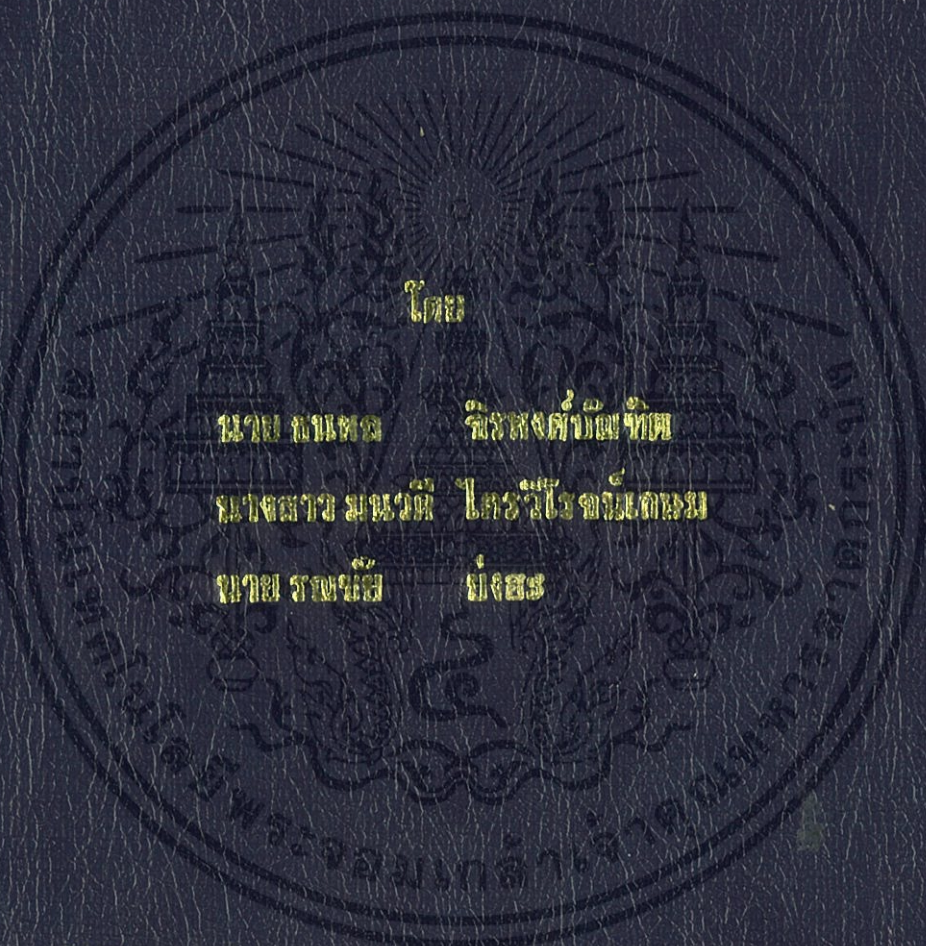


ปกเกิดบอร์ดรทททสาธิตด้วยตนเอง

BALANCING SKATEBOARD



ปฏิญญาฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของเอกสารศึกษาตามหลักสูตรปฏิญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สเก็ตบอร์ดรักษาสมดุลด้วยตนเอง

Balancing Skateboard



โดย

นายธนพล

จิรพงศ์บัณฑิต

นางสาวมนวดี

ไตรวิโรจน์เกษม

นายรณชัย

ยงฮะ

รฟ.
ค 159 ล
๒๖๖1

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน...104008

วัน,เดือน,ปี...2 8 ต.ค. 2552



ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สาขาแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สเก็ทบอร์ดรักษาสมดุลด้วยตนเอง

Balancing Skateboard

ผู้จัดทำ

นายชนพล จิรพงศ์บัณฑิต 48012203

นางสาวมนวดี ไตรวิโรจน์เกษม 48012211

นายรณชัย ย่งฮะ 48012213


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. สุमितร์ พนาอุดมทรัพย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเก็ตบอร์ดรักษาสมดุลด้วยตนเอง

