน่าสนใจทั้งด้านการวิจัยและเชิงพาณิชย์

สำหรับประเทศไทย ได้มีการดำเนินการวิจัยและพัฒนาเมมส์มาระยะหนึ่งแล้ว แต่ยังเป็นระดับงานวิจัยเป็นส่วนมาก เช่น ในมหาวิทยาลัยต่างๆ ที่มีห้องทดลองทางด้านสารกึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

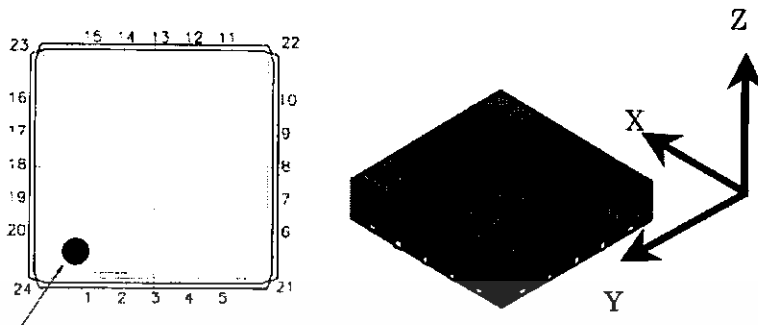
ตัวนำ ส่วนในเนคเทคโนโลยีก็มีกลุ่มนักวิจัยทางด้านนี้เช่นกัน ผลงานในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นทางด้าน เซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ เช่น เซ็นเซอร์วัดความดัน และ เซ็นเซอร์วัดสารเคมี แต่ก็มีผลงานทางด้านแอคทูเอเตอร์ออกมาบ้างเช่นกัน เช่น opto-MEMs ซึ่งนำ เมมส์มาใช้ในระบบสื่อสารด้วยแสง

2.4.2 เซ็นเซอร์วัดความเร่ง 3 (3-axis accelerometer H48C Sensors)

เซ็นเซอร์วัดความเร่ง 3 (3-axis accelerometer H48C Sensors) ถูกผลิตด้วยเทคโนโลยีMEMS (Micro Electro Mechanical System) , and CMOS IC มีความสามารถตรวจจับความเร่งได้ใน 3 ทิศทาง (X,Y,Z) ภายในชิปเพียงตัวเดียว ผู้ผลิตคือ Hitachi Metals ซึ่งมีความไวสูง ทนต่อการกระแทกจากความเร่งได้ดี

คุณสมบัติ

- ตรวจสอบความเร่งได้ 3 แกน
- มีความเที่ยงตรงสูง โดยไม่ต้องการปรับตั้ง
- มีขนาดเล็กเพียง 3.4 x 3.7 x 0.92 มม.
- ต้องการ 1 แหล่งจ่ายไฟแรงดันในย่าน +2.2 ถึง +3.6V
- ใช้พลังงานต่ำ
 - กระแสในขณะทำงาน 0.36mA ที่ 3V
 - กระแสขณะ Stand by สูงสุดเพียง 1 μ A
- การตรวจจับการหล่นแบบอิสระ (Freefall Detection) ขณะที่แกน X,Y,Z มีค่าความเร่งใกล้ 0 g จะมีการส่งสัญญาณผ่านขา Zero G
- สามารถ ตรวจจับการเอียงทั้งแบบ Static และ Dynamic
- ความเร่งที่ตรวจได้อยู่ในย่าน +/-3 g
- ทนต่อแรงกระแทก (High shock durability) สูงมากกว่า 5000 g
- มีความน่าเชื่อถือสูง ถูกบรรจุภายใน ceramic package



1st pin mark

รูปที่ 2.18 ตำแหน่งขาของ H48C

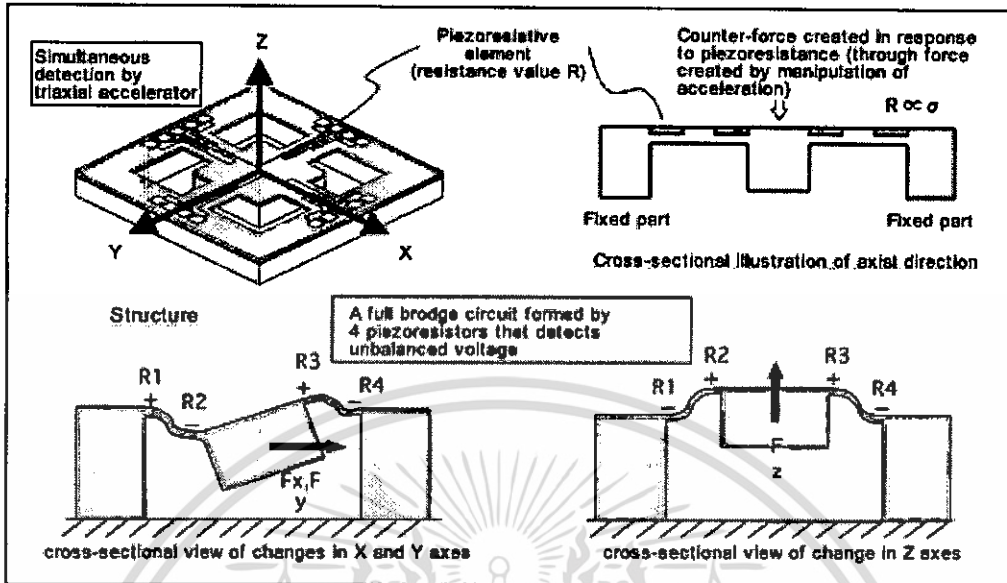
Table 1 Pin description

Pin No.	Name	Description
1	Reserved	To Ground
2	Tout	Output voltage on temperature sensor
3	AGND	Ground for analog circuit block
4	AOZ	Analog output voltage of Z axis
5	AOY	Analog output voltage of Y axis
6	AOX	Analog output voltage of X axis
7	NC	No connection
8	NC	No connection
9	NC	No connection
10	NC	No connection
11	STBYB	Control of standby mode (Low(0V):Standby, High(Vcc±0.3):Operating)
12	Reserved	To Ground
13	AVCC	Operating voltage for analog circuit block
14	Vref	Reference voltage (1/2VCC)
15	DVCC	Operating voltage for digital circuit block
16	Reserved	To Ground
17	Reserved	To Ground
18	Reserved	To Ground
19	ZeroG	Flag output on zero g detection (Free fall detection)
20	DGND	Ground for digital circuit block

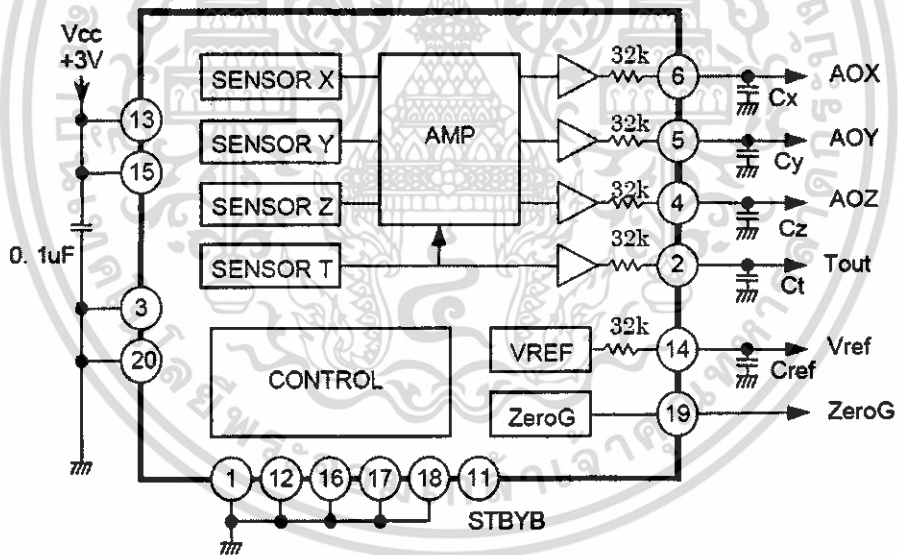
Note : Pin numbers of 21, 22, 23 and 24 are the lands to enhance the soldering strength.

ตารางที่ 2.1 ตารางอธิบายหน้าที่แต่ละขาของ H48C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงภายในของ H48C



รูปที่ 2.20 แสดงไดอะแกรมของ H48C

H48C ถูกใช้ในงานหลายด้าน เช่น ตรวจจับการสั่นสะเทือน (shock-detection) ด้วยขนาดที่เล็ก และการตรวจจับการหล่นแบบอิสระ มักพบในไมโครฮาร์ดดิส PDA โทรศัพท์มือถือ เครื่องเล่น MP3 ในเครื่องเล่นเกม ใช้ตรวจจับการเอียง การสั่น แล้วนำมาสร้างการตอบสนองในรูปแบบ Interactive กับผู้เล่นมักพบใน Remote controls, joysticks และงานด้านการรักษาความปลอดภัย, การเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์, ของเล่นเด็ก

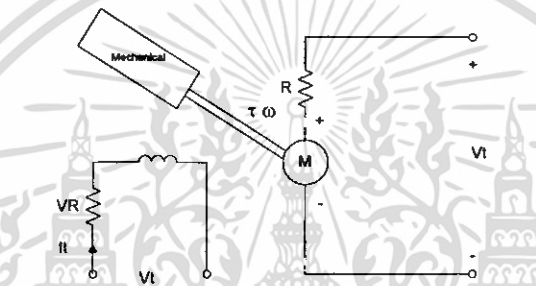
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

สำหรับโครงการนี้จะใช้มอเตอร์กระแสตรงในการขับเคลื่อนตัวรถเพราะมอเตอร์กระแสตรงสามารถควบคุมได้ง่าย ให้แรงบิดสูง และสามารถหาซื้อได้ง่าย

2.5.1 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor Structure)

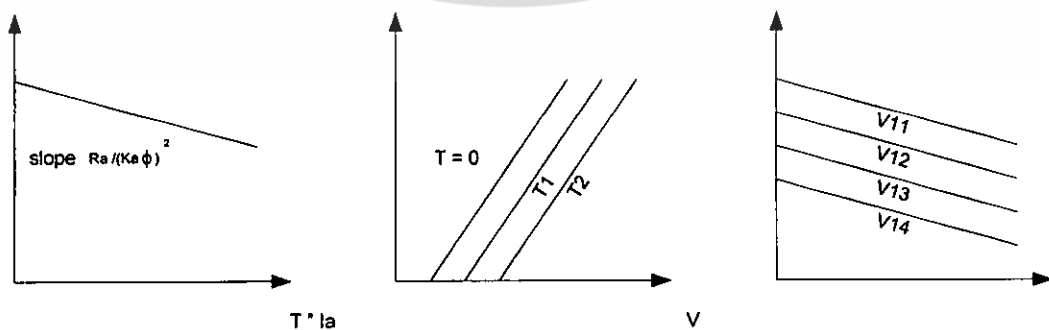
โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงโดยพื้นฐานจะประกอบด้วยขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก(Field Winding) และขดลวด Armature โดยขดสร้างสนามอยู่ที่ตัว Stator และขด Armature จะอยู่ที่ตัว Rotor ของตัวมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 โครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์กระแสตรง

แต่โครงสร้างของมอเตอร์ที่ใช้จริงในโครงการนี้ ขดลวดที่สร้างสนามจะถูกเปลี่ยนเป็นแม่เหล็กถาวร โดยจะสร้างสนามแม่เหล็กที่มีค่าคงที่ตลอดเวลา ดังนั้นการควบคุมมอเตอร์ชนิดนี้จึงสามารถควบคุมค่าแรงดัน (V_t) และกระแส (I_a) ได้เท่านั้น โดยความเร็วของมอเตอร์สามารถควบคุมได้จากแรงดัน (V_t) ของมอเตอร์ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (ω_m), ค่าแรงดัน (V_t), กระแส (I_a) และแรงบิด (T) แสดงดังรูปที่

2.22



รูปที่ 2.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ω_m , I_a และ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง ω_m , I_a และ T สามารถเขียนได้คือ

$$E_a = K_a \Phi \omega_m = V_t - I_a R_a$$

$$T = K_a \Phi I_a$$

ดังนั้นสมการความเร็ว คือ

$$\omega_m = (V_t - I_a R_a) / K_a \Phi = [V_t / K_a \Phi] - [R_a T / (K_a \Phi)^2]$$

โดยที่

E_a คือ แรงดันเหนี่ยวนำย้อนกลับ (Back Electromotive Force (emf))

K_a คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างแต่ละตัว

Φ คือ เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก

ω_m คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์

I_a คือ กระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์

V_t คือ แรงดันที่ขั้วมอเตอร์

R_a คือ ความต้านทานของขดลวด armature

T คือ ค่าแรงบิดของมอเตอร์

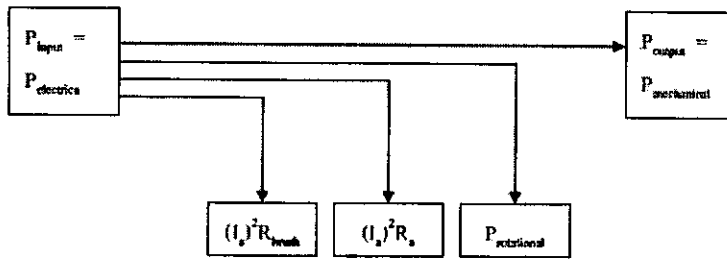
ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่า ถ้าแรงดันที่ขั้วมอเตอร์ (V_t) เพิ่มขึ้น จะทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้น และถ้าหากโหลดเพิ่มขึ้น (แรงบิดเพิ่มขึ้น) มอเตอร์จะกินกระแสมากขึ้น ความเร็วของมอเตอร์จะลดลง

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ใช้ สามารถวัดได้จากกำลังทางกลที่ได้รับ และกินกำลังงานของไฟฟ้าที่ให้ โดย

$$\text{กำลังกลที่ได้รับ (P}_m\text{)} : P_m = T \omega_m$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าที่ให้ (P}_c\text{)} : P_c = V_t I_a$$

การสูญเสียที่เกิดขึ้น จะเกิดขึ้นที่ความต้านทานของขด Armature ซึ่งมีค่าเท่ากับ $(I_a)^2 R_a$ และการสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานการแปลงถ่าน (Brush) ซึ่งเท่ากับ $(I_a)^2 R_{brush}$ และการสูญเสียที่เกิดจากแรงเสียดทานที่ตัว Bearing (Protational) และสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 กำลังงานที่สูญเสียในมอเตอร์กระแสตรง

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ คือ

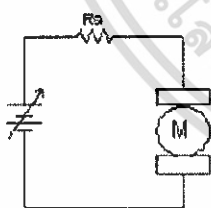
$$\text{Efficiency} = (P_{out}/P_{in}) \times 100\% \quad 2.4a$$

$$= (T\omega_m / V_t I_a) \times 100\% \quad 2.4b$$

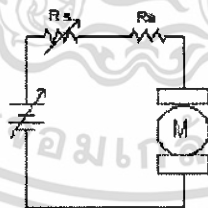
$$= [(V_t I_a - \text{Losses}) / V_t I_a] \times 100\%$$

2.5.2 วงจรขับและป้องกัน (Driver and Protection Circuit)

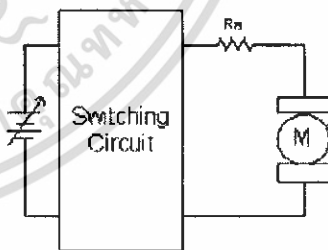
การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงสามารถทำได้โดยการปรับแรงดัน V_t ให้มีค่าต่างๆ กัน โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันที่สามารถปรับค่าได้ (รูปที่ 2.24a) โดยการเพิ่มค่า R_a (รูปที่ 2.24b) หรือใช้วงจรสวิตซ์ซึ่ง (รูปที่ 2.24c) มาช่วยในการควบคุมค่าเฉลี่ยของแรงดัน V_t ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกันมาก ซึ่งการควบคุมโดยอาศัยวงจรสวิตซ์ซึ่ง จะใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมาใช้ในการสวิตซ์



รูปที่ 2.24a



รูปที่ 2.24b

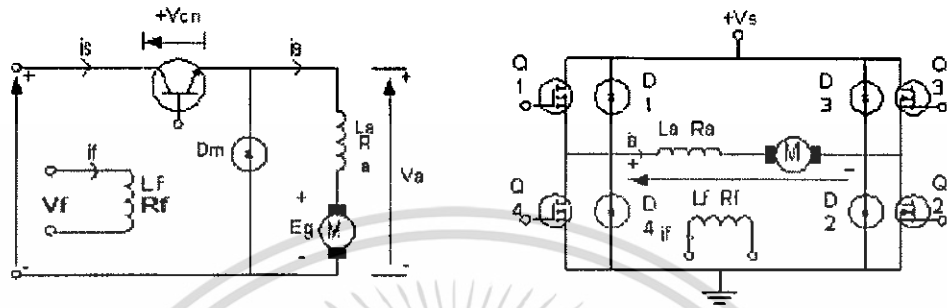


รูปที่ 2.24c

รูปที่ 2.24 การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 2.24a , การปรับค่า R_a 2.24b และการใช้วงจร switching 2.24c

หลักการทำงานพื้นฐานก็คือ ถ้าสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มี duty cycle ไม่เท่ากัน จะทำให้ค่า Effective Value (RMS) และค่าเฉลี่ย ของสัญญาณไม่เท่ากันด้วยวงจร

Switching ที่สามารถใช้ควบคุมมอเตอร์กระแสตรงที่หลายหลากมาก เช่น วงจร Chopper (DC to DC converter) วงจร Inverter (DC to DC converter) ดังรูปที่ 2.25

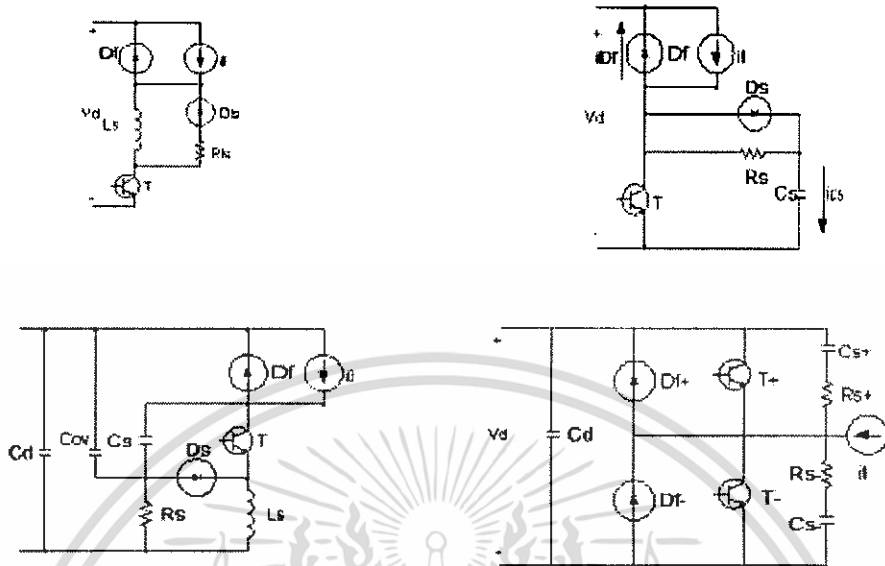


รูปที่ 2.25a วงจร Chopper(DC to DC converter) รูปที่ 2.25b วงจร Inverter (DC to DC converter)

ในวงจรรูปที่ 2.25a เป็นวงจร Chopper ที่ทำการ Chop สัญญาณ DC ให้เป็น สัญญาณรูปคลื่น สี่เหลี่ยมที่มี Duty Cycle ไม่เท่ากัน โดยการควบคุมการทำงานของสวิตช์ ก็คืออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งอาจเป็นไปได้อีกทั้ง ทรานซิสเตอร์ SCR MOSFET ฯลฯ

การทำงานของวงจรจะเริ่มถ้าสวิตช์ปิด (ทรานซิสเตอร์ Turn on) จะทำให้ไดโอด ถูกไบอัสย้อนกลับ กระแสก็จะไหลผ่านมอเตอร์ แต่ถ้าหากสวิตช์เปิด (ทรานซิสเตอร์ Turn off) จะทำให้มอเตอร์ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำจะสร้าง back emf ซึ่งจะทำให้มีกระแส ไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางเดิมโดยไหลผ่านไดโอดซึ่งขณะนี้จะถูกไบอัสตรงเนื่องจากผล ของ back emf ซึ่งไดโอดนี้จะถูกเรียกว่าเป็น Free wheeling diode ซึ่งช่วยป้องกันอุปกรณ์ Switching ไม่ให้เสียหายเนื่องจากผลของ back emf

วงจรรูป 2.25b เป็นวงจร inverter แบบ full bridge การควบคุมการหมุนไหลของ กระแสและทิศทางที่พร้อมไหลสามารถทำได้ในทิศทางที่ต่าง ๆ กัน คือ เป็น 4-Quadrant ซึ่ง ถ้าหากไหลเป็นตัวมอเตอร์กระแสตรงก็สามารถจะหมุนกลับทิศทางได้โดยการควบคุม กระแสและทิศทางที่ตัวมอเตอร์ ซึ่งถ้าทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะทำงานพร้อมกันกระแส และทิศทางจะมีทิศทางบวก แต่ถ้า Q3 และ Q4 ทำงานพร้อมกัน กระแสและทิศทางจะมี ทิศทางลบ ส่วนไดโอด D1-D4 ทำหน้าที่เป็น Free wheeling diode ซึ่งจะป้องกัน ทรานซิสเตอร์ไม่ให้ได้รับความเสียหายขณะที่ Turn off



รูปที่ 2.26 วงจรป้องกัน ขณะ Turn on (2.26a) , ขณะ Turn off (2.26b) ,
 วงจรปรับปรุงให้มีการป้องกันทั้ง Turn on และ Turn off (2.26c)
 และวงจรป้องกันของวงจรแบบบริดจ์ (2.26d)

การป้องกันความเสียหายของทรานซิสเตอร์ที่ Turn on และ Turn off นั้นมีหลายรูปแบบดังรูปที่ 2.26 ซึ่งการใช้งานจริงอาจไม่จำเป็นจะต้องใช้การป้องกันมากนัก ถ้าหากใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์เล็กๆ

2.6 ไจโรสโคป (Gyro)

