

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์รักษาสมดุลด้วยตัวเอง

SELF BALANCING ROBOT

นายวงศธร อินทอง
นายวรพจน์ ทรัพย์สมบูรณ์

๔๗.

๑ 1๒5 ๖๖

2549

เลขหมู่.....

72711

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี 22 ส.ย. 2550

b. 11๓ ๓ 1๓๔๔

i.

ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

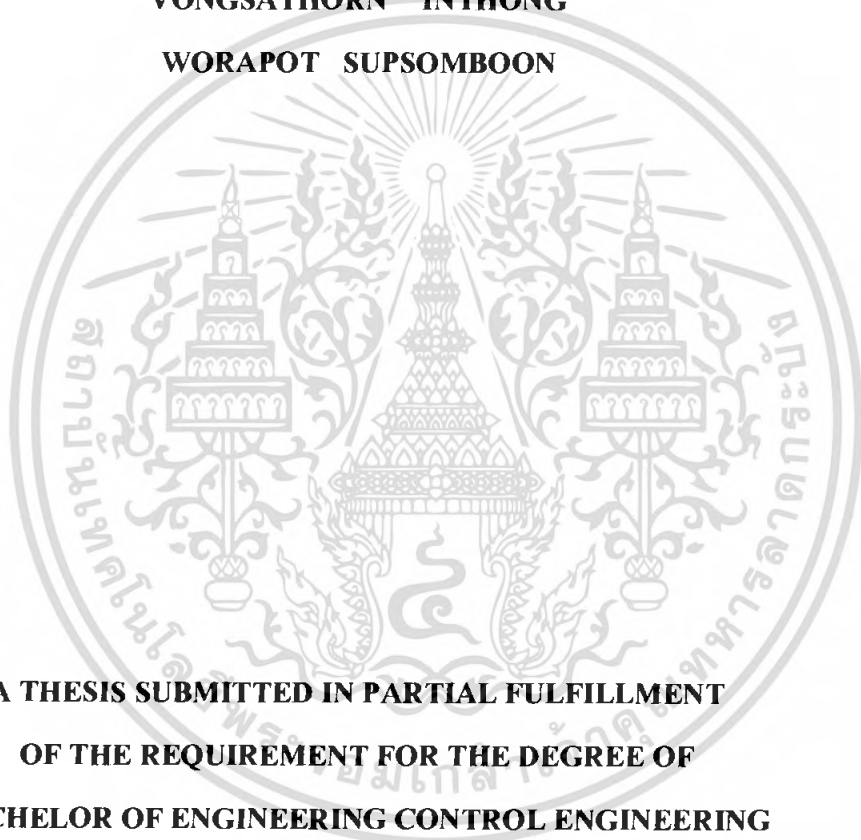
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SELF BALANCING ROBOT

VONGSATHORN INTHONG

WORAPOT SUPSOMBOON



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING CONTROL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์รักษาสมดุลด้วยตัวเอง
SELF BALANCING ROBOT

ผู้จัดทำ นายวงศธร อินทอง รหัส 47015299
นายวรพจน์ ทรัพย์สมบุรณ์ รหัส 47015300



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	หุ่นยนต์รักษาสมดุลด้วยตัวเอง
นักศึกษา	นายวงศธร อินทอง นายวรพจน์ ทรัพย์สมบูรณ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมระบบควบคุม
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบควบคุม
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ.สุเชียร เกียรติสุนทร

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาระบบรักษาสมดุลได้ด้วยตนเอง ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการทรงตัว โดยใช้หลักการของอินเวอร์ทเพนคูลัมเข้ามาใช้ในการทรงตัวของรถ 2 ล้อ ให้สามารถทรงตัวอยู่ได้ เมื่อถูกแรงมากระทำก็ยังสามารถรักษาสมดุลอยู่ได้โดยไม่ล้ม โดยหุ่นยนต์ทำงานโดยใช้หลักการควบคุมโดยอาศัยสัญญาณป้อนกลับจากอุปกรณ์ตรวจจับคือ เซนเซอร์ ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการคำนวณและส่งสัญญาณออกไปควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต่อไป

Thesis Title	Self Balancing Robot
Student	Mr. Vongsathorn Inthong Mr. Worapot supsomboon
Degree	Bachelor of Engineering
Major	Control Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Suthian Kiatsunthorn

ABSTRACT

This thesis present the study, design and built of self balancing. In this thesis we will introduce about balancing system by using principle of inverted pendulum to help 2 wheeled robot to be balance even having external force doing to robot it still not falling down. The robots work on basis of feedback control theory, by measure an sensor in this project and send to microcontroller to calculate and control of posture and motion of robot to keep it stable in an upright position.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีตามจุดมุ่งหมายได้เป็นเพราะความตั้งใจและมันศึกษา ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รศ.สุเชียร เกียรติสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาย่อยเสมอ ตลอดจนได้ให้ความคิดริเริ่มและการฝึกฝน จนทำให้ ผู้เขียนมีความสามารถและความสำเร็จในการทำวิจัยได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำ วิจัยมาตลอดในช่วงเวลาที่ทำการวิจัย

และท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่รักและเคารพที่ให้การสนับสนุนและ กำลังใจรวมถึง โอกาสแก่ผู้เขียน ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ ในห้องวิจัย ทุกคนที่ได้ให้คำปรึกษาและ แนะนำให้ด้วยดีเสมอมาจนสามารถจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้ให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

วงศธร อินทอง
วรพจน์ ทรัพย์สมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่น่าประยุกต์ใช้กับโครงงาน	2
2.1 หลักการของทฤษฎี inverted pendulum และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	2
2.2 รูปแบบของ Segway Human Transporter	7
2.3 รูปแบบของลาตัน(The Larson Model)	12
2.4 GYROSCOPSE และความเป็นมา	15
บทที่ 3 การออกแบบและระบบการทำงาน	19
3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010	20
3.2 โมดูลตรวจจับสัญญาณ(Input Capture)	22
3.3 โมดูลไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ใน dsPIC30F2010	24
3.4 โมดูล UART ติดต่อสื่อสารข้อมูลอนุกรมระหว่าง dsPIC30F2010	25
3.5 หน่วยกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (MCPWM)	26
3.6 โมดูลเปรียบเทียบข้อมูล (Output Compare: OC)	29
3.7 SENSORS	30
3.8 วงจรขับมอเตอร์	33
บทที่ 4 ส่วนประกอบทางกลของหุ่น	35
4.1 ส่วนประกอบเบื้องต้นของรถรักษาสมดุล	36
4.2 ส่วนประกอบที่เหลือต่างๆของรถรักษาสมดุล	38
4.3 องค์ประกอบของการติดตั้ง	38

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 หลักการควบคุมหุ่นยนต์และทฤษฎีของระบบควบคุม	44
5.1 หลักการในการควบคุมหุ่นยนต์	45
5.2 การควบคุมแบบเปิด-ปิด(ON-OFF controller)	46
5.3 ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน(P controller)	46
5.4 ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน(PD controller)	48
5.5 ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน(PI controller)	51
5.6 ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน(PID controller)	55
บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง	58
6.1 การทดลองใส่แรงผลัก	59
6.2 ลักษณะการตอบสนองของเซนเซอร์	61
6.3 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้กับมอเตอร์	63
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ปัญหา	65
7.1 สรุปผลการทดลองและการดำเนินงาน	65
7.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	66
7.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคตและข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก ก	68
ภาคผนวก ข	70

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดง โครงสร้างจำลองระบบ inverted pendulum	3
2.2 แสดงการใช้งานและการควบคุม Segway HT	8
2.3 แสดงส่วนประกอบของ Segway Human Transporter	8
2.4 แสดงตำแหน่งการวางวงจรควบคุม controller boards, balance sensor assembly	9
2.5 แสดงการติดตั้งเซ็นเซอร์(Tilt sensor)	9
2.6 แสดงลักษณะของมอเตอร์ Segway HT	10
2.7 แสดงการเปรียบเทียบอัตราทดของเฟือง	10
2.8 แสดงล้อและยางของ Segway HT	11
2.9 แสดงแบตเตอรี่(NiMH)	11
2.10 แสดงการวางตำแหน่ง gyroscopes	11
2.11 แสดงรูปแบบของลาสั่น	13
2.12 แสดงการยึดโครงสร้างกับล้อ	13
2.13 แสดงบอร์ดวงจร	14
2.14 แสดงส่วนประกอบของ ไจโรสโคป	15
2.15 แสดงลักษณะของ Gyroscopse	15
2.16 แสดง Gyroscopse ที่ติดตั้งบนเรือ	16
2.17 แสดงการสาธิตการหมุนของล้อ	17
2.18 แสดงการหมุนและทิศทางของล้อ	17
3-1 แสดง โครงสร้างระบบควบคุมแบบปิดของแบบจำลองรถรักษาสมดุลด้วยตนเอง	19
3-2 แสดงรูปบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010	22
3-3 แสดงการจัดขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010	22
3-4 แสดงไดอะแกรมการทำงานของไมโครตัวจับสัญญาณอินพุต	23
3-5 แสดงส่วนประกอบหลักในโมดูลUART ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010	26
3-6 แสดงแผนผังการทำงานของ โมดูล MCPWM	28
3-7 แสดงการจัดขาของไอซี (ADXL202)	30
3-8 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Duty Cycle ของสัญญาณกับทิศทาง การ ไน้มเอียงของตัวไอซี	31
3-9 โครงสร้างบอร์ด ADXL202	32

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-10 แสดงรูปบอร์ดไอซี ADXL202	32
3-11 แสดงรูปบอร์ดขับมอเตอร์ DMD2A	33
3-12 แสดงรูปในโหมดการทำงานในโหมด PWM INPUT	34
4-1 โครงสร้างแบบจำลองรถรักษาสมดุล	36
4-2 แสดงแบบจำลอง โครงสร้างรถสมดุลก่อนสร้างจริง	36
4-3 แสดง DC MOTOR ไฟตรง	37
4-4 แสดง GEAR MOTOR	37
4-5 แสดงล้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อย	37
4-6 แสดงล้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมาก	37
4-7 แสดงตัวขับเคลื่อนมอเตอร์กับ โครงสร้าง	38
4-8 แสดงการขับเคลื่อนมอเตอร์	38
4-9 แสดงล้อขับเคลื่อนมอเตอร์กับ โครงสร้าง	38
4-10 แสดงแกนเพลายึดติดกับมอเตอร์	38
4-11 แสดงสายเชื่อมต่อวงจร	38
4-12 แสดงการวางมอเตอร์ในระนาบเดียวกัน	39
4-13 แสดงการติดตั้งมอเตอร์กับ โครงสร้าง	39
4-14 แสดงการติดตั้งของก้านเพนคูล์	40
4-15 แสดงการติดตั้งชุดขับมอเตอร์	40
4-16 แสดงการติดตั้งชุดควบคุม	41
4-17 แสดงการติดตั้งของเซนเซอร์	41
4-18 แสดงด้านหน้าของรถรักษาสมดุล	42
4-19 แสดงด้านหลังของรถรักษาสมดุล	42
4-20 แสดงด้านข้างของรถรักษาสมดุล	43
4-21 แสดงด้านบนของรถรักษาสมดุล	43
5.1 แสดงระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	44
5.2 แสดงระบบควบคุมของหุ่นยนต์	46
5.3 แสดงตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (P controller)	47
5.4 แสดงตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (PD controller)	49

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.5 แสดงมุมของตัวควบคุมแบบ PD	50
5.6 แสดงตัวอย่างเส้นทางเดินรากล	51
5.7 แสดงเส้นทางเดินรากลของระบบ Type0	52
5.8 แสดงเส้นทางการเดินรากลหลังจากมีโพลที่จุดกำเนิดและซีโรที่ $s = -0.1$	53
5.9 ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (PI controller)	54
5.10 มุมของตัวควบคุมแบบ PI	54
5.11 ตัวควบคุม PID แบบอะนาล็อก	56
6-1 แสดงรตรักษาสมคูล	58
6-2 แสดงรตรักษาสมคูลที่ไม่มีการต่อไฟเลี้ยง	58
6-3 แสดงรตรักษาสมคูลในขณะที่จ่ายไฟเลี้ยง	59
6-4 แสดงสภาวะสมคูลของรตรักษาสมคูล	60
6-5 แสดงสภาวะเมื่อถูกรบกวน	60
6-6 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่เข้าสู่สภาวะสมคูล	60
6-7 แสดงลักษณะของเซนเซอร์ขณะทีรตรักษาสมคูล	61
6-8 แสดงลักษณะของเซนเซอร์ขณะที่รตรักษาสมคูลเคลื่อนที่ไปข้างหน้า	62
6-9 แสดงลักษณะของเซนเซอร์ขณะที่รตรักษาสมคูลเคลื่อนที่ไปข้างหลัง	62
6-10 แสดงลักษณะพัลส์ขณะทีรตรักษาสมคูล	63
6-11 แสดงลักษณะพัลส์ขณะที่รตรักษาสมคูลเคลื่อนที่ไปข้างหน้า	63
6-12 แสดงลักษณะพัลส์ขณะที่รตรักษาสมคูลเคลื่อนที่ไปข้างหลัง	64

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการขนส่งมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วหลายบริษัทมีการคิดค้นคว้าวิจัยและพัฒนาเพื่อรองรับการเติบโตทางสังคมและเศรษฐกิจ รวมไปถึงเพื่อความสะดวกสบายและรวดเร็วในการเดินทางจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง

ดีน คามัน(Dean Kamen) เป็นนักประดิษฐ์และผู้ริเริ่มความคิดในการสร้างนวัตกรรมการขับเคลื่อนส่วนบุคคล 2 ล้อด้วยไฟฟ้า หรือ Segway Human Transporter (Segway HT) โดยอาศัยหลักการควบคุมโดยให้ตัวมันสมดุล คือ การตอบสนองหรือการเปลี่ยนแปลงของ Segway HT จะขึ้นอยู่กับผู้ขับขี่โดยตัว โดย sensor เป็นตัวตรวจจับหรือป้อนสัญญาณกลับว่าตัวมันเองควรเดินหน้าหรือถอยหลัง เมื่อมันจับได้แล้วมันจะทำการส่งสัญญาณควบคุมล้อให้หมุนไปในทิศทางที่ถูกต้องเพื่อรักษาความสมดุลและรักษาตัวของผู้ขับขี่ให้คงยืนอยู่ได้ เช่น ถ้าเอนตัวไปข้างหน้า Segway ก็จะวิ่งไปข้างหน้า ถ้าเอนตัวไปข้างหลัง Segway ก็จะวิ่งถอยไปข้างหลัง แม้ Segway เป็นนวัตกรรมการรักษาสสมดุลได้ดีเยี่ยมแต่นั้นก็ไม่ได้หมายความว่า จะไม่มีวันล้มเสมอไป

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือ วิจัย,ศึกษาการออกแบบ,หลักการการทำงานของหุ่นยนต์เลียนแบบรักษาสสมดุลได้ด้วยตัวมันเองบนล้อที่ขนานอยู่บนแกนเดียวกัน และมีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกับ Segway Human Transporter (Segway HT) รวมไปถึงการนำทฤษฎีต่างๆ มาประยุกต์

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่นำประยุกต์ใช้กับโครงงาน

คณะผู้จัดทำโครงงานนี้ได้ทำการอ่านและศึกษา บทความที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน รวมไปถึง ทฤษฎีนำมาประยุกต์ใช้กับ โครงงานที่จัดทำขึ้น เช่น ระบบลูกตุ้มกลับหัวติดตั้งบนรถที่เคลื่อนที่ (inverted pendulum on moving cart), Segway HT, และ self-balancing robot เป็นต้น ซึ่งการศึกษา ได้แบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกคือ หลักการของทฤษฎี inverted pendulum และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอินเวอร์ทเพนดูลัม ส่วนที่สองคือ โครงสร้างและส่วนประกอบของ Segway HT และแบบต่างๆ

2.1 หลักการของทฤษฎี inverted pendulum และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

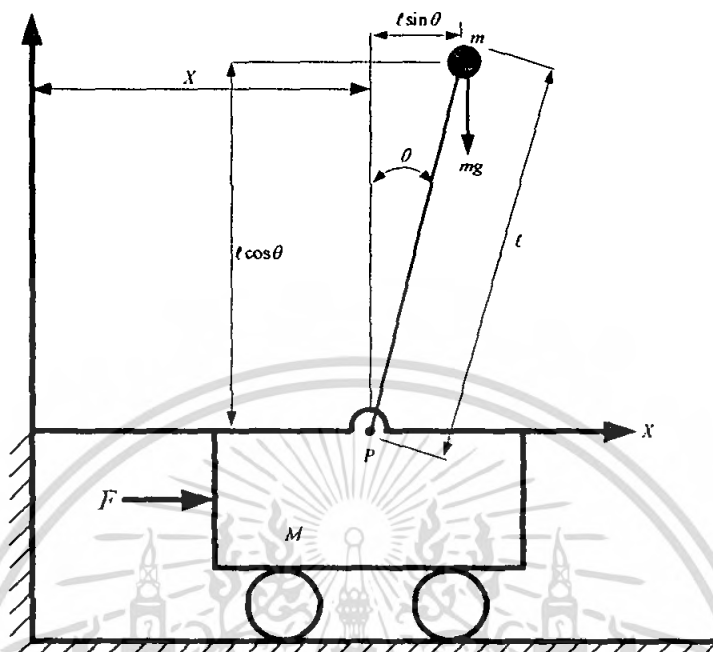
ตามหลักการของ inverted pendulum ที่ออกแบบโดยเป็นรถเคลื่อนที่ที่อยู่บนรางและมีมอเตอร์เป็นตัวขับให้เคลื่อนที่เพื่อที่รักษาและเลี้ยงเพนดูลัมให้สามารถตั้งอยู่บนรถได้ ลักษณะการควบคุมหลายๆ คือ การควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่อยู่บนราง การรักษาให้เพนดูลัมให้ตั้งโดยสัญญาณควบคุมที่ให้กับตัวรถ(มอเตอร์) ได้จากค่าผิดพลาดระหว่างสัญญาณที่ตั้งไว้(Reference)ลบกับสัญญาณป้อนกลับ(Feedback)ที่ได้จากตัวตรวจจับมุมของเพนดูลัมและตัวตรวจจับตำแหน่งรถ

พิจารณาอินเวอร์ทเพนดูลัมจากการเคลื่อนที่ของรถ ดังแสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาปัญหาในลักษณะ 2 มิติ ของการเคลื่อนที่ของเพนดูลัม ในแนวระนาบ เมื่อเรากำหนดให้

M	คือ	มวลของรถ(kg)
m	คือ	มวลของเพนดูลัม(kg)
l	คือ	ความยาวของก้านเพนดูลัม(m)
x	คือ	ตำแหน่งของรถ(m)
θ	คือ	ตำแหน่งของรถ(m)
$\dot{\theta}$	คือ	ความเร็วเชิงมุมของเพนดูลัม(rad/s)
\dot{x}	คือ	ความเร็วของรถ(m/s)
g	คือ	แรงโน้มถ่วงของโลก(m/s^2)
F	คือ	แรงที่ทำให้ตัวรถเคลื่อนที่(N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 กำหนดให้มุมแนวแกนของเส้นตั้งฉากกับแกนเพนดูลัมเป็น θ และกำหนดจุดโคออดิเนต x, y ที่จุดกึ่งกลางของมวลเป็น x_G, y_G ดังนี้คือ



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างจำลองระบบ inverted pendulum

$$x_G = x + l \sin \theta \quad (2.1)$$

$$y_G = l \cos \theta \quad (2.2)$$

ใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน คือ

$$\begin{aligned} \Sigma F &= ma \\ \text{เมื่อ } a &= \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \end{aligned}$$

ใช้ในการหาทิศทางและการเคลื่อนที่ของ x คือ

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + m \frac{d^2}{dt^2} x_G = F \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + m \frac{d^2}{dt^2} (x + l \sin \theta) = F \quad (2.4)$$

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + m \frac{d^2 x}{dt^2} + m \frac{d^2}{dt^2} l \sin \theta = F$$

จาก

$$\frac{d}{dt} \sin \theta = (\cos \theta) \dot{\theta}$$

$$\frac{d^2}{dt^2} \sin \theta = (\cos \theta) \ddot{\theta} + (-\sin \theta) \dot{\theta}^2$$

และ

$$\frac{d}{dt} \cos \theta = (-\sin \theta) \dot{\theta}$$

$$\frac{d^2}{dt^2} \cos \theta = (-\sin \theta) \ddot{\theta} - (\cos \theta) \dot{\theta}^2$$

จากสมการ (2.2) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$(M + m) \ddot{x} - ml(\sin \theta) \dot{\theta}^2 + ml(\cos \theta) \ddot{\theta} = F \quad (2.5)$$

ส่วนสมการการเคลื่อนที่ของมวล m ในทิศทาง y จะต้องพิจารณาร่วมกับการเคลื่อนที่ของ m ในทิศทางของ x ที่มีการเคลื่อนที่ไปของมวล m รอบจุด P จากกฎข้อที่สองของนิวตันจะได้

$$m \frac{d^2 x_G}{dt^2} l \cos \theta - m \frac{d^2 y_G}{dt^2} l \sin \theta = mgl \sin \theta \quad (2.6)$$

หรือ

$$m \frac{d^2}{dt^2} (x + l \sin \theta) l \cos \theta - m \frac{d^2}{dt^2} (l \cos \theta) l \sin \theta = mgl \sin \theta \quad (2.7)$$

สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$m \left[\ddot{x} - l(\sin \theta) \dot{\theta}^2 + l(\cos \theta) \ddot{\theta} \right] l \cos \theta - m \left[-l(\cos \theta) \dot{\theta}^2 - l(\sin \theta) \ddot{\theta} \right] l \sin \theta = mgl \sin \theta \quad (2.8)$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$m \ddot{x} \cos \theta + ml \ddot{\theta} = mg \sin \theta \quad (2.9)$$

จะเห็นได้ว่าสมการที่ (2.3) และ (2.7) เป็นสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear) ซึ่งไม่สามารถเขียนให้อยู่ในสมการสถานะได้ จึงต้องทำให้สมการดังกล่าวเป็นสมการเชิงเส้นตรง (linearization) เสียก่อน โดยเลือกจุดการทำงานของอินเวอร์ทเพนดูลัมขึ้นมาใหม่ในแนวเส้นตั้งฉาก ดังนั้นจึงทำการประมาณให้ค่า $\theta(t)$ และ $\dot{\theta}(t)$ มีค่าน้อยมากซึ่งจะทำให้ค่าของ $\cos \theta \cong 1$ และ $\sin \theta \cong 0$ และ $\dot{\theta}^2 \cong 0$ จึงทำให้สมการที่ (2.5) และสมการที่ (2.9) สามารถเขียนเป็นสมการเชิงเส้นตรงได้ดังนี้

$$(M + m) \ddot{x} + ml \ddot{\theta} = F \quad (2.10)$$

$$m \ddot{x} + ml \ddot{\theta} = mg \theta \quad (2.11)$$

ถ้าเรานำสมการที่ (2.10) ลบสมการที่ (2.9) จะได้

$$M \ddot{x} = F - mg \theta \quad (2.12)$$

เมื่อทำการแทน \ddot{x} ของสมการที่ (2.11) ลงในสมการที่ (2.12) ก็จะได้

$$Ml \ddot{\theta} - (M + m)g \theta = -F \quad (2.13)$$

จากสมการระบบอินเวอร์ทเพนดูลัมที่หาได้จากการประยุกต์กฎข้อที่สองของนิวตัน สมการที่ 2.1 และ 2.2 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการสถานะของระบบได้ดังนี้

เมื่อกำหนดให้

$$x_1 = \theta$$

$$x_2 = \dot{\theta}$$

$$x_3 = x$$

$$x_4 = \dot{x}$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \left(\frac{M+m}{Ml}\right)gx_1 - \frac{1}{Ml}F$$

$$\frac{dx_3}{dt} = x_4$$

$$\frac{dx_4}{dt} = \frac{-mg}{M}x_1 + \frac{1}{M}F$$

ถ้าเขียนให้อยู่ในรูปทั่วไปของสมการสถานะจะได้ดังนี้

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \left(\frac{M+m}{Ml}\right)gx_1 - \frac{1}{Ml}F$$

$$\dot{x}_3 = x_4$$

$$\dot{x}_4 = \frac{-mg}{M}x_1 + \frac{1}{M}F$$

จากสมการทั่วไปของสมการสถานะคือ

$$\dot{x} = Ax + BF$$

$$Y = Cx$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการสถานะของระบบอินเวอร์ทเพนดูลัมจะได้

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \left(\frac{M+m}{ml}\right)g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \left(-\frac{m}{M}\right)g & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{Ml} \\ 0 \\ \frac{1}{M} \end{bmatrix} F \quad (2.14)$$

จากสมการที่ (2.14) สามารถนำไปหาค่าต่างๆ ได้ที่จะทำให้ระบบเสถียรภาพได้

จากนี้จะเป็นการศึกษารูปแบบต่างๆ ของหุ่นยนต์รักษาสมดุลรวมไปถึงเทคนิคการสร้างของหุ่นยนต์รักษาสมดุล

2.2 รูปแบบของ Segway Human Transporter

Segway Human Transporter หรือ Segway HT เป็นสิ่งประดิษฐ์ของนายดีน คามิน เสรชจึ นักประดิษฐ์ชาวอเมริกัน ซึ่งคิดค้นนวัตกรรมใหม่ล่าสุด เป็นยานพาหนะรูปแบบใหม่ ที่เรียกกันว่า (Segway Human Transporter) ซึ่งคาดกันว่าจะเข้ามาแทนที่รถยนต์ในอนาคตข้างหน้า โดยมีรูปแบบรูปทรงคล้ายคลึงกับเครื่องตัดหญ้า ที่ติดตั้งเครื่องยนต์โรตารีผสมผสานกับสก็ูเตอร์ สามารถเคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย-เลี้ยวขวา หมุนตัวและหยุด โดยไม่ต้องพึ่งพาเครื่องยนต์ เกียร์ พวงมาลัย และเบรก โดยอาศัยแหล่งกำเนิดพลังงานจากกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ จึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเหมือนกับวันพิชจากรถยนต์

Segway HT คือนวัตกรรมอัจฉริยะล้ำสมัยของเทคโนโลยีขั้นสูงสุด ที่ได้รับการพัฒนาจากหลักการทำงานของร่างกายมนุษย์ในการทรงตัว และการรักษาสมดุลจากสมองคนผู้สมองกล จากกล้ามเนื้อสู่ฟันเฟือง และจากขาสู่ล้อ ทำให้การควบคุมการขับเคลื่อนที่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และปลอดภัยสูงสุด

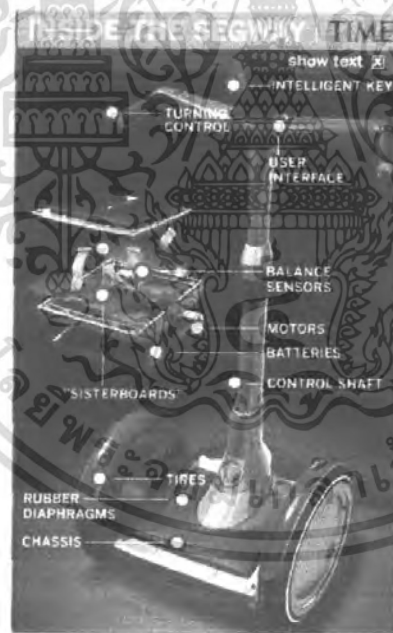
ด้วยระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบ Dynamic Stabilization ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของ Segway HT ซึ่งประยุกต์จากการพัฒนามาจากหลักการ การทำงานของ Gyroscope ในมนุษย์ด้วยชุดอุปกรณ์วงล้อและชุดวงแหวน ที่อยู่รวมกันในแกนหมุนอิสระ คำนวณและประสานการทำงานร่วมกันอย่างลงตัวในทุกเสี้ยววินาที ให้วงล้อสามารถรักษาทางการหมุนและการทรงตัวได้อย่างสมดุลตลอดเวลา Segway HT จึงตอบสนองทุกการเคลื่อนไหวได้ดังที่ต้องการ ควบคุมทิศทางการทรงตัวและความเร็วอย่างเหมาะสมในทุกสภาวะการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงการใช้งานและการควบคุม Segway HT

จากการศึกษาส่วนประกอบของ Segway Human Transporter สิ่งที่มีความสำคัญในการทำให้ Segway วิ่งไปมาได้ นั่นก็คือระบบ ระบบที่วางนั้นก็คือ Human Transporter (HT) ซึ่งมีส่วนประกอบด้วยกันก็คือ controller boards, balance sensor assembly, motors, gearbox, tires and wheels, and batteries, controller เป็นต้น



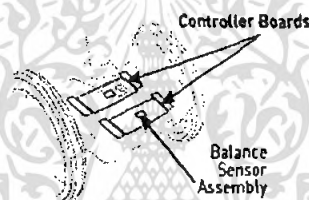
รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของ Segway Human Transporter