โดย

นายชนพล จิรพงศ์บัณฑิต 48012203

นางสาวมนวดี ไตรวิโรจน์เกษม 48012211

นายรัชชัย ย่งชะ 48012213

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุमितร์ พนาอุดมทรัพย์

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาสเก็ตบอร์ดรักษาสมดุลด้วยตนเอง โดยสร้างและออกแบบสเก็ตบอร์ดที่มีลักษณะการวางตัวบนล้อหนึ่งล้อในแนวระนาบ ให้สามารถรักษาสมดุลได้ตลอดเวลาถึงแม้จะได้รับการรบกวนจากภายนอกก็ตาม สเก็ตบอร์ดทำงานโดยใช้หลักการควบคุมโดยอาศัยสัญญาณป้อนกลับจากอุปกรณ์ตรวจจับคือตัววัดค่าจี ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการคำนวณและส่งสัญญาณออกไปควบคุมการเคลื่อนที่ของสเก็ตบอร์ด

Balancing Skateboard

By

Mr. Thanapol Jirapongbundit 48012203

Miss Monwadee Trivirojkasem 48012211

Mr. Ronnachai Yongha 48012213

Advisor

Asst.Prof. SUMIT PANAUDOMSUP

Academic Year 2008

ABSTRACT

This thesis present the study, design and built of self balancing robot with its configuration one wheel to be able to balance itself even an external force has apply to it. The robot work on basis of feedback control theory, by measure an angle of the robot by accelerometer that act as 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

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษาแนวทางในการแก้ไขปัญหา ความคิดริเริ่ม ตลอดจนการฝึกฝนให้ผู้เขียนมีความสามารถในการทำวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพพร้อมทั้งให้ความเอาใจใส่ดูแลสอบถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผู้เขียนทำงานอย่างมีระบบและใช้เวลาอย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณ นายอิทธิชัย เกรือบุตรดี รุ่นพี่ที่ได้ร่วมปรึกษาและช่วยแก้ไขปัญหา แนะนำแนวทางการทดลองอุปกรณ์ที่เกิดขึ้น ทั้งทางทฤษฎีและการปฏิบัติแก่ผู้เขียนเสมอมาทำให้ผู้เขียนเข้าใจปัญหานั้น

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เขียน

ขอขอบคุณ สโมสรนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยตลอดจนอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เขียนจนสามารถทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสิ้น

และท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่รักและเคารพ ที่สนับสนุนให้โอกาสผู้เขียนได้เล่าเรียนจนถึงวันนี้ ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ คำปรึกษาแนะนำด้วยดีเสมอมาจนนำสิ่งต่างๆ ที่ได้รับมานั้นจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ผู้เขียนขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