จะถูกใช้ในเฮลิคอปเตอร์ของเล่น (RC-Helicopter) เนื่องจากในการหมุนของ Rotor motor จะทำให้เกิดการหมุนควงของเฮลิคอปเตอร์ ไจโรจะทำหน้าตรวจจับการหมุนที่เกิดขึ้น ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ

2.6.1 Rate Gyro เป็นแบบพื้นฐานทำการตรวจจับอัตราการหมุน (angular acceleration) แต่ไม่สามารถตรวจจับตำแหน่งที่เคลื่อนไป การควบคุมทำได้โดยการให้ Gyro Gain ที่เหมาะสม และในการใช้กับเฮลิคอปเตอร์ของเล่นนั้นอาจต้องมีการปรับค่าในการตอบสนองต่อการ Rotor motor ไปด้วย เช่น หากมีการเร่งคันเร่งขึ้น โดยเฮลิคอปเตอร์อาจมีการหมุนเล็กน้อย ไจโรถึงจะตอบสนองทำให้เกิดการสลับ จึงต้องใช้รีโมทที่มีการเร่งโบพัดที่หางช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

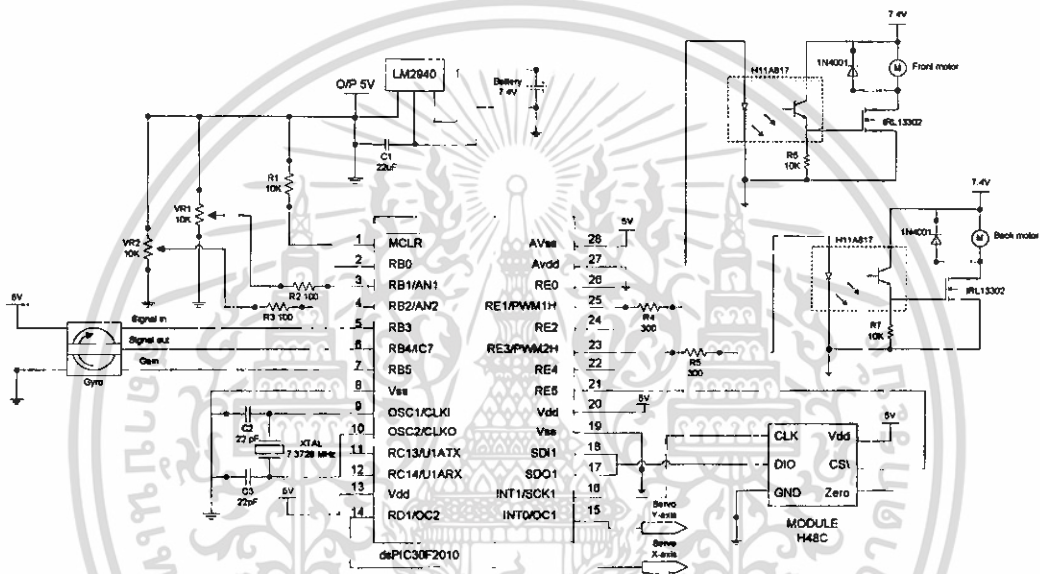
2.6.2 Heading hold gyros มีความสามารถในการจำตำแหน่งที่เกิดจากการหมุนไป เช่น แม้เฮลิคอปเตอร์จะมีการเร่ง ใบพัดหลัก ตัวใบพัดหาง ถูกสั่งให้เร่งโดยตัวไจโรให้มีการเร่งขึ้น ความแตกต่างของไจโร Rate และ Heading hold gyro คือ หากเราใช้ Rate Gyro เมื่อมีการใช้รีโมทปรับการหมุนของเซอร์โว เช่นสั่งให้หมุน 180 องศาใน 1 วินาที เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปตามทิศที่สั่งและกลับมาในตำแหน่งตรงกลางทันทีที่ปล่อยคันโยกจากรีโมท แต่หากเป็น Heading hold gyro เมื่อมีการใช้รีโมทปรับการหมุนของเซอร์โว เช่น สั่งให้หมุนไป 180 องศาใน 1 วินาที แต่ตัวเซอร์โวจะหมุนไปสุดทางค้างไว้ตลอด จนกว่าจะมีการหมุนเฮลิคอปเตอร์ไป 180 องศาเซอร์โวจึงจะมีการหมุนกลับมาที่เดิม



บทที่ 3

การติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ต่างๆ

การทำงานของระบบ คือจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ประมวลผลเพื่อควบคุมการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งจะต้องทำการติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ไจโร (Gyro), โมดูล H48C และวงจรที่ใช้ขับมอเตอร์ โดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะติดตั้งอยู่บนเฮลิคอปเตอร์ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน



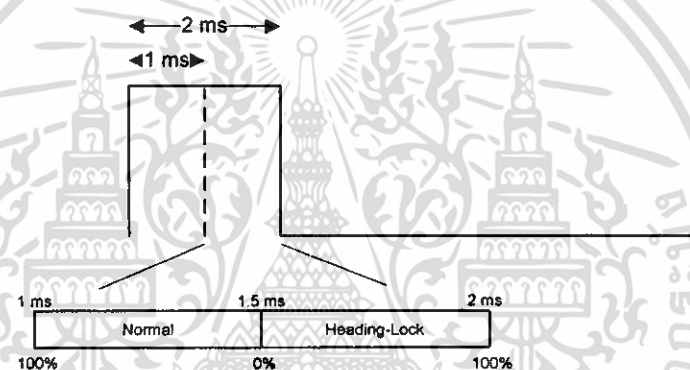
รูปที่ 3.1 วงจรที่ใช้ในการควบคุมเฮลิคอปเตอร์

3.1 การติดต่อระหว่าง dsPIC กับไจโร (Gyro)

ในไจโรแบบใหม่ๆ สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ทั้ง 2 แบบ เรียกว่า Dual-gain gyro โดยเลือกผ่านรีโมท ซึ่งจะมีการเพิ่มช่องสัญญาณอีก 1 ช่องเพื่อใช้ในการควบคุม เรียกว่า Gyro Gain Channel มีช่วงระหว่าง 1-2 ms ตัวอย่างเช่น

หากเลือกสัญญาณในการคุมไจโร 1 ms หมายความว่า จะทำงานในโหมด Normal Gain 100%

หากเลือกสัญญาณในการคุมไจโร 1.05 ms หมายความว่า จะทำงานใน โหมด Normal Gain 90%



รูปที่ 3.2 ช่วงเวลาที่ใช้ในการกำหนดโหมดของไจโร



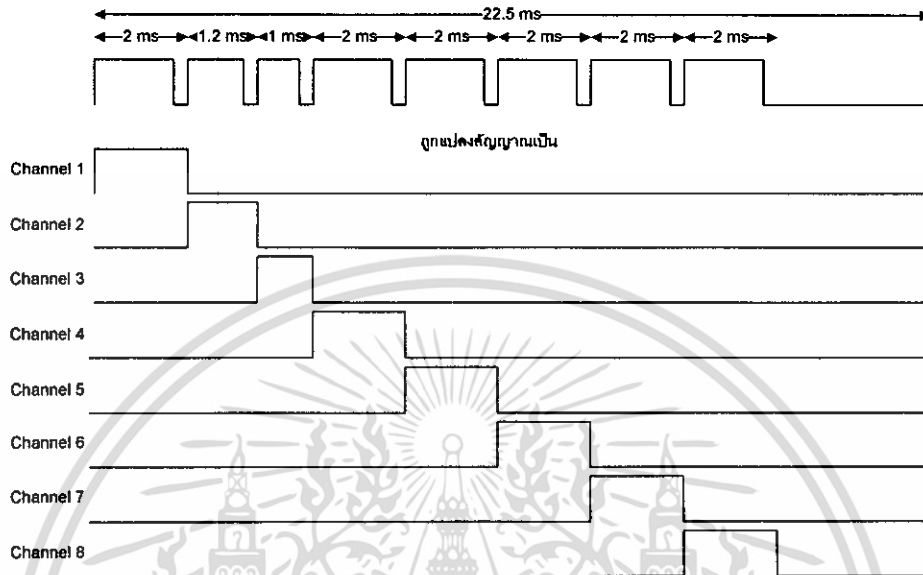
รูปที่ 3.3 ไจโรที่เลือกใช้

ไจโรที่เลือกใช้ GR301 Head Lock and Standard Mode Dual Rate ของ Telebee มีการเลือกใช้ โหมด Normal เนื่องจาก Heading-Lock Mode มียุ่งยากในการตรวจจับสัญญาณมาใช้

ในการใช้งานไจโรมีอีกจุดหนึ่งที่น่าสนใจ คือการให้สัญญาณที่ต่อเนื่องกันระหว่างสัญญาณและ Gyro Gain จึงจะทำงานได้เป็นปกติ เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ในการควบคุม

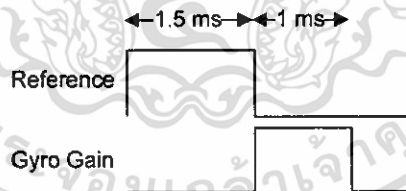
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฮลิคอปเตอร์ของเล่นมักเป็นแบบ Pulse Position Modulation (PPM) โดยมีการส่งสัญญาณที่ควบคุมในแต่ละช่องสัญญาณแบบต่อเนื่องกันไป



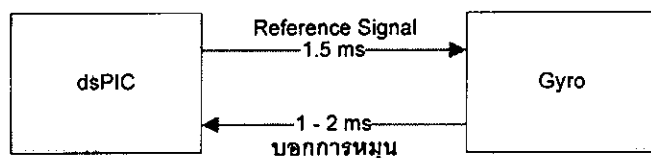
รูปที่ 3.4 Timing Diagram แบบ Pulse Position Modulation (PPM)

ดังนั้น สัญญาณที่นำมาใช้จะทำการส่งสัญญาณอ้างอิง (Reference) เพื่อใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง จากนั้นจึงส่งสัญญาณ Gyro gain ต่อมาซึ่งจะมาใช้ใน Normal Mode เหตุที่ต้องส่งสัญญาณอ้างอิงก่อน สัญญาณ Gyro Gain เนื่องจากสัญญาณอ้างอิงเป็นการต่อที่ช่องสัญญาณ 4 (Channel 4) ส่วนใน Gyro Gain ใช้ช่องสัญญาณ 5 (Channel 5)



รูปที่ 3.5 Timing Diagram ที่จ่ายให้ใจโร

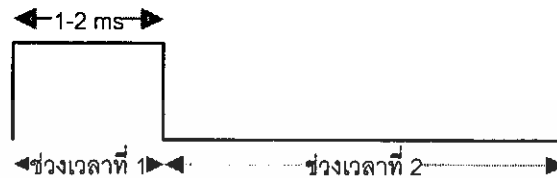
แนวความคิด คือ การจ่ายสัญญาณอ้างอิงซึ่งเลือกไว้ที่ 1.5 ms เมื่อเฮลิคอปเตอร์มีการหมุนเกิดขึ้นสัญญาณที่กลับเข้ามายัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีการเปลี่ยนแปลงไปจาก 1.5 ms โดยการตรวจจับนั้นอาศัย โมดูลตรวจจับสัญญาณ (Input Capture Module) ภายใน dsPIC



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง dsPIC กับ Gyro

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยหลักการการทำงานจะเป็นการใช้ไทมเมอร์ เพื่อนับระยะห่างของขอบขาขึ้นและขาลง ซึ่งในการอ่านเวลาสัญญาณที่ออกมาจะมี 2 ช่วงเวลา โดยช่วงที่ใช้ในงาน คือช่วงเวลาที่ 1 ซึ่งใช้แสดงการหมุนของเฮลิคอปเตอร์



รูปที่ 3.7 แสดงช่วงเวลาที่โมดูลตรวจจับสัญญาณจับได้

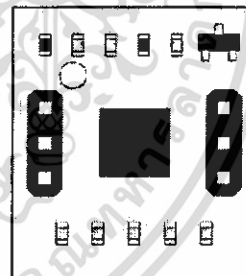
3.2 การติดต่อระหว่าง dsPIC กับโมดูลตรวจจับความเร็ว 3 แกน H48C

โมดูลตรวจจับความเร็ว H48C เป็นโมดูลสำเร็จที่รวมเอาเซ็นเซอร์ (H48C), วงจร Regulator, analog-to-digital converter (MCP3204) และ Filter ต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งในการผลิตนั้นทาง parallax (www.parallax.com) ได้ออกแบบมาให้ใช้คู่กับคำสั่ง SHIFTOUT, SHIFTin ของ Basic Stamp 2 ทำให้การนำมาใช้ในโครงการนี้ต้องศึกษารูปแบบที่เหมาะสมในการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ใช้คือ dsPIC

- (1) CLK
- (2) DIO
- (3) Vss
- (4) Zero-G
- (5) CS\
- (6) Vdd

Synchronous clock input
Bi-directional data to/from host
Power supply ground (0v)
"Free-fall" output; active-high
Chip select input; active-low
+5vdc

- CLK (1)
- DIO (2)
- Vss (3)



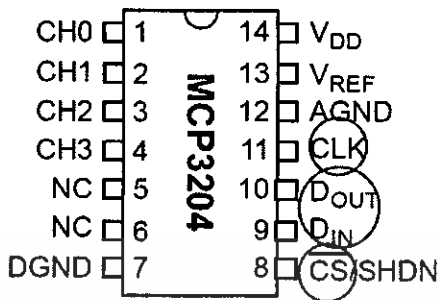
- (6) Vdd
- (5) CS\
- (4) Zero-G

รูปที่ 3.8 ตำแหน่งและหน้าที่แต่ละขาของ โมดูลตรวจจับความเร็ว H48C

3.2.1 การวิเคราะห์การติดต่อโมดูล H48C

3.2.1.1 ขาที่ใช้ในการติดต่อ

ในการศึกษาการติดต่อกับ โมดูลนั้น เริ่มจากการศึกษาส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ในการติดต่อรับ - ส่งค่าของ โมดูล คือตัว MCP3204 ซึ่งผลิตโดย Microchip ซึ่งมีความละเอียดถึง 12 บิต (12-bit resolution) และเก็บข้อมูลได้ 4 Channel โดยขาที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.9



PIN FUNCTION TABLE

Name	Function
V _{DD}	+2.7V to 5.5V Power Supply
DGND	Digital Ground
AGND	Analog Ground
CH0-CH7	Analog Inputs
CLK	Serial Clock
D _{IN}	Serial Data In
D _{OUT}	Serial Data Out
CS/SHDN	Chip Select/Shutdown Input
V _{REF}	Reference Voltage Input

รูปที่ 3.9 ตำแหน่ง และหน้าที่แต่ละขาของ MCP3204

ซึ่งได้นำมาจากการติดต่อของ โมดูล และตัว A/D Converter MCP3204 มาเปรียบเทียบ พบว่ามีจุดที่แตกต่างกัน คือ ขา DOUT และ DIN ของ MCP3204 ถูกยุบรวมเป็นขา DIO ของ Module H48C โดยที่ยังคงขา CLK และ /CS ไว้ ซึ่งทำให้ขา ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มาติดต่อกับขา DIO ต้องทำหน้าที่ส่ง - รับข้อมูลได้ภายในขาเดียว (เป็นทั้ง Input และ เอาท์พุท) และทำงานร่วมกับสัญญาณนาฬิกาที่ขา CLK และ Chip Select(/CS)

3.2.1.2 รูปแบบการติดต่อ

ตัว MCP3204 นั้นต้องรับข้อมูลจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทราบถึงโหมดการทำงาน Single-ended / Differential Mode ของ Channel (0 - 4) ที่ต้องการส่งข้อมูลกลับมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ตามตาราง

CONFIGURATION BITS FOR THE MCP3204

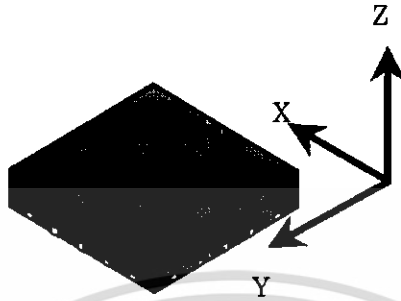
Control Bit Selections				Input Configuration	Channel Selection
Single/Diff	D2*	D1	D0		
1	X	0	0	single-ended	CH0
1	X	0	1	single-ended	CH1
1	X	1	0	single-ended	CH2
1	X	1	1	single-ended	CH3
0	X	0	0	differential	CH0 = IN+ CH1 = IN-
0	X	0	1	differential	CH0 = IN- CH1 = IN+
0	X	1	0	differential	CH2 = IN+ CH3 = IN-
0	X	1	1	differential	CH2 = IN- CH3 = IN+

* D2 is a "don't care" for MCP3204

ตารางที่ 3.1 แสดงบิตที่ใช้ควบคุมการทำงานของ MCP3204

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

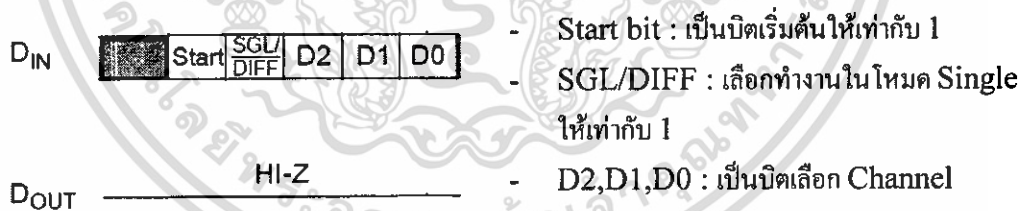
ในการใช้งานโมดูลจะใช้งานใน Single-ended Mode และให้ channel ต่างๆ แทนค่าแกน X, Y, Z ดังนี้



รูปที่ 3.10 แนวแกนอ้างอิงเทียบกับตัว Sensor H48C

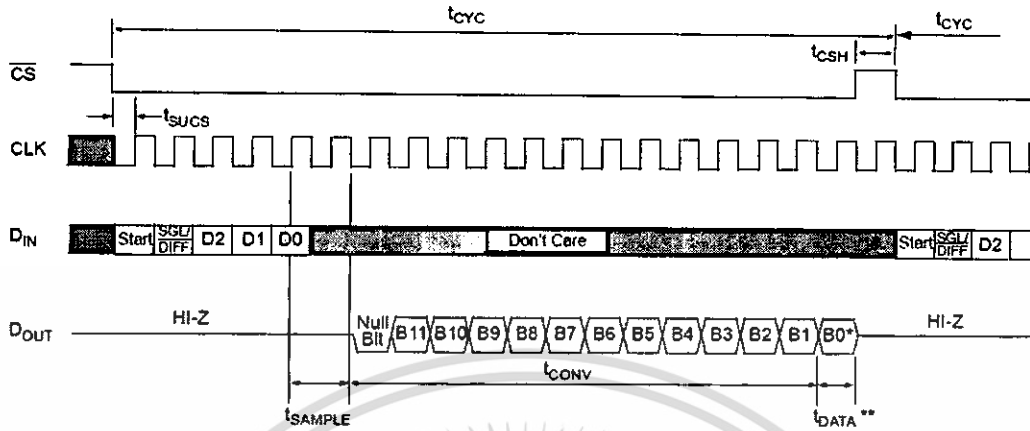
1. Channel 0 (CH0) แทนแกน AXIS-X
2. Channel 1 (CH1) แทนแกน AXIS-Y
3. Channel 2 (CH2) แทนแกน AXIS-Z
4. Channel 3 (CH3) แทนแกน VREF

ส่วนการรับข้อมูลนั้นจะประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 5 บิต โดยส่งเข้าไปยัง DIN



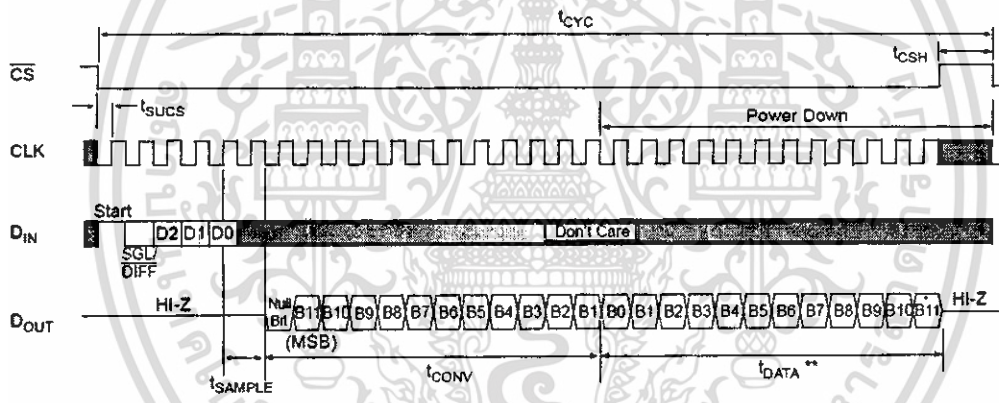
รูปที่ 3.11 ลำดับบิตข้อมูลที่ส่งไป ใช้ในการอ่านข้อมูลจากโมดูล

และการทำให้โมดูลยอมรับข้อมูลที่ส่งไปนั้นต้องทำการ Active Low ขา Chip Select ด้วย ซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากรูปที่ 3.12



* After completing the data transfer, if further clocks are applied with \overline{CS} low, the A/D converter will output LSB first data, followed by zeros indefinitely (see Figure 5-2 below).

** t_{DATA} : during this time, the bias current and the comparator power down while the reference input becomes a high impedance node, leaving the CLK running to clock out the LSB-first data or zeros.



* After completing the data transfer, if further clocks are applied with \overline{CS} low, the A/D converter will output zeros indefinitely.

** t_{DATA} : During this time, the bias circuit and the comparator power down while the reference input becomes a high impedance node, leaving the CLK running to clock out LSB first data or zeroes.