ส่วนประกอบของ Segway Human Transporter ประกอบด้วย

1. Intelligent Key กุญแจของ Segway
2. Uer Interface เป็นตัวบอกสถานะการทำงาน และ บอกว่าแบตเตอรี่เหลือเท่าไร

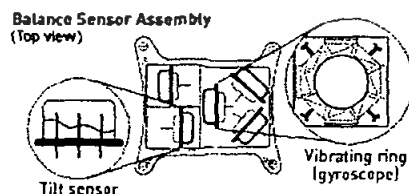
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Tuning Control คือเป็นตัวควบคุมการหยุดเหมือนเบรกมือนั่นเอง
4. Balance Sensors คือเป็นลิสมิตเซนเซอร์ที่จะใช้ควบคุมการทรงตัวของ (Sway Human Transporter)
5. Motors เป็นตัวขับเคลื่อนของล้อ มีทั้งหมด 2 ล้อ
6. Batteries พลังงานของ (Sway Human Transporter)
7. Siterboards เป็นแผงควบคุมวงจรที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ โดยที่มีตัว Sensor เป็นตัวควบคุมการวิ่ง โดยที่จะสามารถทำงานทดแทนกันได้เมื่อวงจรใดวงจรหนึ่งเสียหาย
8. Control Shaft Aluminum เป็นแกนของ (Sway Human Transporter)
9. Tires เป็นล้อของ (Sway Human Transporter)
10. Rubber Diaphragms เป็นแผ่นยางที่ใช้ควบคุมการวิ่งช้าหรือวิ่งเร็วและช่วยหยุดง่าย ๆ คือ ตัวควบคุมการวิ่งนั่นเอง
11. Chassis แท่นขึ้นของ (Sway Human Transporter) สามารถรองรับน้ำหนักได้มากที่สุด



รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งการวางวงจรควบคุม controller boards, balance sensor assembly

เป็นที่ติดตั้งแผงควบคุมการเคลื่อนที่ ที่อยู่ที่แป้นรองขึ้นเพื่อให้มีการตอบสนองของผู้ควบคุมหรือขับขี่ได้ดี โดยการตอบสนองทั้งหมดจะส่งไปให้ sensor ทำงานวัดค่า โดยที่จะมีแผงควบคุมอยู่ 2 แผงด้วยกัน แผงทั้ง 2 ตัวนั้นจะใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและข้างหลัง โดยที่ใช้ balance sensor assembly(BSA) จะเป็นที่ที่รับรู้ค่าที่ได้ว่าจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือข้างหลัง balance sensor assembly

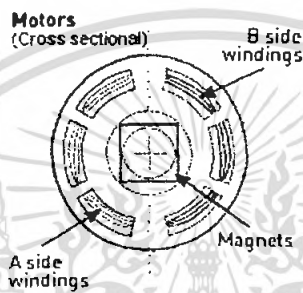


รูปที่ 2.5 แสดงการติดตั้งเซ็นเซอร์(Tilt sensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

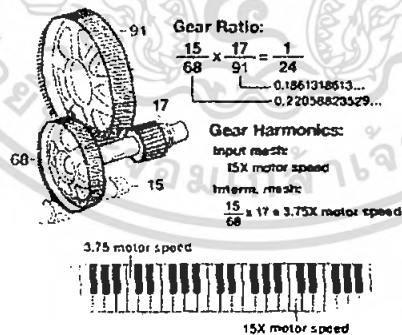
สำหรับ Segway HT ได้ออกแบบให้มีการติดตั้งเซนเซอร์ไว้ทั้ง 5 ตัว หรือที่เรียกว่า Tilt sensor การทำงานของ balance sensor assembly จะทำงานได้ก็จะต้องมีการตอบสนองของ Tilt sensor ซึ่ง Tilt sensor จะเป็นตัวที่คอยรับแรงกดจากเท้าของผู้ใช้งานเพื่อที่จะส่งข้อมูลออกไปยังแผงควบคุมเพื่อที่จะส่งแรงดันไฟฟ้าไปกระตุ้นการหมุนของมอเตอร์ทั้ง 2 มอเตอร์ที่ควบคุมการวิ่งซ้ายและขวาเดินหน้าและถอยหลัง

สำหรับสิ่งที่ทำให้เจ้า Segway HT วิ่งได้นั้นอีกอย่างหนึ่งก็คือ มอเตอร์ โดยการออกแบบของ SEGWAY HT ใช้มอเตอร์กำลังงานสูงแต่มีขนาดเล็กโดยใช้มอเตอร์กำลังงาน 1.88 กิโลวัตต์มากกว่า 2.5 แรงม้า โดยรอบที่ได้สูงสุดก็คือ 8,000 rpm



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของมอเตอร์ Segway HT

ส่วนอัตราทดของเฟืองที่ใช้ขับเคลื่อนของ Segway HT มีลักษณะที่ใช้เปรียบเทียบกับการหมุน 1 รอบกับเปียโน



รูปที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบอัตราทดของเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับยางที่ Segway HT ใช้นั้นเป็นยางยี่ห้อ Michelin ส่วนล้อก็เป็นของ GM Plastics และสามารถที่จะเปลี่ยนยางได้เหมือนรถยนต์



รูปที่ 2.8 แสดงล้อและยางของ Segway HT

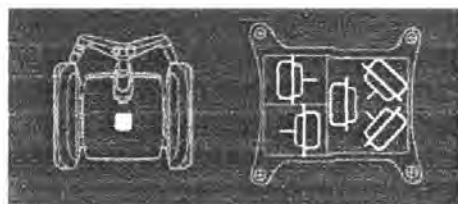
ส่วน Batteries แบบเซลล์ของ Segway HT ใช้ nickel metal hydride(NiMH) or lithium-ion battery 72 Volt สามารถเสียบปลั๊กชาร์จไฟได้



รูปที่ 2.9 แสดงแบตเตอรี่(NiMH)

แต่ส่วนหลักๆ ในการประกอบเจ้า Segway HT ในมืออยู่ 3 ทฤษฎีด้วยกันที่นำมาประกอบเป็น Segway Human Transporter คือ

1. ระบบการทำให้พลังงานคงที่
2. ระบบควบคุมพลังงานแบบอิเล็กทรอนิกส์
3. ระบบการป้องกันการล้มเหลวของพลังงาน



รูปที่ 2.10 แสดงการวางตำแหน่ง gyroscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการทำให้พลังงานคงที่

หัวใจของ segway ได้แก่ ตัว gyroscope. Dynamic stabilization เกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันของ gyroscope (หรือที่เรียกว่า angular rate sensors) และ tilt sensor. ในแต่ละ 1 วินาที sensor ทั้งหมดที่มีทั้งหมด 5 ตัวนั้นจะทำงานร่วมกันเพื่อตรวจค่า CG (center of gravity) 100 ครั้ง และจะตอบสนองทันทีเมื่อตำแหน่งของร่างกายเราเปลี่ยนแปลงหรือเมื่อค่า CG เปลี่ยนแปลง ด้วยเหตุนี้เอง SEGWAY HT จึงไม่มี brake และคันเร่ง เพราะเพียงแค่เอียงไปข้างหน้าคุณก็จะไปข้างหน้า เอนไปข้างหลัง ก็เคลื่อนที่ไปข้างหลัง ทั้งนี้หนักตัวกลับมาอยู่ตรงกลางคุณก็จะเบรคภายในตัว segway ประกอบไปด้วย gyroscope 5 ตัว และ tilt sensor ซึ่งทั้งหมดนี้ ทำงานกันอย่างอิสระเพื่อรวบรวมข้อมูลตำแหน่งของ platform

ระบบควบคุมพลังงานแบบอิเล็กทรอนิกส์

ส่วนประกอบของเจ้า Segway HT อีกอย่างหนึ่งก็คือ battery , Segway HT ใช้พลังงานจาก battery 1 คู่ ซึ่งสามารถวิ่งได้ไกลถึง 24 miles ต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง และ battery ซึ่งประกอบไปด้วย nicel metal hydride (NiMH) ที่ถูกสร้างขึ้นให้มีสมองในการจัดการ (integrated charge-management electronics) ซึ่งด้วยความฉลาดนี้ทำให้หายห่วงเรื่อง overcharge การต้องการชาร์จแบตก็ทำได้โดยง่าย เพียงแค่เสียบเข้ากับปลั๊กทั่วไป และ battery ของ Segway HT ยังมีวงจรซึ่งตรวจวัดระดับอุณหภูมิ และ voltage ตัวมันเอง ซึ่งทำให้มันสามารถเลือก charge rate ได้ถูกต้องตามอุณหภูมิ , voltage ในขณะที่ทำการ charge

ระบบการป้องกันการล้มเหลวของพลังงาน

Segway HT ได้ออกแบบและดีไซน์ออกมาด้วยความปลอดภัยเป็นหลัก Segway มีระบบ subsystem ไม่น้อยกว่า 5 ระบบ ทั้งนี้แต่ละ subsystem ดีไซน์มาเพื่อป้องกันการล้มเหลวของ component ถ้าเกิดอะไรเกิดขึ้นกับหนึ่งในระบบย่อยนั้น ระบบที่เหลือจะทำงานแทนกันได้โดยมีประสิทธิภาพ Segway จะมีระบบเตือนเมื่อมีอุปกรณ์ในระบบย่อยเสียหาย

2.3 รูปแบบของลาตัน(The Larson Model)

ในบทความนี้ จะกล่าวถึงโครงสร้างและส่วนประกอบรวมต่างๆรวมไปถึงการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้แต่งจะนำเสนอรายละเอียดของกรรมวิธีที่เขานำมาใช้สร้างหุ่นยนต์รักษาสมดุลโดยอัตโนมัติ (Autonomous self-balancing robot)



รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบของลาตัน

ในการออกแบบและเทคนิคต่างๆของ Bender Larson โดยโครงสร้างของหุ่นยนต์นั้นจะ ออกแบบโดยใช้อลูมิเนียมเป็นส่วนในการประกอบและสร้างขึ้นเป็นรูปร่างโดยสาเหตุของการใช้ อลูมิเนียมนั้นก็เพื่อความแข็งแรงของโครงหุ่น และใช้อลูมิเนียมเป็นที่ติดตั้งมอเตอร์และระบบ ขับเคลื่อน และใช้พลาสติก เป็นท่อ PVC เรียงเป็นชั้นๆ เพื่อให้มีน้ำหนักน้อยและเพื่อความแข็งแรง อย่างมาก โดยในขั้นต้นได้มีการเชื่อมต่อ R/C โดยเชื่อมต่อในส่วนของระบบขับเคลื่อนโดยรอบ และนำไปทดสอบระบบขับเคลื่อน โดยให้ทดลองเดินหน้าและถอยหลัง



รูปที่ 2.12 แสดงการยึดโครงสร้างกับล้อ

สำหรับรูปที่ 2.12 เป็นพื้นล่างของตัวหุ่น โดยในรูปจะเห็นว่ามีการใช้อลูมิเนียมเป็นตัวยึด โครงสร้างกับมอเตอร์และล้อ ในส่วนของของมอเตอร์นั้นจะใช้มอเตอร์ที่ตีมาก โดยหาได้จากแหล่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรม โดยมีตัวเข้ารหัสหรือ encoders ที่มีความละเอียดสูงทำให้สามารถหาตำแหน่งและทิศทางรวมไปถึงความเร็วของหุ่นได้อย่างแม่นยำ

สำหรับการออกแบบเจ้าหุ่นรักษาสมดุสนั้นสิ่งที่ติดตั้งด้านบนของหุ่นยนต์รักษาสมดุก็คือ CPU โดยให้หน่วยประมวลผลหลักโดยใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ PIC18F452 ของบริษัท ไมโครชิพ รวมไปถึงหน่วยประมวลผลรองที่เอาไว้รับข้อมูลจากตัวเข้ารหัส โดยเฉพาะจะส่งสัญญาณไปยังมอเตอร์เพื่อทำการควบคุมการหมุนของมอเตอร์โดยผ่าน R/C



รูปที่ 2.13 แสดงบอร์ดวงจร

จากรูปที่ 2.13 จะเป็นวงจรทั้งหมดของหุ่นยนต์รักษาสมดุของ Bender Larson โดยด้านซ้ายจะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนด้านขวาจะเป็นตัวเซนเซอร์ที่ใช้จะเป็น ไจโรสโคป ส่วนในการรักษาสมดุของหุ่นยนต์คือ จะใช้เซนเซอร์ไจโรสโคป Tonkin CG16DO ซึ่งใช้หลักการทำงานของเปียโซอิเล็กทริก ร่วมกับข้อมูลที่ได้จาก เซ็นเซอร์วัดความเร็วแบบ 2 แกน MXD2125-GW เพื่อที่จะได้ข้อมูลที่แม่นยำและรวดเร็ว

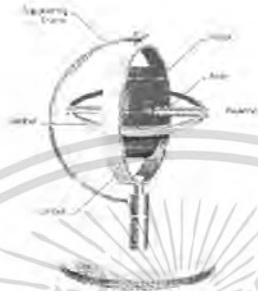
ข้อดีของโครงการนี้ก็คือ สามารถประกอบและคิดแปลงรูปร่างได้ง่าย และสามารถใส่ทั้งไจโรสโคปและเซนเซอร์วัดความเร็วทำงานร่วมกันเพื่อความแม่นยำของข้อมูล

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าสิ่งสำคัญที่สุดของ Segway HT หรือเรียกได้ว่าเป็นหัวใจของมันเลยทีเดียวก็คือ Gyroscope และต่อจากนี้จะกล่าวถึงหน้าที่ของ Gyroscope หลักการใช้และการทำงานของมัน รวมไปถึงโครงสร้างของตัว Gyroscope และประวัติความเป็นมาของ Gyroscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 GYROSCOPE และความเป็นมา

ไจโรสโคปเป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้สำหรับตรวจสอบเช็คสภาพการเอียงการโคลงเคลงของวัตถุที่ติดตั้งตัวมันอยู่ เช่น เครื่องบิน, เรือ, หุ่นยนต์, จรวด, งานदानเทียม ซึ่งของเหล่านี้ล้วนแต่ต้องการที่จะทราบสถานะความสมดุลของมันอยู่ตลอดเวลา



รูปที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบของไจโรสโคป

รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะของ Gyroscope

Gyroscope ได้กำเนิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1852 โดย นักวิทยาศาสตร์ ชาวฝรั่งเศสที่ชื่อ ฌอง โบนาปาร์ต เลอง ฟูโกต์ (Leon Foucault) ได้คิดประดิษฐ์ ล้อที่ติดตั้ง อยู่ในวงแหวนที่หมุนได้ เมื่อหมุนล้อหรือโรเตอร์แล้วเจ้าล้อมันจะหมุนในทิศทางเดิมของมันในอากาศ โดยไม่ขึ้นกับการเอียงไปเอียงมาของกรอบหรือวงแหวนที่ล้อมรอบมัน ซึ่งเค้าได้ ตั้งชื่อ อุปกรณ์ตัวนี้ว่า Gyroscope ซึ่งจากคุณสมบัติในข้อนี้เองทำให้มันสามารถที่จะเป็นเครื่องบ่งชี้ทิศทางได้นั่นเอง

ไจโรสโคปนั้นมีประโยชน์อย่างมากมาการใช้ไจโรสโคปครั้งแรกนั้น เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1910 ได้นำไปติดตั้งในเรือรบของเยอรมนี ต่อมาในปี ค.ศ. 1909 นายเอลเมอร์ เอ. สเปนอร์รี่ (Elmer A. Sperry) ได้สร้างเครื่องบินที่บินอัตโนมัติ ที่ใช้คุณสมบัติการรักษาทิศทางของไจโรสโคปเพื่อให้เครื่องบิน บินได้ตรงทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการติดตั้งบนเรื่อนั้นเริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1915 บริษัท อันซิซ ตั้งอยู่ที่ เมืองคิล ประเทศเยอรมนี ได้ติดตั้งบนเรือโดยสาร ของเดนมาร์ก ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เอาไว้รักษาเสถียรภาพการของเรือเพื่อให้เกิดการโคลงของเรือ ซึ่งทำให้สินค้ามีความเสียหายน้อยลง และทำให้ผู้โดยสารรู้สึกสบายมากขึ้น ซึ่งระบบตอนนี้เค้า เรียกว่า Gyrostabilizer แต่ในชีวิตนี้มีข้อเสียมากมาย คือ เรื่อนั้นมีน้ำหนักมากและเสียเนื้อที่มากด้วย เพราะต้องสร้างใจโรสโคปที่มีขนาดใหญ่



รูปที่ 2.16 แสดง Gyroscope ที่ติดตั้งบนเรือ

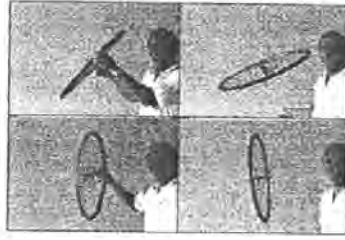
ต่อมาในปี 1916 มีผู้นำหลักการของโรสโคปนี้ไปทำอุปกรณ์ที่เรียกว่า ขอบฟ้าประดิษฐ์ เพื่อใช้ใน เครื่องบินสำหรับบอกระดับการ โคลงเคลง ไปซ้ายและขวา หน้าและหลัง ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งในเวลาที่สภาพอากาศไม่ดีหรืออากาศเลวร้ายหรือเวลามองไม่เห็นขอบฟ้าเวลาทำการบิน หลังจากนั้นวิศวกรก็มักได้มีการนำโรสโคปมาพัฒนาให้ดีขึ้นและนำไปใช้อย่างมากมาย และแพร่หลาย เช่น นำไปใช้ในจรวดนำวิถี เพื่อบังคับทิศทางโดยอัตโนมัติ หรือนำไปใช้ในเครื่องบินเป็นต้น

Gyroscope กับทฤษฎีของ Newton และหลักการของ Gyroscope

โรสโคปนับเป็นอุปกรณ์ที่น่าทึ่งเป็นอย่างยิ่ง เพราะการหมุนของมันค่อนข้างแปลก และคล้ายคลึงกับว่า มันทำท่าขยับกับแรงโน้มถ่วงได้ คุณสมบัติอันพิเศษนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ตั้งแต่รถจักรยานจนถึงยานขนส่งอวกาศ เครื่องบินโดยสารทุกประเภทมีโรสโคปไว้สำหรับทำเป็นเข็มทิศ และระบบนำร่องอัตโนมัติ สถานีอวกาศ Mir ของรัสเซีย ใช้โรสโคปจำนวน 11 อัน เพื่อบังคับให้แผงโซลาร์เซลล์หมุนไปในทิศทางเดียวกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา

การเคลื่อนที่แบบโรสโคปจะเกิดกับมวลทุกชนิดในโลกที่มีการหมุน ถ้าเคยเห็นลูกข่างหมุน อย่างแรกคือการหมุนรอบตัวเองของลูกข่าง อย่างที่สองก็คือลูกข่างทั้งลูกจะหมุนรอบแกนกลางอีกแกนหนึ่ง การหมุนแบบนี้เรียกว่า การควง (Precession) โดยลูกข่างไม่ล้ม แต่ถ้าไม่หมุนจะล้ม ซึ่งดูเหมือนกับทำท่าขยับกับแรงโน้มถ่วงของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงการสาธิตการหมุนของล้อ

จากภาพที่ 2.17 จะเห็นได้ว่า ล้อที่แขวนไว้อยู่บนเชือกนั้นเมื่อยังไม่ได้หมุนล้อ จะทำให้ล้อที่แขวนอยู่นั้นห้อยลงตามลักษณะที่ผูกเชือกไว้ แต่เมื่อพอได้ทำการหมุนล้อแล้วจะทำให้ล้อสามารถตั้งได้ดูเหมือนกับอยู่ในสภาวะไร้น้ำหนัก



รูปที่ 2.18 แสดงการหมุนและทิศทางของล้อ

สังเกตจุดเล็ก 2 จุด คือจุดบน และจุดล่างของ ใจ โรส โคป ขณะหมุนจะมีแรงบิดกระทำที่แกนหมุน(ลูกศรสีเขียว) จะใช้แรงกระทำจากภายนอกก็ได้ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำหนักของใจ โรส โคปเอง ให้สังเกตที่จุด 2 จุดถูกแรงกระทำ(สีน้ำเงิน) พยายามจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางดังรูป(ลูกศรชี้ตรงสีเขียว และลูกศรชี้เฉียงสีน้ำเงิน)

เมื่อล้อจักรยานยังไม่มี การหมุน และมีแรงบิด (ลูกศรสีน้ำเงิน) กระทำกับแกนหมุนดังรูปที่ 2.18 จุดบนของใจ โรส โคปจะเคลื่อนที่ไปทางซ้าย และจุดล่างของใจ โรส โคปจะเคลื่อนที่ไปทางขวา ตามทิศทางของแรงดั่งนั้นถ้าใจ โรส โคปยังไม่มี การหมุนล้อจะพลิก และอยู่ในลักษณะนอน

การทำงานของ Gyroscope นั้นจะเป็นไปตามกฎ ของนิวตันคือ มวลจะเคลื่อนที่ที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่ถ้าไม่มีแรงภายนอกมากระทำ เมื่อตัวใจ โรส โคปหมุนไป 90 องศา จุดบนจะหมุนเปลี่ยนตำแหน่งไป 90 องศา และยังคงเคลื่อนที่ไปทางซ้าย เช่นเดียวกับจุดล่างเมื่อหมุนขึ้น 90 องศา มันยังคงเคลื่อนที่ไปทางขวาทำให้ล้อเกิดการหมุนควง ขณะที่จุดบนและจุดล่างเปลี่ยน

ตำแหน่งไป 90 องศา การเคลื่อนที่ในครั้งแรกจะถูกยกเอิกไปไม่เกิดการพลิกของล้อ ดังนั้นแกนหมุนของ Gyroscope จะเหมือนกับห้อยอยู่กับที่ตลอดเวลา

ประโยชน์ของไจโรสโคป

ประโยชน์ของไจโรสโคปสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับดาวเทียมได้ เพื่อปรับตำแหน่งของดาวเทียมในอวกาศโดยมีตำแหน่งล้อตั้งฉากซึ่งกันและกัน แต่ละอันมีมอเตอร์และเบรกไว้สำหรับควบคุมการหมุน เมื่อล้อเริ่มหมุน ดาวเทียมจะเริ่มหมุนเช่นกันแต่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับล้อ หลังจากที่อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ก็บังคับล้อให้หยุดหมุน ดาวเทียมก็จะหยุดหมุนตามไปด้วย เมื่อใช้วิธีนี้จะสามารถที่จะบังคับทิศทางของดาวเทียมได้โดยไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงหรือพลังงานมากมายนัก และในบางครั้งขณะดาวเทียมโคจรอยู่รอบโลก ตำแหน่งของแผงโซลาร์ อาจจะไม่ตรงกับแสงอาทิตย์ จึงต้องมีการปรับแต่งตำแหน่งของดาวเทียมเสมอ เพื่อให้พลังงานแสงที่ตกลงบนแผงโซลาร์มากที่สุด

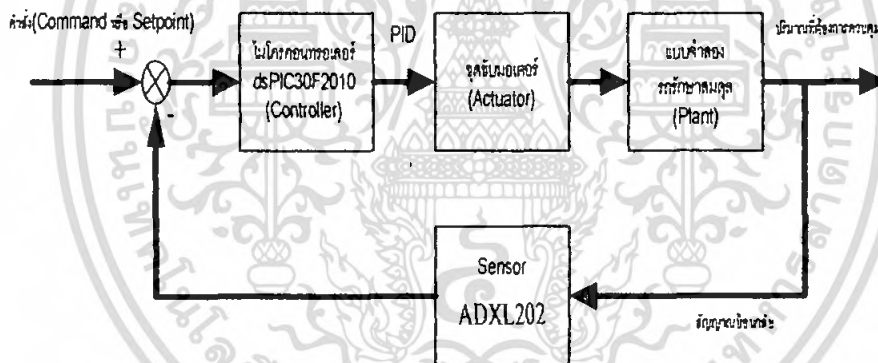


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและระบบการทำงาน

ในโครงการนี้มีความจำเป็นที่เราจะต้องออกแบบ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ดีและมีความสามารถสูงไม่ว่าจะเป็นการใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์และการขับเคลื่อนหรือการนับความถี่ด้วยไมโครตรวจจับสัญญาณอินพุตเพื่อนำไปประยุกต์เพื่อให้ได้จุดประสงค์ตามโครงการและเกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด โครงการนี้ผู้จัดทำจึงเลือกใช้หน่วยประมวลผลเร็วประกอบกับมีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ร่วมด้วย คณะผู้จัดทำจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ของบริษัทไมโครชิพเป็นหน่วยประมวลผลหลักของโครงการ ผู้จัดทำโครงการออกแบบให้มีการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) จากเซนเซอร์และระบบควบคุมแบบ PID เพื่อไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยตรง โดยการบังคับล้อให้แบบจำลองรถรักษาสมดุลให้สมดุลจะเป็นการตอบสนองจากเซนเซอร์โดยตรง สำหรับโครงการนี้เลือกใช้ Sensor(ADXL202) เพราะมีความไวในการตอบสนองมากกว่าเซนเซอร์ตัวอื่นอีกทั้งยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อีกด้วย



รูปที่ 3-1 แสดงโครงสร้างระบบควบคุมแบบป้อนกลับของแบบจำลองรถรักษาสมดุลด้วยตนเอง

สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้รวมไปถึงข้อมูลและคุณสมบัติของอุปกรณ์นั้นๆผู้จัดทำได้อธิบายโดยสังเขปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

คุณสมบัติของ dsPIC30F2010

dsPIC30F2010 เป็น MCU ซึ่งใช้การประมวลผลข้อมูลสัญญาณแบบ 16 บิต ของค่าย Microchip ซึ่งได้รับการออกแบบมาให้ทำงานในด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นหลัก ดังนั้นจึงมีจุดเด่นมากในด้านความสามารถในการประมวลผลข้อมูลสัญญาณแบบดิจิทัล และมีการออกแบบเพิ่มความสามารถในหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกด้วย เหมาะแก่การนำไปประยุกต์และใช้งานควบคุมในด้านต่างๆ โดยโครงสร้างภายในจะเป็นการผสมผสานระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) และวงจร DSP (Digital Signal Processing) รวมไว้ด้วยกันหรืออาจเรียก (MCU) ตระกูล dsPIC ว่าเป็น DCS หรือ Digital Signal Controller ก็ได้

คุณสมบัติด้านการประมวลผล

1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูแบบ RISC
2. มีความสามารถในการประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 30 MIPS (30 ล้านคำสั่งต่อวินาที)
3. มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง
4. สามารถป้องกันการอ่านได้ และสามารถโปรแกรมตัวเอง โดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์
5. ใช้สถาปัตยกรรมแบบ RISC โดยมี 84 ล้านคำสั่งมาตรฐาน รองรับการใช้งานอ้างอิงตำแหน่งแอดเดรสแบบต่างๆ ได้โดยอิสระ
6. ชุดคำสั่งมีขนาดแอดเดรสแบบ 24 บิต และสามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต
7. มีหน่วยความจำเป็น RAM ขนาด 512 Byte
8. มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ (EEPROM) ที่สามารถทำงานบันทึกและลบได้ใหม่ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง
9. มีรีจิสเตอร์ที่มีขนาด 16 บิต ให้ใช้งานได้ถึง 16 ตัว
10. รองรับสัญญาณความถี่นำพิกจากแหล่งภายนอกไปจนถึง 0-40 MHz
11. รองรับการใช้งานกับแหล่งกำเนิดความถี่แบบ XTAL ค่า 4-10 MHz
12. มีวงจรควบคุมความถี่สัญญาณนาฬิกาแบบใช้งานร่วมกับวงจร Phase-Lock-Loop โดยสามารถกำหนดเลือกความถี่ได้ 3 ระดับ คือ 4 เท่า , 8 เท่า , และ 16 เท่า
13. รองรับการ Interrupt ได้ถึง 27 แหล่ง พร้อมสัญญาณ Interrupt จากภายนอก 3 แหล่งและสามารถจัดระดับความสำคัญของการ Interrupt ได้ 8 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์พิเศษ(dsPIC30F2010)

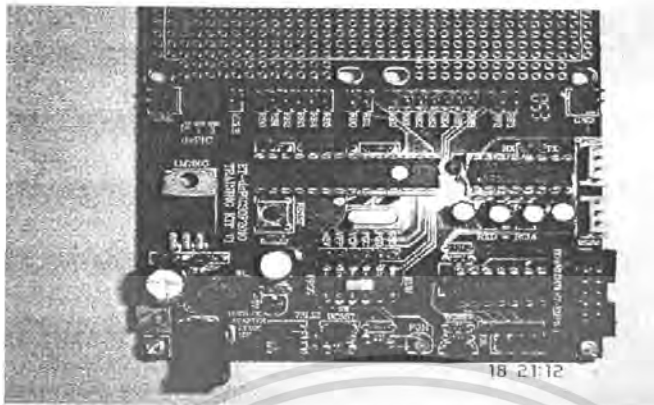
1. ขาสัญญาณ I/O สามารถจ่ายกระแส(Source)และรับกระแส(Sink)ได้มากถึง 25 mA
2. มี Timer ขนาด 16บิต 3 ตัว สามารถต่อใช้งานรวมกันหรือ โปรแกรมเป็น Timer ขนาด 32 บิตได้
3. มีไมโครตรวจจับสัญญาณดิจิทัลขนาด 16 บิต 4 ช่อง(Input Capture)
4. มีวงจรเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อนุกรมแบบ SPI
5. มีวงจรติดต่อเข้ากับอุปกรณ์ผ่านระบบบัส I2C
6. มี Output Compare/PWM ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ช่อง
7. มีวงจรสื่อสารและติดต่ออนุกรมแบบ UART จำนวน 1 ช่อง
8. มีไมโครติดต่อกับตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์(QEIM)
9. มีวงจร A/D (แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล) ขนาด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง
10. มีไมโครสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ 6 ช่อง
 - 10.1 เลือกรูปแบบเอาต์พุตได้ทั้งแบบคอมพลีเมนต์และแบบอิสระ
 - 10.2 มีโหมดปรับตำแหน่งการหมุนทั้งแบบปรับขอบสัญญาณและแบบกึ่งกลาง
 - 10.3 มีส่วนกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยม 4 ชุด
 - 10.4 กำหนดฐานเวลาได้ 4 โหมด
 - 10.5 สามารถควบคุมสัญญาณเอาต์พุตได้
 - 10.6 สามารถเลือกขั้วของสัญญาณทางเอาต์พุตได้
 - 10.7 มีไมโครเชื่อมต่อกับตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์