นายชนพล จิรพงศ์บัณฑิต

นางสาวมนวดี ไตรวิโรจน์เกษม

นายรณชัย ย่องสะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 การคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของสเก็ทบอร์ด	2
2.2 มอเตอร์กระแสตรง	2
2.2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	2
2.2.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง	2
2.2.3 หลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง	4
2.2.4 วิธีการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM)	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับกลศาสตร์	5
2.3.1 การวิเคราะห์แรง	5
2.3.2 การวิเคราะห์ความเร็ว	6
2.3.3 การวิเคราะห์ความเร่ง	6
2.4 ทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล	7
2.4.1 หลักทั่วไปในการออกแบบ	7
2.4.2 ลำดับขั้นตอนในการออกแบบ	7
2.4.3 ข้อที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ	8
2.4.4 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ	8
2.4.5 คาน	13
2.5 ทฤษฎีอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์	15
2.5.1 Opto Isolate	15
2.5.2 อินเวอร์ตติ้งบัฟเฟอร์	21
2.5.3 มอสเฟตกำลัง	23
2.5.4 ไอซีควบคุมมอสเฟต	25
2.6 ทฤษฎีและหลักการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	26
2.6.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2.6.2 การตอบสนองสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.3 โมดูลไทมเมอร์/เคาน์เตอร์	32
2.6.4 โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล	34
2.6.5 หน่วยกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตความกว้างของพัลส์ (MCPWM)	36
2.7 หลักการการทำงานของไมโครโคม	40
2.7.1 การควาง	40
2.7.2 ทฤษฎีและหลักการ	41
2.7.3 ประโยชน์ของไมโครโคม	42
2.8 หลักการทำงานของตัวหยังความเร่ง (Accelerometer)	43
บทที่ 3 การออกแบบและดำเนินงาน	47
3.1 การออกแบบโครงสร้างทางกลศาสตร์	47
3.1.1 การออกแบบสเก็ตบอร์ดรักษาสมดุล	47
3.1.2 โครงสร้างสเก็ตบอร์ดรักษาสมดุล	47
3.2 การออกแบบโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์	56
3.2.1 วงจรควบคุมการทำงานของสเก็ตบอร์ดรักษาสมดุล	56
3.2.2 วงจรป้องกันโดยการใช้ Opto Isolate	57
3.2.3 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge	58
3.3 การออกแบบโครงสร้างทางโปรแกรม	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	62
4.1 ทดลองระหว่างองศาที่เปลี่ยนไปของตัว Accelerometer กับแรงดันไฟฟ้า	62
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	65
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง	3
2.2 แสดงความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆ และค่าควิต์ไซ้เกิดของช่วงพัลส์ที่มีความถี่คงที่	5
2.3 ความเค้นแรงดึง	9
2.4 ความเค้นแรงอัด	9
2.5 ความเค้นแรงเฉือน	10
2.6 ความเครียดเชิงเส้น	11
2.7 ความเครียดเฉือน	11
2.8 แสดงเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบมีจุดคราก	13
2.9 ลักษณะของ Opto Isolate	16
2.10 วงจรภายในอุปกรณ์แยกกันทางแสง	16
2.11 Opto Isolate ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ	17
2.12 วงจรการนำอุปกรณ์แยกกันทางแสงชนิดโฟโตทรานซิสเตอร์มาใช้	17
2.13 อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตคาร์ลิงตัน	18
2.14 อุปกรณ์รับแสงเป็น LASCR	18
2.15 อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตไดโอดแยก	19
2.16 อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตเฟด	19
2.17 อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตเนนด์เกต	19
2.18 อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตไดโอดต่อร่วมกับ NPN ทรานซิสเตอร์	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.19 อุปกรณ์แยกกันทางแสงในรูป IC	20
2.20 ไอซีเบอร์ 4N35	20
2.21 วงจรภายในของไอซีเบอร์ 4N35	20
2.22 การต่อตัวต้านทานเพื่อกำจัดกระแส	21
2.23 ไอซีเบอร์ 74HC04	21
2.24 วงจรบัฟเฟอร์ภายในไอซีเบอร์ 74HC04	22
2.25 มอสเฟต IRFP150N ของ International Rectifier	23
2.26 แสดงโครงสร้างของมอสเฟต	24
2.27 แรงดัน V_{gs} ที่ใช้ในการทำงานของมอสเฟต	24
2.28 ไอซีควบคุมมอสเฟต IR2110	25
2.29 ไอซีควบคุมมอสเฟต IR2110 แบ่งการทำงานออกเป็น High และ Low	26
2.30 แสดงโครงสร้างระบบควบคุมแบบปิดของสเก็ทบอร์ด	27
2.31 แสดงการจัดขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์	30
2.32 แสดงรายละเอียดของอินเทอร์รัปต์หลัก	31
2.33 ไดอะแกรมการทำงานอย่างง่ายของโมดูล ADC	35
2.34 แสดงแผนผังการทำงานของโมดูล MCPWM	38
2.35 แสดงการหมุนและทิศทางของแรงที่กระทำกับลูกข้าง	40
2.36 แสดงถึงดาวเทียมซึ่งไปในทิศทางเดียวกันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	42

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.37 แสดงพฤติกรรมความเร็ว ความเร่งของลูกสูบขณะเคลื่อนที่ขึ้นลง	44
2.38 โครงสร้างบอร์ด ADXL203	45
2.39 แสดงความสัมพันธ์ทิศทางการโน้มเอียงของตัวไอซี	46
3.1 แสดงภาพแผ่น PLATE	48
3.2 แสดงภาพ TOP COVER	48
3.3 แสดงภาพ BOTTOM COVER	49
3.4 แสดงภาพ AXEL	49
3.5 แสดงภาพ JOIN MOTOR	50
3.6 แสดงภาพ JOIN	50
3.7 แสดงภาพ GEAR MOTOR	51
3.8 แสดงภาพ PLATE GEAR MOTOR	51
3.9 แสดงภาพ GEAR WHEEL	52
3.10 แสดงภาพ PLATE GEAR WHEEL	52
3.11 แสดงภาพ LOCK AXIS	53
3.12 แสดงภาพ BLOCK BEARING 1	53
3.13 แสดงภาพ BLOCK BEARING 2	54
3.14 แสดงภาพ MOTOR	54
3.15 แสดงภาพ WHEEL สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	55