รูปที่ 3.12 บน Timing Diagram มีการส่ง MSB ก่อน แต่ไม่มีการส่ง LSB

ล่าง Timing Diagram มีการส่ง MSB ก่อน และมีการส่ง LSB ตามมา

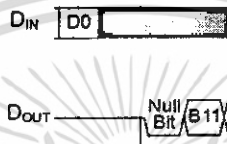
จาก Timing Diagram ด้านบนเป็นการแสดงให้เห็นว่าตัว MCP3204 สามารถส่งข้อมูลเรียงตามลำดับความสำคัญของบิตออกมาได้ใน 2 ลักษณะ คือ

1. ส่งข้อมูล โดยเริ่มจาก MSB ก่อน ซึ่งจะส่งตามสัญญาณนาฬิกา และสัญญาณ Chip Select (/CS) ที่ได้รับ เรียงตามลำดับจนถึง LSB
2. หลังจากส่งข้อมูลจนถึงบิตข้อมูลสุดท้าย(LSB) หาก /CS ยังคงสถานะ Active Low อยู่ต่อ MCP3204 จะส่งข้อมูลต่ออีกครั้ง แต่เริ่มจาก LSB ไป MSB แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

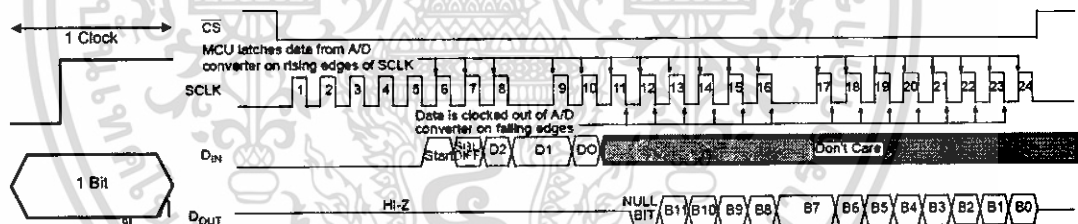
ซึ่งหากคำนึงถึงประสิทธิภาพแล้ว ได้เลือกใช้ให้มีการส่งตั้งแต่ MSB จนถึง LSB แล้วหยุดการทำงานเพื่อความรวดเร็วในการเก็บข้อมูล

ในช่วงจังหวะเวลาระหว่างรับข้อมูลจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ กับส่งข้อมูลกลับออกมา จะมี การเว้นช่วงเวลาไว้ 1 Clock จากนั้นจะทำการส่ง Null Bit ที่เป็น 0 ออกมา 1 บิตก่อนแล้วจึงส่งข้อมูลออกมา 12 บิต (B11 ... B0)



รูปที่ 3.13 Time Diagram แสดงช่วงสัญญาณนาฬิกาที่เว้นระหว่างจังหวะรับ – ส่ง

และ การรับ – ส่งข้อมูลในแต่ละบิต จะเกิดขึ้นใน 1 Clock โดยไม่คำนึงว่าสัญญาณนาฬิกา นั้นมี duty cycle เป็นอย่างไร



รูปที่ 3.14 รูปสัญญาณนาฬิกาเปรียบเทียบกับ ข้อมูล 1 บิต และการรับ – ส่งข้อมูลโดยไม่คำนึงถึง duty cycle ของสัญญาณนาฬิกา

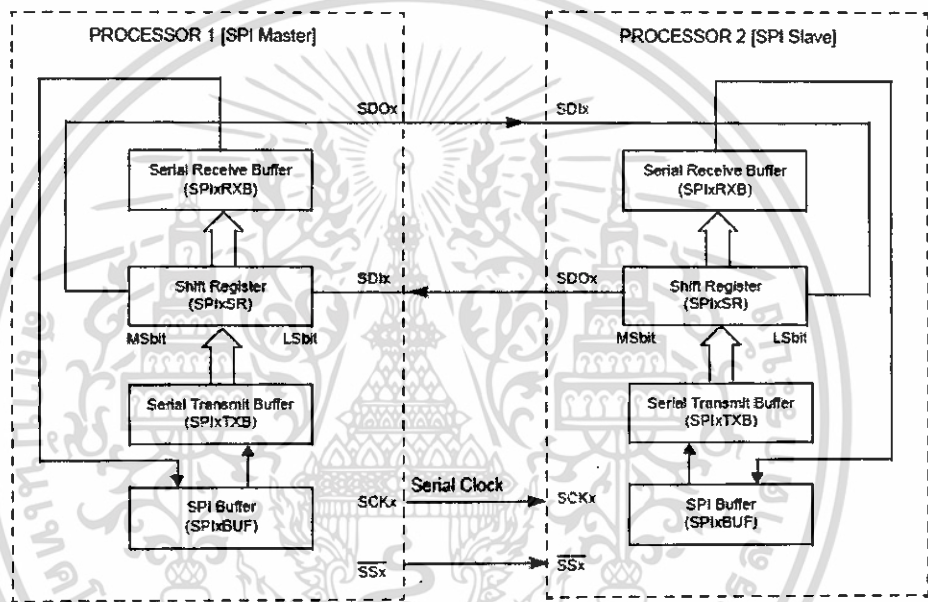
3.2.1.3 การสร้าง Clock โดยการใช้ SPI

SPI Module (Serial Peripheral Interface) เป็นการส่งข้อมูลแบบ Synchronous คล้ายกับการส่งข้อมูลมาแทนกัน โดยข้อมูลจาก Master ถูกส่งไปยังตัว Slave ขณะที่ Slave จะส่งข้อมูลไปยัง Master โดยมีขาที่สำคัญ คือ

- SDI : Serial data input ขารับข้อมูล
- SDO : Serial data output ขาส่งข้อมูล
- SCK : Shift clock input or output ขาส่ง – รับสัญญาณนาฬิกา
- SS : Active low slave select ขาให้ dsPIC ทำงานใน Slave Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

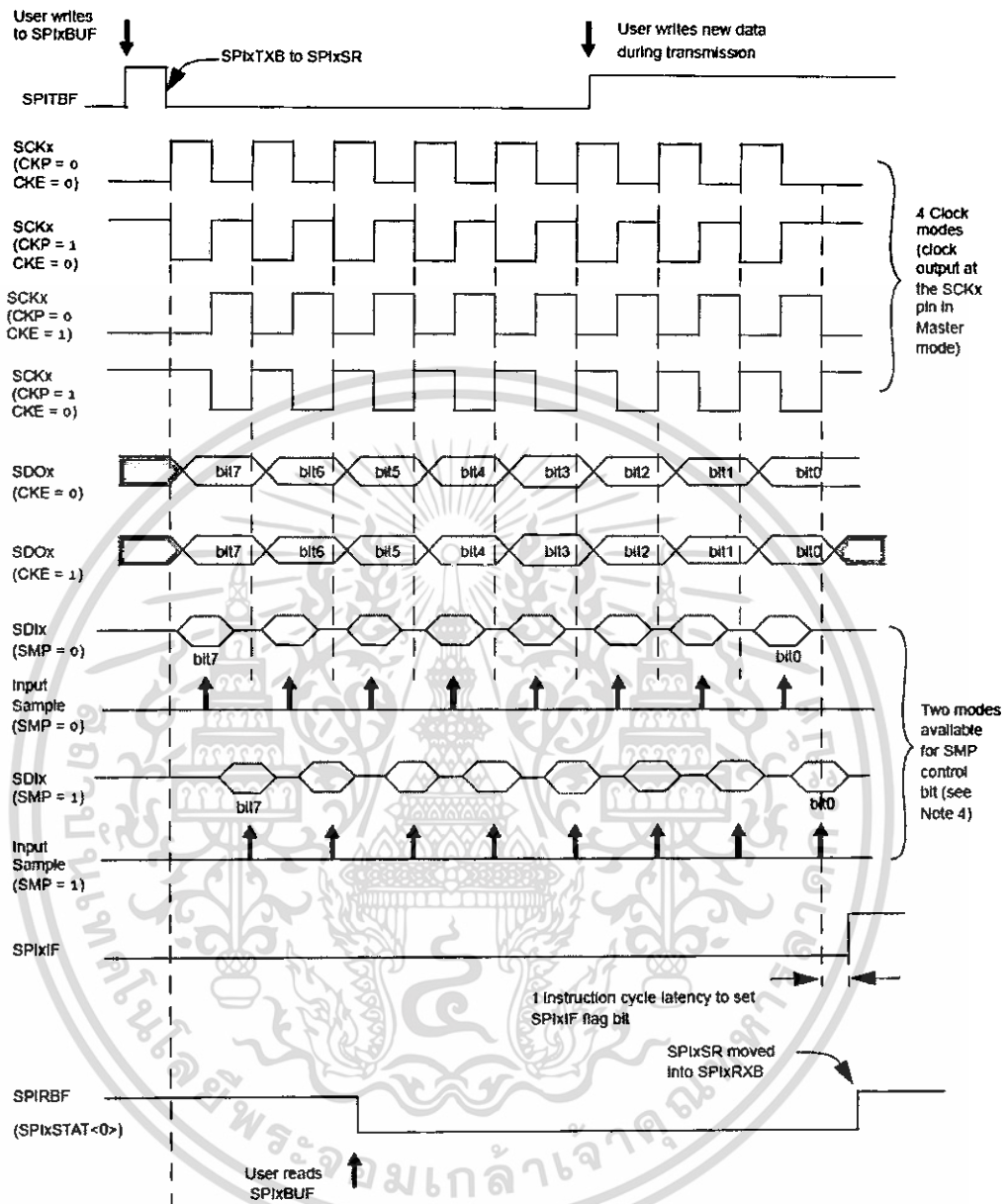
MCLR	1	28	AVDD
EMUD3/AN0/VREF+/CN2/RB0	2	27	AVSS
EMUC3/AN1/VREF-/CN3/RB1	3	26	PWM1L/RE0
AN2/SS1/CN4/RB2	4	25	PWM1H/RE1
AN3/INDX/CN5/RB3	5	24	PWM2L/RE2
AN4/QEA/IC7/CN6/RB4	6	23	PWM2H/RE3
AN5/QEB/IC8/CN7/RB5	7	22	PWM3L/RE4
Vss	8	21	PWM3H/RE5
OSC1/CLKI	9	20	VDD
OSC2/CLKO/RC15	10	19	VSS
EMUD1/SOSCI/T2CK/U1ATX/CN1/RC13	11	18	PGC/EMUC/U1RX/SD11/SDA/RE2
EMUC1/SOSCO/T1CK/U1ARX/CN0/RC14	12	17	PGT/EMUD/U11X/SDO1/SCL/RE3
VDD	13	16	FLTA/INT0/SCK1/OCFA/RE8
EMUD2/OC2/IC2/INT2/RD1	14	15	EMUC2/OC1/IC1/INT1/RD0



รูปที่ 3.15 บน ตำแหน่งขาที่ใช้งานในโหมด SPI

ล่าง Block Diagram แสดงการรับ - ส่งแบบ SPI

การส่งข้อมูลนั้นจะใช้เพียง 3 ขาหลัก คือ SDI ,SDO และ SCK โดย SS จะไม่ถูกใช้เนื่องจากเราเลือกใช้ Master Mode ซึ่งลักษณะของโหมดนี้คือทำหน้าที่สร้าง Clock ผ่านขา SCK ให้ข้อมูลแต่ละบิตส่งออกไปได้ ซึ่งมีทั้งแบบ 8 บิต และ 16 บิต



- Note 1:** Four SPI Clock modes shown to demonstrate CKP (SPIxCON<6>) and CKE (SPIxCON<8>) bit functionality only. Only one of the four modes can be chosen for operation.
- 2:** SDI and input sample shown for two different values of the SMP (SPIxCON<9>) bit, for demonstration purposes only. Only one of the two configurations of the SMP bit can be chosen during operation.
- 3:** If there are no pending transmissions, SPIxTXB is transferred to SPIxSR as soon as the user writes to SPIxBUF.
- 4:** Operation for 8-bit mode shown. The 16-bit mode is similar.

รูปที่ 3.16 Timing Diagram การส่งแบบ SPI Master Mode

ในการสร้าง Clock นั้นสามารถเลือกในโหมด CKP = 1, CKE = 0 หรือ CKP = 0, CKE = 1 เพื่อให้ได้รูปแบบ Clock ที่ใช้ได้กับ MCP3204 และยังมีกรปรับตั้ง SMP = 0 ให้มีการ Input Sample SDI ที่กึ่งกลางสัญญาณนาฬิกา

และจากปัญหาที่เกิดขึ้น คือ ขา DOUT, DIN ของ MCP3204 ได้ถูกรวมเป็นขา

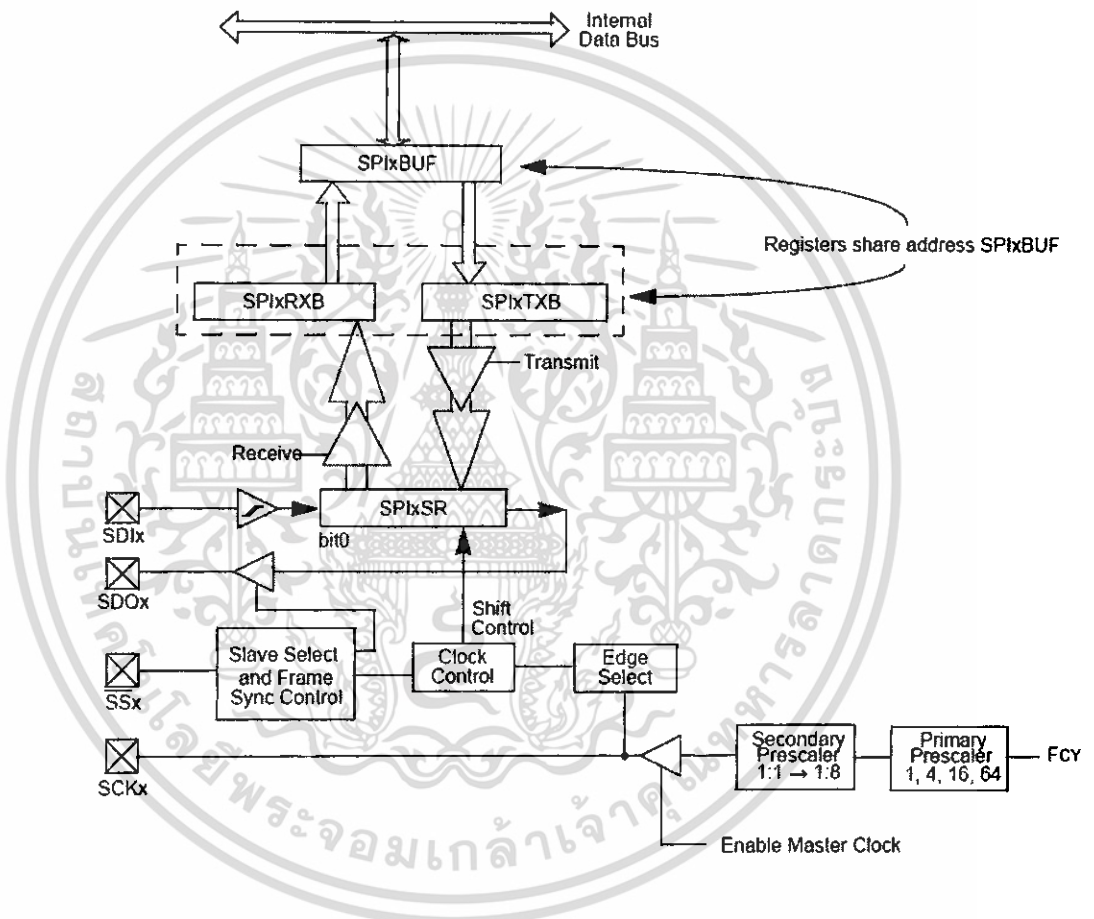
DIO ทำให้ไม่สามารถเชื่อมต่อในรูปแบบ SPI แบบปกติได้ จึงทำให้ต้องหาวิธีการเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท เซ็นเซอร์ เทคโนโลยี จำกัด เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

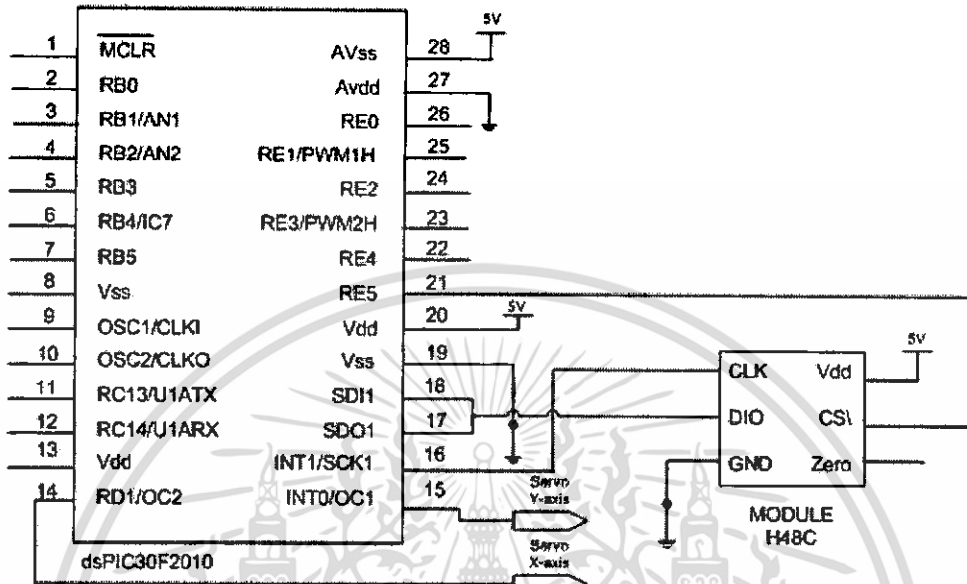
โปรแกรมให้สามารถทำงานเสมือนการติดต่อด้วย SPI แต่ก่อนจะกล่าวถึงนั้น ต้องทำความเข้าใจ Register ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูล SPI ก่อนนั้น คือ SPIBUF

SPIBUF ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่ใช้ในการส่งผ่าน SDO โดยนำไปเก็บใน SPITXB และทำหน้าที่รับข้อมูลทีผ่าน SDI ไปยัง SPIRXB โดยที่ในการเขียนโปรแกรมคำสั่งเราจะไม่สามารถอ้างอิงถึง SPITXB และ SPIRXB ได้โดยตรง ต้องกระทำผ่าน SPIBUF เท่านั้น

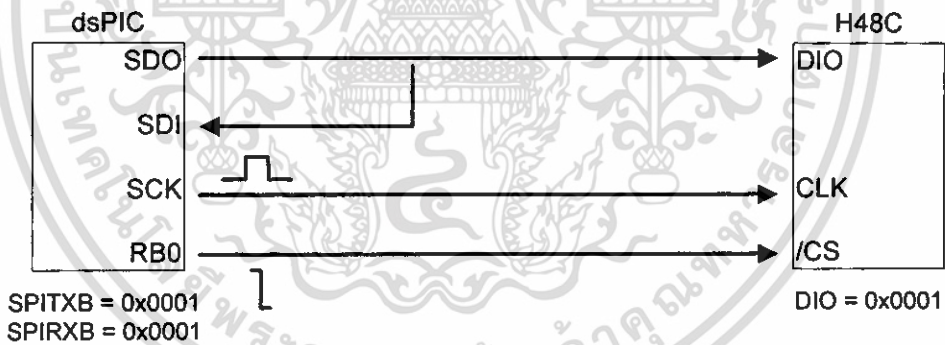


รูปที่ 3.17 แสดงโคะแกรมของ SPIBUF Register

3.2.1.4 สรุปขั้นตอนในการติดต่อระหว่าง dsPIC กับโมดูล H48C ผ่านโมดูล SPI



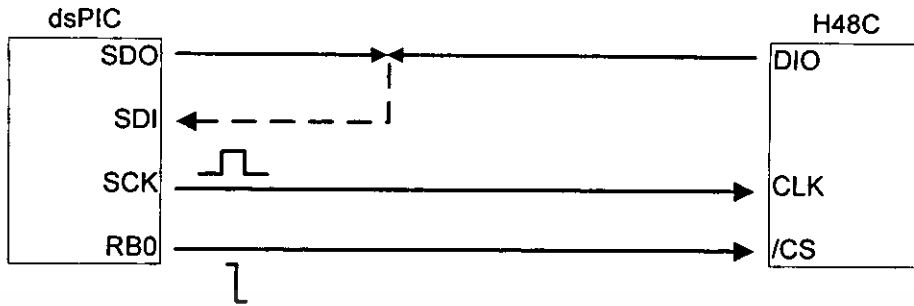
รูปที่ 3.18 วงจรส่วนที่ติดต่อกับกับเซ็นเซอร์ (H48C)



รูปที่ 3.19 การติดต่อระหว่าง dsPIC และ โมดูล H48C -1

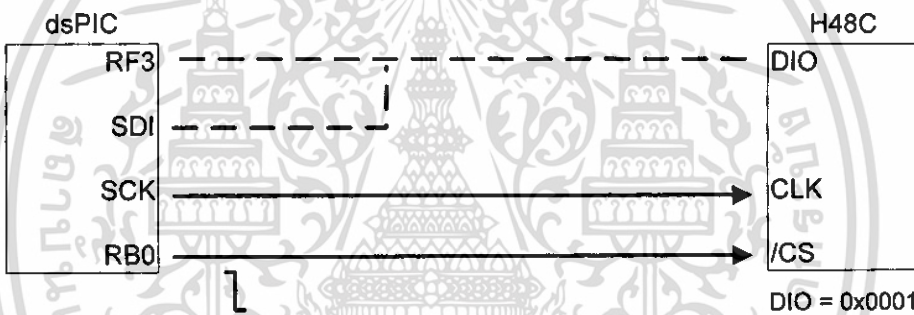
เริ่มจากการให้สัญญาณ /CS (Chip Select) เพื่อให้โมดูลพร้อมรับข้อมูล จากนั้นทำการส่งข้อมูลจาก dsPIC ออกไป(ในตัวอย่างให้ SPITXB = 0x0001) ซึ่งในเวลาเดียวกันนั้น จะเสมือนว่าข้อมูลได้มีการส่งกลับมายัง SDI (SPIRXB = 0x0001)

แล้วทำการอ่าน SPIRXB 1 ครั้ง เนื่องจาก dsPIC ได้กำหนดไว้ว่า เมื่อ SPI รับข้อมูลมา หากไม่มีการนำไปใช้ จะเกิด SPIRBF (SPI Receive Buffer Full Status bit) ขึ้นซึ่งแก้ไขโดยการอ่านข้อมูลทีมนั้นเอง



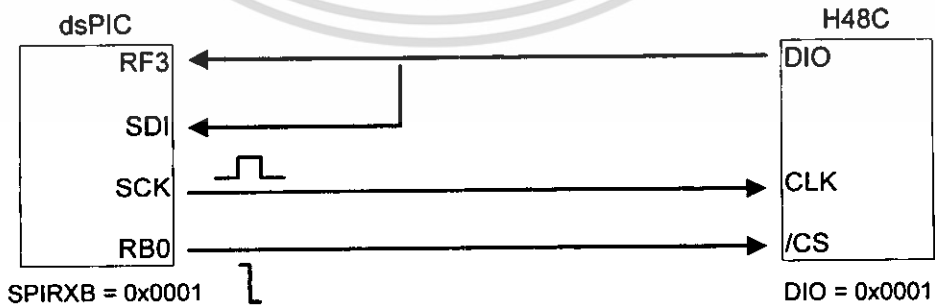
รูปที่ 3.20 การติดต่อระหว่าง dsPIC และ โมดูล H48C -2

จากปัญหาในการติดต่อกับ โมดูลที่ต้องให้รับ - ส่งข้อมูลได้ภายในขาเดียว และ การติดต่อ SPI ต้องรับ - ส่งข้อมูลผ่าน 2 ขา (SDO, SPI) ซึ่งมีความขัดแย้งกันอยู่ซึ่ง ทั้ง SDO และ DIO ต่างก็ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต



รูปที่ 3.21 การติดต่อระหว่าง dsPIC และ โมดูล H48C -3

จึงได้ทำการแก้ปัญหาโดยการกำหนด DISSDO (Disable SDOx pin bit) เพื่อปิด การทำงานของ SDO จากนั้นทำการกำหนดให้เป็นขา Input แทน (มองเป็นขา RF3) ทำให้ ไม่เกิดปัญหาการชนกันของ เอาต์พุต ขึ้น



รูปที่ 3.22 การติดต่อระหว่าง dsPIC และ โมดูล H48C -4

และข้อมูลจากโมดูล H48C จะสามารถส่งผ่าน SPI มายัง dsPIC ได้ (เก็บใน SPIRXB) จากนั้นหยุดให้สัญญาณ /CS ลงเป็นการสิ้นสุดการส่งข้อมูล

- ข้อดี - ปรับตั้งสัญญาณนาฬิกาได้ง่าย โดยการปรับเปลี่ยนในรีจิสเตอร์
- ไม่ใช่ Output Comparator สามารถนำไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ได้
- เป็นการ Shift ข้อมูลโดยอัตโนมัติ ลดความผิดพลาด
- ข้อเสีย - สูญเสียขา URX กับ UTX ซึ่งใช้ในการส่งข้อมูลแบบ UART



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

หลักการออกแบบและวิธีการควบคุมการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์

4.1 โมเดลเฮลิคอปเตอร์ (Model Helicopter)

ในที่นี้เลือกใช้เฮลิคอปเตอร์ไฟฟ้า 2 ใบพัด (เป็นใบพัดด้านบนทั้งคู่ ไม่มีใบพัดที่หาง) ยี่ห้อ Walkera 5-4 ที่เป็นการควบคุมแบบ 4 -channel โดยมีลักษณะดังนี้

ความยาวลำตัว : ยาว 425 มม. สูง 175 มม.