คุณสมบัติด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

1. มีวงจรเฟตช์ข้อมูลคู่ จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว
2. มีแอมพลิฟายเออร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้
3. มีตัวเลื่อนข้อมูลบาร์เรล 40 สเตจ ช่วยให้การประมวลผลข้อมูลที่มีจำนวนบิตมาก ๆ ได้
4. มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและหารเลข 17 บิต
5. มีการคูณเลข 16 บิตได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไชเกิล

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 มีคุณสมบัติที่ดีมาก และหลายคุณสมบัติสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการงานได้เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการพัฒนาโครงการ คณะผู้จัดทำจึงได้เลือกใช้ออร์ดทดลองสำเร็จรูปของบริษัท อีอีที จำกัด เบอร์ ET-

dsPIC30F2010 TRAININGKIT V1.0 เพราะว่ามีฟังก์ชันตามโครงงานที่กำหนดไว้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมและทดลองได้



รูปที่ 3-2 แสดงรูปบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

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/OEA/IC7/CN6/RB4	6	23	PWM2H/RE3
AN5/OEB/IC8/CN7/RB5	7	22	PWM3L/RE4
VSS	8	21	PWM3H/RE5
OSC1/CLK1	9	20	VDD
OSC2/CLK2/RC15	10	19	VSS
EMUD1/SOSCI/T2CKU1/ATX/CN1/RC13	11	18	PGC/EMUCU1RX/SD11/SDA/RP2
EMUC1/SOSCO/T1CKU1/ARX/CN0/RC14	12	17	PGD/EMUDU1TX/SD01/SGDRP3
VDD	13	16	FLTA/INT0/SCK1/OCFA/RE8
EMUD2/OC2/IC2/INT2/RD1	14	15	EMUC2/OC1/IC1/INT1/RD0

รูปที่ 3-3 แสดงการจัดขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

3.2 โมดูลตรวจจับสัญญาณ(Input Capture)

ในฟังก์ชันพิเศษของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ ซึ่งจะมีโมดูลตรวจจับสัญญาณ(Input Capture) ใน dsPIC30F2010 ได้บรรจุโมดูลตรวจจับสัญญาณไว้ 4 โมดูลด้วยกันให้เลือกใช้ คือ IC1, IC2, IC7 และ IC8 โดยโมดูลเหล่านี้ จะตรวจจับได้เฉพาะข้อมูลที่มีขนาด 16 บิตเท่านั้น ส่วนในไทเมอร์ที่ทำงานด้วยคือไทเมอร์ 2 และ 3 ซึ่งจะต้องเลือกให้ตัวใดตัวหนึ่งทำงาน ส่วนในโครงงานนี้จะใช้การนับความถี่ของสัญญาณป้อนให้กับขา IC1(หรือขาพอร์ต RD0) โดยเข้าทำการทดลองกับโปรแกรม(Hyper Terminal)เพื่อตรวจสอบสัญญาณที่นับได้

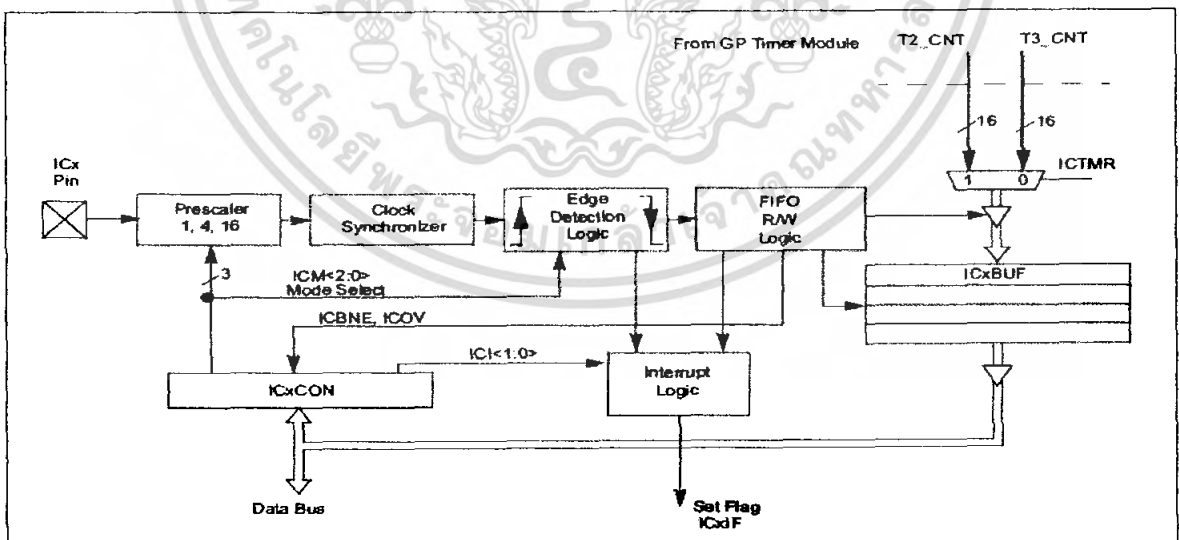
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุต(Input Capture Module)

1. มีความสามารถในการตรวจจับสัญญาณ 16 บิต
2. เชื่อมต่อหรือสามารถทำงานร่วมกับไทมเมอร์ 2 และไทมเมอร์ 3 ได้
3. มีรีจิสเตอร์แบบ FIFO ขนาด 4 บิต เพื่อแจ้งข้อผิดพลาดในขณะที่ตรวจจับสัญญาณ
4. สามารถกำหนดแบบการตรวจจับสัญญาณได้หลากหลายรูปแบบ
 - 4.1 ตรวจจับเมื่อพบสัญญาณขอบขาลง
 - 4.2 ตรวจจับเมื่อพบสัญญาณขอบขาขึ้น
 - 4.3 ตรวจจับเมื่อพบสัญญาณขอบขาขึ้นที่ 4
 - 4.4 ตรวจจับเมื่อพบสัญญาณขอบขาขึ้นที่ 16
 - 4.5 ตรวจจับเมื่อพบสัญญาณขอบขาขึ้นและขาลง
5. สามารถกำเนิดการอินเตอร์รัปต์เมื่อตรวจพบสัญญาณตามที่กำหนด
6. มีปริสเกลเลอร์สำหรับหารหรือลดทอนอัตราการนับ

รีจิสเตอร์หลักในโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุต

1. ICxBUF เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลของสัญญาณที่ตรวจจับได้ เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ใช้สำหรับพักข้อมูลที่ได้จากไทมเมอร์ 2 หรือ 3 ที่เลือกใช้งานกับ โมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุตนี้ ใน dsPIC30F2010 มี 2 ตัวคือ IC1BUF และ IC2BUF เนื่องจากใน dsPIC30F2010 มีโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุต 4 ชุดคือ IC1, IC2, IC7 และ IC8
2. ICxCON เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของโมดูลตรวจจับสัญญาณ มีขนาด 16 บิต



รูปที่ 3-4 แสดงไดอะแกรมการทำงานของโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โมดูลไทเมอร์/เคาน์เตอร์ใน dsPIC30F2010

ใน dsPIC30F2010 จะบรรจุไทเมอร์/เคาน์เตอร์ไว้ 5 ตัว คือ ไทเมอร์ 1 ถึง ไทเมอร์ 5 โดยแต่ละตัวมีขนาด 16 บิต แต่สำหรับ ไทเมอร์ 2 และ 3 กับ ไทเมอร์ 4 และ 5 สามารถทำงานร่วมกันได้ โดยมีขนาดของไทเมอร์ 32 บิต

คุณสมบัติของไทเมอร์

ใน dsPIC30F2010 มีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตใช้งานรวมกัน 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 1 (T1) ไทเมอร์ 2 (T2) และ ไทเมอร์ 3 (T3)

คุณสมบัติของไทเมอร์ 1

1. มีรีจิสเตอร์นับความละเอียด 16 บิต
2. ทำงานได้ทั้งแบบซิงโครนัสและอะซิงโครนัส
3. สามารถทำงานร่วมกับขาอินพุตของไทเมอร์ได้
4. มีปริวิตเตอร์สำหรับลดทอนความถี่การนับ
5. สามารถตรวจพบสัญญาณที่ขาอินพุตของไทเมอร์ได้
6. สามารถกำหนดการอินเทอร์รัปต์จากการนับหรือจากการตรวจพบสัญญาณขาอินพุตของไทเมอร์

คุณสมบัติของไทเมอร์ 2 และ 3

1. ไทเมอร์ 2 และ 3 เมื่อทำงานจะแยกอิสระต่อกัน มีลักษณะคล้ายไทเมอร์ 1
2. ถ้าไทเมอร์ 2 และ 3 ทำงานร่วมกัน รีจิสเตอร์จะมีขนาด 32 บิต
3. ทำงานร่วมกับขาอินพุตของไทเมอร์ได้
4. มีปริวิตเตอร์สำหรับลดทอนความถี่การนับ
5. สามารถตรวจพบสัญญาณที่ขาอินพุตของไทเมอร์ได้
6. สามารถกำเนิดสัญญาณกระตุ้นการทำงานไปยัง โมดูล ADC ได้
7. สามารถกำหนดการอินเทอร์รัปต์จากการนับหรือจากการตรวจพบสัญญาณขาอินพุตของไทเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ในโมดูลไทมเมอร์ของ dsPIC30F2010

ในโมดูลไทมเมอร์ของ dsPIC30F2010 มีรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่สำคัญอยู่ 3 กลุ่มคือ

กลุ่มที่ 1 TMRx(16-bit timer count register) เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์เก็บค่าไทมเมอร์ กลุ่มนี้มี 5 ตัวแต่ใน dsPIC30F2010 มีเพียง 3 ตัวคือ TMR1,TMR2,TMR3

กลุ่มที่ 2 PRx(16-bit period register associated with the timer) เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์คาบเวลาที่สัมพันธ์กับไทมเมอร์ใน dsPIC30F2010 มี 3 ตัวคือ PR1-PR3

กลุ่มที่ 3 TxCON(16-bit control register associated with the timer)เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไทมเมอร์ มี 5 ตัวเช่นกัน T1CON1 – T5CON แยกกันตามไทมเมอร์หลักทั้ง 5 ตัวสำหรับกลุ่มนี้จะมีความพิเศษตรงที่ยังสามารถแยกย่อยออกไปได้ 3 แบบภายใต้รีจิสเตอร์เดียวกันเนื่องจากไทมเมอร์สามารถทำงานได้อีก 3 แบบตามลักษณะของฐานเวลา จึงทำให้รีจิสเตอร์ TxCON สามารถระบบได้เป็น TxCON ในแบบ A, B และ C

3.4 โมดูล UART ติดต่อสื่อสารข้อมูลอนุกรมระหว่าง dsPIC30F2010

เป็น โมดูลเพื่อติดต่อสื่อสารข้อมูลอนุกรมระหว่าง dsPIC30F2010 กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม

คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูล UART ใน dsPIC30F2010

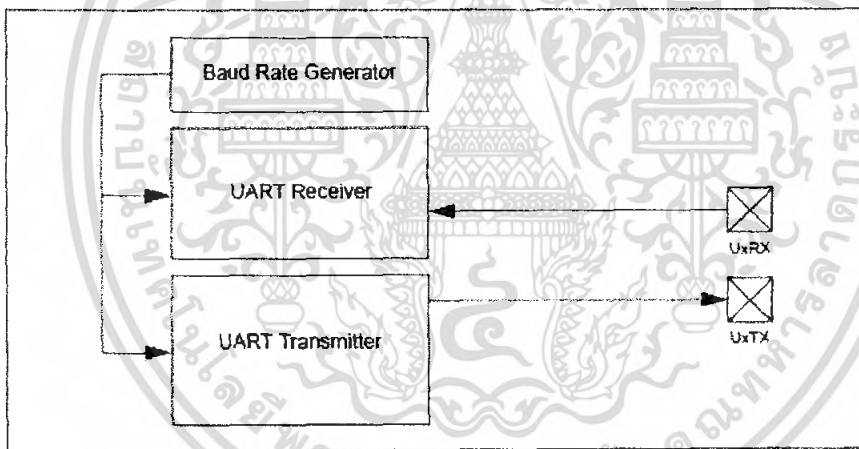
1. ติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบสองทิศทางในแบบ 8 และ 9 บิต ได้
2. เลือกรับส่งข้อมูลแบบตรวจสอบบิตพาริตีคู่ (Even) หรือคี่ (Odd) และไม่ตรวจสอบบิตพาริตี(None)
3. มีส่วนกำเนิดอัตราบอดขนาด 16 บิต สำหรับกำหนดจังหวะและอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมเพื่อลดภาระของ โมดูลไทมเมอร์
4. สามารถกำหนดอัตราบอดได้ตั้งแต่ 38บิต/วินาที
5. มีบัฟเฟอร์ข้อมูลขาส่ง(TX)และขารับ(RX)ขนาด 4 บิตแบบแยกส่วนกัน
6. มีบิตแฟลกแจ้งข้อผิดพลาดรวมไปถึงสามารถตรวจจับความผิดพลาดในการสื่อสารข้อมูลอนุกรม ได้แก่
 - 6.1 ความผิดพลาดทางพาริตี
 - 6.2 รับข้อมูลไม่ทัน
 - 6.3 เฟรมข้อมูลผิดพลาด
7. สนับสนุนการอินเตอร์รัปต์แอสเครส
8. สามารถอินเตอร์รัปต์ตำแหน่งกันได้ในระหว่างการส่ง(TX)และรับข้อมูล(RX)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ที่ใช้ในโมดูล UART

มีทั้งสิ้น 5 ตัวคือ

1. **UxMODE** ใช้กำหนดโหมดการทำงานของโมดูล UART โดยตัวอักษร x เป็นเลข 1 หรือ 2 เพราะ dsPIC สามารถบรรจุโมดูล UART ได้ 2 ชุด สำหรับใน dsPIC30F2010 มี 1 ชุด จึงกำหนดได้เป็น UIMODE
2. **UxSTA** ใช้แสดงสถานะการทำงานของโมดูล UART โดยตัวอักษร x เป็นเลข 1 หรือ 2 เพราะ dsPIC สามารถบรรจุโมดูล UART ได้ 2 ชุด สำหรับใน dsPIC30F2010 มี 1 ชุด จึงกำหนดได้เป็น UISTA
3. **UxRXREG** ใช้เก็บข้อมูลที่รับเข้ามาทางขาเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมโดยตัวอักษร x เป็นเลข 1 หรือ 2 ใน dsPIC30F2010 มี 1 ชุด จึงกำหนดได้เป็น U1RXREG
4. **UxTXREG** ใช้เก็บข้อมูลสำหรับส่งออกทางขาเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมใน dsPIC30F2010 มี 1 ชุด จึงกำหนดได้เป็น U1TXREG
5. **UxBRG** ใช้เก็บค่าสำหรับกำหนดอัตราบอด สำหรับใน dsPIC30F2010 มี 1 ชุด จึงกำหนดได้เป็น U1BRG



รูปที่ 3-5 แสดงส่วนประกอบหลักในโมดูลUART ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

3.5 หน่วยกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (MCPWM)

เป็นอีกหนึ่งโมดูลฟังก์ชันที่ใช้ในโครงงานนี้ก็คือ โมดูลการสร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) ซึ่งใน dsPIC30F2010 มี โมดูลสร้างสัญญาณ (PWM) ในการควบคุมมอเตอร์ หรือเรียก โมดูล MCPWM (MOTOR Control PWM) สำหรับใน dsPIC30F2010 ได้บรรจุฟังก์ชันนี้ไว้ ให้เลือกใช้งานถึง 6 ช่องการใช้งาน สามารถเลือกขับมอเตอร์แบบเฟสเดียวได้ 3 ตัว และมอเตอร์ 3

เฟสได้ 1 ตัว ซึ่งในโครงการนี้จะใช้เพียง 2 ช่องสำหรับควบคุมมอเตอร์ 2 ตัวเท่านั้นสัญญาณที่ออกจากโมดูล MCPWM จะมีขาพอร์ต 2 ขาคือช่องนั้น จะมีขาเอาต์พุตด้านแรงดันสูง PWMxH และขาเอาต์พุตด้านแรงดันต่ำ PWMxL หรือเรียกว่าคู่เอาต์พุตให้เลือกใช้อีกด้วย

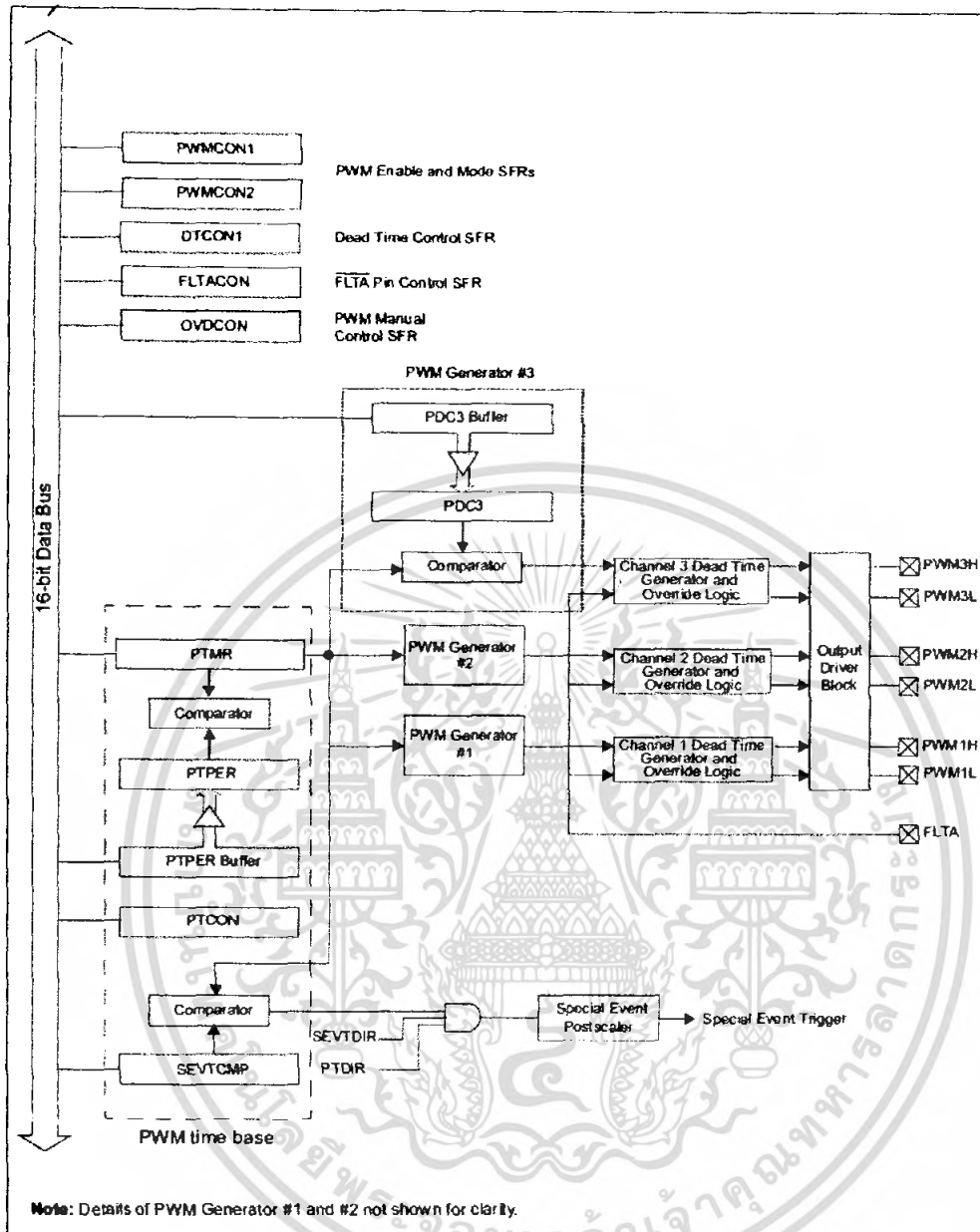
ในส่วนประกอบการทำงานของโมดูล MCPWM คือส่วนประกอบที่เป็นส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM โดยใน dsPIC30F2010 จะมี 3 ชุด ซึ่งได้ค่าฐานเวลามาจากรีจิสเตอร์ PTMR และ PTPER ในส่วนของค่า (Duty cycle) ของสัญญาณ MCPWM สามารถกำหนดได้จากรีจิสเตอร์ในส่วนของการกำเนิดสัญญาณ PWM แต่ละส่วนจะเป็นอิสระต่อกัน นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยตรงโดยผ่านทางรีจิสเตอร์ OVDCON

คุณสมบัติของโมดูล MCPWM

1. ความละเอียดของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นเท่ากับ $T_{cy}/2$
2. ในโมดูล MCPWM 1 ชุดมี 2 เอาต์พุตใน dsPIC30F2010 มีโมดูล 3 ชุด จึงมีทั้งสิ้น 6 ช่อง
3. มีอินพุตสำหรับตรวจจับความผิดพลาดในการทำงาน (FAULT) แบบ โปรแกรมได้
4. สามารถเลือกโหมดเอาต์พุตได้ทั้งหมด 4 โหมดตามความต้องการของผู้ใช้
 - 4.1 โหมดปรับขอบสัญญาณ
 - 4.2 โหมดสัญญาณเดี่ยว
 - 4.3 โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลาง
 - 4.4 โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลางพร้อมปรับรูปร่าง
5. การเลือกโหมดทำได้โดยการกำหนดค่าบิต PTMOD1 และ PTMOD0 ซึ่งเป็นบิต 1 และ 0 ในรีจิสเตอร์ PTCON ซึ่งในโครงการนี้จะเลือกใช้โหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระ

ในรูปที่ 3-6 แสดงแผนผังการทำงานของโมดูล MCPWM ส่วนประกอบหลักในโมดูลนี้คือส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ที่มีอยู่ด้วยกันสูงสุด 4 ชุด โดยใน dsPIC30F2010 จะมี 3 ชุด ซึ่งได้ค่าฐานเวลามาจากรีจิสเตอร์ PTMR และ PTPER ส่วนค่าควิตซ์ไชเกิดของสัญญาณ PWM ในโมดูล MCPWM นี้สามารถกำหนดได้จากรีจิสเตอร์ควิตซ์ไชเกิดในส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM แต่ละส่วนที่เป็นอิสระต่อกัน นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยตรงผ่านทางรีจิสเตอร์ OVDCON

ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์แต่ละชุดในโมดูล MCPWM ให้สามารถกำหนดให้ทำงานแยกจากกันเป็นอิสระ (Independent mode) หรือทำงานร่วมกัน (Complementary mode) เพื่อขับมอเตอร์ 3 เฟสได้ โดยกำหนดผ่านรีจิสเตอร์ PWMCON1 และ PWMCON2 และเมื่อกำหนดให้ทำงานร่วมกันจะต้องมีการจัดการสัญญาณเพื่อให้มอเตอร์ในแต่ละเฟสสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง นั่นคือการจัดการค่าเวลาช่วงเฟส (datetime control) โดยใช้รีจิสเตอร์ DTCON1



รูปที่ 3-6 แสดงแผนผังการทำงานของโมดูล MCPWM

สัญญาณที่ออกจากโมดูล MCPWM จะมีขาพอร์ต 2 ขาต่อช่องนั้นคือ ขาเอาต์พุตด้านแรงดันสูง- $PWMxH$ และขาเอาต์พุตด้านแรงดันต่ำ- $PWMxL$ (x หมายถึงเลขของช่องเอาต์พุต) ใน dsPIC30F2010 มีเพียง 1-3 หรือเรียกว่า คู่เอาต์พุต นอกจากนั้นยังสามารถส่งสัญญาณเอาต์พุตผ่านโพสต์สเกลเลอร์เพื่อสร้างเป็นสัญญาณกระตุ้นพิเศษให้แก่โมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC) ด้วยเพื่อให้โมดูล MCPWM สามารถทำงานสัมพันธ์กับโมดูล ADC ได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกทั้งใน โมดูล MCPWM ยังมีอินพุตสำหรับรับสัญญาณตรวจสอบความผิดปกติหรือ FAULT เพื่อป้องกันไม่ให้ โมดูล MCPWM ทำงานผิดพลาดหรือเสียหายเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นใน โมดูล MCPWM โดยใน dsPIC30F2010 จะมีเพียงขาเดียวคือ FLTA

รีจิสเตอร์ที่ใช้งานในโมดูล MCPWM ของ dsPIC30F2010มีดังนี้

1. PTCON รีจิสเตอร์ควบคุมฐานเวลาในการกำเนิดสัญญาณ PWM
2. PTMR รีจิสเตอร์กำหนดค่าฐานเวลาของการกำเนิดสัญญาณ PWM
3. PTPER รีจิสเตอร์กำหนดคาบเวลาของฐานเวลาสำหรับการกำเนิดสัญญาณ PWM
4. SEVTCMP รีจิสเตอร์เปรียบเทียบค่า
5. PWMCON1 รีจิสเตอร์ควบคุม PWM#1
6. PWMCON2 รีจิสเตอร์ควบคุม PWM#2
7. DTCON1 รีจิสเตอร์ควบคุมค่าเวลาวิกฤตหรือ Dead Time #1
8. DTCON2 รีจิสเตอร์ควบคุมค่าเวลาวิกฤตหรือ Dead Time #2
9. FLTACON รีจิสเตอร์ควบคุมการตรวจจับความผิดปกติของการขับเคลื่อนมอเตอร์ชุด A
10. PDC1 รีจิสเตอร์กำหนดค่าคิวดัชนีเกิดของ โมดูลกำเนิดสัญญาณ PWM ชุดที่ 1
11. PDC2 รีจิสเตอร์กำหนดค่าคิวดัชนีเกิดของ โมดูลกำเนิดสัญญาณ PWM ชุดที่ 2
12. PDC3 รีจิสเตอร์กำหนดค่าคิวดัชนีเกิดของ โมดูลกำเนิดสัญญาณ PWM ชุดที่ 2

นอกจากนั้นแล้วใน โมดูล MCPWM ยังมีความสามารถพิเศษอีกประการหนึ่งคือ การป้องกันการเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ ทำได้โดยเซตบิต UDIS ซึ่งเป็นบิต 2 ของรีจิสเตอร์ PWMCON2

3.6 โมดูลเปรียบเทียบข้อมูล(Output Compare: OC)

เป็น โมดูลฟังก์ชันพิเศษที่นำมาใช้ประมวลผลและสร้างสัญญาณทางดิจิทัลของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ใน dsPIC30F2010 ได้บรรจุโมดูล OC ไว้ 2 ชุด โดยมีการใช้งานขา พอร์ตเอาต์พุตร่วมกับโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุตหรือ IC ทำให้ต้องเลือกใช้งานระหว่าง โมดูล IC และ OC เพราะสองอย่างนี้ทำงานพร้อมกันไม่ได้

การทำงานหลักๆ ก็คือ เปรียบเทียบข้อมูลค่าของฐานเวลาหนึ่งๆ กับข้อมูลรีจิสเตอร์ หากเท่ากันก็จะเกิดสัญญาณพัลส์เดี่ยวหรือขบวนสัญญาณพัลส์ออกมาทางเอาต์พุต ขึ้นอยู่กับโหมด ทำงาน จึงนิยมนำมาใช้งานในการกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยนำมาใช้สร้างสัญญาณ PWM(Pulse Width Modulation)

คุณสมบัติของโมดูลเปรียบเทียบข้อมูล

1. สามารถกำเนิดสัญญาณ PWM
2. ใช้ไทมเมอร์ 2 หรือ 3 ร่วมในการทำงาน
3. อินเทอร์รัปต์เนื่องจากถึงคาบเวลาการนับ
4. มีอินพุตป้องกันความผิดพลาดในการสร้างสัญญาณ PWM
5. สามารถกำหนดเงื่อนไขเมื่อถึงคาบเวลาการนับ(Match)