ความยาวใบพัด : ยาว 340 มม. ทั้ง 2 ใบ โดยใบพัดทั้ง 2 จะทำมุม 180 องศาตลอด

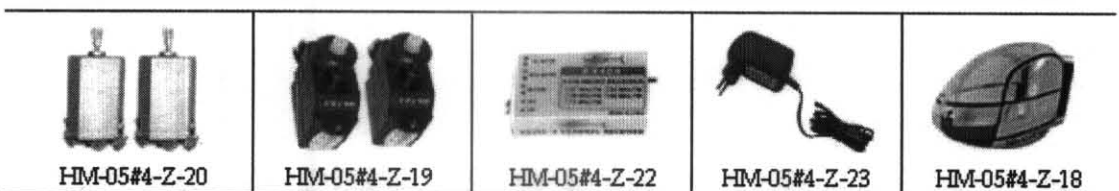
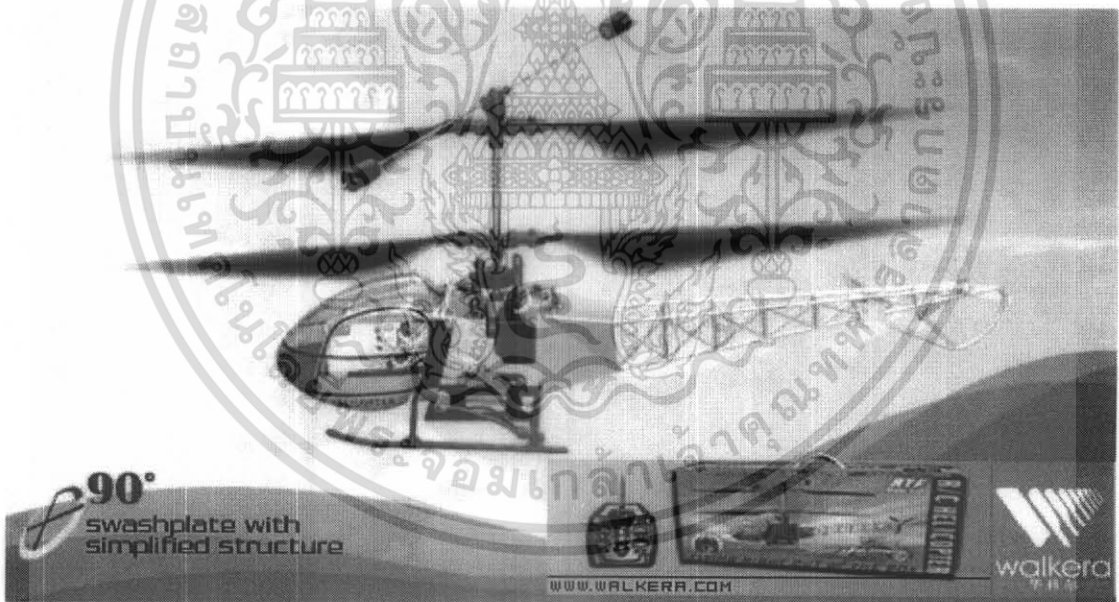
น้ำหนักรวม : 235 กรัม (รวมแบตเตอรี่)

แบตเตอรี่ : ลิเทียมโพลิเมอร์ขนาด 7.4 โวลต์ 800 mAh

มอเตอร์ : 2 DC มอเตอร์ใช้บังคับใบพัดทั้ง 2

เซอร์โวมอเตอร์ : 2 ตัว โดยตัวแรกใช้ในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า-หลัง ตัวที่สอง

ใช้ในการเคลื่อนที่ไปด้านซ้าย-ขวา

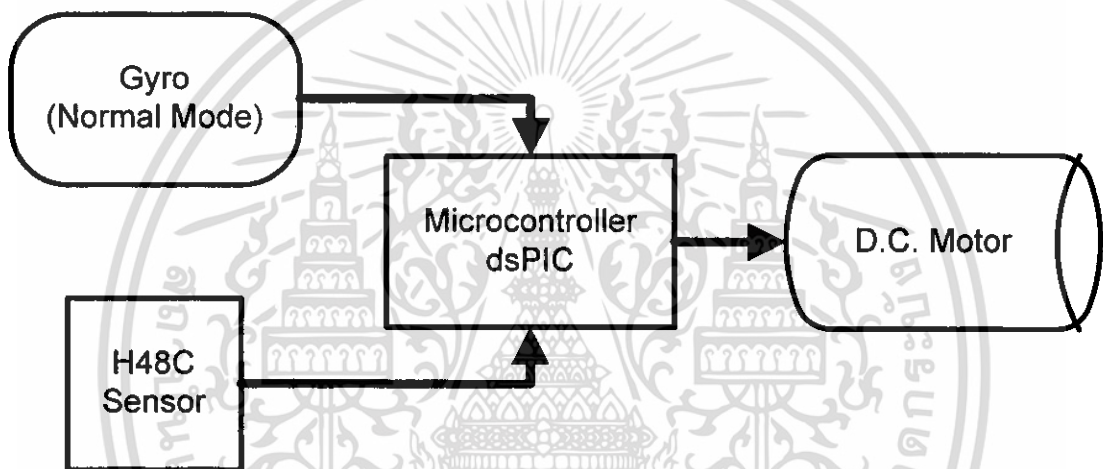


รูปที่ 4.1 เฮลิคอปเตอร์ Walkera 5-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 หลักการโดยรวมในการควบคุมการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์

ในการบังคับเฮลิคอปเตอร์นั้น เราจะใช้วิธีการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ที่ใช้ในการบังคับเฮลิคอปเตอร์ขึ้นลงในแนวระดับรวมถึงการหมุนควงของเฮลิคอปเตอร์ด้วย โดยสำหรับการควบคุมระดับความสูงเฮลิคอปเตอร์นั้น จะใช้ 3-Axis Accelerometer Module (H48C Sensor) เป็นตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูง และใช้ไจโร (Gyro) เพื่อตรวจจับการหมุนหรือการเหวี่ยงที่เกิดขึ้นของเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งจะใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (dsPIC30F2010) เป็นตัวประมวลผลและไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง



รูปที่ 4.2 แสดงกระบวนการทำงานโดยรวมของระบบ

4.3 ความเป็นมาของการควบคุมการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์

เนื่องด้วยจากภาคเรียนที่ 1 ที่ผ่านมีความเข้าใจว่า ถ้าจะต้องการรักษาการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์ในขณะที่บินอยู่ในอากาศได้นั้น จะต้องไม่ทำให้เฮลิคอปเตอร์เกิดการเอียง เพราะเหตุนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเซ็นเซอร์ที่สามารถตรวจจับความเร่งหรือความเอียงได้มาใช้ในโครงการ แต่ผลลัพธ์ที่ได้เมื่อนำมาใช้ในเฮลิคอปเตอร์ขณะบินอยู่จริงนั้น ปรากฏว่าไม่สามารถรักษาการทรงตัวได้เลย เนื่องจากเฮลิคอปเตอร์เกิดการแกว่งสะบัดไปมา ดังนั้นในภาคเรียนที่ 2 จึงมีแนวคิดที่จะทำการปรับปรุงแก้ไขให้เฮลิคอปเตอร์มีการตอบสนองที่ดีขึ้นกว่าเดิม โดยเริ่มจาก

4.3.1 การอ่านค่าจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งหรือความเอียง (H48C Sensor)

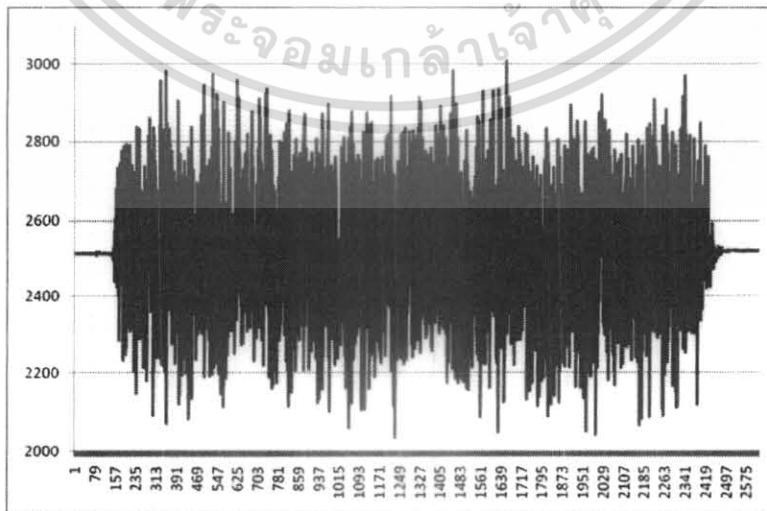
ในความเป็นจริงแล้วก่อนที่จะเรานำเซ็นเซอร์ไปใช้นั้น ควรจะต้องมีการเรียนรู้ลักษณะเฉพาะตัว (Characteristic) ของเซ็นเซอร์นั้นๆ ก่อน ดังนั้นจึงทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร่งหรือความเอียง (H48C) ไว้บนเฮลิคอปเตอร์ เพื่อทำการวัดค่าการตอบสนองของเซ็นเซอร์ในขณะที่

เฮลิคอปเตอร์บินอยู่ในอากาศโดยทำการเก็บค่าที่อ่านได้เข้ามายังคอมพิวเตอร์ และในเวลาเดียวกันก็ทำการถ่ายวิดีโอไว้ด้วย



รูปที่ 4.3 แสดงการเก็บค่าระหว่างเฮลิคอปเตอร์บินอยู่ในอากาศ

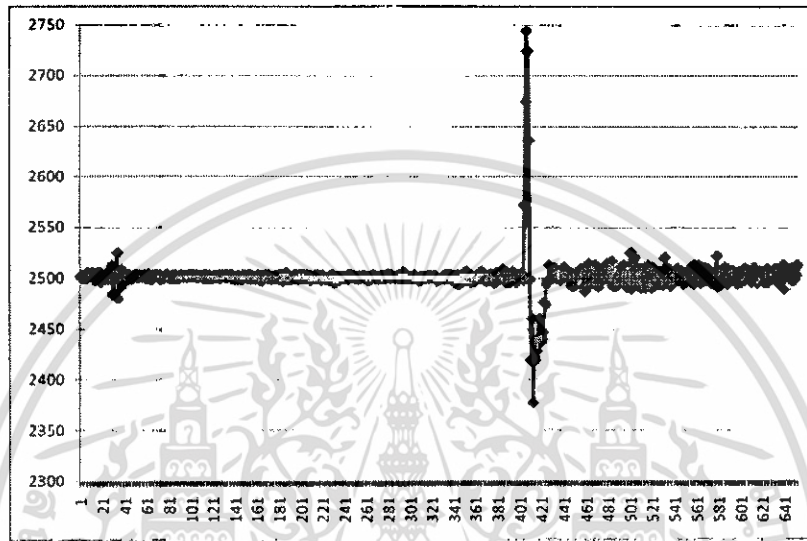
เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งหรือความเอียง (H48C) มาพล็อต (Plot) แล้วผลปรากฏว่า กราฟที่ได้ออกมามีลักษณะเป็นแฉับ (Damp) ไม่สามารถอ่านค่าได้เลย แม้จะทำการใส่โลว์พาสฟิลเตอร์ (Low Pass Filter) เข้าไปโดยการนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยแล้วก็ตาม



รูปที่ 4.4 กราฟที่ได้จาก H48C Sensor ขณะเฮลิคอปเตอร์บินอยู่ในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงเปลี่ยนจากการอ่านค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่อยู่บนเฮลิคอปเตอร์ขณะบินอยู่ในอากาศมาเป็นการอ่านค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ในลักษณะทำการเคลื่อนที่แบบต่างๆ เช่น เคลื่อนที่ไปข้างหน้าช้าๆ เคลื่อนที่ขึ้นเร็วๆ หรือ เอียงไปมา เป็นต้น



รูปที่ 4.5 กราฟที่ได้จากการยก H48C Sensor ขึ้นอย่างรวดเร็ว

เมื่อพิจารณากราฟต่างๆที่ได้มาแล้วพบว่า สาเหตุที่ทำให้กราฟในขณะที่เฮลิคอปเตอร์กำลังบินอยู่ในอากาศไม่สามารถนำค่าที่อ่านมาได้จากเซ็นเซอร์มาตีความได้ เนื่องจากเฮลิคอปเตอร์เกิดการหมุนในขณะที่บินอยู่ ดังนั้น จึงนำใจโรมาใช้เพื่อตรวจจับการหมุนที่เกิดขึ้นของเฮลิคอปเตอร์

4.3.2 การนำใจโรมาควบคุมการหมุนของเฮลิคอปเตอร์

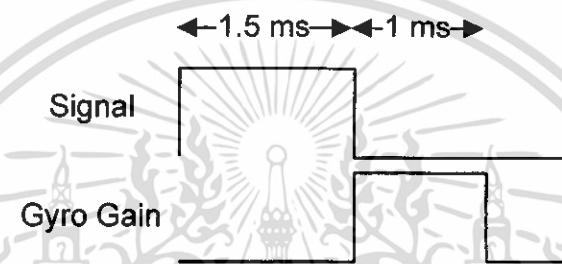
ถ้านำใจโรมาใช้ในการควบคุมการหมุนของเฮลิคอปเตอร์แล้ว ปัญหาที่ตามมาคือ มีความจำเป็นที่จะต้องทำการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ในการบังคับเฮลิคอปเตอร์ขึ้นลงในแนวตั้งเอง เนื่องจากเฮลิคอปเตอร์ที่ใช้นั้นเป็นเฮลิคอปเตอร์แบบที่มีใบพัดสองชั้น ซึ่งจะหมุนสวนทางกันเพื่อทำการหักล้างแรงบิด (Torque) ที่เกิดขึ้นในขณะที่หมุนใบพัด ดังนั้นการควบคุมไม่ให้เฮลิคอปเตอร์เกิดการหมุนก็คือการปรับแรงบิดที่เกิดจากการหมุนใบพัดให้มีค่าเท่ากันเพื่อให้แรงบิดหักล้างกัน ซึ่งจะทำให้เฮลิคอปเตอร์ไม่เกิดการหมุน

4.3.2.1 วิธีควบคุมการทำงานของใจโรและโหมดที่เลือกใช้

โดยในตอนแรกที่นำใจโรมาทดลองใช้ โดยทำการป้อนสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulate) ที่มีค่าเวลาของดิวตี้ (Duty) เท่ากับ 1.5 ms และค่าเวลาของคาบสัญญาณ (Period) เท่ากับ 20 ms ปรากฏว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองหมุนหรือเหวี่ยงใจโรที่ออกมา นั้นไม่สามารถคาดเดาได้ จึงไปทำการศึกษาทฤษฎีการทำงานของ ใจโรมาใหม่ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการศึกษาทฤษฎีมาอย่างดีแล้วจะพบว่า การที่จะให้ใจโรสามารถทำงานได้อย่างปกติ นั้น จำเป็นที่จะต้องทำการป้อนสัญญาณให้กับอัตราขยาย (Gain) ของใจโรด้วย โดยสัญญาณที่ป้อนให้กับอัตราขยายนั้นจะต้องเป็นช่วงเวลาที่ต้องจากการป้อนสัญญาณ 1.5 ms ให้กับใจโรซึ่งค่าเวลาควิต์ของอัตราขยายจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 – 2 ms โดยที่ 1 ms จะเป็นการทำงานในโหมดปกติ (Normal Mode) และค่า 2 ms จะเป็นการทำงานใน Heading Lock Mode สำหรับในการนำมาใช้นั้นได้เลือกใช้ Normal Mode เนื่องจากมีความเหมาะสมกับการนำมาใช้ในการควบคุมเฮลิคอปเตอร์ให้ทรงตัวอยู่เองโดยไม่มีมนุษย์มาควบคุมมากกว่า



รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณ PWM ที่ใช้ควบคุม Gyro

4.3.3 การขับมอเตอร์กระแสตรงด้วย MOSFET

จากที่กล่าวไป เมื่อนำใจโรมาใช้ควบคุมการหมุนของเฮลิคอปเตอร์แล้ว ก็มีความจำเป็นที่จะทำการขับมอเตอร์กระแสตรงเอง

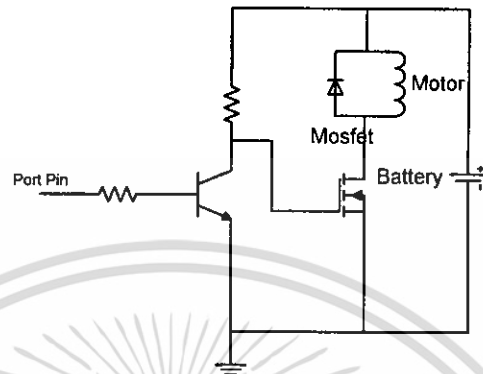
4.3.3.1 วิธีการนำ ไมโครคอนโทรลเลอร์ มาขับ MOSFET

เฮลิคอปเตอร์นี้มีมอเตอร์ที่กินกระแสค่อนข้างสูง จึงมีการเลือกใช้มอสเฟต (Mofset) เพื่อใช้จ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ มอสเฟต เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมโดยการใช้ความต่างศักย์ (voltage controlled device) ซึ่งต่างจากทรานซิสเตอร์ที่เป็นการควบคุมโดยการใช้กระแส (current controlled device) ซึ่งทำให้การควบคุมเป็นไปได้ง่าย โดยทำการเลือกใช้มอสเฟต เบอร์ IRL3302 ซึ่งทนแรงดันตกคร่อม Source-Drain 20 V มีความต้านทานขณะ ON แล้ว 0.020 Ω กระแสเดรนสูงสุด 39 A แต่การใช้งานจะพบว่าการใช้ PWM เพื่อควบคุมความเร็วมอเตอร์ ต้องมีการจ่ายกระแสมากไปยัง Gate ที่มีลักษณะเป็นตัวเก็บประจุ (Capacitor) จึงมีแนวความคิดในการเลือกวิธีการขับในหลายวิธี ตัวอย่างเช่น

วิธีที่ 1: การใช้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 1

พบว่าในการทำงานมีข้อดี คือ แรงดันขณะ ON จะเท่ากับแรงดันของแหล่งจ่ายซึ่งทำให้ความต้านทานที่ต่ำ แต่มีข้อเสีย คือ มอสเฟตจะ OFF เมื่อทรานซิสเตอร์ ON

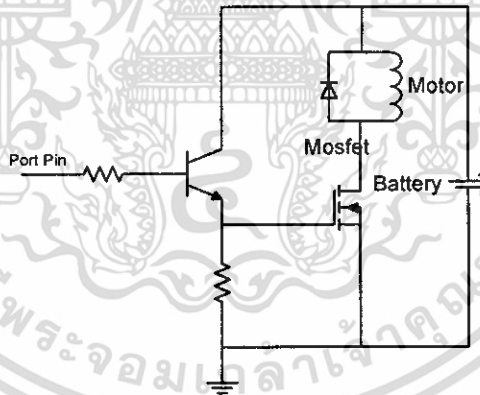
ซึ่งไม่ปลอดภัยหากไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานมีปัญหาไม่สามารถส่งเพื่อให้ทรานซิสเตอร์ ON ได้ เช่น เกิดการ Reset จะทำให้เฮลิคอปเตอร์เกิดการเร่งขึ้นสุด