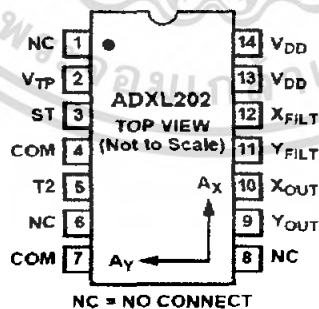
โหมดการทำงานของโมดูลเปรียบเทียบข้อมูล

มีด้วยกัน 3 โหมดหลัก คือ

1. โหมดเปรียบเทียบข้อมูลตรงกับแบบเดี่ยว
2. โหมดเปรียบเทียบข้อมูลตรงกับแบบคู่เพื่อสร้างสัญญาณ ซึ่งให้สัญญาณพัลส์เดี่ยวหรือพัลส์ต่อเนื่อง
3. โหมดสร้างสัญญาณ PWM ซึ่งแบ่งเป็น 2 ลักษณะการทำงานคือ
 - 3.1 แบบมีการตรวจสอบและป้องกันความผิดพลาดผ่านทางขา OCFB หรือ OCFB
 - 3.2 แบบไม่มีการตรวจสอบและป้องกันความผิดพลาดผ่านทางขา OCFB หรือ OCFB

3.7 SENSORS

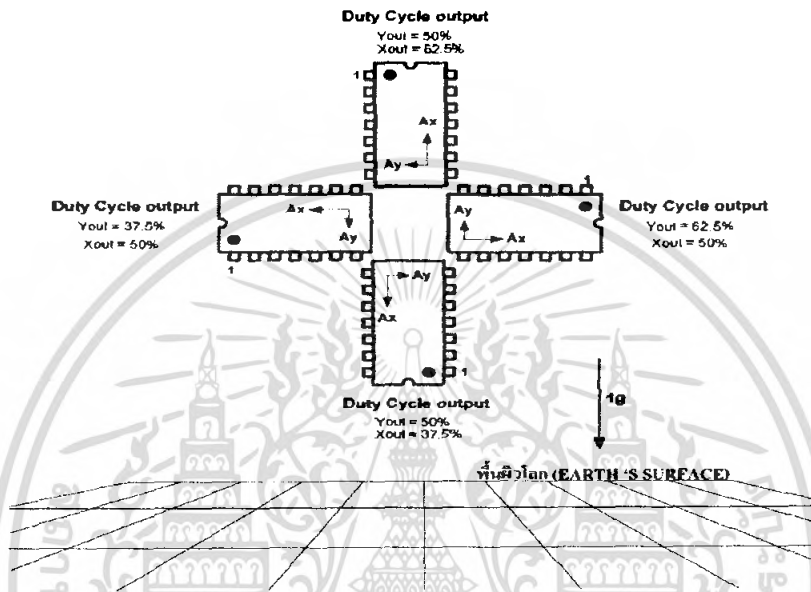
Sensors (ADXL202) เป็นไอซีวัดความเร่งและความโน้มเอียงทางแกน x และ y สามารถวัดค่าความเร่งแบบเต็มสเกลในช่วง $-2g$ ถึง $+2g$ และมีความไวหรือ Sensitivity 12.5 % ต่อ g สามารถวัดค่าได้ทั้งความสั่นสะเทือน(Dynamic หรือ Vibration) และสามารถวัดความโน้มถ่วง(Static acceleration หรือ gravity)



รูปที่ 3-7 แสดงการจัดขาของไอซี (ADXL202)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณของเอาต์พุตของ ADXL202 จะออกมาเป็นแบบดิจิทัลพัลส์วีดมอดูเลชัน (PWM : Pulse Width Modulation) ก็คือ จะมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณความกว้างของพัลส์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าโน้มเอียง หรือค่าความเร่งตามทิศทางของแกน x หรือแกน y สัญญาณเอาต์พุตนี้ จะถูกส่งผ่านไปที่ขาสัญญาณ Xout หรือ Yout โดยผู้ทำโครงการสามารถนำไปเชื่อมต่อเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่วัดหรือนับค่าสัญญาณได้โดยตรงโดยไม่จำเป็นต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณ A/D (Analog to Digital Converter)



รูปที่ 3-8 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Duty Cycle ของสัญญาณ กับทิศทางการโน้มเอียงของตัวไอซี

คุณสมบัติของไอซี ADXL202

1. เป็นเซนเซอร์วัดค่าความเร่งแบบ 2 แกน คือ แกน x หรือแกน y
2. วัดค่าได้ทั้งค่าความเร่ง(Dynamic หรือ Vibration) และสามารถวัดความโน้มถ่วง (Static acceleration หรือ gravity)
3. สามารถกำหนดค่าความกว้างพัลส์(Period)ได้
4. กินกำลังงานค่าน้อยกว่า 0.6 mA
5. มีความไวในการตอบสนองสูงกว่าเซนเซอร์ประเภทอื่นๆ
6. ทำงานที่แรงดัน +3 จนถึง 5.25v
7. ความละเอียด 5 mg ที่แบนวิดท์ 60 Hz
8. สามารถทนทานต่อการสั่นสะเทือนสูงถึง 1,000g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำไปประยุกต์การใช้งาน(APPLICATIONS)

1. ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความโน้มเอียง 2 แกน (2-Axis Tilt Sensing)
2. อุปกรณ์ช่วยนำทาง(Inertial Navigation)
3. อุปกรณ์ตรวจจับแผ่นดินไหว(Seismic Monitoring)
4. อุปกรณ์ระบบความปลอดภัยในรถยนต์ เช่น ระบบทรงตัวหรือระบบใช้คอป เป็นต้น

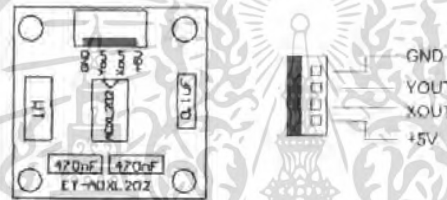
* ในโครงงานนี้ผู้จัดทำนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความโน้มเอียง 2 แกน (2-Axis Tilt Sensing) โดยเลือกระหว่างแกน x และแกน y ตามความเหมาะสมของการติดตั้ง

* ค่า g คือ หน่วยบอกปริมาณของความเร่ง (Acceleration) มีค่าเท่ากับ 9.8 m/s^2

เช่น ถ้าเราพูดว่า 1g หรือ 2g ก็จะเทียบได้กับสมการต่อไปนี้

$$1g = 1 \times 9.8 \text{ m/s}^2$$

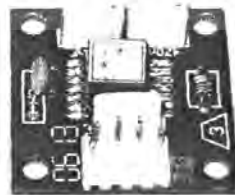
$$2g = 2 \times 9.8 \text{ m/s}^2$$



รูปที่ 3-9 โครงสร้างบอร์ด ADXL202

การทำงานของเซนเซอร์

เซนเซอร์จะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็น PWM จำนวน 2 ช่อง คือสัญญาณเอาต์พุต PWM ของแกน X (xout) และสัญญาณเอาต์พุต PWM ของแกน Y (yout) ซึ่งค่า Duty Cycle ของแต่ละช่องจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการโน้มเอียงของตัวไอซีหรือเกิดจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของไอซีไปตามแนวแกนต่างๆ

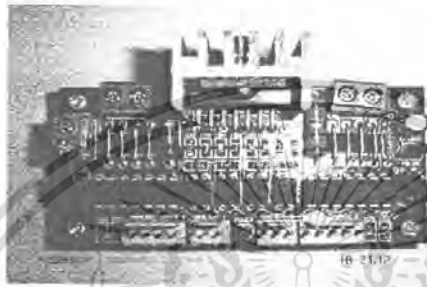


รูปที่ 3-10 แสดงรูปบอร์ดไอซี ADXL202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วงจรขับมอเตอร์

การใช้งานขับมอเตอร์ในการควบคุม โครงการนี้ผู้จัดทำโครงการเลือกใช้บอร์ดขับมอเตอร์ Dual Motor Driver(DMD2A) ของบริษัทเอนีคอนโทรล จำกัด ซึ่ง DMD2A เป็นบอร์ดขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีช่องเอาต์พุตสำหรับมอเตอร์ 2 ช่องและสามารถขับกระแสได้ 2 แอมป์แปร้ต่อช่อง รวมถึงความสามารถของบอร์ดคือเราสามารถเลือกรับสัญญาณควบคุมความเร็วมอเตอร์เป็นสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) หรือการควบคุมความเร็วด้วยสัญญาณอนาลอกแบบแรงดัน 0-5 โวลต์และ 0-10 โวลต์ จากภายนอกหรือต่อ โวลลุ่มสำหรับปรับความเร็ว



รูปที่ 3-11 แสดงรูปบอร์ดขับมอเตอร์ DMD2A

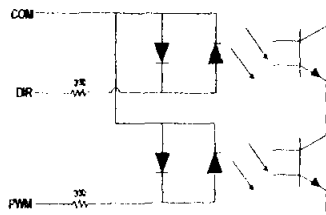
ลักษณะพิเศษของ DMD2A

1. แหล่งจ่ายแรงดัน ไฟฟ้า DC 9-24 โวลต์
2. เอาต์พุต 2 ช่อง กระแสเอาต์พุต 2 แอมป์แปร้ต่อช่อง
3. ป้องกันแอสเกินพิค
4. ความถี่สัญญาณ PWM สูงสุด 25 kHz
5. แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์บนบอร์ด Non-isolate
6. Isolated Digital input and Non-isolate input

การทำงานของวงจร

เริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F864 ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลรองรับข้อมูลสัญญาณ PWM และทิศทางจากไมโครคอนโทรลเลอร์มาแล้วส่งสัญญาณผ่านตัวแบ่งแยกทางแสงเพื่อที่จะกันสัญญาณดิจิตอลออกจากส่วนของสัญญาณอนาลอก ไปกระตุ้นขาของไอซีเบอร์ L298D ซึ่งเป็นไอซีขับมอเตอร์ชนิด H-Bridge สามารถขับกระแสเอาต์พุตได้ 25 แอมป์แปร้ต่อช่อง 2 ช่อง ซึ่งหน่วยประมวลผลจะเป็นตัวตัดสินใจว่าจะส่งสัญญาณไปยังขาไหนบ้างจึงจะได้ทิศทางและความเร็วที่ต้องการซึ่งได้รับมาจากหน่วยประมวลผลหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-12 แสดงรูปในโหมดการทำงานในโหมด PWM INPUT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ส่วนประกอบทางกลของรถรักษาสมดุล

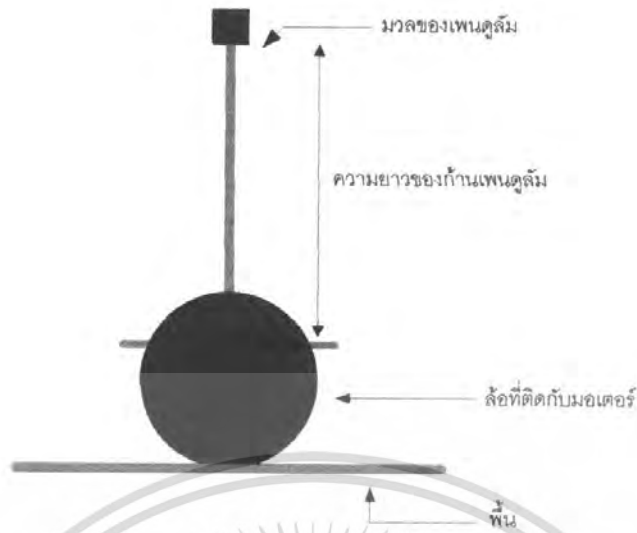
จากที่กล่าวมาในบทที่ 2 เราได้ศึกษารูปแบบต่างๆมาแล้วและระบบ Inverted pendulum มาแล้วในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบของโครงสร้างของหุ่นรักษาสมดุลและส่วนประกอบต่างๆ เช่น ล้อ, มอเตอร์ เป็นต้น จากการศึกษาของระบบของรูปแบบต่างๆ ที่จะทำให้หุ่นยนต์สามารถรักษาสมดุลได้ดี ก็คือ หุ่นยนต์ต้องมีความสูงพอประมาณหรือความสูงที่เหมาะสม และมีน้ำหนักเบา มีระบบขับเคลื่อนที่มีความแม่นยำและตอบสนองอย่างรวดเร็ว รวมถึงการตอบสนองอย่างรวดเร็ว เมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางของมอเตอร์ และต้องออกแบบโครงสร้างของหุ่นรักษาสมดุลให้มีความแข็งแรงทนทานและแน่นอนหนา และหัวใจหลักและสำคัญที่สุดที่ผู้จัดทำโครงการให้มีความสำคัญมากที่สุดก็คือ เซ็นเซอร์ เซ็นเซอร์ถือเป็นหัวใจของหุ่นยนต์เพื่อสามารถทำให้หุ่นรักษาสมดุลได้ตลอดเวลารวมไปถึงการวัดค่าที่มีความแม่นยำและประมวลผลอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาโครงการที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะใช้ ใจ โรสโคป และเซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบ 2 แกน เพราะมีความแม่นยำและอ่านวัดค่าได้อย่างรวดเร็ว แต่เซ็นเซอร์เหล่านี้มีราคาค่อนข้างสูง สำหรับโครงการนี้ผู้จัดทำเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบ 2 แกน(ADX1202)

สำหรับการออกแบบ โครงสร้างแบบจำลองรถรักษาสมดุลผู้จัดทำได้ศึกษา ทฤษฎีและหลักการต่างๆของ Inverted pendulum และหลักการของ Segway Human Transporter (Segway HT) ในการนำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบจำลองรถรักษาสมดุลให้ได้ผลตามต้องการและมีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด

ตามหลักการของ Inverted pendulum ที่ออกแบบโดยเป็นรถเคลื่อนที่อยู่บนรางและมีมอเตอร์เป็นตัวขับให้เคลื่อนที่เพื่อที่รักษาและเลี้ยงเพนดูลัมให้สามารถตั้งอยู่บนรางได้ ลักษณะการควบคุมหลักๆ คือ การควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่อยู่บนราง การรักษาให้เพนดูลัมให้ตั้งโดยสัญญาณควบคุมที่ให้กับตัวรถ (มอเตอร์) ได้จากค่าผิดพลาดระหว่างสัญญาณที่ตั้งไว้ (Reference) ลบกับสัญญาณป้อนกลับ (Feedback) ที่ได้จากตัวตรวจจับมุมของเพนดูลัมและตัวตรวจจับตำแหน่งรถ

ผู้จัดทำโครงการจึงนำมาประยุกต์ในการสร้างแบบจำลองรถรักษาสมดุลโดยทำกันเพนดูลัม และมีมวลหรือน้ำหนักของเพนดูลัมเพื่อรักษาไม่ให้กันเพนดูลัมเกิดอาการแกว่งมาก ในกรณีเมื่อมอเตอร์มีการเปลี่ยนทิศทางการหมุนหรือการเคลื่อนที่ของ โครงสร้าง

จากที่กล่าวมาผู้จัดทำโครงการได้จัดสร้างแบบจำลองรถรักษาสมดุลขึ้นมาก่อนเพื่อที่จะดูความเป็นไปได้เกี่ยวกับการออกแบบว่าเป็นไปได้มากน้อยเพียงใดที่จะทำให้รถรักษาสมดุลเกิดการสมดุลก่อนที่จะเริ่มทำแบบจำลองของจริงขึ้น



รูปที่ 4-1 โครงสร้างแบบจำลองรถรักษาสมดุค



รูปที่ 4-2 แสดงแบบจำลองโครงสร้างรถสมดุคก่อนสร้างจริง

4.1 ส่วนประกอบเบื้องต้นของรถรักษาสมดุค

จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้จัดทำได้สร้างแบบจำลองรถรักษาสมดุคขึ้นมาก่อนในเทอมแรก ก่อนที่ทำแบบจำลองของจริงในเทอมที่สอง โดยได้ทำการออกแบบโดยมีระบบขับเคลื่อนแยกกัน ทั้ง 2 ล้อ โดยใช้ DC MOTOR(DSM 2 A , 24V , 2500 RPM)ไฟตรงธรรมดา และต่อมาผู้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการโครงการนี้ได้ลองเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์เกียร์ผลปรากฏว่า ชุดเกียร์มีความหยวบ จึงทำให้การขับเคลื่อนไม่เรียบ จึงไม่เหมาะสมกับ โครงสร้างที่สร้างขึ้นและการควบคุมมอเตอร์เกียร์จะควบคุมยากกว่า DC MOTOR ผู้จัดทำจึงกลับมาใช้ DC MOTOR อย่างเดิม แต่ก็ยังมีข้อเสีย ก็คือ เนื่องจากความเร็วรอบไม่คงที่เหมือนมอเตอร์ที่มี Encoder



รูปที่ 4-3 แสดง DC MOTOR โฟตรง



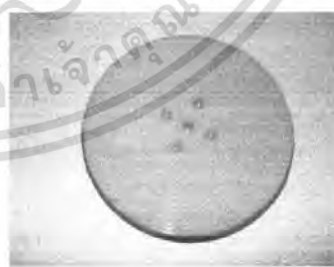
รูปที่ 4-4 แสดง GEAR MOTOR

ต่อมาลักษณะการเลือกใช้ล้อ จากการสร้างแบบจำลองรถรักษาสมดุผู้จัดทำได้เลือกใช้ล้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อย ผลการทดลองปรากฏว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงก้านเพนดูลัม โครงสร้างจะเกิดการเคลื่อนที่มากทำให้ยากต่อการควบคุมให้รถรักษาสมดุ ต่อมาผู้จัดทำได้เปลี่ยนจากล้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยมาใช้ล้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมาก จากการทดลองผลปรากฏว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของก้านเพนดูลัมจะทำให้โครงสร้างเกิดการเคลื่อนที่น้อยทำให้ง่ายต่อการควบคุมให้รถรักษาสมดุอยู่ได้

ล้อที่มีความกว้างมากจะทำให้มุมในการเอียงของตัวหุ่นล้มได้ช้ากว่าความกว้างน้อย จะทำให้ผลตอบสนองของเซนเซอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น



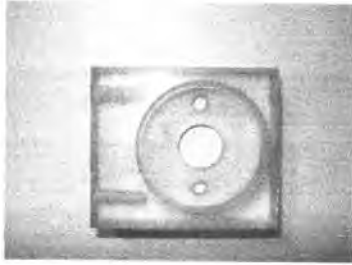
รูปที่ 4-5 แสดงล้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อย



รูปที่ 4-6 แสดงล้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนประกอบที่เหลื้ต่างๆของรถร้รักษาสมดุล



รูปที่ 4-7 แสดงตัวยึดมอเตอร์กับ โครงสร้าง



รูปที่ 4-8 แสดงการยึดมอเตอร์



รูปที่ 4-9 แสดงน็อตยึดมอเตอร์กับ โครงสร้าง



รูปที่ 4-10 แสดงแกนเพลายึดติดกับมอเตอร์



รูปที่ 4-11 แสดงสายเชื่อมต่อดวงจร

4.3 องค์ประกอบของการติดตั้ง

องค์ประกอบต่างๆ ของการติดตั้งต้องยึดหลักการสมดุลเป็นหลักใหญ่ เนื่องจากหากตัวรถรักษาสมดุลไม่สมดุลแล้วนั้นการที่จะบังคับหรือควบคุมรถรักษาสมดุลนั้นก็อาจเป็นไปได้ยาก การที่ตัวรถรักษาสมดุลมีล้อทั้ง 2 ข้างและต้องอยู่ในแกนเดียวกันก็อาจทำให้ความกว้างของรถรักษาสมดุลมีขนาดมาก ดังแสดงใน รูปที่ 4-12 การติดตั้งมอเตอร์นั้นต้องติดตั้งให้แกนมอเตอร์ตรงกัน ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

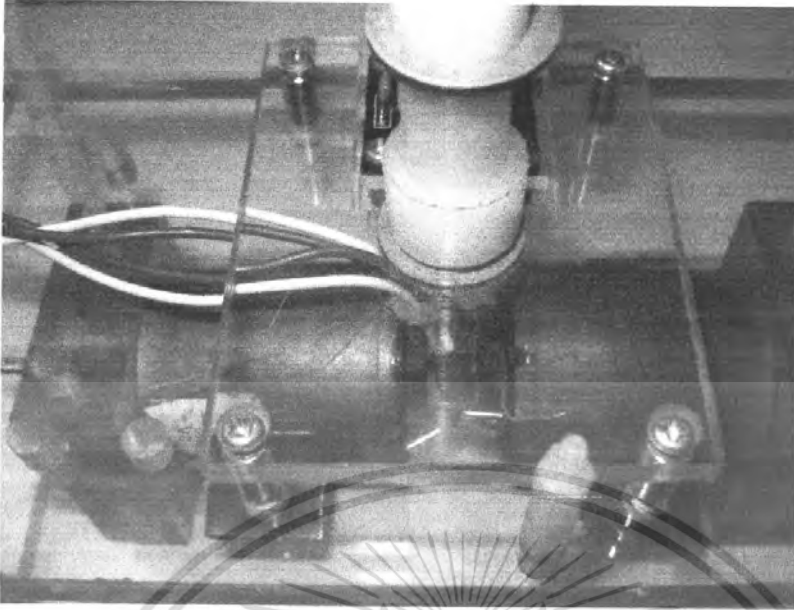
ไม่ตรงกันอาจจะทำให้เสียสมดุลได้ ส่วนที่ช่วยยึดติดโครงสร้างต่อโครงสร้างก็คือเสาเอกประสงค์ ในการติดตั้งนั้นต้องติดตั้งให้แน่น โดยไม่ให้โครงสร้างโยกเยกไม่แข็งแรงอาจทำให้มีส่วนในการรักษาสมดุลของรถรักษาสมดุล



รูปที่ 4-12 แสดงการวางมอเตอร์ในระนาบเดียวกัน

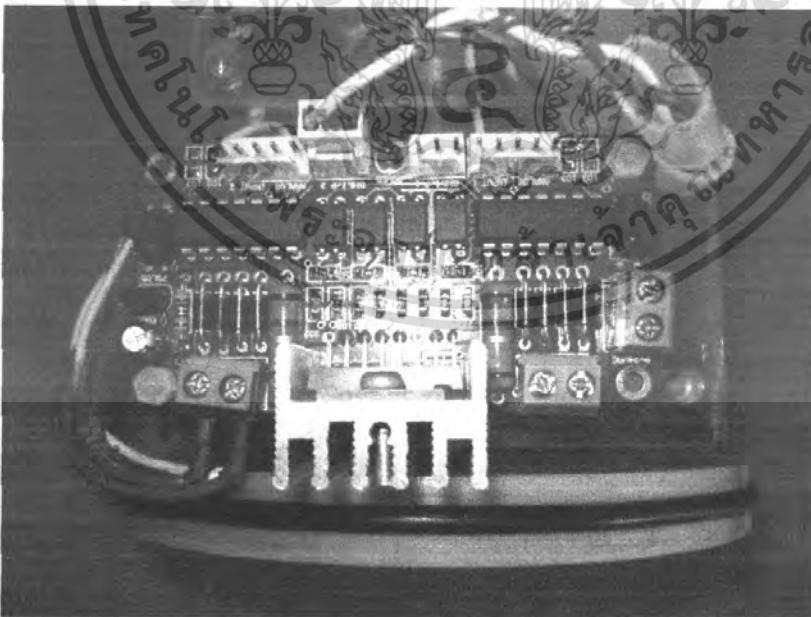
รูปที่ 4-13 แสดงการติดตั้งมอเตอร์กับโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



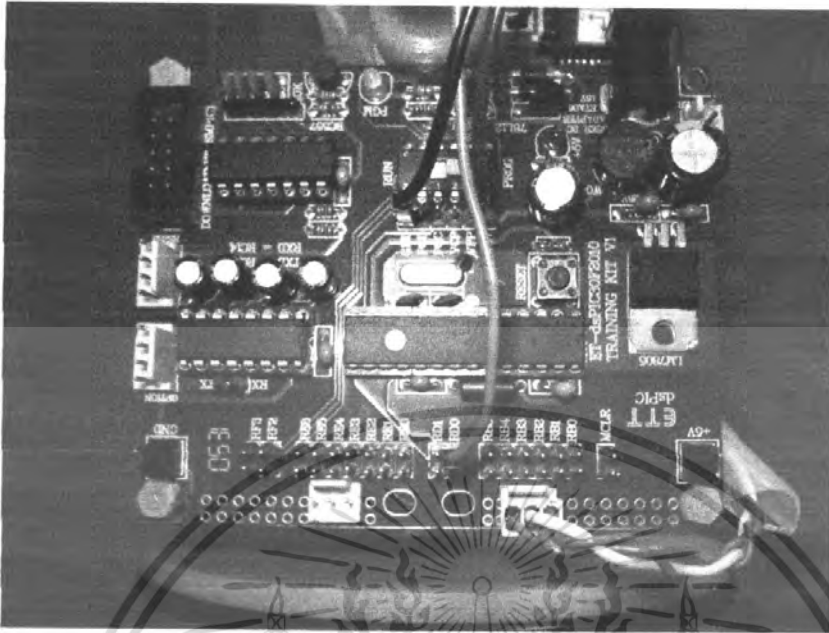
รูปที่ 4-14 แสดงการติดตั้งของก้านเพนคูลิ้ม

เมื่อได้ขนาดความยาวของร็อกจากสมมูลที่แน่นอน ต่อมาต้องคำนึงถึงความกว้างด้านข้าง โดยยึดหลักความกว้างของบอร์ดเป็นหลัก จึงได้เอาชุดควบคุมและชุดขับไว้ด้านบนสุดของร็อกจากสมมูล และได้วางบอร์ดชุดควบคุมและชุดขับไว้ด้านข้างทั้ง 2 ด้านของร็อกจากสมมูล

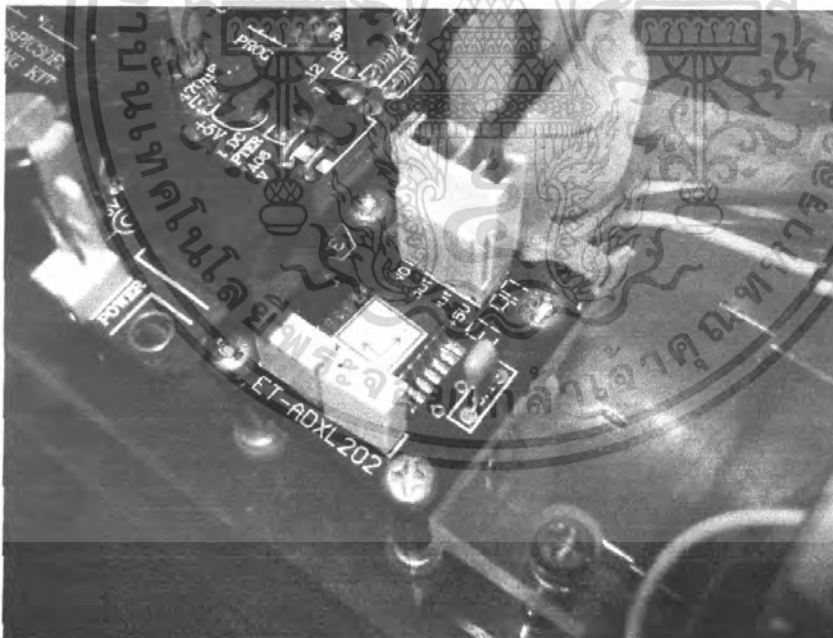


รูปที่ 4-15 แสดงการติดตั้งชุดขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



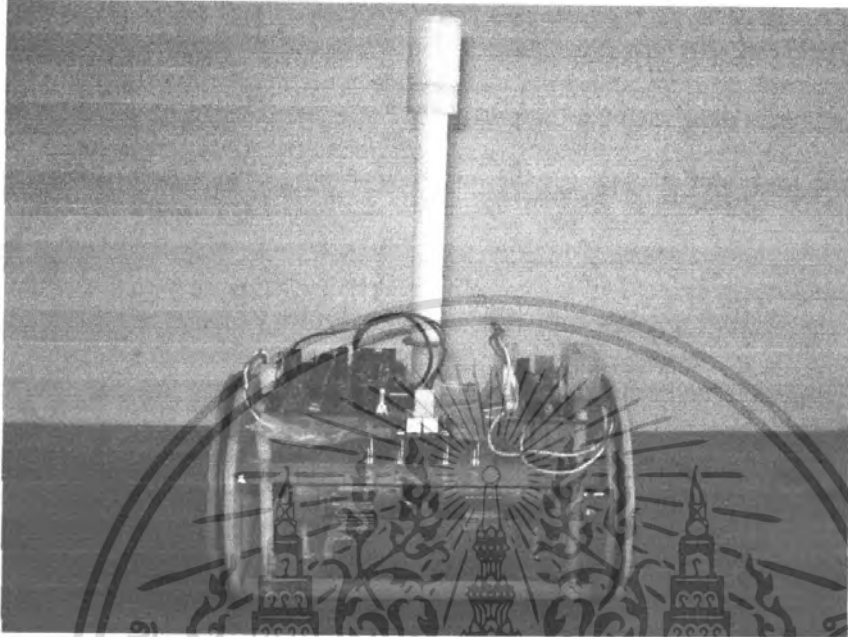
รูปที่ 4-16 แสดงการติดตั้งชุดควบคุม



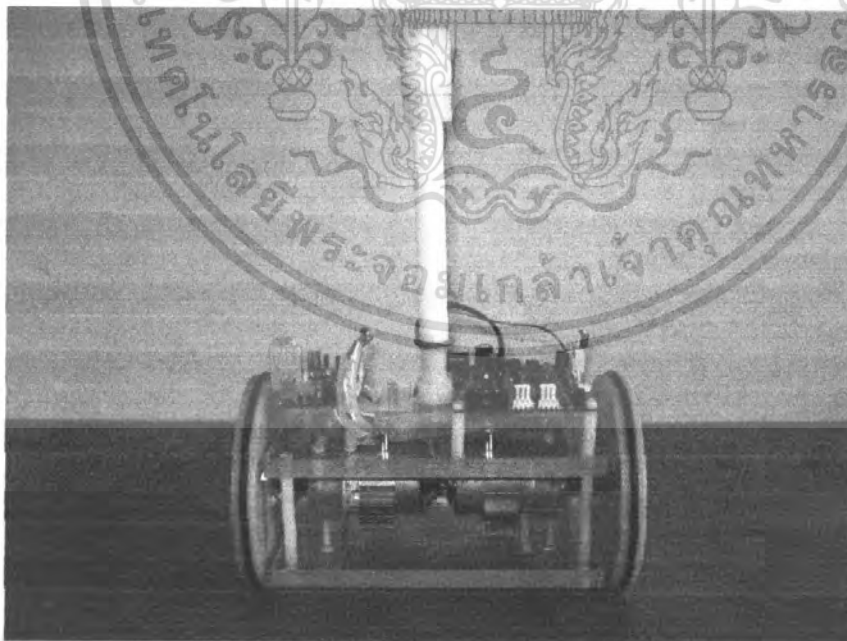
รูปที่ 4-17 แสดงการติดตั้งของเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งของเซนเซอร์นั้นต้องยึดหลักความไวของผลตอบสนองที่เซนเซอร์จะได้รับเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของเซนเซอร์

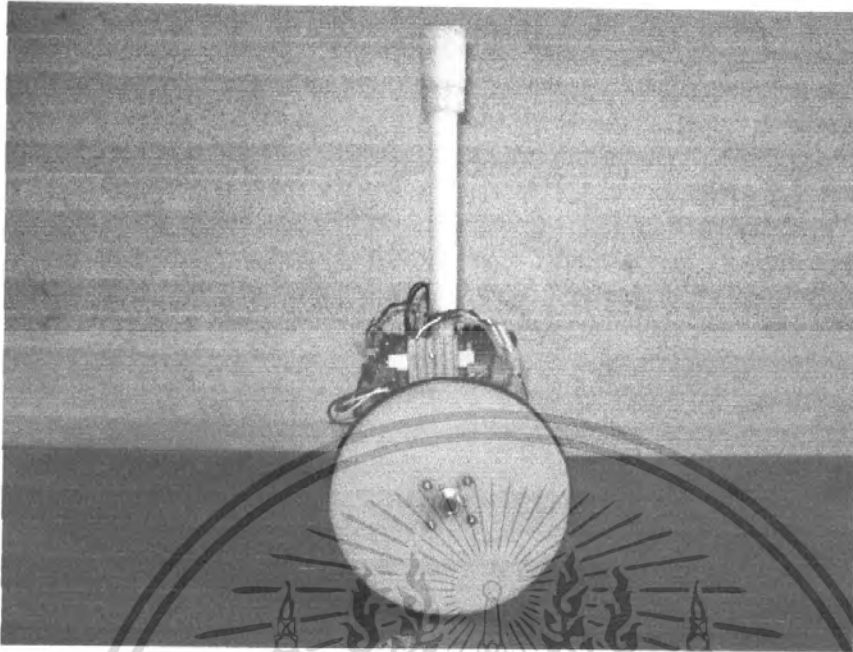


รูปที่ 4-18 แสดงด้านหน้าของรถรักษาสมดุล

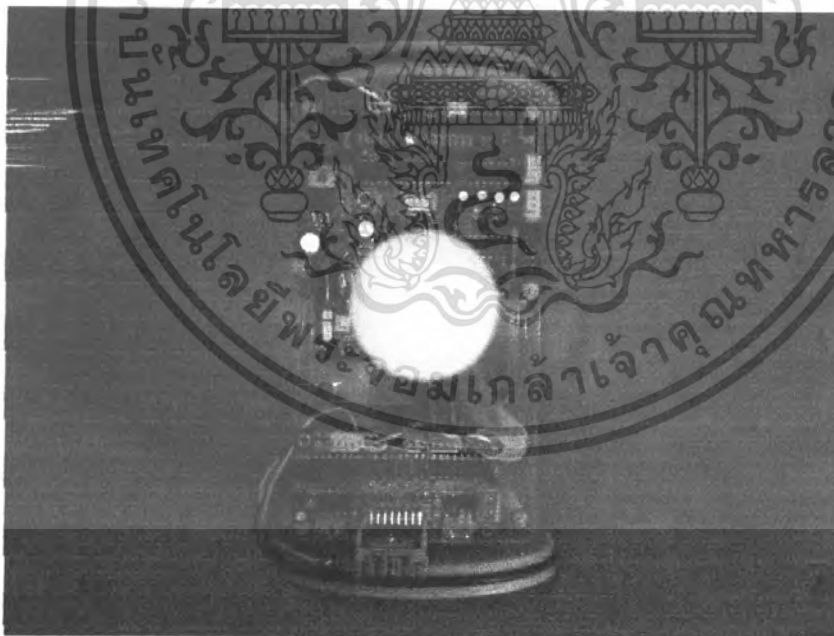


รูปที่ 4-19 แสดงด้านหลังของรถรักษาสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-20 แสดงด้านข้างของรถรักษาสมดุ



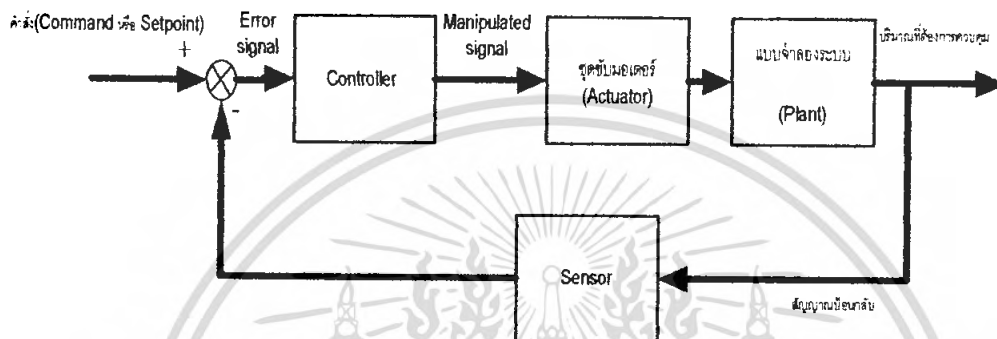
รูปที่ 4-21 แสดงด้านบนของรถรักษาสมดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

หลักการควบคุมหุ่นยนต์และทฤษฎีของระบบควบคุม

เมื่อก้าวถึงระบบควบคุม มีลักษณะหลายอย่างหลายระบบหลายทฤษฎี และมีนิยามที่ควรจะต้องศึกษาอยู่หลายคำหลายอย่าง การศึกษาระบบควบคุมเบื้องต้น ควรจะรู้จักนิยามเหล่านั้น โดยพิจารณาจากรูปที่ 5.1 ประกอบ



รูปที่ 5.1 แสดงระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

1. System หมายถึง ส่วนประกอบทั้งหมดที่มีอยู่ และมีการทำงานร่วมกันระหว่างส่วนประกอบนั้นๆ
2. Control system หมายถึง การทำงานร่วมกันของระบบต่างๆ เพื่อให้ได้ผลตอบสนอง (เอาต์พุต) ตามต้องการ
3. Feedback control system หมายถึง ระบบควบคุมที่นำค่าของเอาต์พุตป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับค่าของอินพุต และนำค่าที่ได้ไปผ่านกระบวนการตรวจสอบของระบบและกระบวนการควบคุมเพื่อนำไปควบคุมระบบต่อไป
4. System response หมายถึง ผลตอบสนองของระบบที่เกิดขึ้นเมื่อมีสัญญาณไปกระตุ้น หรือหมายถึงเอาต์พุตของระบบนั่นเอง ผลตอบสนองของระบบจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาดังนี้คือ
 - 4.1 Transient response หมายถึงผลตอบสนองของระบบในขณะที่เอาต์พุตของระบบยังคงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด
 - 4.2 Steady state response หมายถึงผลตอบสนองของระบบในขณะที่เอาต์พุตของระบบอยู่ตัวแล้ว กล่าวคือการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุต มีน้อยมากและเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

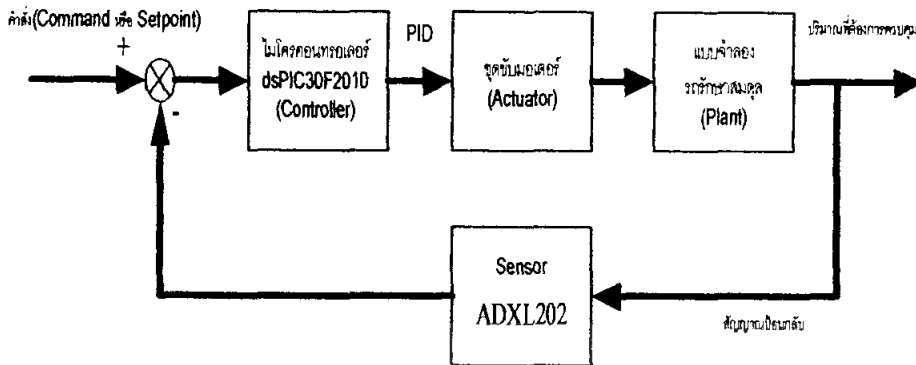
5. Plant/Process หมายถึง อุปกรณ์ กระบวนการ หรือระบบที่ถูกควบคุม
6. Controller หมายถึงระบบหรืออุปกรณ์ที่สร้างสัญญาณที่จะนำไปควบคุม Plant/Process เพื่อให้ระบบนั้นมีผลตอบสนองตามที่ต้องการ ได้
7. Actuator หรือ Driver เป็นส่วนของอุปกรณ์ที่จะเป็นตัวขับหรือเป็นสัญญาณอินพุตสำหรับ Plant โดยค่าเอาต์พุตที่ออกจาก Actuator จะขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุตของ Actuator ซึ่งก็คือเอาต์พุตของตัวเอง
8. Sensor เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพที่ต้องการวัดค่าให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าหรือสัญญาณพัลส์ เพื่อที่เราจะนำสัญญาณที่ได้ไปใช้ในการควบคุมต่อไป
9. Manipulated signal คือสัญญาณที่ตัวควบคุมสร้างขึ้นเพื่อนำไปควบคุมระบบให้มีผลตอบสนองตามที่ต้องการ
10. Error คือความแตกต่างระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของระบบ
11. Disturbance คือสัญญาณภายนอกที่เราไม่สามารถควบคุมได้หรือสัญญาณก่อกวน และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อเอาต์พุตของระบบ ได้ด้วย

ความหมายของการควบคุม (control) หรือตัวชดเชย (compensator) จะมีการทำงานอยู่ 2 ลักษณะ

1. regulator ตัวควบคุมจะต้องรักษาความผิดพลาดระหว่างผลตอบสนองกับสัญญาณอ้างอิงให้มีค่าที่ น้อยที่สุดหรือเป็นศูนย์ โดยสัญญาณอ้างอิงเป็นค่าคงที่ เช่น สัญญาณขั้นบันได (Step input) แต่ให้ Disturbance มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว
2. servo ตัวควบคุมจะมีสัญญาณอ้างอิงมีการเปลี่ยนแปลง เช่น สัญญาณแรมป์ (Ramp input) ในขณะที่ Disturbance มีการเปลี่ยนแปลง ไม่มากนัก จะเป็นการควบคุมที่ต้องการให้ค่าเอาต์พุตของระบบหรือของกระบวนการมีการติดตามสัญญาณเป้าหมายได้ตลอดเวลา

5.1 หลักการในการควบคุมหุ่นยนต์

แต่ในหลักการในการควบคุมหุ่นยนต์และการออกแบบระบบควบคุม ผู้จัดทำโครงการได้ออกแบบโดยเน้นในการควบคุมมอเตอร์เพราะเป็นหัวใจหลักของ โครงการนี้ เพื่อบังคับล้อให้เคลื่อนที่ไปยังทิศทางที่ต้องการรวมไปถึงการควบคุมความเร็วที่ต้องการ ให้เหมาะสมเพื่อให้การรักษาการทรงตัวของหุ่นยนต์ให้รักษาสมดุล ไว้ได้ ซึ่งการควบคุมทั้งหมด จะเกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดขับมอเตอร์และเซนเซอร์ซึ่งทำงานร่วมกัน โดยเซนเซอร์จะเป็นตัววัดค่าหรือทำการอ่านค่าที่วัดได้แล้วส่งค่าไปยังตัวควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการคิดและทำการประมวลผลเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ค่าที่ต้องการแล้วก็จะส่งสัญญาณไปยังชุดขับมอเตอร์เพื่อควบคุมให้ชุดขับมอเตอร์ทำงานหรือควบคุมความเร็วเพื่อให้หุ่นยนต์รักษาการทรงตัวให้ตั้งตรงอยู่ได้โดยผ่านตัวควบคุมแบบ PID การทำการของระบบควบคุมแสดงดังรูปที่ 5.2



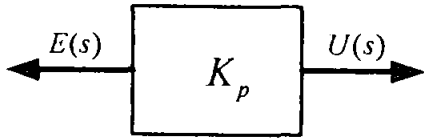
รูปที่ 5.2 แสดงระบบควบคุมของหุ่นยนต์

5.2 การควบคุมแบบเปิด-ปิด (ON-OFF controller)

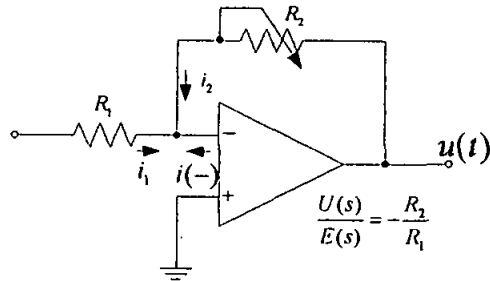
การควบคุมแบบเปิด-ปิด (ON-OFF controller) เป็นเทคนิคการควบคุมแบบง่าย ๆ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบควบคุมที่ไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก ข้อดีของการควบคุมแบบนี้คือสามารถใช้อุปกรณ์บังคับที่สามารถหาได้ เช่น วาล์วเปิด-ปิด (ON-OFF valve), สวิตช์ ความดัน (Pressure switch), รีเลย์ (relay) เป็นต้น แต่ข้อเสียของระบบควบคุมแบบนี้คืออุปกรณ์บังคับ อาจมีการเปิด-ปิดด้วยความถี่ที่สูงถ้าไม่ได้รับการปรับแต่งที่เหมาะสมสัญญาณเอาต์พุตที่ไม่สามารถจะบังคับให้เรียบได้เนื่องจากการเปิด-ปิด ที่แกว่งตลอดเวลา นอกจากนี้ ระบบควบคุมแบบนี้ยังไม่สามารถที่ใช้ ทฤษฎีของระบบเชิงเส้น (linear system) มาทำการวิเคราะห์ได้อีก

5.3 ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (P controller)

การออกแบบควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ P ต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางเดินราก (root locus) และออกแบบในระนาบ s (s -plane) ตัวควบคุมแบบ P เป็นตัวควบคุมแบบอัตราส่วนจะประกอบด้วยพารามิเตอร์เดียว คือ ค่าอัตราส่วนหรืออัตรการขยาย โดยมีสัญญาณอินพุต เป็นสัญญาณความแตกต่าง $E(s)$ (error signal) ระหว่างสัญญาณเป้าหมายอ้างอิง (set-point, reference signal) กับสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตส่วนสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบอัตราส่วนจะเรียกว่าสัญญาณขับ $U(s)$ (actuating signal)



(ก) บล็อกไคอะแกรมของตัวควบคุมแบบ P



(ข) วงจรอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 5.3 แสดงตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (P controller)

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน คือ

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (5.1)$$

เมื่อนำตัวควบคุมแบบอัตราส่วนนี้ไปเป็นตัวควบคุมในระบบวงปิด จะมีลักษณะดังรูปที่ 5.2 โดยมีทรานสเฟอร์ฟังก์ชันวงปิดคือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_p G(s)}{1 + K_p G H(s)} \quad (5.2)$$

จากทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน (5.2) ตำแหน่งของโพลของระบบวงปิด (closed-loop poles) จะขึ้นกับค่า K_p เพราะค่า K_p ที่เปลี่ยนไปนี้ จะทำให้รากของสมการคุณลักษณะ (characteristic equation) เปลี่ยนไปได้ การวิเคราะห์ว่ารากของสมการคุณลักษณะ หรือ ตำแหน่งโพลในระนาบ s ของระบบวงปิดจะเปลี่ยนไปในทิศทางใด เมื่อค่า K_p เปลี่ยนไป เรียกว่าการวิเคราะห์ทางเดินราก (root locus)

เส้นทางเดินรากของระบบ จะเป็นเส้นทางของโพลวงปิดที่เกิดขึ้นในระบบ นั่นคือผู้ออกแบบระบบควบคุมจะสามารถทราบพฤติกรรมของระบบได้ จากสิ่งที่เกิดขึ้นบนระนาบ s จากรูป 5.2 ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันวงปิดของระบบนี้จะเป็น

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_p G H(s)}{1 + K_p G H(s)} \quad (5.3)$$

เส้นทางเดินรากของระบบวงปิด สามารถหาได้จากสมการคุณลักษณะที่กำหนดเป็น

$$1 + K_p GH(s) = 0 \quad (5.4)$$

แสดงในรูปแบบโพลีโนเมียล จะได้สมการคุณลักษณะ เป็นดังสมการที่(5.5)

$$1 + K_p \frac{p(s)}{q(s)} \quad (5.5)$$

ในการออกแบบที่เป็นการเลือกค่า K ที่เหมาะสมนั้น จะต้องดูว่าเส้นทางเดินราก (root locus) ของโพลของระบบวงปิดจะวิ่งไปทางใด โดยทั่วไปมักจะปรับค่า K จนกระทั่งโพลของระบบวงปิด มาอยู่ในตำแหน่งที่มีค่าแอมป์เปอเรโซตามที่ต้องการ ในบางครั้งการบอกข้อกำหนดของการออกแบบอาจจะบอกในรูปค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูต

เมื่อโพลของระบบวงปิด ขยับ ไปบนเส้นทางเดินราก โดยการปรับค่า K จนกระทั่งโพลของระบบวงปิดอยู่บนเส้นแอมป์เปอเรโซตามที่ต้องการ ผลการตอบสนองของระบบวงปิดนั้นก็จะมีค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูต ตามที่ออกแบบไว้

5.4 ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน(PD controller)

การออกแบบตัวควบคุมแบบ P ซึ่งสามารถที่จะปรับปรุงผลตอบสนองทรานเซียนท์ได้บางส่วน (ช่วงผลตอบสนองทรานเซียนท์ คือช่วงที่ผลตอบสนองเริ่มตอบสนองต่อสัญญาณอินพุท ก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัว) แต่สำหรับการออกแบบตัวควบคุมแบบ PD เพื่อให้ได้ผลการตอบสนองในช่วงทรานเซียนท์ของระบบวงปิดมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น จากการศึกษาผลตอบสนองในเชิงเวลาของระบบพลวัต (dynamic system) ทำให้ทราบว่า ผลการตอบสนองในเชิงเวลาของระบบ (วงปิด) จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งของโพล (วงปิด)

ตำแหน่งโพลของระบบวงปิดสามารถกำหนดได้จากการวิเคราะห์ทางเดินราก (root locus) การออกแบบด้วยทางเดินรากของระบบเป็นการปรับค่าอัตราขยาย เพื่อปรับตำแหน่งโพลของระบบวงปิด ให้ไปอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการในระนาบ s

ถ้าการปรับค่าอัตราขยายของระบบเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้ทางเดินรากผ่านตำแหน่งที่ต้องการก็อาจจะจำเป็นต้องเพิ่มโพลหรือซีโรว์ในวงเปิด (open-loop) เพื่อตัดแปลงรูปของเส้นทางเดินรากให้ผ่านจุดที่ต้องการ วิธีนี้จะเป็นการออกแบบของตัวควบคุม PD

การออกแบบตัวควบคุม PD จะเป็นการช่วยในด้านความเร็วของผลตอบสนองทรานเซียนท์ แต่อาจจะยังคงมีค่าความผิดพลาดที่สถานะคงตัวในผลตอบสนองอยู่ จึงจำเป็นต้องใช้การอินทิเกรต (integral action) ในตัวควบคุมด้วยซึ่งจะกล่าวในการควบคุมแบบ PID

ลักษณะของการควบคุมแบบ PD เป็นการเพิ่มซีโรให้กับทรานสเฟอ์ฟังก์ชันวงเปิด (open-loop transfer function) ของระบบเพื่อคัดแปลงให้ทางเดินรากเปลี่ยนไป โดยทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของตัวควบคุมแบบ PD คือ

$$G_c(s) = K(s + Z_c) \quad (5.6)$$

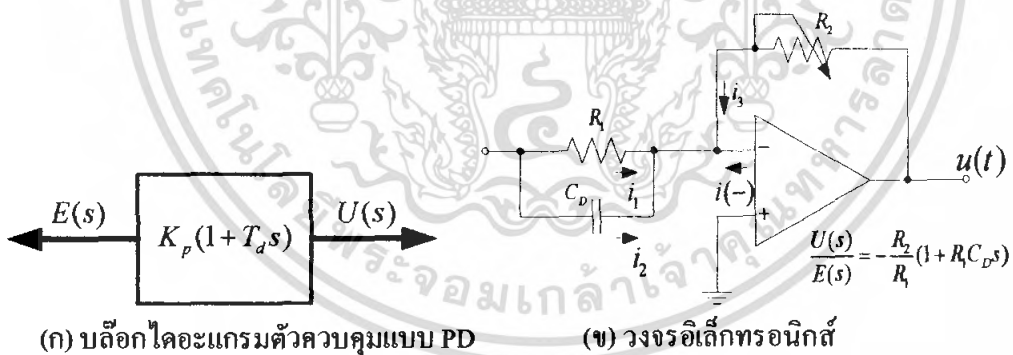
จากสมการที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบ PD เป็นการเพิ่มซีโรให้กับตำแหน่ง Z_c ในระนาบ s ให้กับวงเปิดซึ่งการเพิ่มซีโรนี้จะส่งผลให้เส้นทางเดินรากมีการผิดเพี้ยนไปจากเดิม โดยหวังว่าการผิดเพี้ยนไปจากเดิมของทางเดินรากนี้ โดยหวังว่าการผิดเพี้ยนไปจากเดิมของทางเดินรากนี้ จะทำให้ทางเดินรากผ่านจุดใน s ที่ต้องการได้ ด้วยการปรับค่า K

รูปที่ 5.4 แสดงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตัวควบคุมแบบ PD โดยจะมีความสัมพันธ์กับทรานสเฟอ์ฟังก์ชันใน (5.6) คือ

$$K = -\frac{R_2}{R_1} \quad (5.7)$$

และ

$$z_c = R_1 C_D \quad (5.8)$$



รูปที่ 5.4 แสดงตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (PD controller)

และในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์และการออกแบบตัวควบคุมแบบ PD ด้วยวิธีการทางเดินราก โดยคุณลักษณะของ PD การที่มีการจัดวางตำแหน่งซีโรบนแกนจำนวนจริง กระบวนการกับตัวควบคุมแบบ PD จะมีสมการคุณลักษณะเป็น

$$1 + K(s + z_c)GH(s) = 0 \quad (5.9)$$

นั่นคือจากข้อกำหนดของมุมในเส้นทางเดินรากที่เป็น

$$\angle(s + z_c) + \angle GH(s) = \pm 180^\circ \quad (5.10)$$

หรือ

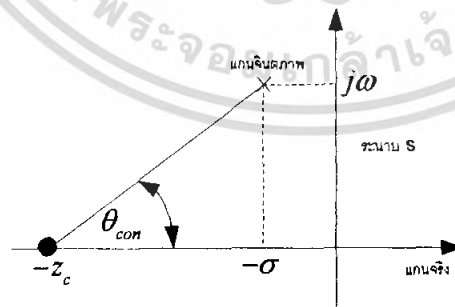
$$\theta_{con} + \theta_{pro} = \pm 180^\circ \quad (5.11)$$

เมื่อกำหนดให้มุม θ_{con} และ θ_{pro} เป็นมุมของตัวควบคุมและกระบวนการที่เกิดขึ้น โดยที่ θ_{pro} เป็นของมุมของกระบวนการสำหรับเส้นทางเดินรากของระบบก่อนการใช้ PD จากรูปที่ 6.2 ถ้ากำหนดตำแหน่งโพลวงปิดที่ต้องการในระบบให้มีตำแหน่งอยู่ที่

$$s = -\sigma + j\omega \quad (5.12)$$

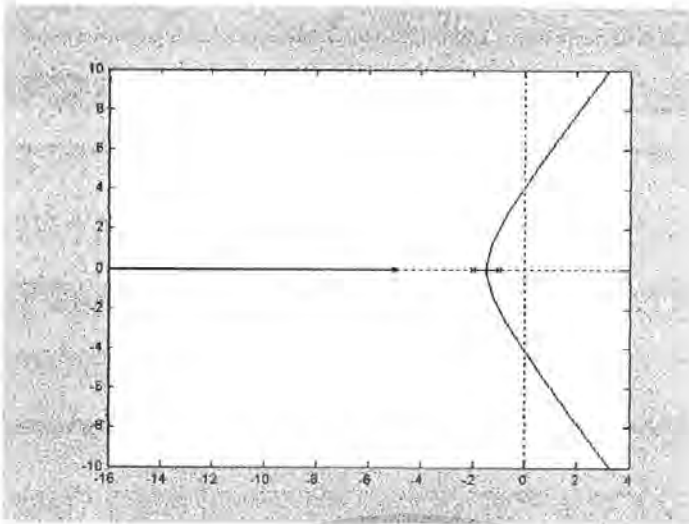
มุมของตัวควบคุมแบบ PD จะมีค่าเป็น

$$\theta_{con} = \tan^{-1} \frac{(\omega)}{-\sigma + z_c} \quad (5.13)$$



รูปที่ 5.5 แสดงมุมของตัวควบคุมแบบ PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงตัวอย่างเส้นทางเดินราก

5.5 ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (PI controller)

การออกแบบตัวควบคุมแบบ P และ PD เราสามารถที่จะปรับปรุงผลตอบสนองทรานเซียนต์ได้บางส่วน ในกระบวนการควบคุม สิ่งที่เราคาดหวังคือการปรับปรุงหรือการที่ผลตอบสนองทั้งช่วงทรานเซียนต์และสภาวะคงตัวให้เป็นไปตามที่ต้องการ คือ สำหรับงานควบคุมทั่วไป สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว เพราะเมื่อความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวมีค่าน้อย หรือเท่ากับศูนย์แล้ว จะหมายถึงผลตอบสนองของกระบวนการ จะขึ้นอยู่กับสัญญาณเป้าหมายของระบบเท่านั้น

การออกแบบตัวควบคุมแบบ PI เพื่อให้ผลการตอบสนองในช่วงสภาวะคงตัวของระบบวงปิดมีความผิดพลาดเป็นศูนย์ ซึ่งเกี่ยวกับผลตอบสนองในเชิงเวลาของระบบพลวัต (dynamic system) จะทำให้ทราบว่าผลการตอบสนองหรือความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวของระบบในเชิงเวลาของระบบ (วงปิด) จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ type ของระบบ (วงปิด) นั่นคือการใช้ตัวควบคุมแบบ PI สำหรับควบคุมกระบวนการ จึงเป็นการเปลี่ยนแปลง type ของระบบ

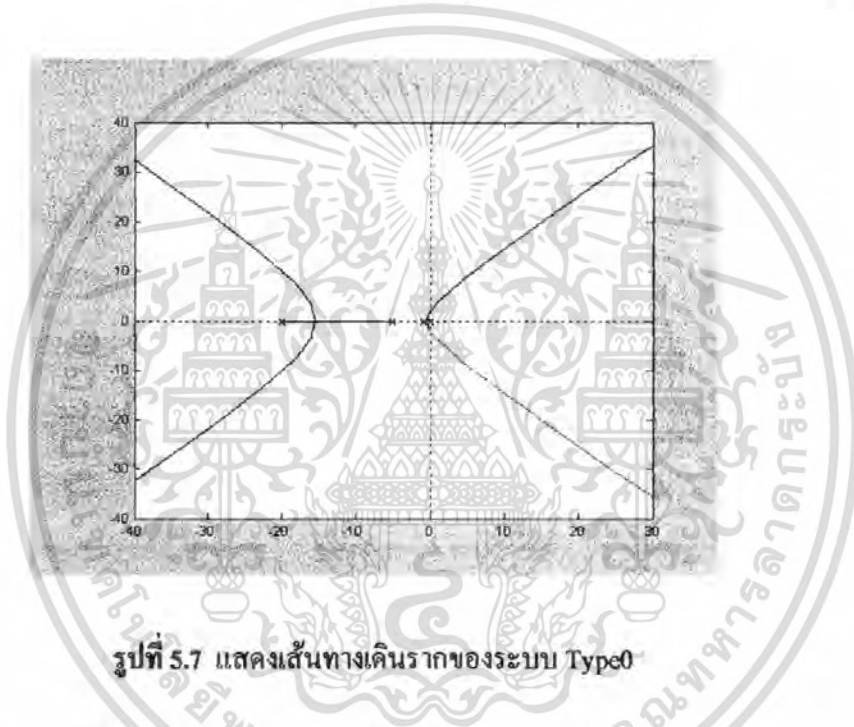
การเปลี่ยนแปลง type หรือการเพิ่มตำแหน่งโพลที่จุดกำเนิด จะมีผลต่อผลตอบสนองในช่วงทรานเซียนต์ ดังนั้นตัวควบคุมแบบ PI นี้ นอกจากจะพิจารณาที่การเพิ่ม type แล้ว ยังจะทำการพิจารณาถึงตำแหน่งซีโรที่เหมาะสมอยู่กับตัวควบคุมแบบ PI ด้วย