รูปที่ 4.7 วงจรขับมอสเฟตโดยใช้ทรานซิสเตอร์ แบบที่ 1

วิธีที่ 2: การใช้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 2

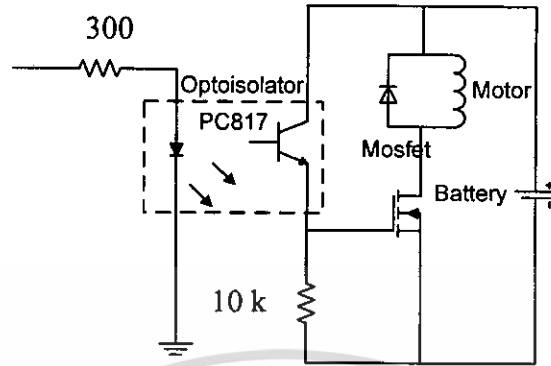
เป็นการต่อเพื่อแก้ปัญหาการ ON ของมอสเฟตโดยไม่ตั้งใจ แต่ยังมีข้อเสียที่มีแรงดันที่ตกคร่อมมอสเฟตไม่สูงนัก ทำให้ความต้านทานของมอสเฟตขณะ ON สูง



รูปที่ 4.8 วงจรขับมอสเฟต โดยใช้ทรานซิสเตอร์ แบบที่ 2

วิธีที่ 3: การใช้ Optoisolator

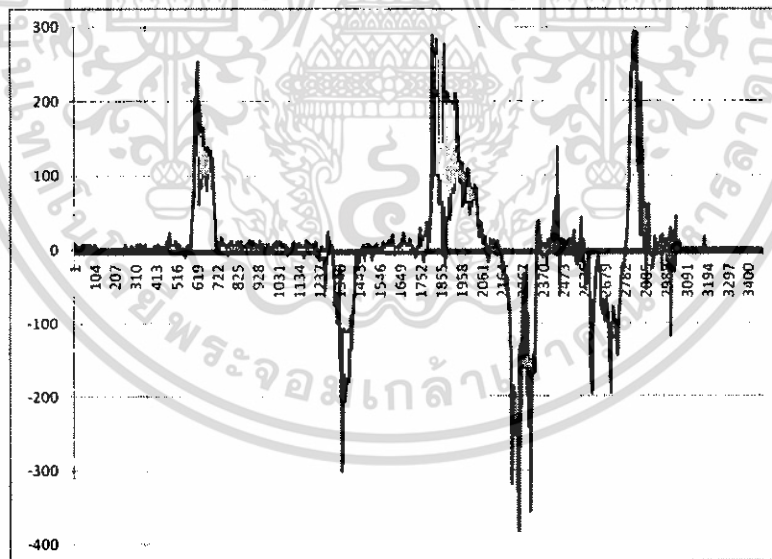
มีการเลือกใช้ Optoisolator เบอร์ PC817 เพื่อใช้ในการขับมอสเฟต ซึ่งแก้ปัญหาการ ON ของมอสเฟตโดยไม่ตั้งใจ อีกทั้งยังสามารถให้แรงดันที่ขา Gate ได้สูงเพียงพอ อีกทั้งขนาดวงจรไม่ใหญ่นักเหมาะสมแก่การติดตั้งบนเฮลิคอปเตอร์



รูปที่ 4.9 วงจรขับมอเตอร์ โดยใช้ Optoisolator

4.3.4 หลักการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ในขณะที่บินอยู่ในอากาศ

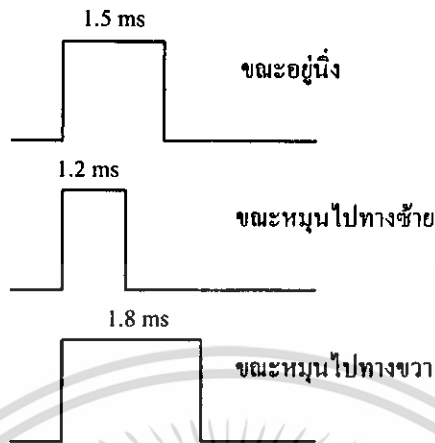
เมื่อสามารถนำใจโรมาใช้งานและทำการขับมอเตอร์กระแสตรงได้แล้ว จากประสบการณ์ที่ผ่านมาจึงรู้ว่า ก่อนที่จะนำใจโร ไปใช้ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์นั้น ควรทำการอ่านค่าที่ได้จากใจโรเสียก่อน ดังนั้นจึงทำการอ่านค่าของใจโรในขณะที่ทำการหมุนหรือเหวี่ยง ซึ่งค่าที่ได้ ออกมานั้นสามารถเห็นการตอบสนอง ได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 4.10 กราฟที่ได้จากการใจโรขณะทำการหมุนหรือเหวี่ยงไปมา

โดยค่าที่อ่านออกมาได้จะอยู่ในช่วง -300 ถึง 300 ซึ่งเป็นค่าในฐานเวลาของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะไม่ขอก้าวถึง โดยจะใช้ โมดูลตรวจจับสัญญาณ (IC Module) ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวตรวจจับเวลาควิตซ์ของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเกิดการหมุนหรือการเหวี่ยงใจโร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงค่าเวลา Duty ของสัญญาณ PWM ขณะเกิดการหมุนหรือเหวี่ยง

ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์นั้นได้นำ P Control มาช่วยในการควบคุม โดยจะใช้ Kp เป็นตัวปรับ Gain ให้กับเปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดค่าเวลาคิวดิจิทัลของสัญญาณ PWM ที่ป้อนให้กับมอเตอร์กระแสตรงเพื่อทำการควบคุมไม่ให้เกิดการหมุนขณะมอเตอร์บินอยู่ในอากาศ

4.3.4.1 วิธีการคำนวณค่าที่ใช้ปรับคิวดิจิทัล (Duty) ของสัญญาณ PWM

กำหนดให้ $K_p = 0.01$ และ สมมติค่าที่อ่านมาได้จากไจโรมีค่าเท่ากับ 300 โดยที่ค่าเวลาของคาบสัญญาณ PWM ที่ใช้ขับมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 3686 ดังนั้นเมื่อนำค่าที่อ่านมาได้ ไปคูณกับ Gain Kp แล้วจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ออกมา

$$\% = K_p * 300$$

$$\% = 3$$

จากนั้นนำเปอร์เซ็นต์ที่ได้ไปคำนวณหาค่าที่จะนำไปใช้ลดหรือเพิ่มค่าเวลาของคิวดิจิทัล

$$\text{Adjust Value} = (\% * 3686) / 100$$

$$\text{Adjust Value} = (3 * 3686) / 100$$

$$\text{Adjust Value} = 110.58$$

เพราะฉะนั้น เนื่องจากตัวแปรที่ใช้เป็นตัวแปรชนิด Integer โดยจะปัดเศษทศนิยมทิ้งไป ดังนั้นค่าที่จะนำไปเพิ่มหรือลดค่าเวลาของคิวดิจิทัลมีค่าเท่ากับ 110

สรุปการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ได้ว่า เมื่อสามารถตรวจจับค่าเวลาของคิวดิจิทัลจากไจโรเสร็จสิ้นแล้ว จะนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าคิวดิจิทัลตั้งต้นที่ป้อนให้กับไจโร จากนั้นนำค่าที่ทำการเปรียบเทียบแล้ว มาคำนวณเพื่อนำไปใช้ในการปรับค่าเวลาของคิวดิจิทัลที่ใช้ในการขับกระแสตรงอีกทีหนึ่ง

4.3.5 การนำ ADC Module มาใช้ในการปรับ Kp

เพื่อความสะดวกในการปรับค่า Kp โดยไม่ต้องมาปรับค่าในโปรแกรมทุกครั้งที่จะทำการทดลองบิน จึงนำ ADC Module มาใช้ในการปรับค่า Kp โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวปรับ ซึ่งค่าที่ได้จาก ADC จะมีค่าตั้งแต่ 0 – 1024 เนื่องจาก ADC ที่ใช้เป็น ADC 10 bits และค่าของแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าระหว่าง 0 – 5 V. ส่วนค่าของ Kp ที่เรากำหนดไว้จะมีค่าเท่ากับ 0.01

4.3.5.1 วิธีการคำนวณค่า Kp จากการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้

สมมติว่ามีการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ไปอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง

ดังนั้นค่าแรงดันที่ตกคร่อมจะมีค่าประมาณ 2.5 V.

เพราะฉะนั้นค่าที่ได้จาก ADC จะมีค่าประมาณ 512

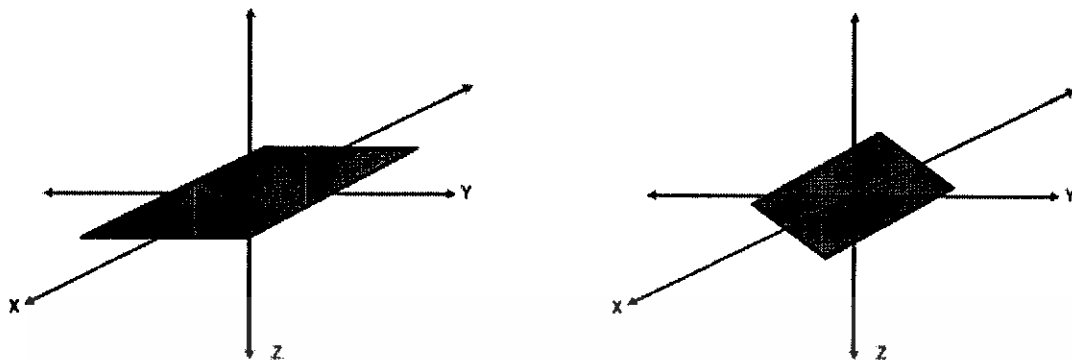
$$\begin{aligned} Kp \text{ Adjust} &= \frac{ADC \times Kp}{1024} \\ Kp \text{ Adjust} &= \frac{512 \times 0.01}{1024} \\ Kp \text{ Adjust} &= 0.005 \end{aligned}$$

4.4 การทดลองบินครั้งแรก

จากผลการทดลองบินพบว่าเฮลิคอปเตอร์จะเกิดอาการส่ายหน้า ไปมาระหว่างการบินค่อนข้างมากหากหมุนความตัวต้านทานปรับค่าได้ไปสุดด้าน 5 โวลต์ แต่ถ้าหมุนตัวต้านทานปรับค่าได้ไปที่ประมาณ 1/4 จะทำให้เฮลิคอปเตอร์สามารถบินนิ่งอยู่ในอากาศได้โดยไม่เกิดการหมุนหรือส่ายหน้าแต่อย่างใด แต่มีปัญหายุ่งยากที่เฮลิคอปเตอร์ไม่สามารถรักษาระดับความสูงในการบินอยู่ได้ โดยจะค่อยๆ ตกลงมา

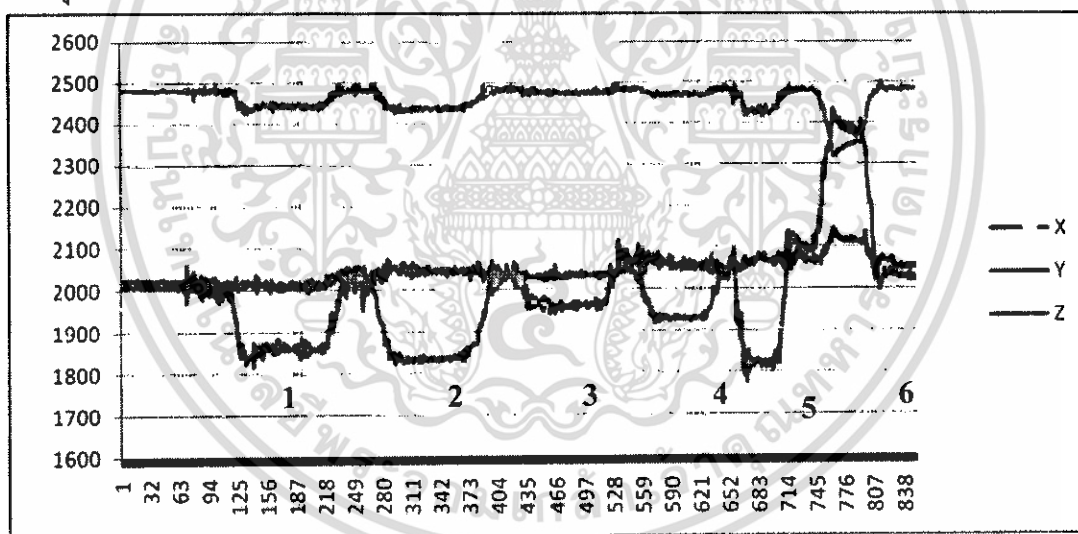
4.4.1 หลักการรักษาระดับความสูงของเฮลิคอปเตอร์ในขณะที่บินอยู่ในอากาศ

เนื่องจากตัวเซ็นเซอร์ตรวจจับความเร่งหรือความเอียง (H48C) นั้น สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของความเร่ง g เมื่อเทียบกับแรงโน้มถ่วงของโลก (1 g) ได้ หากมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงอย่างเห็นได้ชัด แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความสูงแบบค่อยเป็นค่อยไปแล้วเซ็นเซอร์แทบจะไม่สามารถตรวจความเปลี่ยนแปลงระดับความสูงที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งถ้านำมาใช้กับเฮลิคอปเตอร์แล้วอาจจะไม่สามารถตอบสนองการเปลี่ยนแปลงได้ดีเท่าที่ควร



รูปที่ 4.12 แสดงระนาบของตัวเซ็นเซอร์

เนื่องจากตอนแรกมีการศึกษาตัวอย่างจากรูปที่ 4.12 พื้นที่สี่เหลี่ยมเป็นตัวแทนของเซ็นเซอร์วัดความเร่ง (H48C) จากทางซ้ายมือซึ่งมีระนาบขนานกับพื้นโลก ส่วนทางขวามือเป็นรูปที่เซ็นเซอร์มีการหมุนไปตามแกน X ซึ่งส่งผลต่อค่าที่อ่านได้



รูปที่ 4.13 กราฟข้อมูลจากการอ่านเซ็นเซอร์ในแกนต่างๆ

จากรูปจุดที่ 4.14A เป็นระนาบปกติของเซ็นเซอร์ รูปจุดที่ 4.14B เป็นการแสดงว่าตัวเซ็นเซอร์มีการบิดหมุนไปรอบแกน X ซึ่งผลรวมที่ได้จากค่าที่อ่านแกน Y และ แกน Z จะต้องมีผลรวมเท่ากับ 1 g กรณีที่ไม่มีการเคลื่อนที่ และไม่ขึ้นกับความสูงจากพื้นโลกของตำแหน่งเซ็นเซอร์ เพราะเป็นการวัดค่าความเร่งของโลก

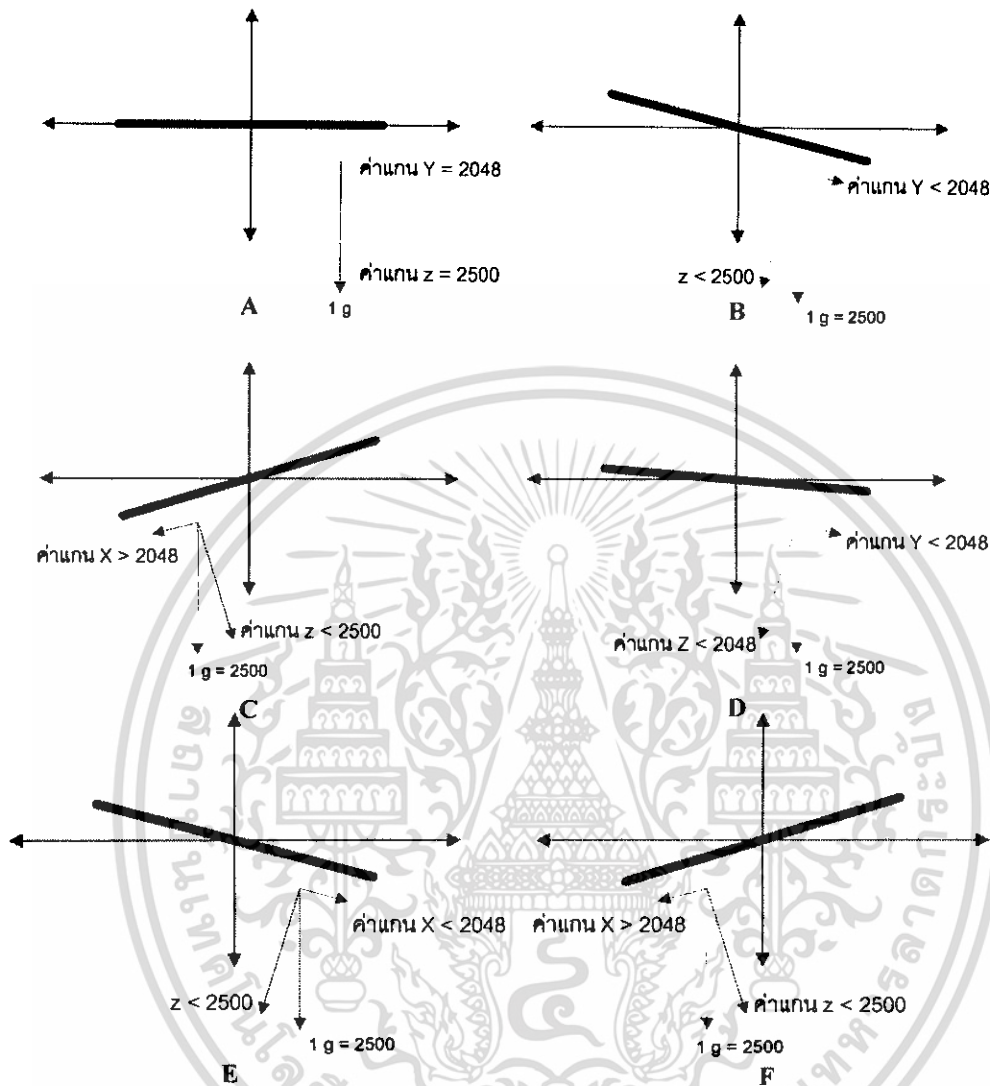
รูปที่ 4.14C เป็นการหมุนรอบแกน Y ซึ่งผลลัพธ์จะไปปรากฏที่แกน X และแกน Z

รูปที่ 4.14D เียงไปในทิศเดียวกับ รูปที่ 4.14B แต่มีค่าน้อยกว่า

รูปที่ 4.14E และ F ซึ่งจะตรงกับตำแหน่งที่ 5 และ 6 เป็นการแสดงการเอียงที่ตรงข้ามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

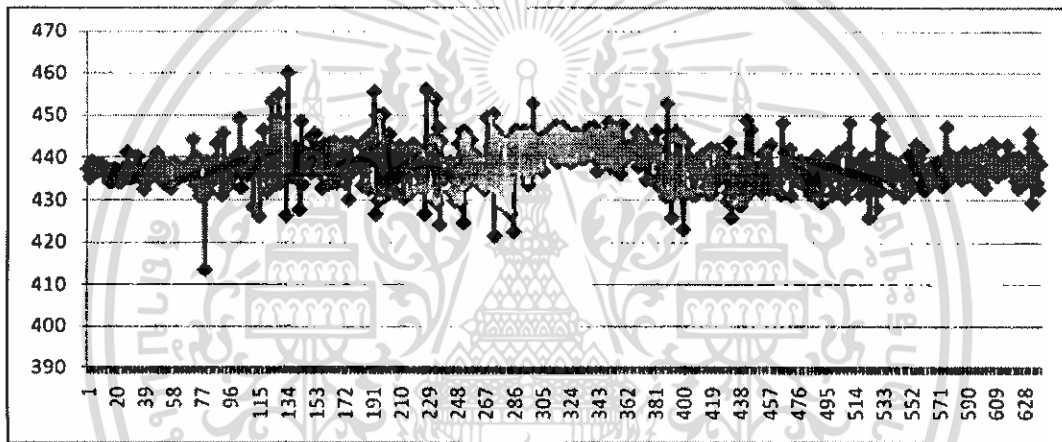


รูปที่ 4.14 แสดงระนาบของตำแหน่งเซ็นเซอร์ ในระนาบปกติ และตามกราฟตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 5, 6 หรือจาก A-F

จึงมีแนวทางในการคิดที่ใช้สมการในการหาตำแหน่ง $X^2+Y^2+Z^2$ เพราะเกิดจากการสังเกตว่าเมื่อเซ็นเซอร์อยู่หนึ่งที่ ไม่ว่าจะหมุนไปไหนทิศทางไหน จะมีผลลัพธ์รวมได้เท่ากับ ความเร่งของโลก(1 g) ซึ่งจะมีค่าจากการอ่านจากเซ็นเซอร์ประมาณที่ 2500 เมื่อมีการลบค่าอ้างอิง 2048 ได้ค่า $2500 - 2048 = 452$ ซึ่งจะได้ใกล้เคียงกับที่ได้จากสมการที่กำหนด ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4.15

		ลบค่าอ้างอิง(2048)
ค่าแกน X	2023	-15
ค่าแกน Y	2008	-123
ค่าแกน Z	2481	436
ใช้สมการ ($X^2+Y^2+Z^2$)		453.26
ค่าที่ได้จากการประมาณ		452.00

ตารางที่ 4.1 การคำนวณค่า เปรียบเทียบจากการประมาณ



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงข้อมูลที่ได้จากการคำนวณผ่านสมการ

4.5 การทดลองบินครั้งที่สอง

หลังจากที่ทำการติดตั้งทั้ง ใจโรและเซ็นเซอร์ตรวจจับความเร่งหรือความเอียง (H48C) แล้ว เมื่อทำการบินปรากฏว่า เฮลิคอปเตอร์ไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงขณะบินอยู่ในอากาศ แต่เมื่อนำมือไปแตะที่บริเวณเซ็นเซอร์ปรากฏว่าเฮลิคอปเตอร์สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงได้ ดังนั้นสาเหตุน่าจะมาจากในขณะที่เฮลิคอปเตอร์บิน จะเกิดการสั่นเป็นความถี่สูงซึ่งทำให้เซ็นเซอร์เกิดการสั่นเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นสาเหตุให้ตัวเก็บประจุที่ใช้เป็นตัววัดค่า เกิดอาการอิ่มตัว (Saturation) ทำให้เฮลิคอปเตอร์ไม่มีการตอบสนองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความสูง

4.5.1 การปรับปรุงระบบความเร็วในการรับข้อมูลและเพิ่มอุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือน

จากผลลัพธ์ที่ได้มาจากการทดลองบินครั้งที่สอง ดังนั้นจึงทำการการติดตั้งสปริงดูดซับแรงสั่นสะเทือนให้กับวงจรที่ติดอยู่บนเฮลิคอปเตอร์ พร้อมทั้งลดความเร็วในการอ่านข้อมูลจาก