ลักษณะของตัวการควบคุมแบบ PI เป็นการเพิ่ม โพลที่จุดกำเนิดและซีโรไว้ให้กับทรานสเฟอร์ฟังก์ชันวงเปิด (open-loop transfer function) หรือการเพิ่ม type ของระบบเพื่อให้ผิดพลาดที่สภาวะคงตัวมีค่าเท่ากับศูนย์

$$G_c(s) = K \left[1 + \frac{1}{T_i s} \right] \quad (5.14)$$

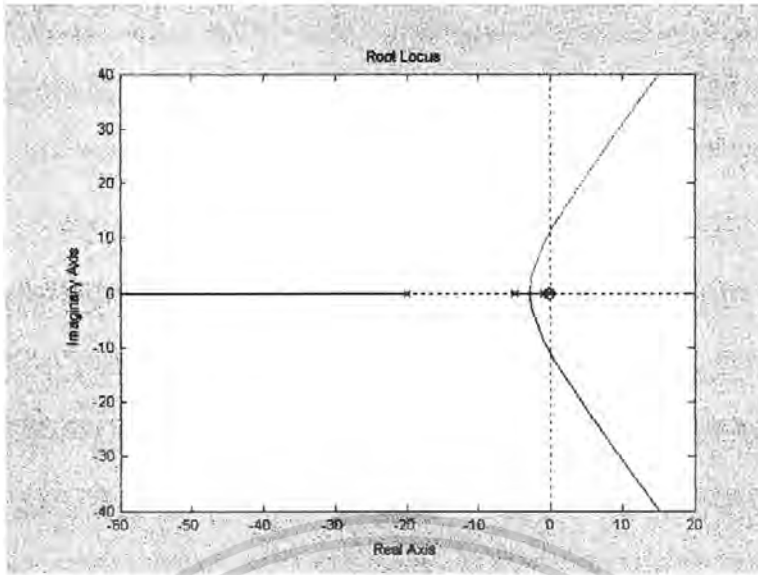
การที่มีระบบทรานสเฟอ์ฟังก์ชันวงเปิด (open-loop transfer function) เป็นแบบ type 0 ถ้าต้องการให้ความผิดพลาดที่สถานะคงตัว (steady-state error) เป็นศูนย์จะต้องจัดให้ในทรานสเฟอ์ฟังก์ชันวงเปิด มีอินทิเกรเตอร์เปล่า (free integrator) อย่างน้อยหนึ่งตัว การเพิ่มอินทิเกรเตอร์เปล่าลงไปในวงรอบสามารถทำได้โดย ให้ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของตัวควบคุมเป็นแบบ K/s

$$G_c(s) = \frac{K}{s} \quad (5.15)$$



รูปที่ 5.7 แสดงเส้นทางเดินรากของระบบ Type0

แต่การทำเช่นนี้เป็นการเพิ่มโพลที่จุดศูนย์กลาง (origin) ของระนาบ s จะทำให้รูปทางเดินรากของระบบผิดไป การที่เส้นทางเดินรากเปลี่ยนแปลงจะเป็นการส่งผลถึงผลตอบสนองทรานเซียนท์ เพราะเส้นทางเดินรากจะเดินออกจากโพลวิ่งเข้าหาซีโร ถ้ามีโพลเพิ่มขึ้นมาที่จุดกำเนิด เพื่อเป็นการเพิ่ม type ของระบบเส้นทางเดินรากก็จะต้องรวมผลของโพลตัวนี้ด้วย การเพิ่มโพลที่จุดศูนย์กลางโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลตอบสนองทรานเซียนท์จึงจำเป็นต้องใส่ซีโรข้างโพลที่จะกำเนิดนี้ เพื่อไม่ให้เส้นทางเดินรากเดิม (และผลตอบสนองทรานเซียนท์) ผิดเพี้ยนไปมากนัก เมื่อทดลองใส่ค่าซีโรที่ตำแหน่ง $s = -0.1$



รูปที่ 5.8 แสดงเส้นทางเคลื่อนที่รากหลังจากมีโพลที่จุดกำเนิดและซีโรที่ $s = -0.1$

ดังนั้นการออกแบบตัวควบคุมแบบ PI จึงไม่ใช่เพียงแค่ใส่ตัวอินทิเกรเตอร์เพิ่มเข้าไปเพียงอย่างเดียว จากการวิเคราะห์พบว่าโพลจะต้องใส่ซีโรเข้าไปด้วย แล้วจึงค่อยเปลี่ยนค่าเกน K สมการทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของตัวควบคุมแบบ PI จาก(5.14) จะสามารถเขียนเป็น

$$G_c(s) = K \left[\frac{s + z_c}{s} \right] \quad (5.16)$$

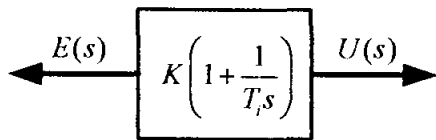
จากทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน (5.16) จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบ PI มีการเพิ่มตำแหน่งโพลที่ $s = 0$ และซีโรที่ตำแหน่ง z_c ในระนาบ s ให้กับวงเปิด โดยที่ซีโรที่ปรากฏในตัวควบคุมแบบ PI จะใส่ไว้เพื่อชดเชยผลตอบสนองที่ช้าลงเนื่องจาก ผลการเพิ่มโพลที่จุดกำเนิด รูปที่ 5.6 แสดงวงจรรทางอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตัวควบคุมแบบ PI โดยจะมีความสัมพันธ์กับทรานสเฟอร์ฟังก์ชันใน (5.16) คือ

$$K = -\frac{R_2}{R_1} \quad (5.17)$$

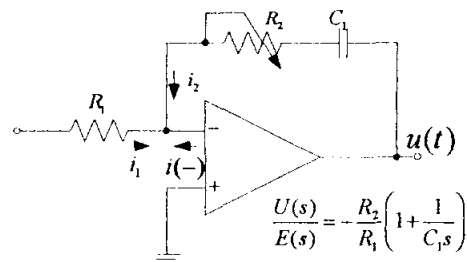
และ

$$z_c = \frac{1}{C_1} \quad (5.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



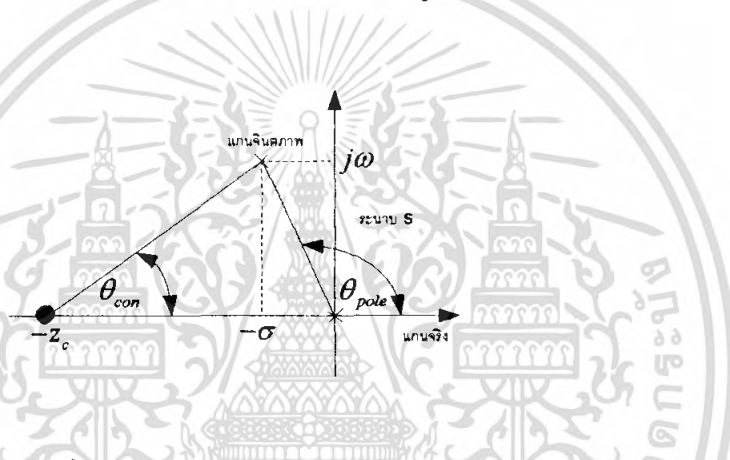
(ก) บล็อกไคอะแกรมตัวควบคุมแบบ PI



(ข) วงจรอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 5.9 แสดงตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (PI controller)

จากการหามุมของตัวควบคุมแบบ PD มุมของตัวควบคุมแบบ PI หรือ θ_{con} เมื่อกำหนดตำแหน่งโพลวงปิดที่ต้องการเป็นดังสมการ (5.12) จะแสดงได้ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.10 แสดงมุมของตัวควบคุมแบบ PI

สามารถคำนวณหาได้จาก

$$\theta_{con} = \theta_{zero} - \theta_{pole} \quad (5.19)$$

$$= \tan^{-1} \frac{(\omega)}{(-\sigma + z_c)} - \left[180 - \tan^{-1} \frac{(\omega)}{(\sigma)} \right] \quad (5.20)$$

ข้อสังเกตคือ ตำแหน่งของซีโรในตัวควบคุมแบบ PI จะวางตัวอยู่ทางซ้ายของระนาบ s นั้นมุมของตัวควบคุมแบบ PI คือจะมีความสัมพันธ์ ที่เป็น

$$|\theta_{pole}| > |\theta_{zero}| \quad (5.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือมุมของตัวควบคุมแบบ PI จะมีเงื่อนไขที่เป็น

$$\theta_{con} < 0 \quad (5.22)$$

5.6 ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน(PID controller)

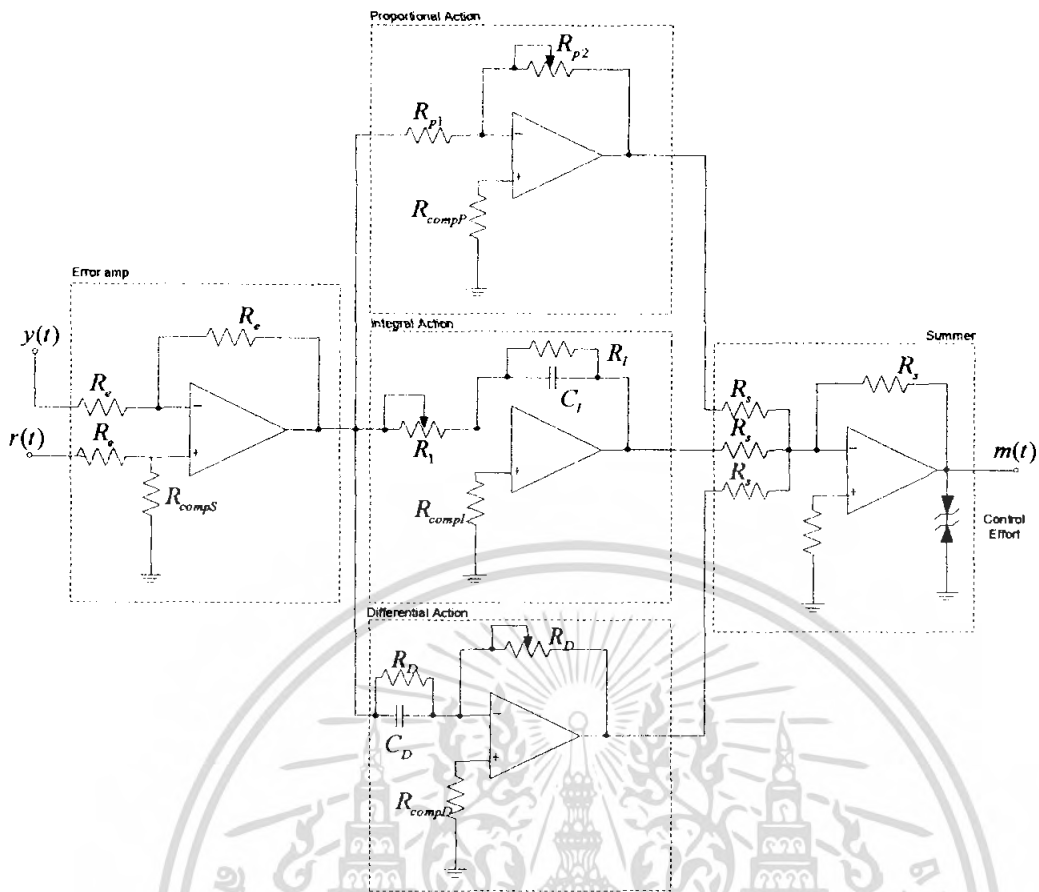
หลังจากศึกษาการใช้ตัวควบคุมแบบต่าง ๆ อาจจะทำให้การสรุปให้เห็นชัดเจนได้ว่า พฤติกรรมของตัวขยาย: หรือ P-Action เป็นพฤติกรรมในส่วนของตัวควบคุมที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อการปรับผลตอบสนองรวมของระบบ

พฤติกรรมของตัวดิฟเฟอเรนเชียลเอคเตอร์ : หรือ D-Action เป็นพฤติกรรมในส่วนของตัวควบคุมที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อการปรับปรุงผลตอบสนองช่วงทรานเซียนท์

พฤติกรรมของตัวอินทิเกรเตอร์ : I-Action เป็นพฤติกรรมในส่วนของตัวควบคุมที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อการปรับปรุงผลตอบสนองช่วงเวลาคงตัว

จากตัวควบคุมที่ผ่านมา ตัวควบคุมแบบ PD ได้กล่าวถึงเป็นตัวควบคุมที่ต้องการให้ผลตอบสนองของระบบมีค่าผลตอบสนองทางชั่วขณะ เป็นไปตามที่ต้องการ ตัวควบคุมแบบ PI จะเป็นตัวควบคุมแบบหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นตัวควบคุมที่จะช่วยลดความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว ดังนั้นตัวควบคุมแบบ PID จึงเป็นตัวควบคุมที่เอาทั้งข้อดีของการใช้ตัวควบคุมแบบ PD และ PI เข้ามารวมกัน

วงจรทางอะนาล็อกที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมแบบ PID จะสามารถแสดงในรูปวงจรแบบออปแอมป์ ดังรูปที่ 5.11 คือ



รูปที่ 5.11 ตัวควบคุม PID แบบอะนาล็อก

โดยจากวงจร ในรูปที่ 5.8 จะสามารถแสดงสมการอนุพันธ์เป็น

$$m(t) = \left(\frac{R_{p2}}{R_{p1}} \right) e(t) + \frac{1}{R_i C_i} \int e(t) dt + R_D C_D \frac{de(t)}{dt} \quad (5.23)$$

ตัวควบคุมแบบ PID จะมีสมการอนุพันธ์เป็น

$$m(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (5.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือแสดงเป็นทรานสเฟอร์ฟังก์ชันในรูป

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (5.25)$$

ตัวควบคุมแบบ PID คือตัวควบคุมที่รวมผลการควบคุม (control action) ของทั้งส่วน Proportional, Integral, และ Derivative เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบวงป้อนมีความผิดพลาดที่สถานะคงตัวเป็นศูนย์ (จากผลของ PI) และมีความรวดเร็วในการตอบสนอง (จากผลของ PD) จาก (5.25) ตัวควบคุมแบบ PID มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชันอีกแบบหนึ่งเป็น

$$G_c(s) = K_p + K_D s + \frac{K_I}{s} \quad (5.26)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง



รูปที่ 6-1 แสดงรถรักษาสมดุล

รูปที่ 6-2 แสดงรถรักษาสมดุลที่ไม่มีการต่อไฟเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6-2 จะเห็นว่ารถรักษาสมดุคที่ไม่ได้ต่อไฟเลี้ยงจะไม่สามารถตั้งอยู่ได้เนื่องจากไม่มีการรักษาสมดุคจากการควบคุมของตัวคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์จึงไม่สามารถที่จะรักษาสมดุคอยู่ได้



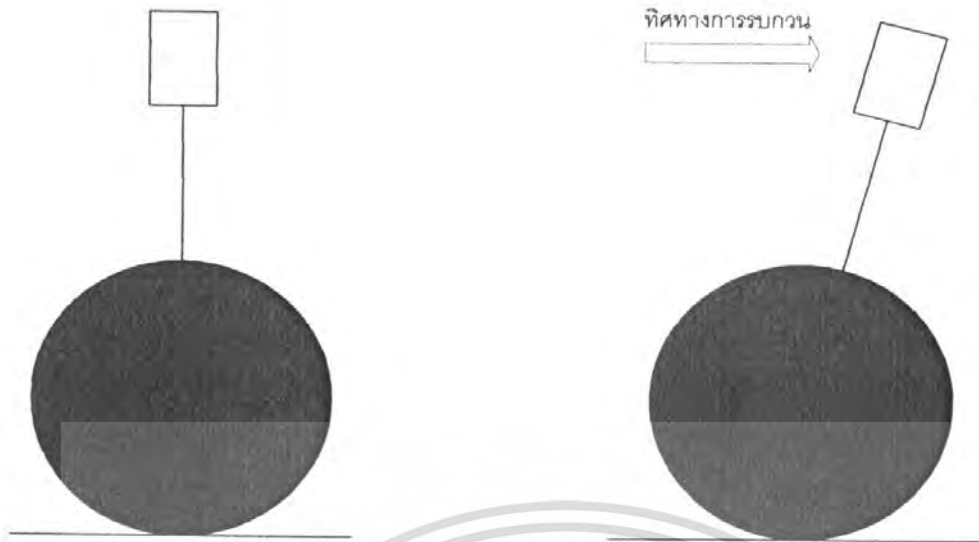
รูปที่ 6-3 แสดงรถรักษาสมดุคในขณะที่จ่ายไฟเลี้ยง

จากรูปที่ 6-3 จะเห็นได้ว่ารถสามารถที่จะตั้งตัวและรักษาสมดุคตลอดเวลาได้โดยการควบคุมของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์

6.1 การทดลองใส่แรงผลัก

การใส่แรงผลักกรรถรักษาสมดุคเพื่อที่จะดูการเปลี่ยนแปลงในการรักษาสมดุคหรือดูว่ารถรักษาสมดุคได้คิขนาดไหนเมื่อมีการรบกวนจากภายนอกรวมไปถึงการได้ทดลองเซนเซอร์ด้วยว่ามี ความไวในการตอบสนองได้มากเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-4 แสดงสถานะสมดุลของรถรักษาสมดุล

รูปที่ 6-5 แสดงสถานะเมื่อถูกรบกวน



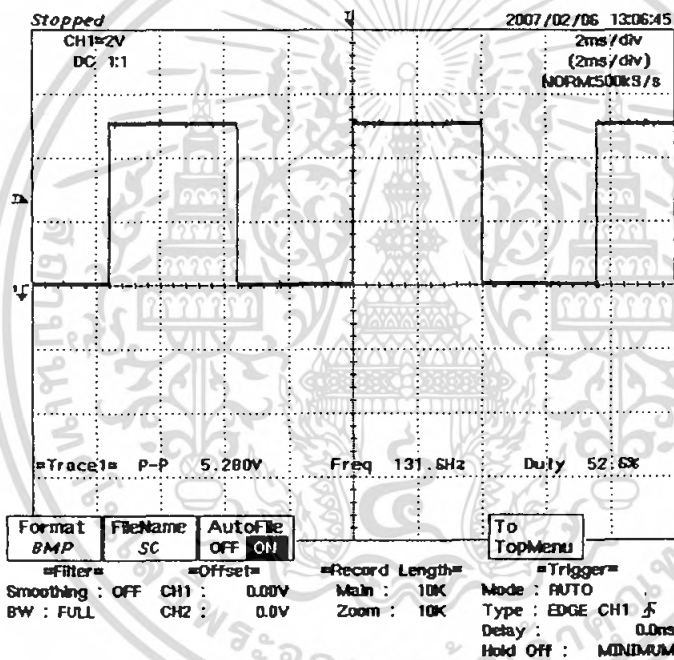
รูปที่ 6-6 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่เข้าสู่สถานะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

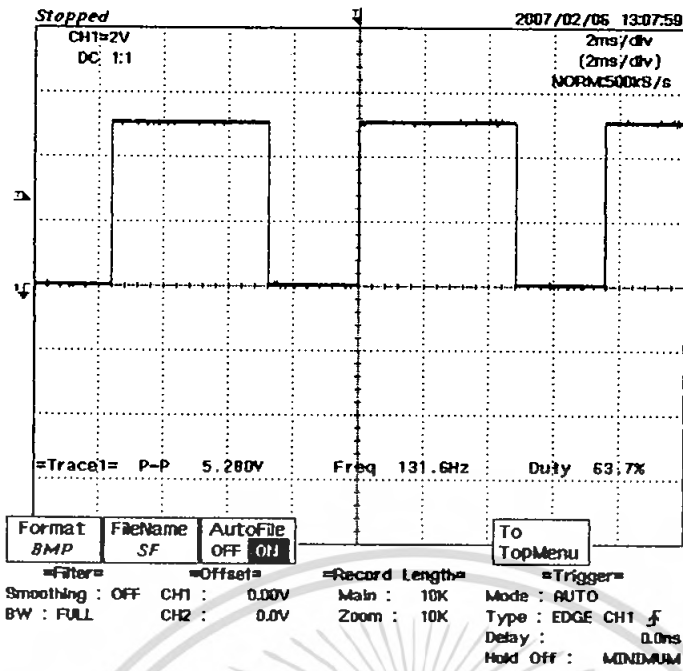
6.2 ลักษณะการตอบสนองของเซนเซอร์

เนื่องด้วยสัญญาณของเอาต์พุตของ ADXL202 จะออกมาเป็นแบบดิจิตอลพัลส์วิดมอดคูเลชั่น (PWM : Pulse Width Modulation) ก็คือ จะมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณความกว้างของพัลส์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าโน้มเอียง หรือค่าความเร่งตามทิศทางของแกน x หรือแกน y สัญญาณเอาต์พุตนี้ จะถูกส่งผ่านไปที่ขาสัญญาณ Xout หรือ Yout โดยผู้ทำโครงการสามารถนำไปเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่วัดหรือนับค่าสัญญาณได้โดยตรง

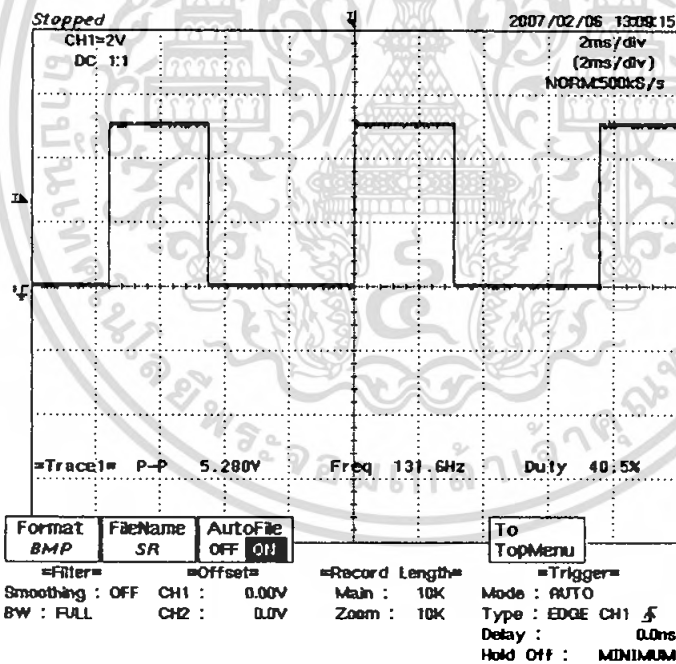
เซนเซอร์จะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็น PWM จำนวน 2 ช่อง คือสัญญาณเอาต์พุต PWM ของแกน X (xout) และสัญญาณเอาต์พุต PWM ของแกน Y (yout) ซึ่งค่า Duty Cycle ของแต่ละช่องจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการ โน้มเอียงของตัวไอซีหรือเกิดจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของไอซีไปตามแนวแกนต่างๆ จากรูปต่างๆต่อไปนี้แสดงให้เห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเซนเซอร์ในลักษณะต่างๆ ซึ่งออกมาเป็นแบบดิจิตอลพัลส์วิดมอดคูเลชั่น (PWM : Pulse Width Modulation)



รูปที่ 6-7 แสดงลักษณะของเซนเซอร์ขณะที่รถรักษาสมดุล



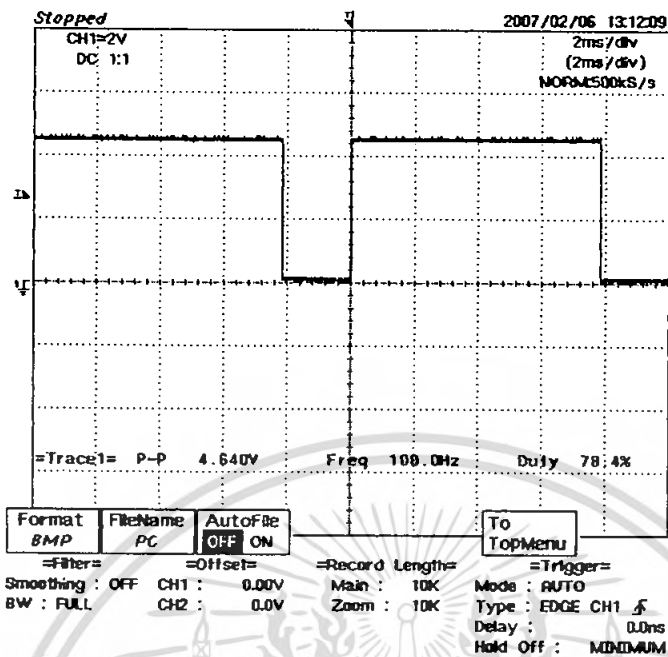
รูปที่ 6-8 แสดงลักษณะของเซนเซอร์ขณะที่รถรักษาสมมูลเคลื่อนที่ไปข้างหน้า



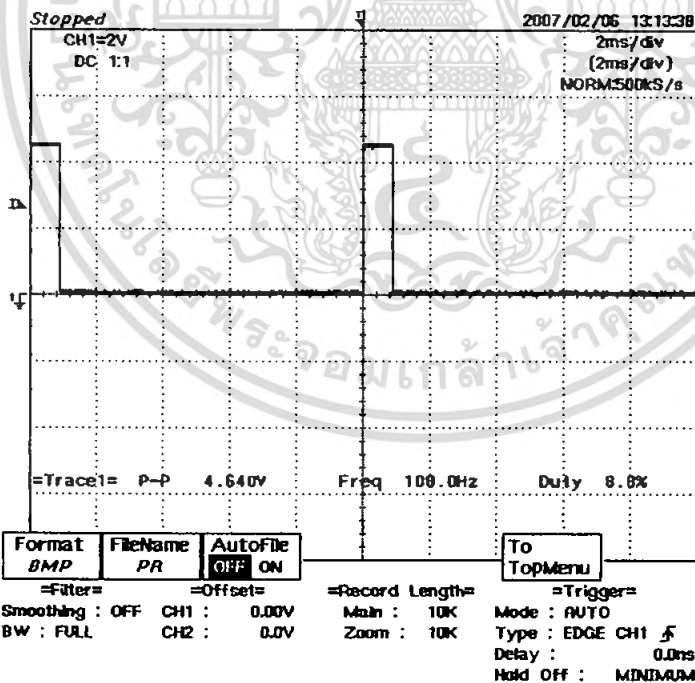
รูปที่ 6-9 แสดงลักษณะของเซนเซอร์ขณะที่รถรักษาสมมูลเคลื่อนที่ไปข้างหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้กับมอเตอร์

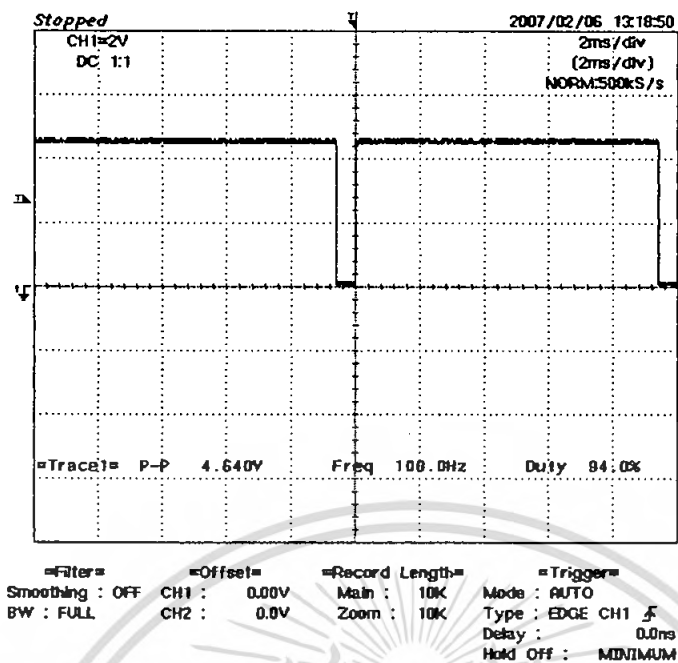


รูปที่ 6-10 แสดงลักษณะพัลส์ขณะที่รถรักษาสมดุล



รูปที่ 6-11 แสดงลักษณะพัลส์ขณะที่รถรักษาสมดุลเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-12 แสดงลักษณะพัลส์ขณะที่รักษาสมดุลเคลื่อนที่ไปข้างหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ปัญหา