เซ็นเซอร์ตรวจจับความเร่งหรือความเอียง (H48C) ลง หรืออีกนัยหนึ่งคือ เพิ่มค่าเวลาในการเก็บและคายประจุให้กับตัวเก็บประจุ

4.5.1.1 วิธีการคำนวณหาค่าเวลาที่ใช้ในการเก็บและคายประจุ

เนื่องจาก H48C Sensor มี Sampling Rate ที่ 200 Hz

ดังนั้นค่าเวลาที่ใช้ในการเก็บและคายประจุของตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ $1 / 200 = 5 \text{ ms}$

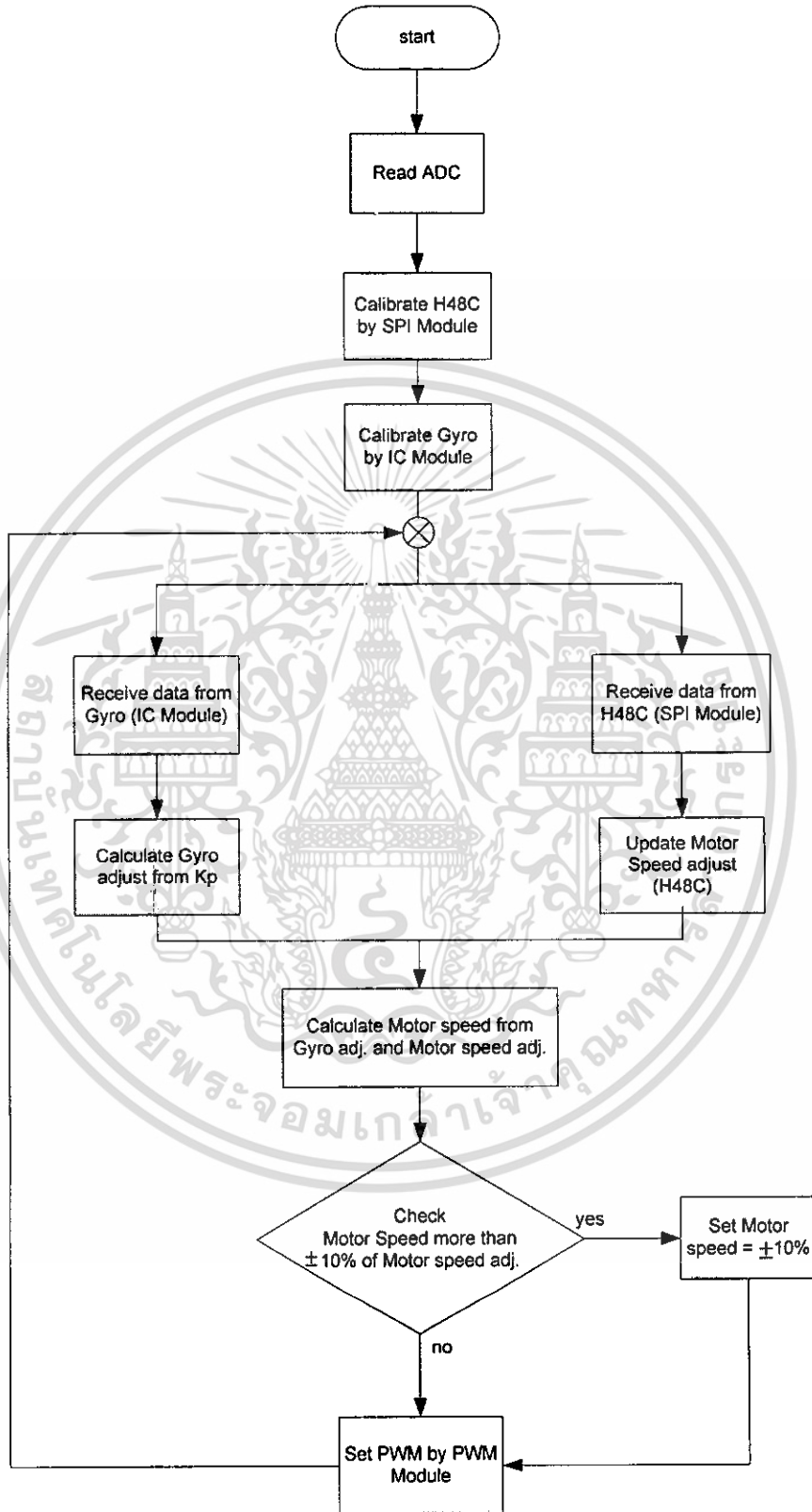
จึงทำการปรับให้เวลาในการอ่านค่าจากตัวเก็บประจุแต่ละครั้งมีค่าเท่ากับ 5.5 ms จากเดิมที่

มีค่าน้อยกว่า 5 ms

4.6 การทดลองบินครั้งที่สาม

ในการทดลองบินครั้งนี้ ซึ่งผลที่ออกมาปรากฏว่าสามารถทำให้เฮลิคอปเตอร์ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงได้ดีในระดับหนึ่ง และไม่เกิดอาการหมุนแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามผลที่ออกมายังไม่เป็นที่น่าพอใจนัก





รูปที่ 4.16 แสดง Flow Chart การทำงานรวมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

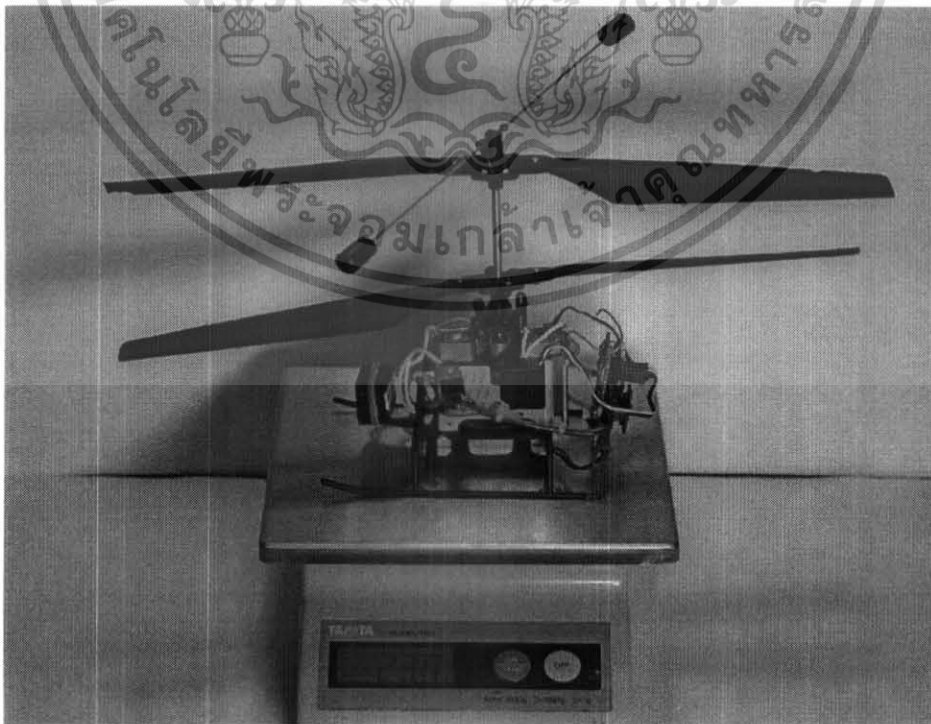
บทที่ 5

การทดลอง

5.1 รูปเปรียบเทียบน้ำหนักก่อน และหลังการตัดแปลงเฮลิคอปเตอร์



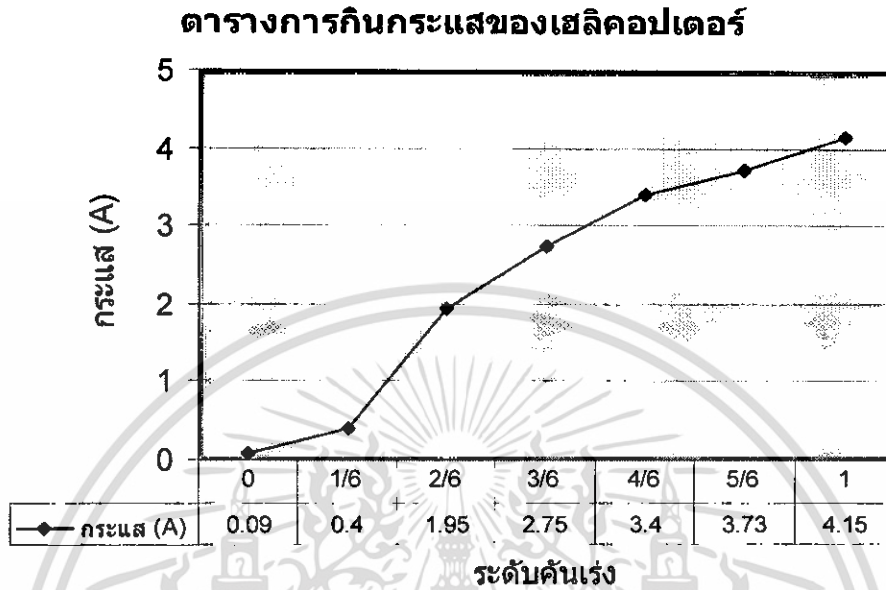
รูปที่ 5.1 ก่อนทำการตัดแปลง น้ำหนัก 223 กรัม



รูปที่ 5.2 หลังทำการตัดแปลง น้ำหนัก 237 กรัม หนักเพิ่มขึ้น 14 กรัม

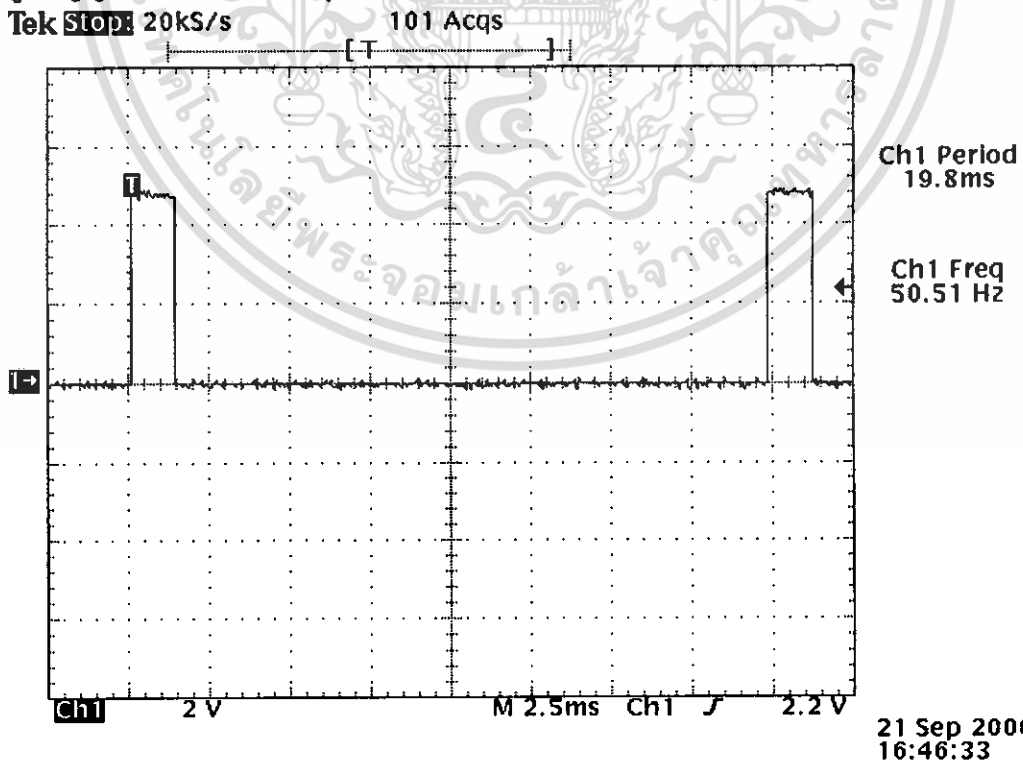
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ตารางการกินกระแสของเฮลิคอปเตอร์



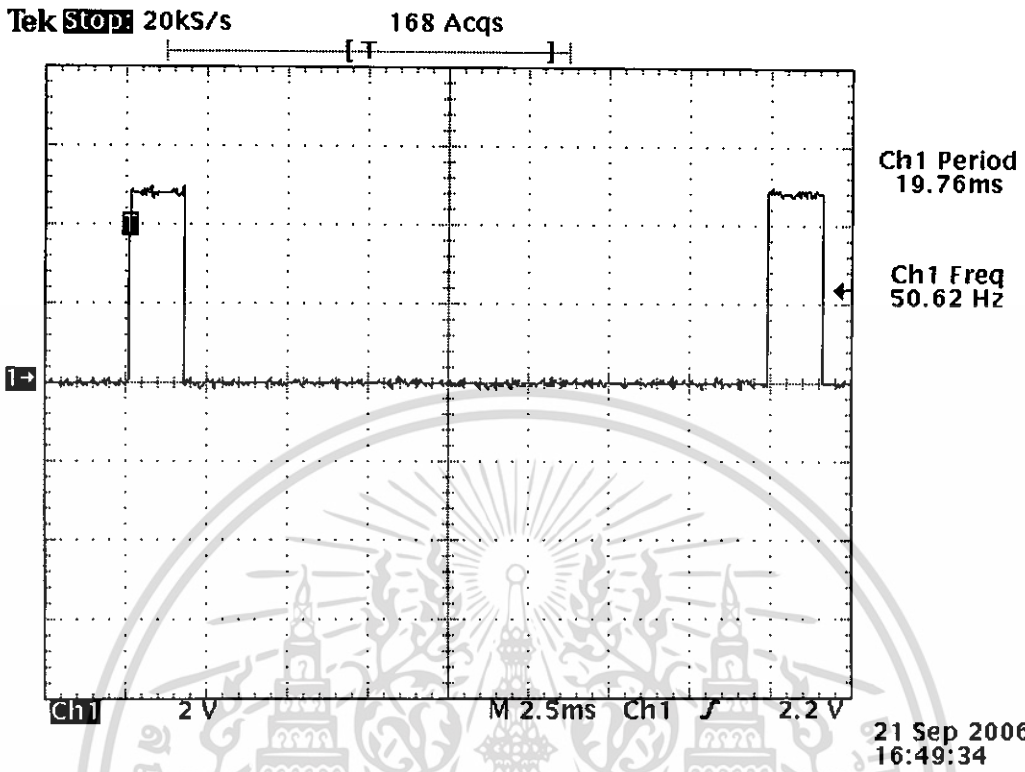
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงการกินกระแสของเฮลิคอปเตอร์

5.3 รูปสัญญาณที่ใช้ในการควบคุม Motor และ Servo

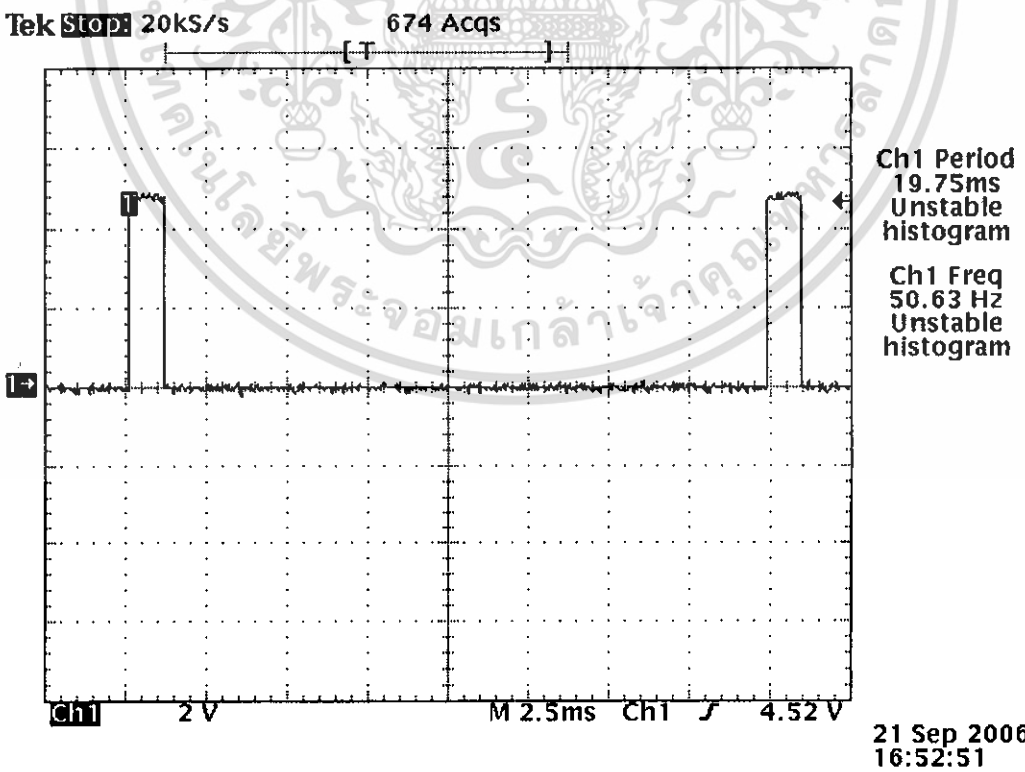


รูปที่ 5.3 สัญญาณที่ใช้ควบคุม เซอร์โวมอเตอร์ ขณะปล่อยคันบังคับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

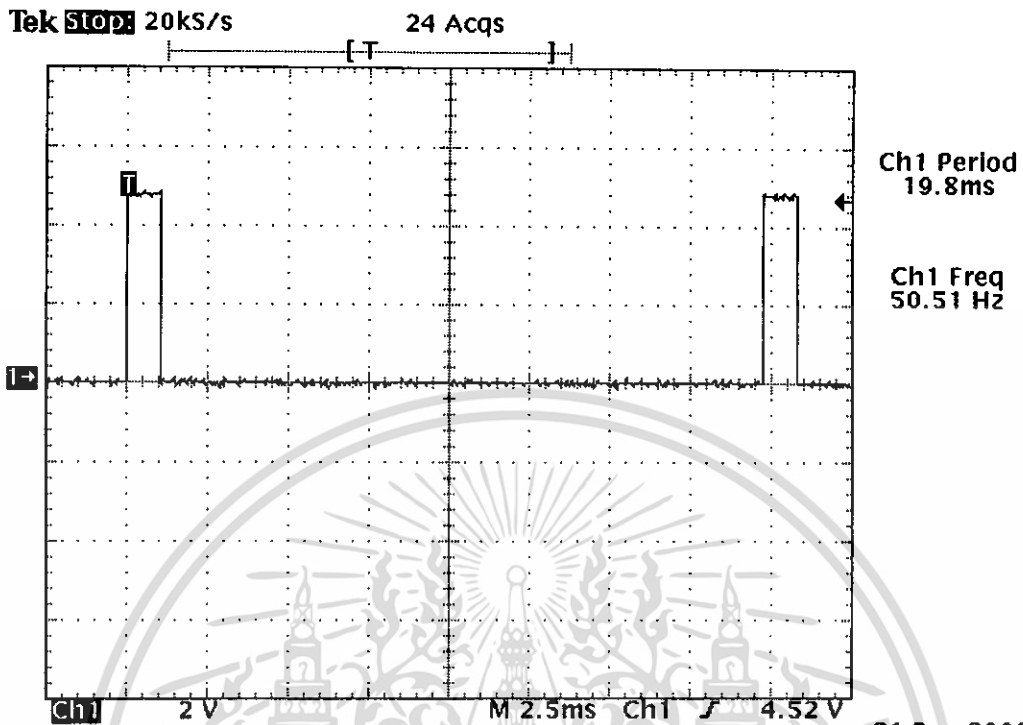


รูปที่ 5.4 สัญญาณที่ใช้ควบคุม เซอร์ โวมอเตอร์ ขณะ โยคคันบังคับทางซ้ายสุด



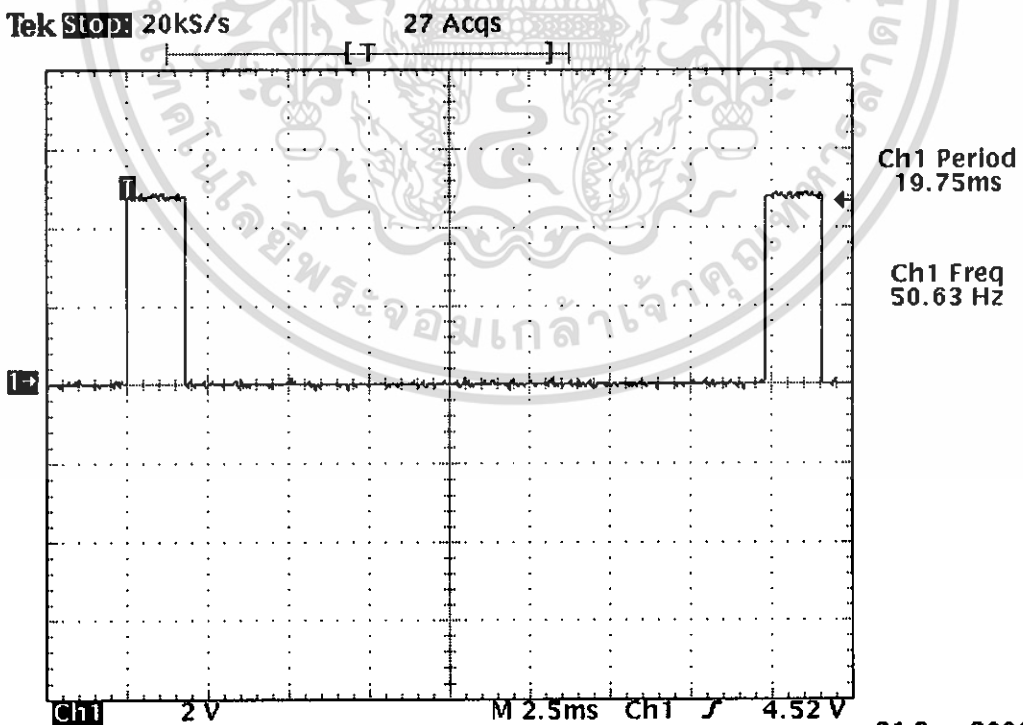
รูปที่ 5.5 สัญญาณที่ใช้ควบคุม เซอร์ โวมอเตอร์ ขณะ โยคคันบังคับทางขวาสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