7.1 สรุปผลการทดลองและการดำเนินงาน

ปัญญานិพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการรักษาสมดุลให้สามารถรักษาสมดุลได้แม้มีการรบกวนจากแรงภายนอกโดยใช้หลักการทำงานแบบป้อนกลับโดยใช้เซนเซอร์ (ADXL202) เป็นตัววัดค่าความโน้มเอียงตามความเร่ง และส่งสัญญาณไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลและส่งค่าไปควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานต่อไป ในส่วนการออกแบบโครงสร้างของรถรักษาสมดุลนั้นในโครงการนี้ได้มาจากการศึกษารายงานและบทความของโครงการต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องกับรถรักษาสมดุล เช่น ระบบอินเวอร์ทเพนดูลัม และระบบของ Segway Human Transporter (Segway HT) จึงได้ข้อสรุปและข้อคิดมากมายเกี่ยวกับรถรักษาสมดุล เช่น ในการออกแบบรถรักษาสมดุลต้องมีความสูงที่เหมาะสมกับโครงสร้าง มอเตอร์ที่ใช้ควรมีแรงบิดที่ดีเพื่อในการตอบสนองที่รวดเร็ว จึงสามารถที่จะช่วยในการรักษาสมดุลของรถได้ และโครงสร้างต้องมีน้ำหนักที่เบาที่สุดเท่าที่จะทำได้

จากการนำเนนการในเบื้องต้นผู้จัดทำได้สร้างแบบจำลองหรือโครงสร้างของรถรักษาสมดุลก่อน ก่อนที่จะสร้างแบบจำลองรถรักษาสมดุลจริง เพื่อทดลองและทดสอบ โครงสร้างและระบบ และทฤษฎีที่ผู้จัดทำโครงการนำมาประยุกต์ใช้ว่ามีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด ผลปรากฏว่ามีความค่อนข้างที่จะทำให้แบบจำลองรถสมดุล เกิดความสมดุลขึ้น แต่ก็มีความผิดพลาดหลายประการ คือ มอเตอร์ที่ใช้ค่อนข้างมีแรงบิดน้อยไม่ไหวต่อการตอบสนองของเซนเซอร์ และแกนเพนดูลัมก็ต้องมีความยาวพอดีและน้ำหนักเพนดูลัมก็ต้องสมส่วนกับก้านเพนดูลัมและโครงสร้างของระบบ เพื่อไม่ให้เกิดการโน้มเอียงของก้านเพนดูลัมมากเกินไปซึ่งก็จะส่งผลให้มีการควบคุมยกยั้งขึ้นหรือเกิดการ ไม่สมดุล และต้องมี Encoder ในการวัดจำนวนรอบ เพื่อให้ล้อหมุนได้เท่ากันพร้อมเพียงกัน และที่สำคัญคือ Software และ Hardware ต้องออกแบบให้ทำงานรวมกันเป็นอย่างดีเพื่อให้แบบจำลองรถรักษาสมดุลเกิดความสมดุล จากการหาความสมดุลของระบบผู้จัดทำโครงสร้างต้องปรับเปลี่ยน โครงสร้างบ่อยครั้ง เพื่อให้เกิดความสมดุล เนื่องจากผู้ทำโครงการไม่ได้ทำการวิเคราะห์หรือออกแบบ โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ก่อน จึงทำให้เกิดความยากลำบากในการออกแบบ เหตุนี้เองผู้จัดทำเลยสร้างแบบจำลองก่อนสร้างแบบจำลองรถรักษาสมดุลจริง

แต่เนื่องจากระบบในการรักษาเสถียรภาพของรถรักษาสมดุลต้องใช้ระบบควบคุมแบบ PID จึงต้องทำการหาค่าอัตราขยายของระบบ โดยใช้วิธีการลองผิดลองถูกจนได้ค่าอัตราขยายที่ทำให้เกิดเสถียรภาพในขอบเขตที่ยอมรับได้

7.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

เนื่องด้วยจากไม่ได้ทำการศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นต้องมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบ่อย จึงทำให้ค่อนข้างเสียเวลาในการสร้างโครงสร้างมาก ในขณะเดียวกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างอัตราขยายต่างๆ ในระบบก็ย่อมมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นแนวทางการแก้ไขควรจะทำการศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ก่อนที่จะนำไปออกแบบระบบควบคุมและก่อนที่จะมีการสร้างรูปแบบบรรทัดฐานสมมูลย์

7.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคตและข้อเสนอแนะ

1. เปลี่ยนมอเตอร์ให้มีกำลังสูงขึ้นและมี Encoder ในการวัดรอบการหมุนเพื่อให้การหมุนของมอเตอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. เปลี่ยนตัวเซนเซอร์ใหม่ โดยใช้เป็นใจ โรส โคปในการวัดการเอียงหรือแรงโน้มถ่วง ซึ่งสามารถวัดการเอียงได้ดีกว่าและคอนสแตนต์ได้ดีกว่าเซนเซอร์ทั่วไป
3. ควรศึกษาระบบและหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ก่อน เพื่อให้ได้ค่าอัตราขยายต่างๆ ที่แน่นอนขึ้นและทำให้ระบบมีความเสถียรภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

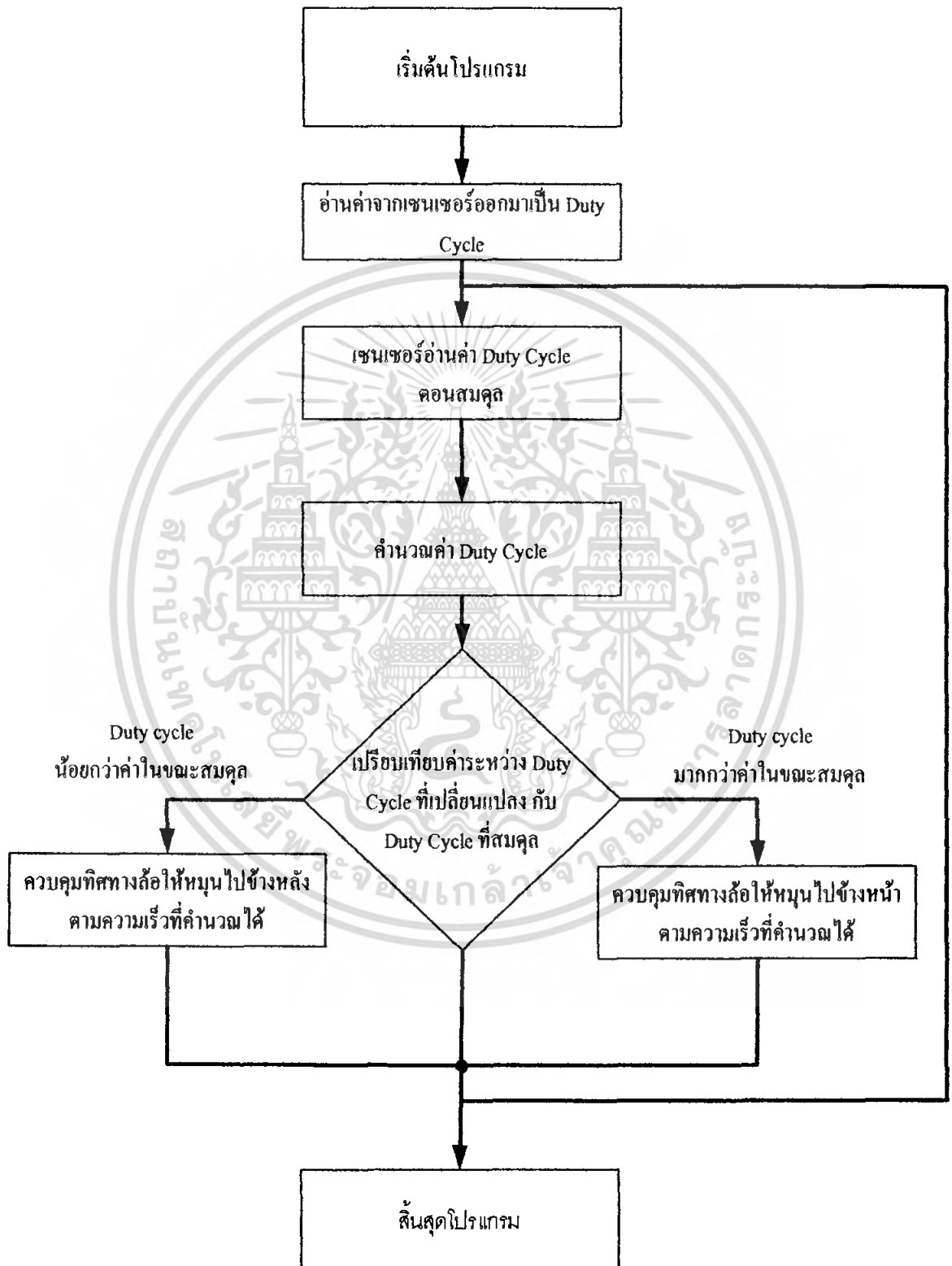
1. ชวลิต ศรีธัญกุล , สงกรานต์ ศรีปัญญา , ปริยานิพนธ์เรื่อง “อินเวอร์ทเพนคูล์ม” ปีการศึกษา 2542 : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ชัชววรรณ สมัยสงค์ , ศิริพร ประสิทธิ์มีสมใจ ปริยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาระบบไม่มีเสถียรภาพ” ปีการศึกษา 2547 : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ทรงกรด ชिरาชัย , ทศดา ปุคคละนันท์ , จันทร์คุณภาส ปริยานิพนธ์เรื่อง “รูดอินเวอร์ทเพนคูล์ม” ปีการศึกษา 2541 : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. ธาวัน อุทัยเจริญพงษ์ , ฐนธร แคล้วโยธา ปริยานิพนธ์เรื่อง “หุ่นยนต์รักษาสมดุลด้วยตนเอง” ปีการศึกษา 2548 : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5. กฤษณะ ศรีสุนทรภรณ์ , วัชรินทร์ ชญาธร , เอราวัต ชาติ , ปริยานิพนธ์เรื่อง “การประยุกต์ใช้อินเวอร์ทเพนคูล์มในหุ่นยนต์ 2 ล้อ” ปีการศึกษา 2547 : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. รศ.สุมาลี อุณหวนิชย์ “ระบบควบคุม(Control System)”
7. Katsuhiko Ogata., Modern control engineering., Prentice Hall 4nd edition
8. Larson, T. ,Balancing Robot Project, <http://www.tedlarson.com/robots/balancingcot.htm>
9. Segway Inc, Segway Website, <http://www.segway.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังการทำงานของโปรแกรมโดยรวม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



dsPIC30F2010

28-pin dsPIC30F2010 Enhanced Flash 16-bit Digital Signal Controller

Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the *dsPIC30F Family Reference Manual (DS70046)*. For more information on the device instruction set and programming, refer to the *dsPIC30F Programmer's Reference Manual (DS70030)*.

High-Performance Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture
- 84 base instructions with flexible addressing modes
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 12 Kbytes on-chip Flash program space
- 512 bytes on-chip data RAM
- 1 Kbyte non-volatile data EEPROM
- 16 x 16-bit working register array
- Up to 30 MIPS operation:
 - DC to 40 MHz external clock input
 - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- 27 interrupt sources
- Three external interrupt sources
- 8 user selectable priority levels for each interrupt
- 4 processor exceptions and software traps

DSP Engine Features:

- Modulo and Bit-Reversed modes
- Two, 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single cycle hardware fractional/integer multiplier
- Single cycle Multiply-Accumulate (MAC) operation
- 40-stage Barrel Shifter
- Dual data fetch

Peripheral Features:

- High current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Three 16-bit timers/counters; optionally pair up 16-bit timers into 32-bit timer modules
- Four 16-bit Capture input functions
- Two 16-bit Compare/PWM output functions
 - Dual Compare mode available
- 3-wire SPI™ modules (supports 4 Frame modes)
- I²C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- Addressable UART modules with FIFO buffers

Motor Control PWM Module Features:

- 6 PWM output channels
 - Complementary or Independent Output modes
 - Edge and Center Aligned modes
- 4 duty cycle generators
- Dedicated time base with 4 modes
- Programmable output polarity
- Dead time control for Complementary mode
- Manual output control
- Trigger for synchronized A/D conversions

Quadrature Encoder Interface Module Features:

- Phase A, Phase B and Index Pulse input
- 16-bit up/down position counter
- Count direction status
- Position Measurement (x2 and x4) mode
- Programmable digital noise filters on inputs
- Alternate 16-bit Timer/Counter mode
- Interrupt on position counter rollover/underflow

Analog Features:

- 10-bit Analog-to-Digital Converter (A/D) with:
 - 500 Ksps (for 10-bit A/D) conversion rate
 - Six input channels
 - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Brown-out Detection and Reset generation

dsPIC30F2010

Special Microcontroller Features:

- Enhanced Flash program memory:
 - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100K (typical)
- Data EEPROM memory:
 - 100,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 1M (typical)
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on-chip low power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe clock monitor operation

- Detects clock failure and switches to on-chip low power RC oscillator
- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes
 - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

CMOS Technology:

- Low power, high speed Flash technology
- Wide operating voltage range (2.5V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption

dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family*

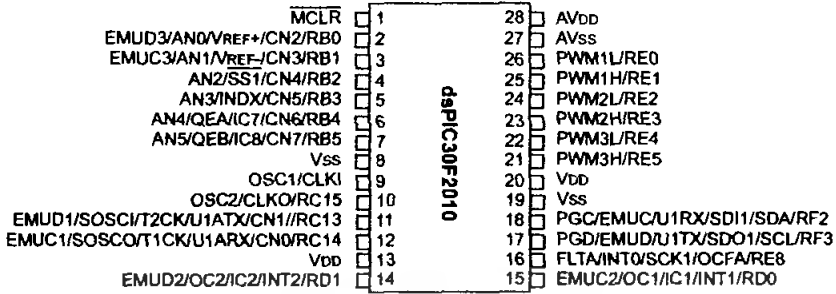
Device	Pins	Program Mem. Bytes/Instructions	SRAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Cap	Output Comp/Std PWM	Motor Control PWM	A/D 10-bit 500 Ksps	Quad Enc	UART	SPI™	I ² C™	CAN
dsPIC30F2010	28	12K/4K	512	1024	3	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F3010	28	24K/8K	1024	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F4012	28	48K/16K	2048	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	1
dsPIC30F3011	40/44	24K/8K	1024	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	-
dsPIC30F4011	40/44	48K/16K	2048	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	1
dsPIC30F5015	64	66K/22K	2048	1024	5	4	4	8 ch	16 ch	Yes	1	2	1	1
dsPIC30F6010	80	144K/48K	8192	4096	5	8	8	8 ch	16 ch	Yes	2	2	1	2

* This table provides a summary of the dsPIC30F2010 peripheral features. Other available devices in the dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family are shown for feature comparison.

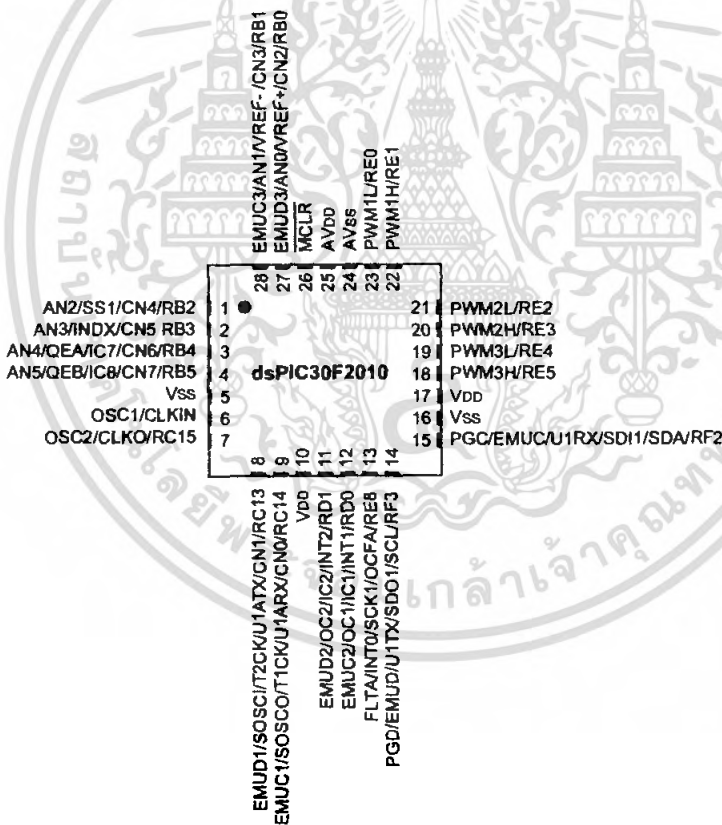


Pin Diagrams

28-Pin SDIP and SOIC

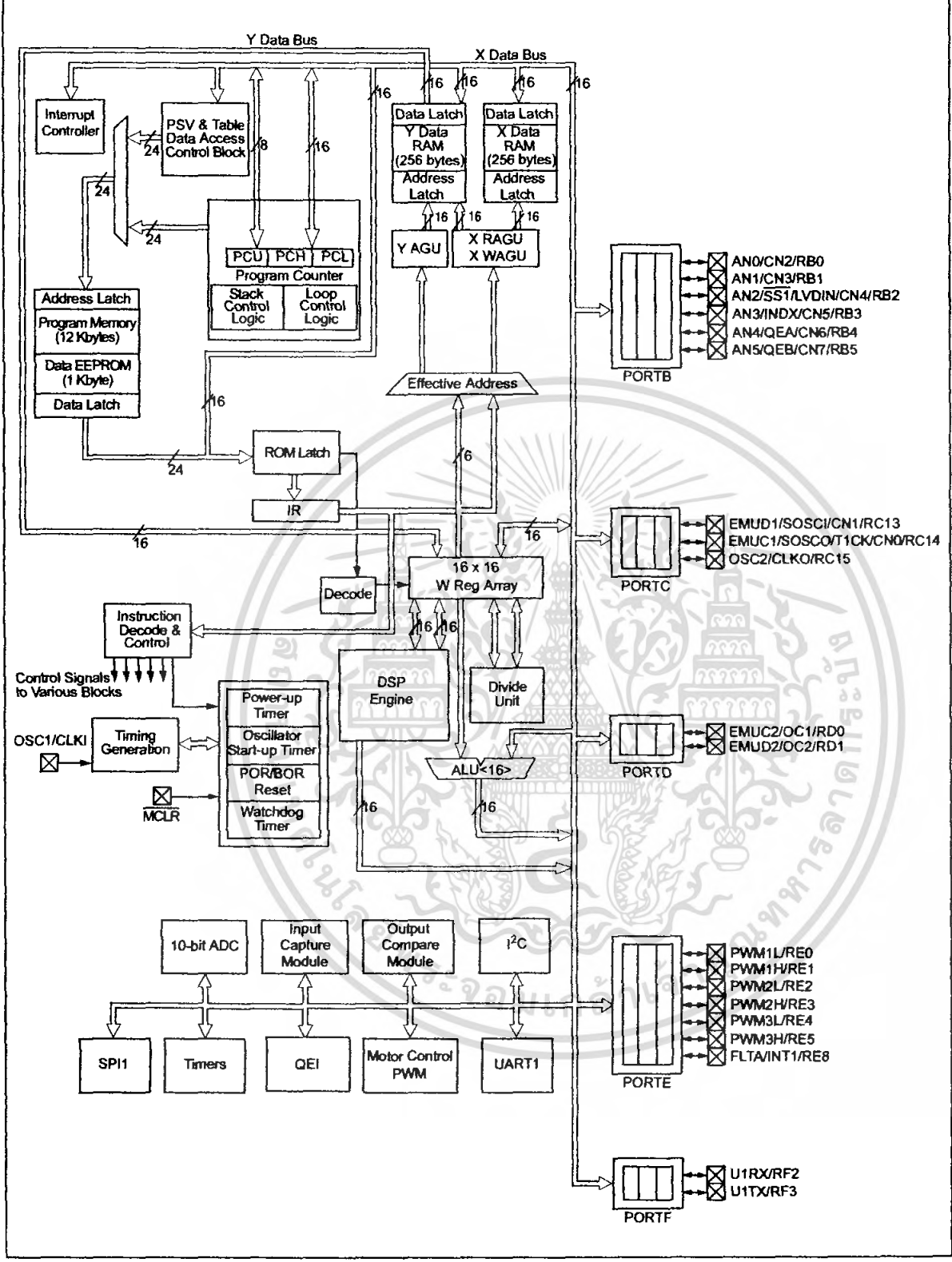


28-Pin QFN



dsPIC30F2010

FIGURE 1-1: dsPIC30F2010 BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1-1 provides a brief description of device I/O pinouts and the functions that may be multiplexed to a port pin. Multiple functions may exist on one port pin. When multiplexing occurs, the peripheral module's functional requirements may force an override of the data direction of the port pin.

TABLE 1-1: PINOUT I/O DESCRIPTIONS

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
AN0-AN5	I	Analog	Analog input channels.
AVDD	P	P	Positive supply for analog module.
AVSS	P	P	Ground reference for analog module.
CLKI	I	ST/CMOS	External clock source input. Always associated with OSC1 pin function.
CLKO	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes. Always associated with OSC2 pin function.
CN0-CN7	I	ST	Input change notification inputs. Can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.
EMUD	I/O	ST	ICD Primary Communication Channel data input/output pin.
EMUC	I/O	ST	ICD Primary Communication Channel clock input/output pin.
EMUD1	I/O	ST	ICD Secondary Communication Channel data input/output pin.
EMUC1	I/O	ST	ICD Secondary Communication Channel clock input/output pin.
EMUD2	I/O	ST	ICD Tertiary Communication Channel data input/output pin.
EMUC2	I/O	ST	ICD Tertiary Communication Channel clock input/output pin.
EMUD3	I/O	ST	ICD Quaternary Communication Channel data input/output pin.
EMUC3	I/O	ST	ICD Quaternary Communication Channel clock input/output pin.
IC1, IC2, IC7, IC8	I	ST	Capture inputs. The dsPIC30F2010 has 4 capture inputs. The inputs are numbered for consistency with the inputs on larger device variants.
INDX	I	ST	Quadrature Encoder Index Pulse input.
QEA	I	ST	Quadrature Encoder Phase A input in QE1 mode.
QEB	I	ST	Quadrature Encoder Phase A input in QE1 mode. Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode.
INT0	I	ST	External interrupt 0
INT1	I	ST	External interrupt 1
INT2	I	ST	External interrupt 2
FLTA	I	ST	PWM Fault A input
PWM1L	O	—	PWM 1 Low output
PWM1H	O	—	PWM 1 High output
PWM2L	O	—	PWM 2 Low output
PWM2H	O	—	PWM 2 High output
PWM3L	O	—	PWM 3 Low output
PWM3H	O	—	PWM 3 High output
MCLR	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low Reset to the device.
OCFA	I	ST	Compare Fault A input (for Compare channels 1, 2, 3 and 4).
OC1-OC2	O	—	Compare outputs.
OSC1	I	ST/CMOS	Oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.
OSC2	I/O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes.

Legend: CMOS =CMOS compatible input or output Analog= Analog input
 ST =Schmitt Trigger input with CMOS levels O= Output
 I =Input P = Power

dsPIC30F2010

TABLE 1-1: PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
PGD	I/O	ST	In-Circuit Serial Programming data input/output pin.
PGC	I	ST	In-Circuit Serial Programming clock input pin.
RB0-RB5	I/O	ST	PORTB is a bidirectional I/O port.
RC13-RC14	I/O	ST	PORTC is a bidirectional I/O port.
RD0-RD1	I/O	ST	PORTD is a bidirectional I/O port.
RE0-RE5, RE8	I/O	ST	PORTE is a bidirectional I/O port.
RF2, RF3	I/O	ST	PORTF is a bidirectional I/O port.
SCK1	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI™ #1.
SDI1	I	ST	SPI #1 Data In.
SDO1	O	—	SPI #1 Data Out.
SS1	I	ST	SPI #1 Slave Synchronization.
SCL	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for I ² C.
SDA	I/O	ST	Synchronous serial data input/output for I ² C.
SOSCO	O	—	32 kHz low power oscillator crystal output.
SOSCI	I	ST/CMOS	32 kHz low power oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.
T1CK	I	ST	Timer1 external clock input.
T2CK	I	ST	Timer2 external clock input.
U1RX	I	ST	UART1 Receive.
U1TX	O	—	UART1 Transmit.
U1ARX	I	ST	UART1 Alternate Receive.
U1ATX	O	—	UART1 Alternate Transmit.
VDD	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
VSS	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VREF+	I	Analog	Analog Voltage Reference (High) input.
VREF-	I	Analog	Analog Voltage Reference (Low) input.

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output Analog = Analog input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels O = Output
 I = Input P = Power

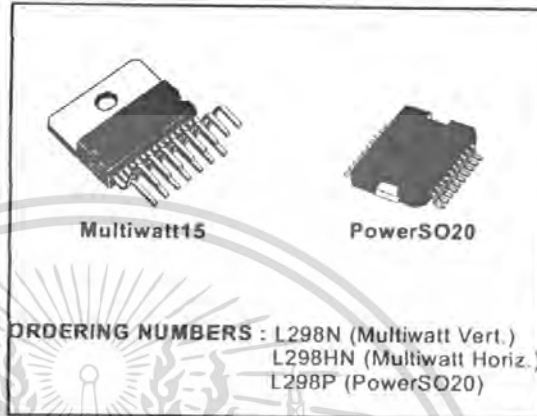
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

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

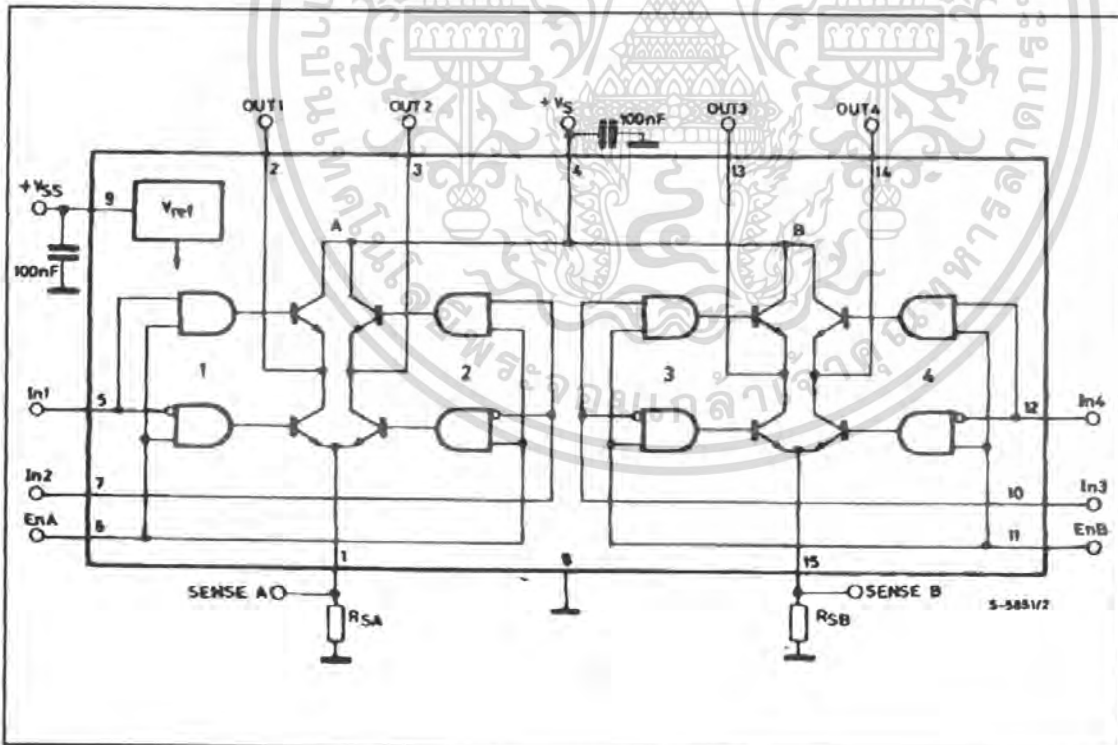
DESCRIPTION

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



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

BLOCK DIAGRAM

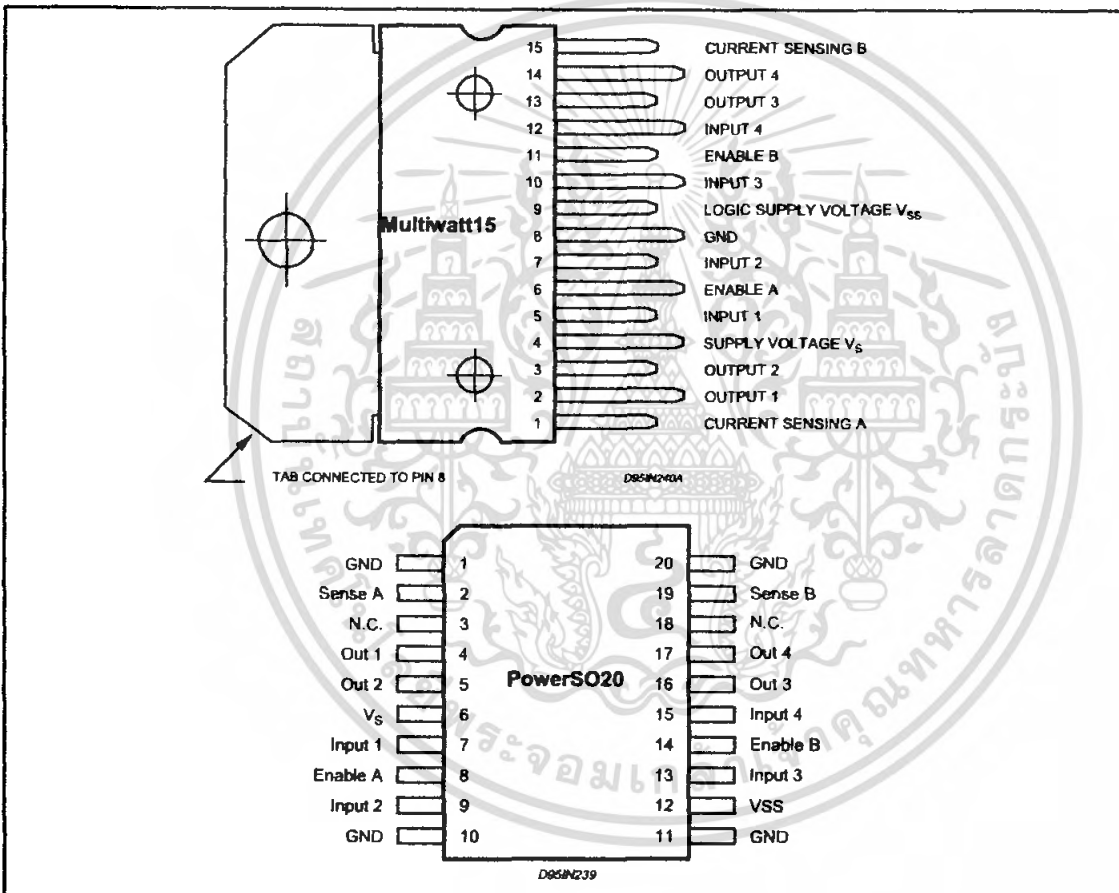


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

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

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

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

(*) Mounted on aluminum substrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