21 Sep 2006
16:56:28

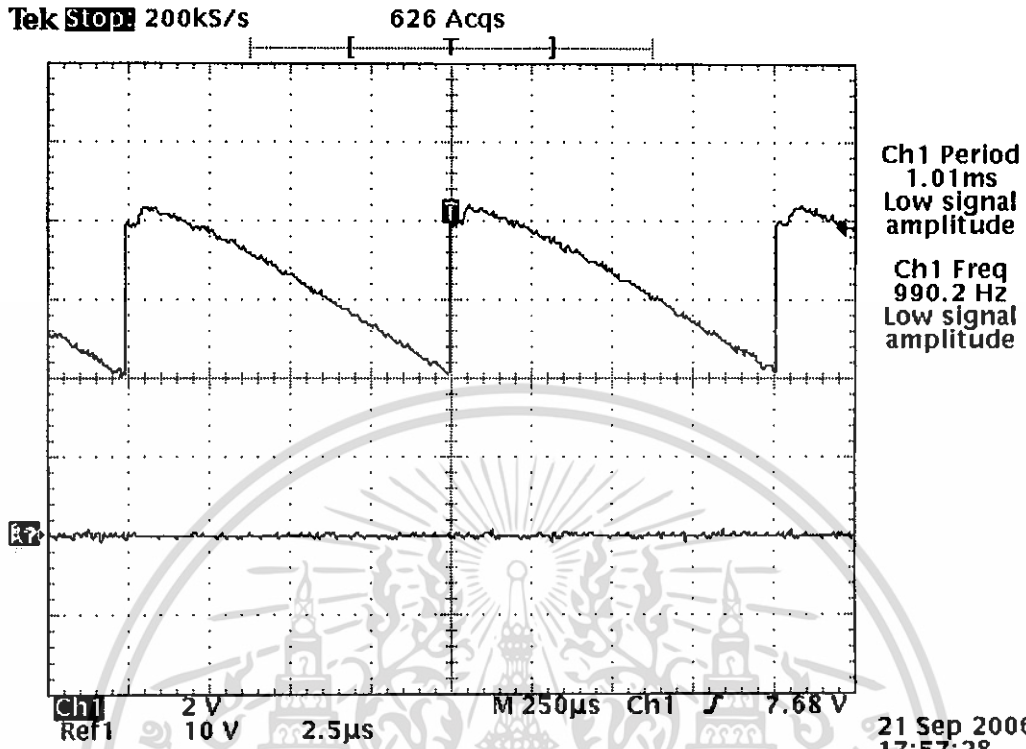
รูปที่ 5.6 สัญญาณที่ใช้ควบคุม เซอร์โวมอเตอร์ ขณะ โยกคันบังคับขึ้นสุด



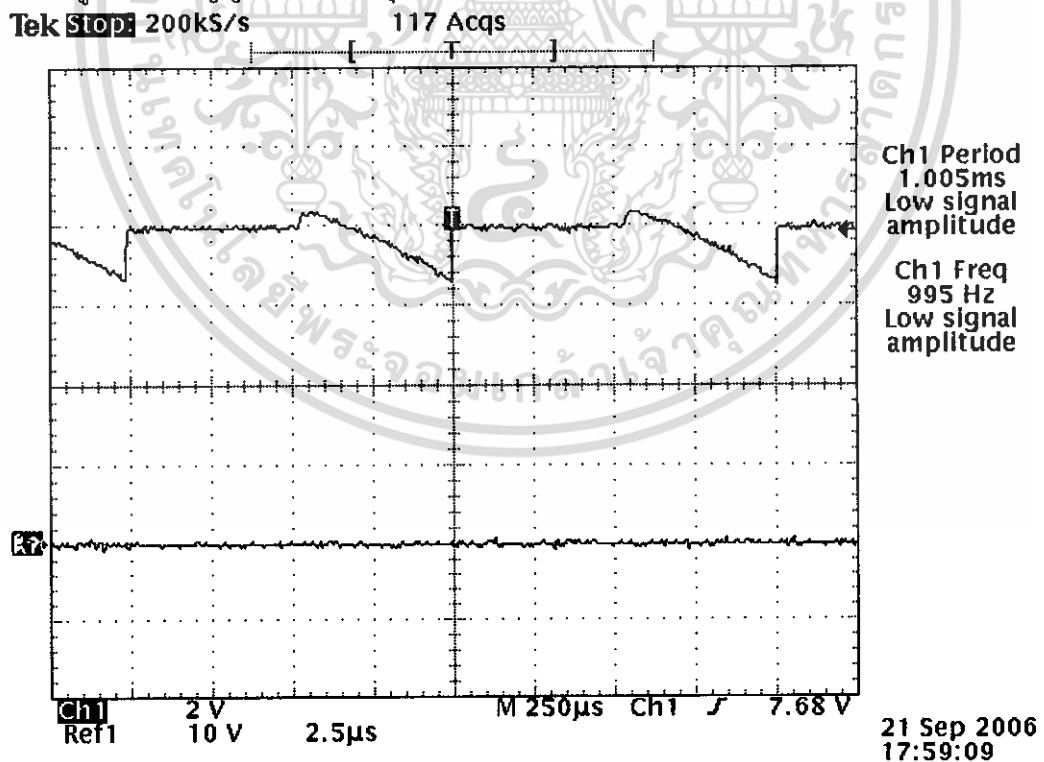
21 Sep 2006
16:58:11

รูปที่ 5.7 สัญญาณที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ขณะ โยกคันบังคับลงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

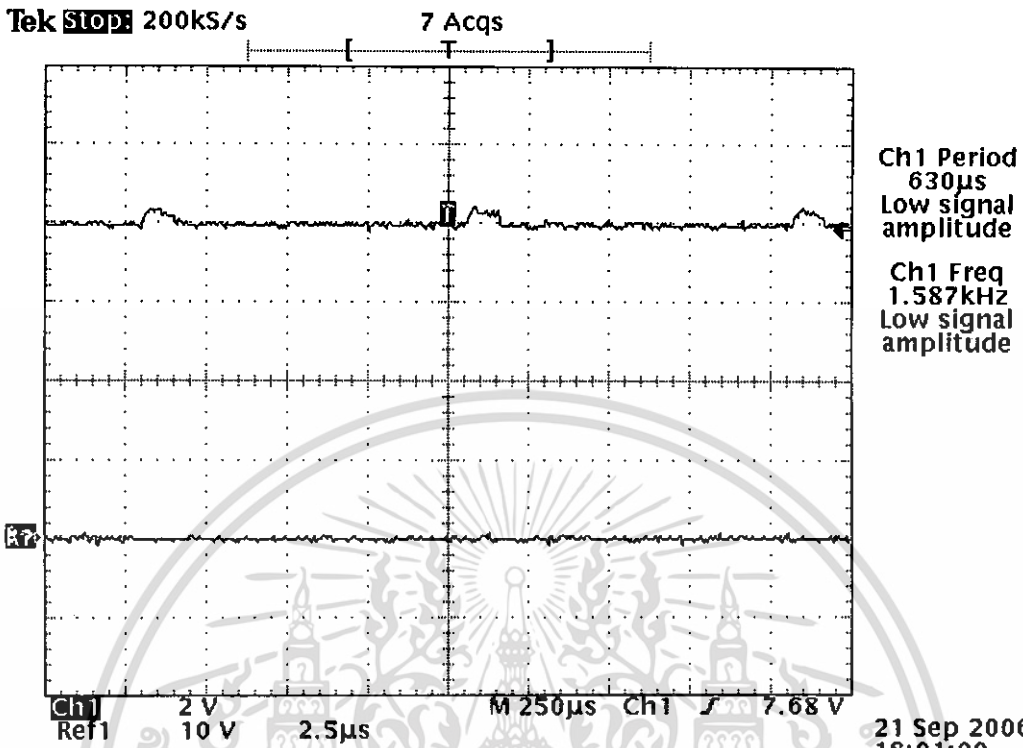


รูปที่ 5.8 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดบนขณะ โยกคันเร่ง 1/6 ของทั้งหมด

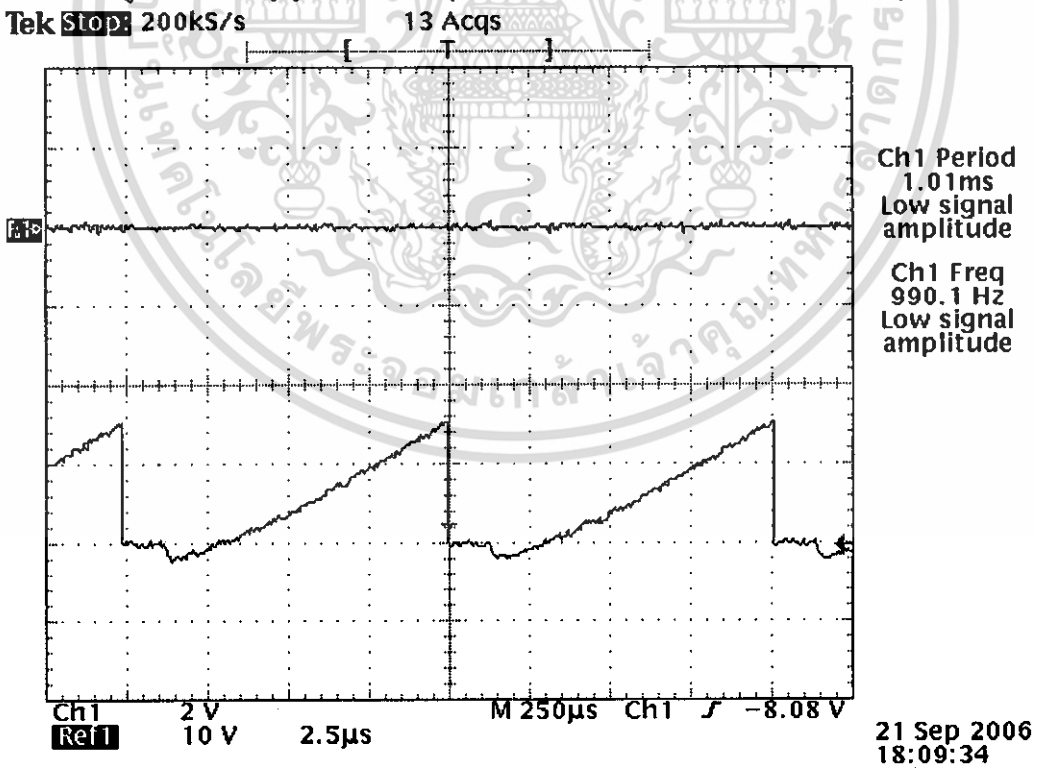


รูปที่ 5.9 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดบนขณะ โยกคันเร่ง 1/2 ของทั้งหมด

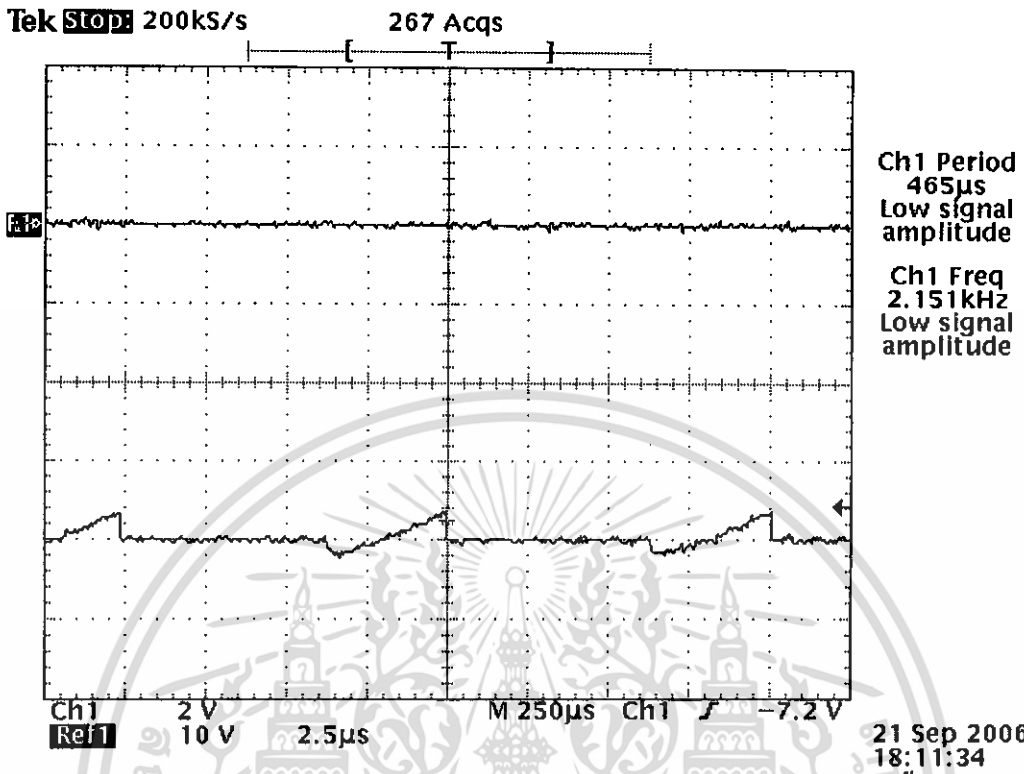
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



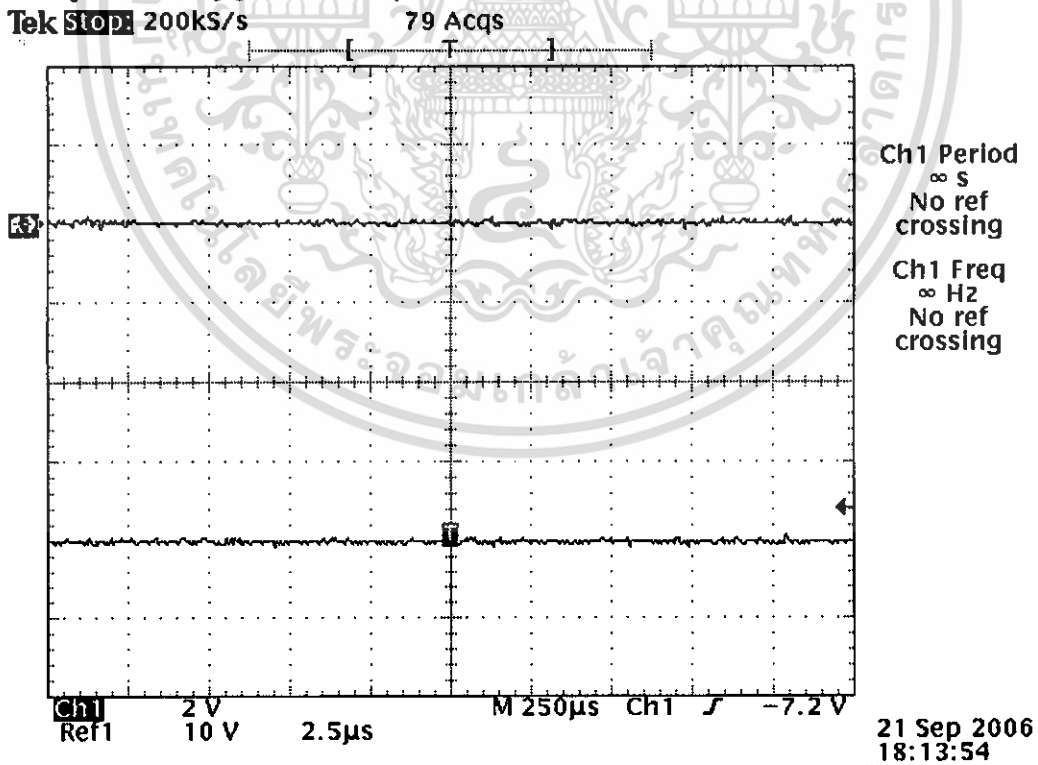
รูปที่ 5.10 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดบนขณะ โยกคันเร่งขั้นสุด



รูปที่ 5.11 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดกลางขณะ โยกคันเร่ง 1/6 ของทั้งหมด

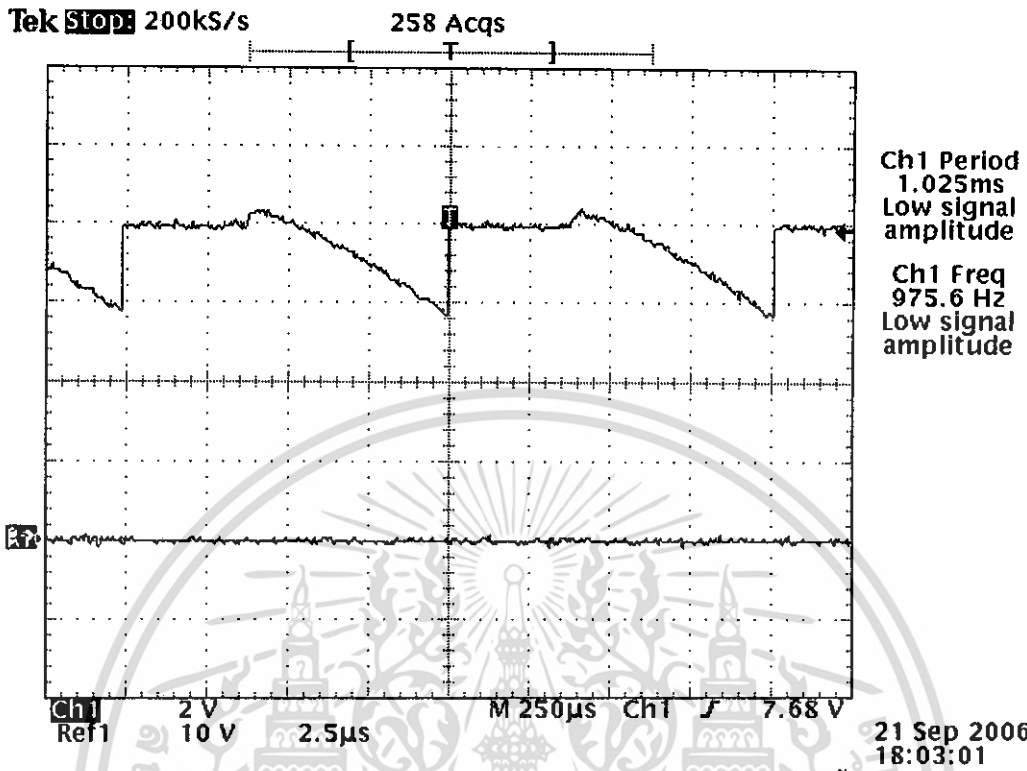


รูปที่ 5.12 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดล่างขณะ โยกคันเร่ง 1/2 ของทั้งหมด

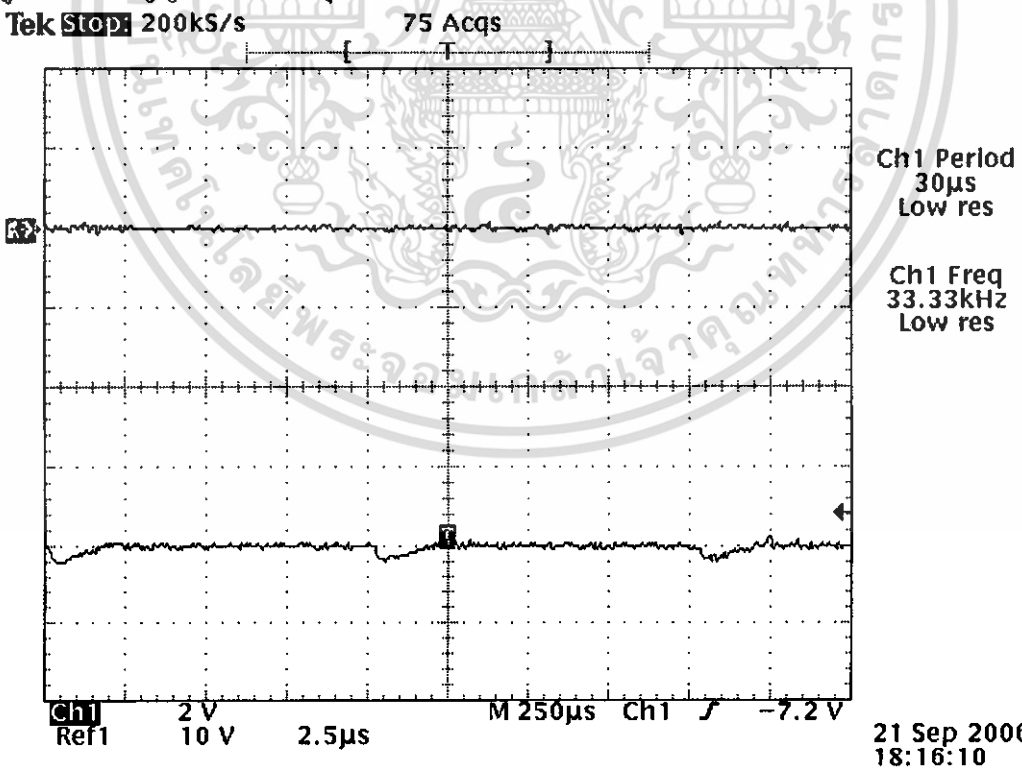


รูปที่ 5.13 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดล่างขณะ โยกคันเร่งขึ้นสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

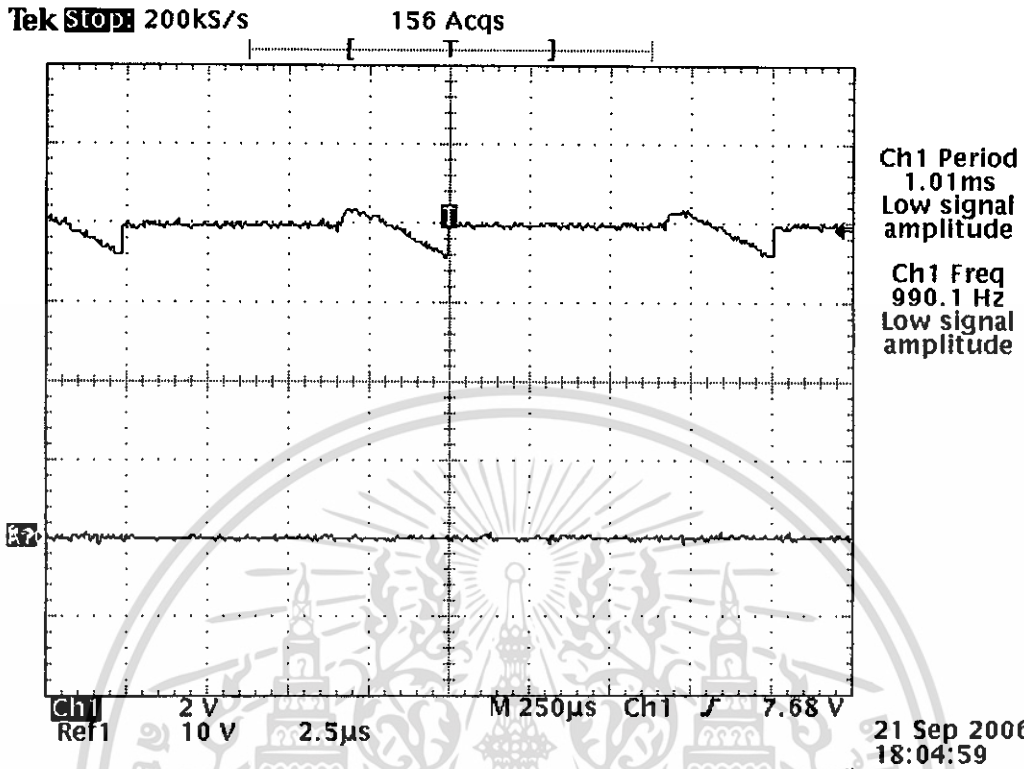


รูปที่ 5.14 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดบนขณะ โยคคันเร่ง 1/2 ของทั้งหมด ไปทางซ้าย

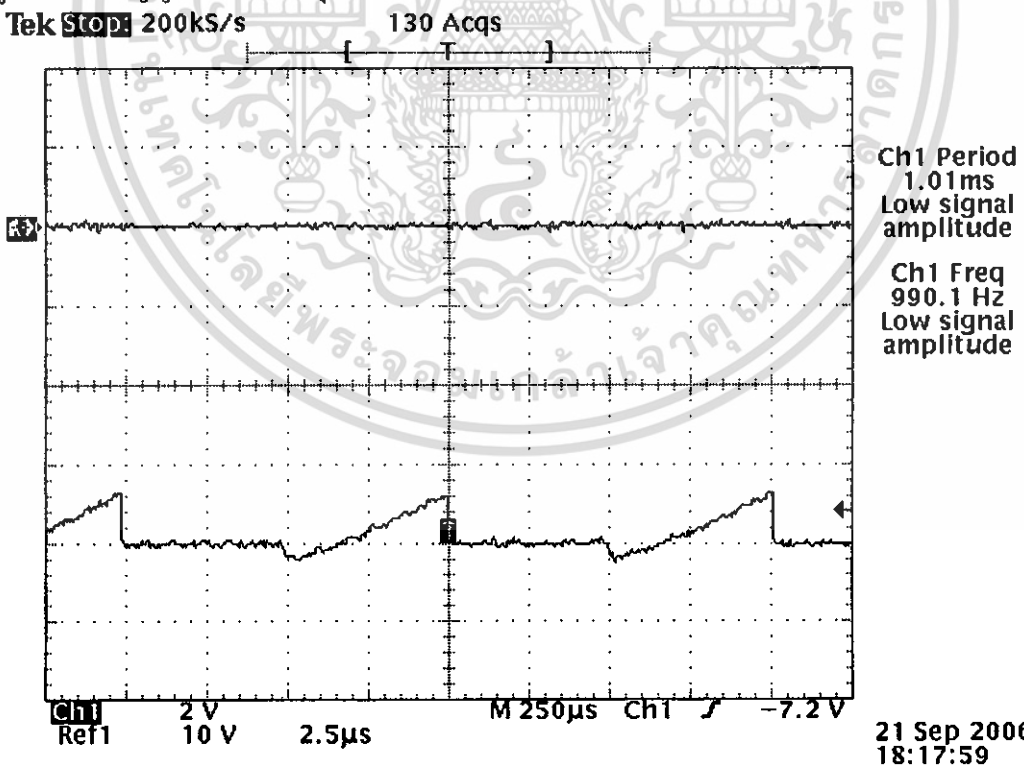


รูปที่ 5.15 สัญญาณที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ใบพัดล่างขณะ โยคคันเร่ง 1/2 ของทั้งหมด ไปทางซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 สัญญาณที่ใช้ควบคุม มอเตอร์ ใบพัดบนขณะ โยกคันเร่ง 1/2 ของทั้งหมด ไปทางขวา



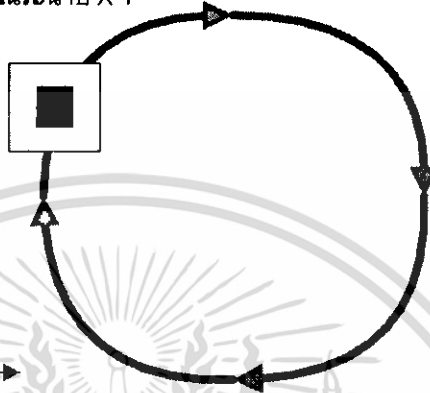
รูปที่ 5.17 สัญญาณที่ใช้ควบคุม มอเตอร์ ใบพัดล่างขณะ โยกคันเร่ง 1/2 ของทั้งหมด ไปทางขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

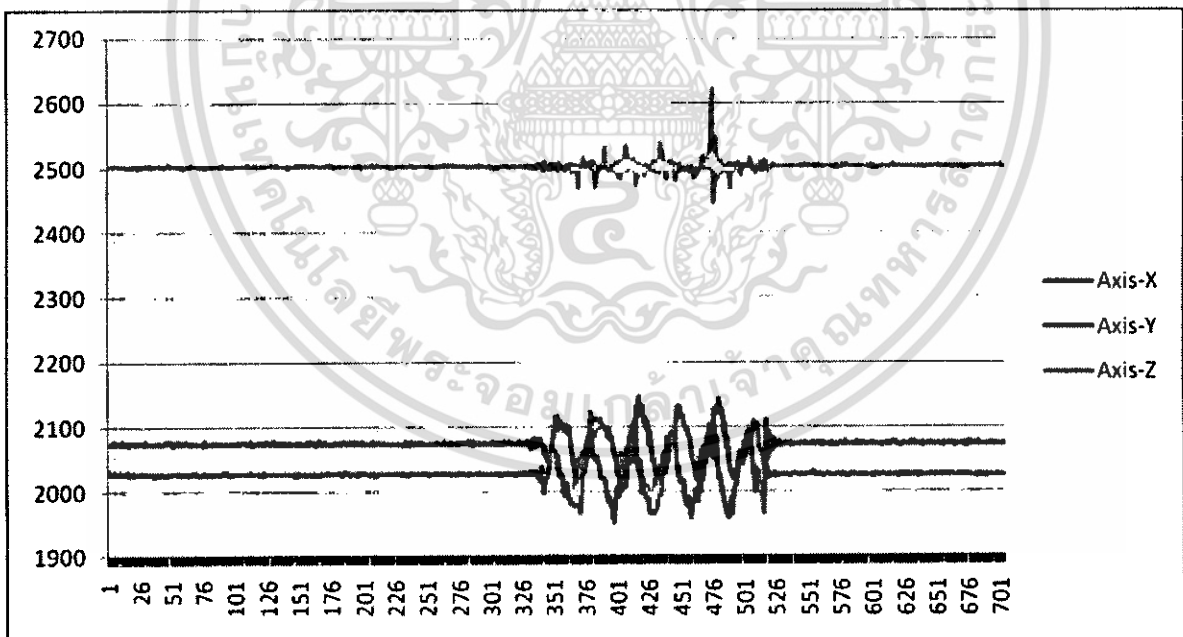
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ ของเซนเซอร์ H48C

5.4.1 การหมุนระนาบ X-Y

ทิศทางการหมุนในระนาบ X-Y



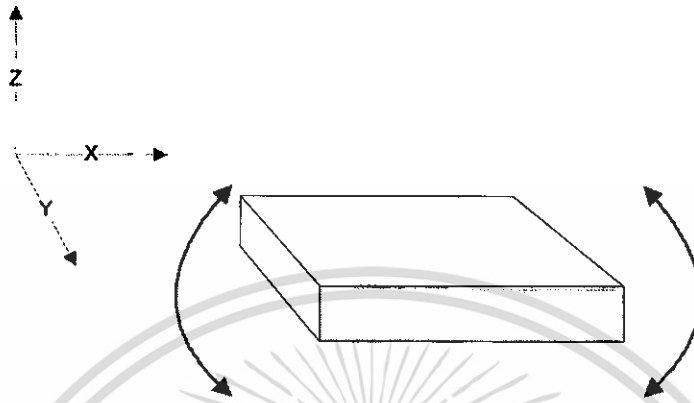
รูปที่ 5.18 การหมุนระนาบ X-Y



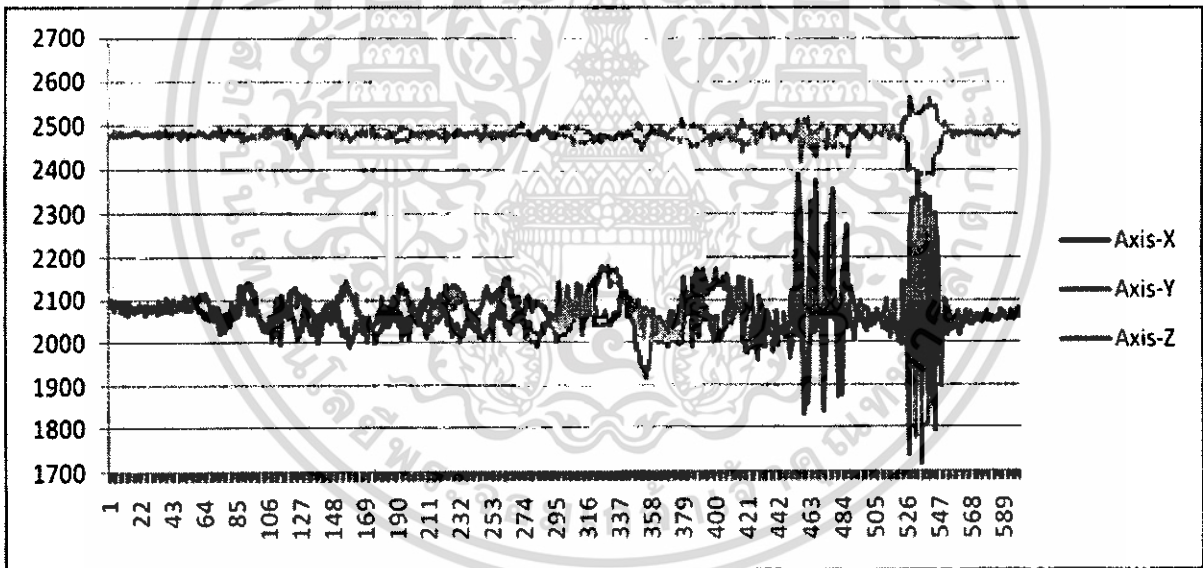
รูปที่ 5.19 กราฟการหมุนระนาบ X-Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 การส่ายไป-มา รอบแกน Y จากน้อยไปมาก



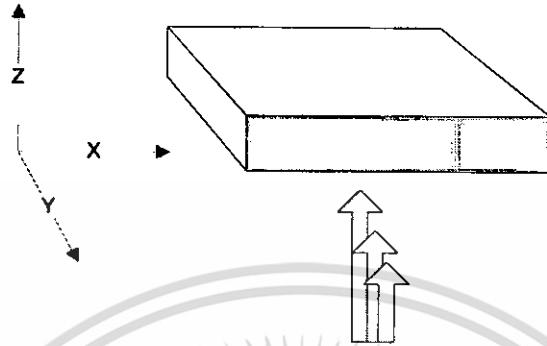
รูปที่ 5.20 การส่ายไป-มา รอบแกน Y จากน้อยไปมาก



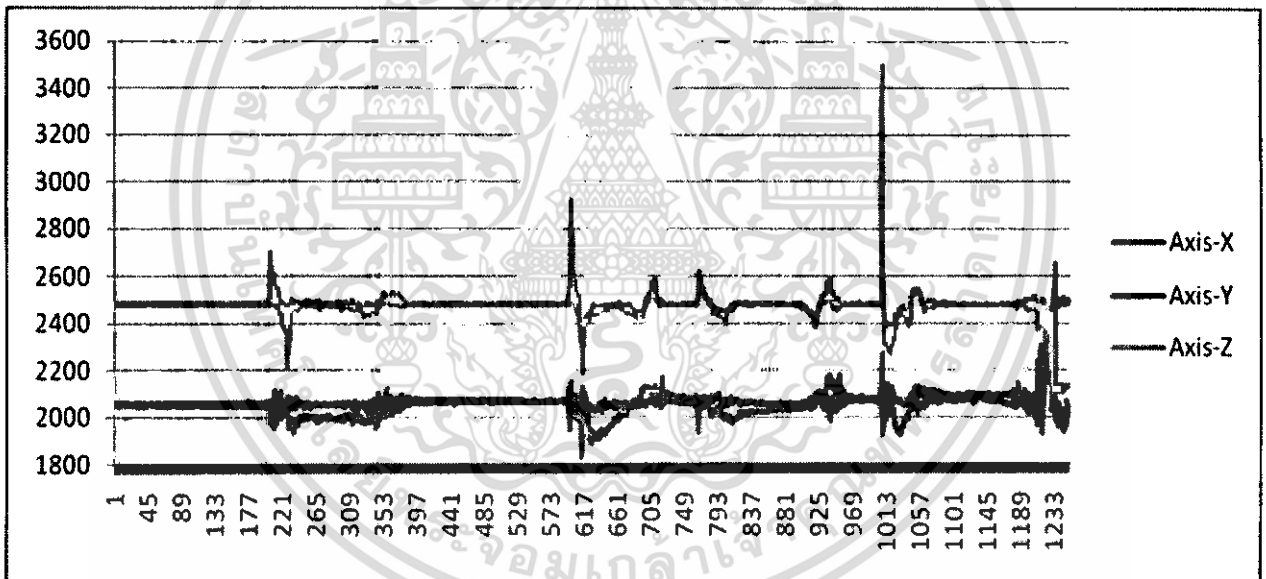
รูปที่ 5.21 กราฟการส่ายไป-มา รอบแกน Y จากน้อยไปมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 การยกขึ้น 3 ครั้งความเร็วต่างกัน ที่ความสูงเท่าเดิม



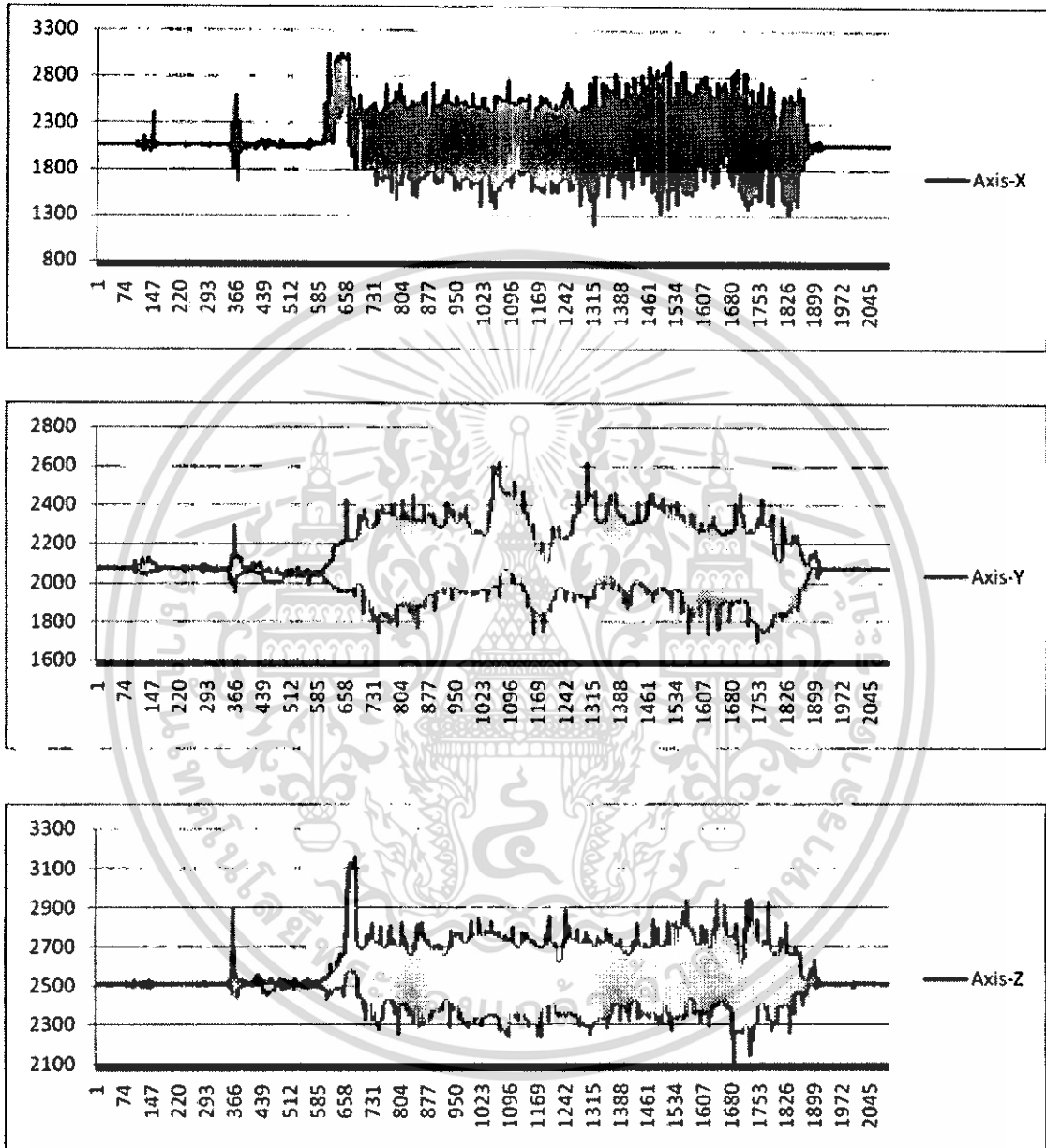
รูปที่ 5.22 กราฟการส่ายไป-มา รอบแกน Y จากน้อยไปมาก



รูปที่ 5.23 กราฟการยกขึ้น 3 ครั้งความเร็วต่างกัน ที่ความสูงเท่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4 ทดลองเร่งมอเตอร์โดยการถือไว้ด้วยมือ



รูปที่ 5.24 กราฟทดลองเร่งมอเตอร์โดยการถือไว้ด้วยมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลโครงการ

เนื่องด้วยโครงการในภาคเรียนที่ 1 ที่ผ่านมานี้ พบว่าหลักการตรวจจับความเยี่ยงที่ได้ นำมาใช้กับเฮลิคอปเตอร์ในขณะที่บินอยู่ในอากาศนั้น ไม่สามารถควบคุมการทรงตัวของ เฮลิคอปเตอร์ได้ โดยหาสาเหตุมาได้ว่า เนื่องจากเมื่อทำการพล็อตกราฟของค่าที่อ่านได้จาก H48C Sensor แล้วพบว่าไม่สามารถนำมาคาดเดาการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์ขณะบินอยู่ในอากาศได้เลย จึงสันนิษฐานออกมาว่าสาเหตุที่กราฟเป็นเช่นนี้ สาเหตุข้อแรกเนื่องมาจากการหมุนหรือการเหวี่ยง ของเฮลิคอปเตอร์ และอีกสาเหตุหนึ่งคือการสั่นสะเทือนของเฮลิคอปเตอร์ที่เกิดขึ้นขณะบิน ดังนั้น ในขั้นแรกจึงทำการ เพิ่มส่วนของใจโรเข้ามา เพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนของเฮลิคอปเตอร์ อีกทั้งยัง เปลี่ยนแผงวงจรใหม่ทั้งหมด โดยกำหนดการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ให้มีความสมดุลทางด้านน้ำหนัก มากขึ้น และสามารถลดน้ำหนักลงจากเดิมได้ถึงครึ่งหนึ่งจากน้ำหนักเดิมที่เพิ่มขึ้นมาในภาค เรียนที่ 1 นั่นคือ จากเดิมเพิ่มขึ้นมา 28 กรัม แต่เมื่อปรับปรุงใหม่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมาเพียง 14 กรัม แต่ เมื่อทำการทดลองบินเฮลิคอปเตอร์แล้วพบว่า สามารถควบคุมการหมุนของเฮลิคอปเตอร์ได้เป็นอย่างดี แต่ยังไม่สามารถรักษาระดับในแนวความสูงได้ โดยเฮลิคอปเตอร์จะตกลงมาเรื่อยๆ ในขณะที่ บินอยู่ในอากาศ ถึงอย่างไรก็ดี พบว่าหากนำมือไปจับที่เซ็นเซอร์ทำให้ไม่เกิดการสั่นสะเทือนตาม การหมุนใบพัดของเฮลิคอปเตอร์แล้ว H48C Sensor จะสามารถทำงานได้

นั่นหมายความว่าข้อสันนิษฐานข้อแรก ที่สันนิษฐานออกมาว่าเพราะเกิดจากการหมุนนั้น ไม่ใช่สาเหตุหลักที่ทำให้เซ็นเซอร์ไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นสาเหตุหลักน่าจะมาจากข้อ สันนิษฐานข้อที่สอง นั่นคือ เกิดจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะที่เฮลิคอปเตอร์หมุนใบพัด ดังนั้นจึงทำการติดตั้งสปริง โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับแรงสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นมา ซึ่งทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อยด้วยเช่นกัน

ถึงอย่างไรก็ตามหลังจากติดตั้งแล้ว เมื่อทำการทดลองบินเฮลิคอปเตอร์พบว่าสามารถ ควบคุมการทรงตัวได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังคงมีปัญหาในการรักษาระดับความสูงอยู่ ซึ่งหากต้องให้ เฮลิคอปเตอร์สามารถรักษาระดับความสูงขณะบินอยู่ในอากาศให้ดีขึ้นแล้ว จำเป็นที่จะต้องทำการ เปลี่ยนเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับความเร่งใหม่ให้มีความไวในการตรวจจับสัญญาณ (Sampling Rate) มากขึ้น

บรรณานุกรม

1. คู่มือการทดลอง dsPIC microcontroller เบื้องต้นด้วยโปรแกรมภาษา C, นคร ภัคดีชาติ, ชัยวัฒน์ ถิมพรจิตรวิไล : สำนักพิมพ์ Inex
2. Microchip Datasheet