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

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

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

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

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

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

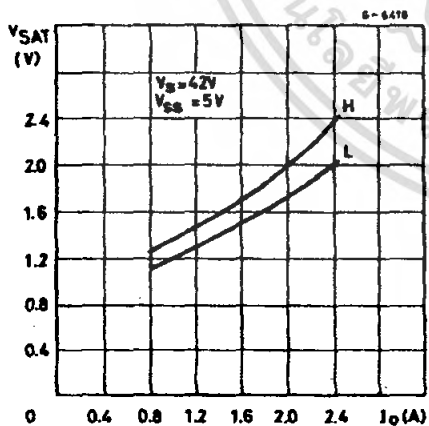
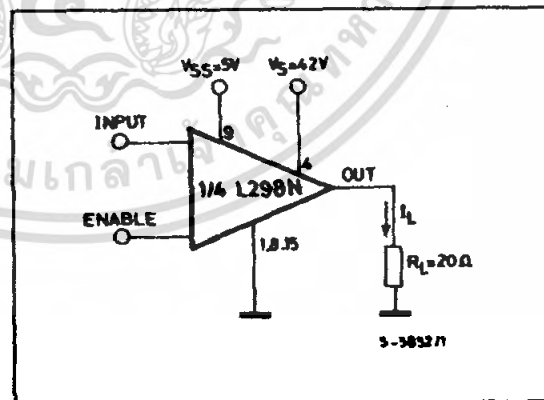


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



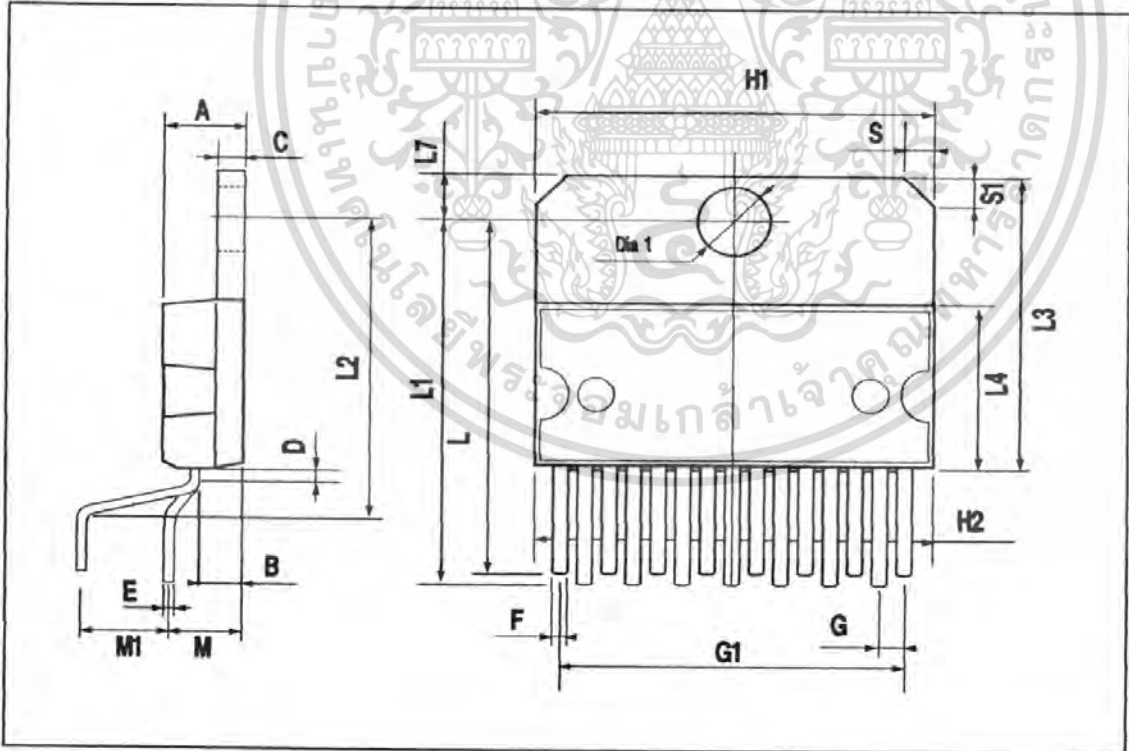
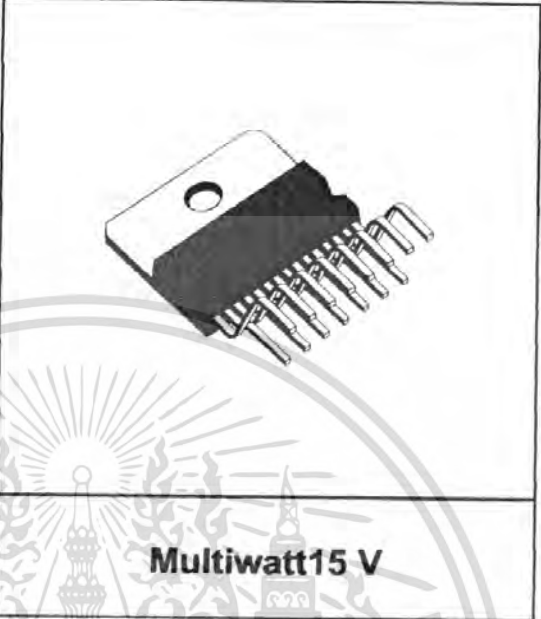
Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

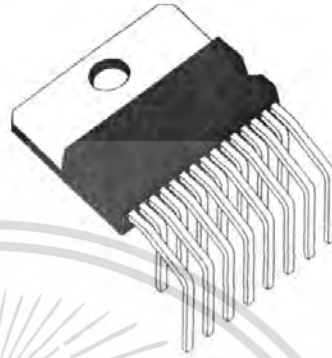
OUTLINE AND MECHANICAL DATA



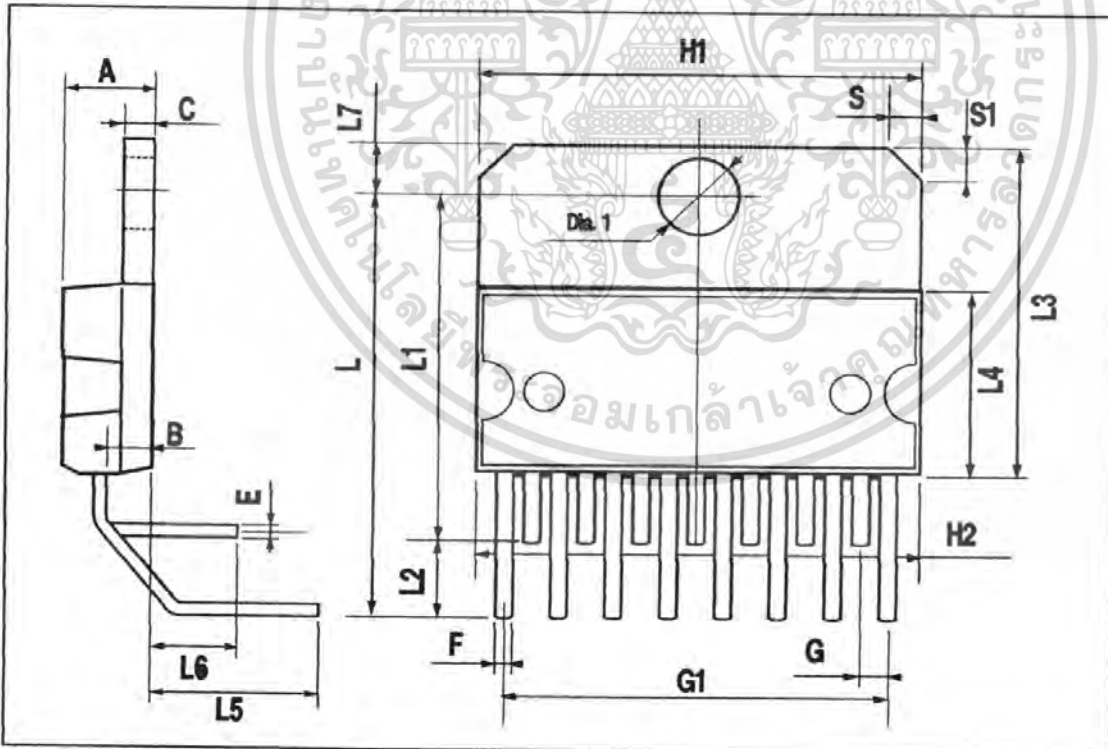
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



Multiwatt15 H



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADXL202/ADXL210

FEATURES

- 2-Axis Acceleration Sensor on a Single IC Chip
- Measures Static Acceleration as Well as Dynamic Acceleration
- Duty Cycle Output with User Adjustable Period
- Low Power <0.6 mA
- Faster Response than Electrolytic, Mercury or Thermal Tilt Sensors
- Bandwidth Adjustment with a Single Capacitor Per Axis
- 5 mg Resolution at 60 Hz Bandwidth
- +3 V to +5.25 V Single Supply Operation
- 1000 g Shock Survival

APPLICATIONS

- 2-Axis Tilt Sensing
- Computer Peripherals
- Inertial Navigation
- Seismic Monitoring
- Vehicle Security Systems
- Battery Powered Motion Sensing

GENERAL DESCRIPTION

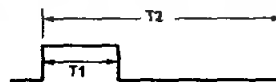
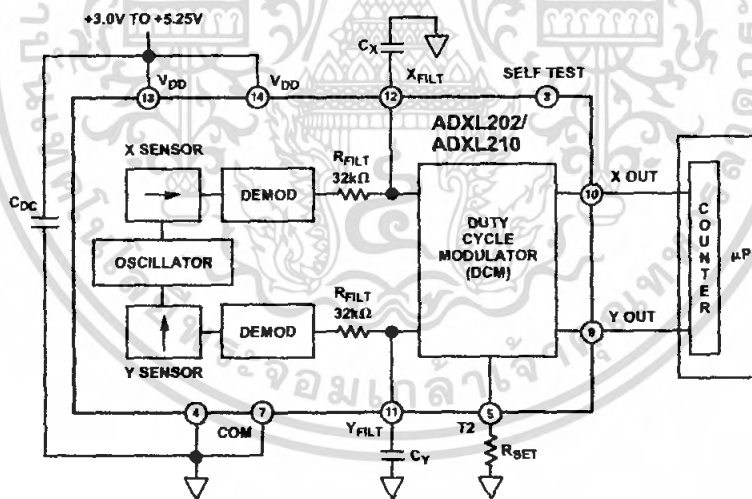
The ADXL202/ADXL210 are low cost, low power, complete 2-axis accelerometers with a measurement range of either $\pm 2 g/\pm 10 g$. The ADXL202/ADXL210 can measure both dynamic acceleration (e.g., vibration) and static acceleration (e.g., gravity).

The outputs are digital signals whose duty cycles (ratio of pulse-width to period) are proportional to the acceleration in each of the 2 sensitive axes. These outputs may be measured directly with a microprocessor counter, requiring no A/D converter or glue logic. The output period is adjustable from 0.5 ms to 10 ms via a single resistor (R_{SET}). If a voltage output is desired, a voltage output proportional to acceleration is available from the X_{FILT} and Y_{FILT} pins, or may be reconstructed by filtering the duty cycle outputs.

The bandwidth of the ADXL202/ADXL210 may be set from 0.01 Hz to 5 kHz via capacitors C_X and C_Y . The typical noise floor is $500 \mu g/\sqrt{Hz}$ allowing signals below 5 mg to be resolved for bandwidths below 60 Hz.

The ADXL202/ADXL210 is available in a hermetic 14-lead Surface Mount CERPAK, specified over the $0^\circ C$ to $+70^\circ C$ commercial or $-40^\circ C$ to $+85^\circ C$ industrial temperature range.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



$$A(g) = (T1/T2 - 0.5)/12.5\%$$

$$0g = 50\% \text{ DUTY CYCLE}$$

$$T2 = R_{SET}/125M\Omega$$

iMEMS is a registered trademark of Analog Devices, Inc.

REV. B

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADXL202/ADXL210—SPECIFICATIONS ($T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , $T_A = +25^\circ\text{C}$ for J Grade only, $V_{DD} = +5\text{ V}$, $R_{SET} = 125\text{ k}\Omega$, Acceleration = 0 g, unless otherwise noted)

Parameter	Conditions	ADXL202/JQC/AQC			ADXL210/JQC/AQC			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
SENSOR INPUT								
Measurement Range ¹	Each Axis	±1.5	±2		±8	±10		g
Nonlinearity	Best Fit Straight Line		0.2			0.2		% of FS
Alignment Error ²			±1			±1		Degrees
Alignment Error	X Sensor to Y Sensor		±0.01			±0.01		Degrees
Transverse Sensitivity ³			±2			±2		%
SENSITIVITY								
Duty Cycle per g	Each Axis T1/T2 @ +25°C	10	12.5	15	3.2	4.0	4.8	%/g
Sensitivity, Analog Output	At Pins X _{FILT} , Y _{FILT}		312			100		mV/g
Temperature Drift ⁴	Δ from +25°C		±0.5			±0.5		% Rdg
ZERO g BIAS LEVEL								
0 g Duty Cycle	Each Axis T1/T2	25	50	75	42	50	58	%
Initial Offset			±2			±2		g
0 g Duty Cycle vs. Supply			1.0	4.0		1.0	4.0	%/V
0 g Offset vs. Temperature ⁴	Δ from +25°C		2.0			2.0		mg/°C
NOISE PERFORMANCE								
Noise Density ⁵	@ +25°C		500	1000		500	1000	$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
FREQUENCY RESPONSE								
3 dB Bandwidth	Duty Cycle Output		500			500		Hz
3 dB Bandwidth	At Pins X _{FILT} , Y _{FILT}		5			5		kHz
Sensor Resonant Frequency			10			14		kHz
FILTER								
R _{FILT} Tolerance	32 k Ω Nominal		±15			±15		%
Minimum Capacitance	At X _{FILT} , Y _{FILT}	1000			1000			pF
SELF TEST								
Duty Cycle Change	Self-Test "0" to "1"		10			10		%
DUTY CYCLE OUTPUT STAGE								
F _{SET}			125 M Ω /R _{SET}			125 M Ω /R _{SET}		kHz
F _{SET} Tolerance	R _{SET} = 125 k Ω	0.7		1.3	0.7		1.3	kHz
Output High Voltage	I = 25 μ A		V _S - 200 mV			V _S - 200 mV		mV
Output Low Voltage	I = 25 μ A			200			200	mV
T2 Drift vs. Temperature			35			35		ppm/°C
Rise/Fall Time			200			200		ns
POWER SUPPLY								
Operating Voltage Range		3.0		5.25	2.7		5.25	V
Specified Performance		4.75		5.25	4.75		5.25	V
Quiescent Supply Current			0.6	1.0		0.6	1.0	mA
Turn-On Time ⁶	To 99%		160 C _{FILT} + 0.3			160 C _{FILT} + 0.3		ms
TEMPERATURE RANGE								
Operating Range	JQC	0		+70	0		+70	°C
Specified Performance	AQC	-40		+85	-40		+85	°C

- NOTES**
- ¹For all combinations of offset and sensitivity variation.
 - ²Alignment error is specified as the angle between the true and indicated axis of sensitivity.
 - ³Transverse sensitivity is the algebraic sum of the alignment and the inherent sensitivity errors.
 - ⁴Specification refers to the maximum change in parameter from its initial at +25°C to its worst case value at T_{MIN} to T_{MAX}.
 - ⁵Noise density ($\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$) is the average noise at any frequency in the bandwidth of the part.
 - ⁶C_{FILT} in μF . Addition of filter capacitor will increase turn on time. Please see the Application section on power cycling.
- All min and max specifications are guaranteed. Typical specifications are not tested or guaranteed.
Specifications subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADXL202/ADXL210

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Acceleration (Any Axis, Unpowered for 0.5 ms)	1000 g
Acceleration (Any Axis, Powered for 0.5 ms)	500 g
+V _S	-0.3 V to +7.0 V
Output Short Circuit Duration (Any Pin to Common)	Indefinite
Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C

*Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; the functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Drops onto hard surfaces can cause shocks of greater than 1000 g and exceed the absolute maximum rating of the device. Care should be exercised in handling to avoid damage.

PIN CONFIGURATION

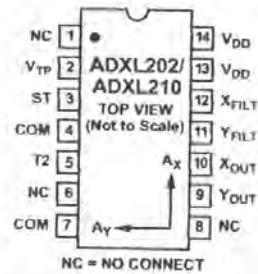


Figure 1 shows the response of the ADXL202 to the Earth's gravitational field. The output values shown are nominal. They are presented to show the user what type of response to expect from each of the output pins due to changes in orientation with respect to the Earth. The ADXL210 reacts similarly with output changes appropriate to its scale.

PIN FUNCTION DESCRIPTIONS

Pin	Name	Description
1	NC	No Connect
2	V _{TP}	Test Point, Do Not Connect
3	ST	Self Test
4	COM	Common
5	T2	Connect R _{SET} to Set T2 Period
6	NC	No Connect
7	COM	Common
8	NC	No Connect
9	Y _{OUT}	Y Axis Duty Cycle Output
10	X _{OUT}	X Axis Duty Cycle Output
11	Y _{FILT}	Connect Capacitor for Y Filter
12	X _{FILT}	Connect Capacitor for X Filter
13	V _{DD}	+3 V to +5.25 V, Connect to 14
14	V _{DD}	+3 V to +5.25 V, Connect to 13

PACKAGE CHARACTERISTICS

Package	θ _{JA}	θ _{JC}	Device Weight
14-Lead CERPAK	110°C/W	30°C/W	5 Grams

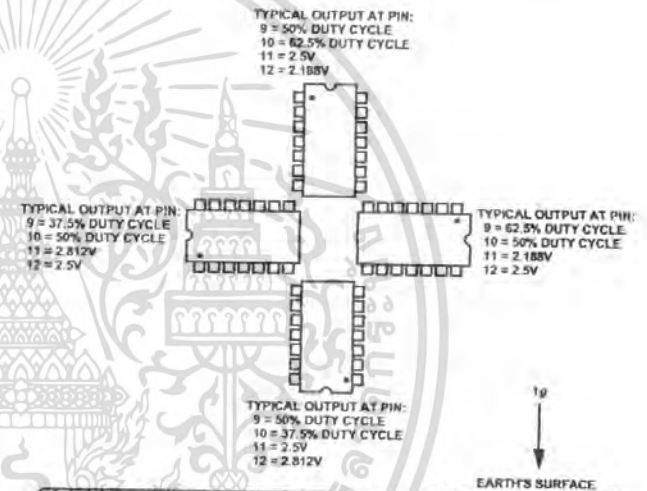


Figure 1. ADXL202/ADXL210 Nominal Response Due to Gravity

ORDERING GUIDE

Model	g Range	Temperature Range	Package Description	Package Option
ADXL202JQC	±2	0°C to +70°C	14-Lead CERPAK	QC-14
ADXL202AQC	±2	-40°C to +85°C	14-Lead CERPAK	QC-14
ADXL210JQC	±10	0°C to +70°C	14-Lead CERPAK	QC-14
ADXL210AQC	±10	-40°C to +85°C	14-Lead CERPAK	QC-14

CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the ADXL202/ADXL210 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



ADXL202/ADXL210

TYPICAL CHARACTERISTICS (@ +25°C R_{SET} = 125 kΩ, V_{DD} = +5 V, unless otherwise noted)

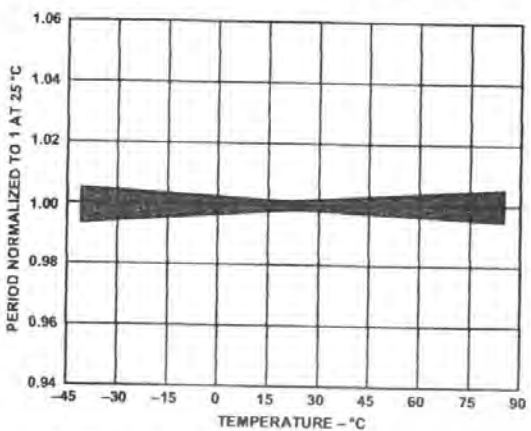


Figure 2. Normalized DCM Period (T2) vs. Temperature

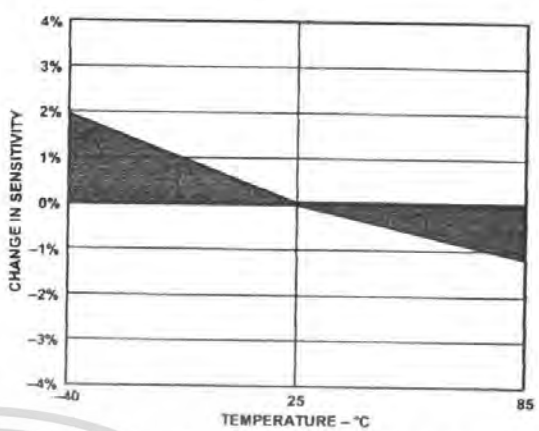


Figure 5. Typical X Axis Sensitivity Drift Due to Temperature

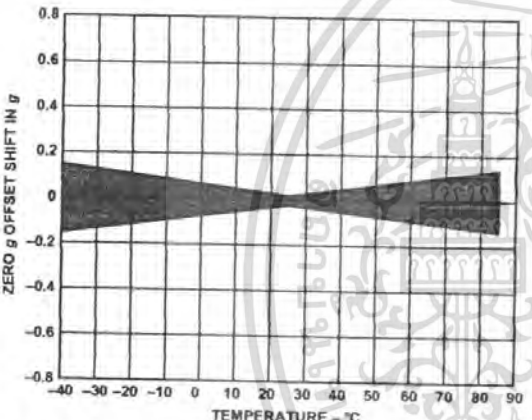


Figure 3. Typical Zero g Offset vs. Temperature

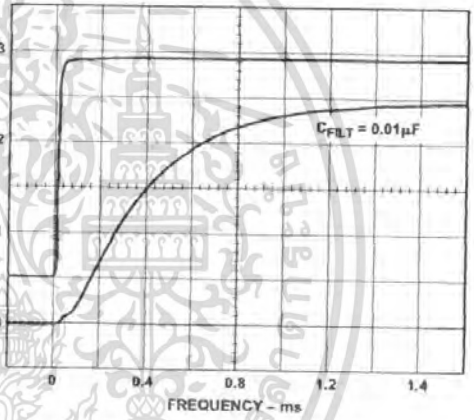


Figure 6. Typical Turn-On Time

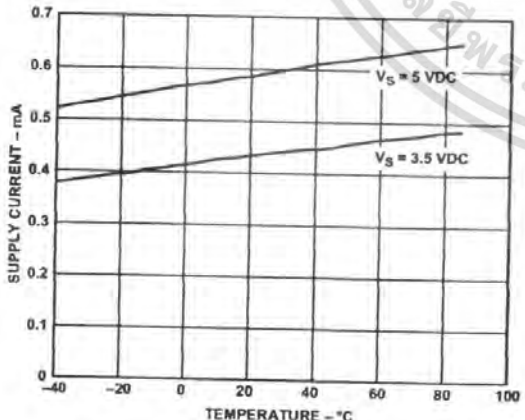


Figure 4. Typical Supply Current vs. Temperature

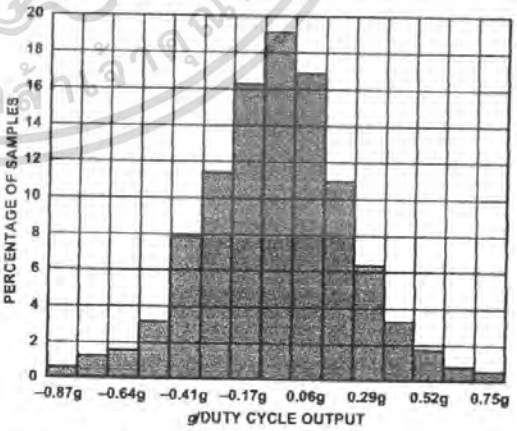


Figure 7. Typical Zero g Distribution at +25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

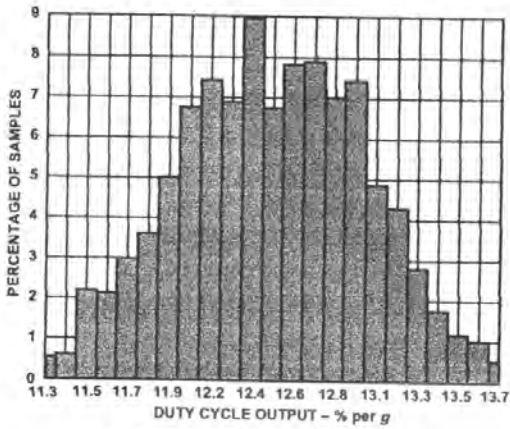


Figure 8. Typical Sensitivity per g at +25°C

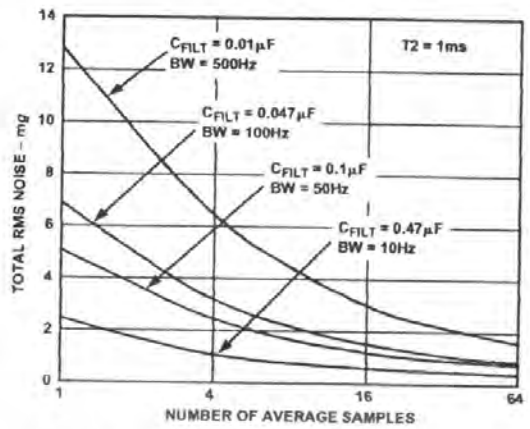


Figure 10. Typical Noise at Digital Outputs

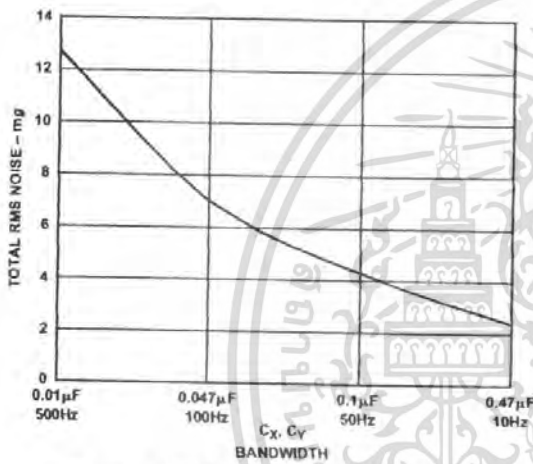


Figure 9. Typical Noise at X_{FILT} Output

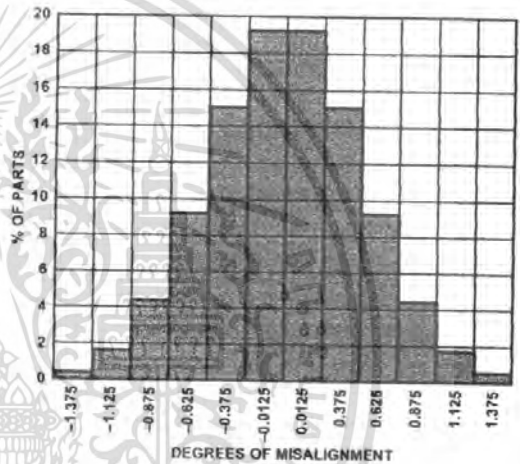


Figure 11. Rotational Die Alignment