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 แสดงภาพ BEARING	55
3.17 แสดงภาพสเก็ตบอร์ดที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์	55
3.18 โครงสร้างการทำงานวงจรควบคุม โดย dsPIC30F2010	56
3.19 วงจรควบคุมด้วย dsPIC30F2010	56
3.20 โครงสร้างการทำงานของวงจรป้องกัน	58
3.21 วงจรป้องกัน Opto Isolate	58
3.22 วงจรขับมอเตอร์ IR2110	59
3.23 การต่อ Mosfet แบบ H-Bridge	59
3.24 แสดงการทำงานของสเก็ตบอร์ดรักษาสมดุลด้วยตนเอง	60
3.25 แสดงการทำงานของสเก็ตบอร์ดรักษาสมดุลด้วยตนเอง(ต่อ)	61
4.1 แสดงวงจรต่อทดลอง	62
4.2 แสดงกราฟระหว่างแรงดันเอาต์พุตและมุมของตัว Accelerometer	63

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การทำงานของไอซีเบอร์ 74HC04	22
2.2 แสดงแรงดันไฟที่ทนได้และแรงดันที่ออก	23
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศา กับ โวลต์ของตัววัดค่า g	63
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศา กับ โวลต์ของตัววัดค่า g (ต่อ)	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบัน segway เป็นที่นิยมอย่างมากและมีขายอยู่ทั่วโลก โดยโครงสร้างของsegway ประกอบไปด้วย ล้อสองล้อวางขนานในแนวเดียวกัน แต่ละล้อขับเคลื่อนแยกกันอย่างอิสระ โดยจะมีตัวควบคุมทำให้มันสมดุลทั้งเมื่อมีหรือไม่มีผู้ขับขี่ การควบคุมการสมดุลนั้นทำโดยการตรวจสอบสัญญาณป้อนกลับ จากเซนเซอร์วัดมุมเอียง ใจโรสโคป มายังตัวควบคุมเพื่อปรับตัว segway ให้อยู่ในสภาพที่สมดุล

Skateboard เป็นกีฬาชนิดหนึ่งซึ่งมีความนิยมสูง การจะเล่น skateboard ให้ได้คล่องนั้นจะต้องฝึกฝนการทรงตัวอยู่บน skateboard ให้ได้เสียก่อน ทางคณะผู้จัดทำโครงการนี้ได้สังเกตเห็นว่า สามารถนำความรู้ในมหาวิทยาลัยมาออกแบบพัฒนา skateboard ในปัจจุบัน ให้มีความสามารถเคลื่อนที่และทรงตัวอยู่ได้โดยไม่ล้ม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือ ศึกษาการออกแบบและสร้าง one wheel balancing skateboard โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวควบคุมการหมุนของมอเตอร์เพื่อให้ สเต็ปบอร์ดทรงตัวอยู่ได้โดยไม่ล้มแม้ไม่มีคนขึ้นอยู่บน skateboard ก็ตาม และยังคงสร้างได้ง่ายอีกด้วย

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาโปรแกรม SolidWork เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างและชิ้นส่วนต่าง ของ skateboard
2. ศึกษาและออกแบบการควบคุมมอเตอร์ DC โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของสเก็ทบอร์ด

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของสเก็ทบอร์ด(เมตร/นาท) = ระยะทางที่สเก็ทบอร์ดเคลื่อนที่(เมตร)
X เวลาที่สเก็ทบอร์ดใช้ในการเคลื่อนที่(นาท)

2.2 มอเตอร์กระแสตรง

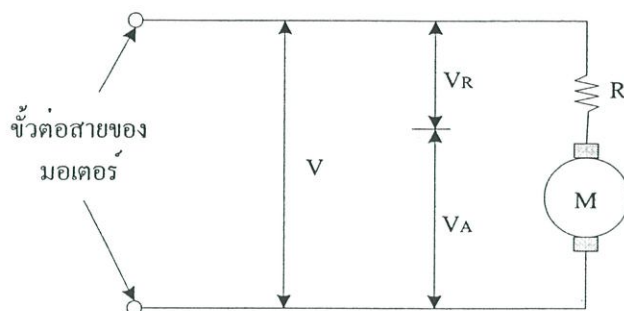
2.2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้าม ถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ กระแส และสนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการทำงานได้

สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวรซึ่งจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็ก หรือเหล็กกล้า โดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดติดอยู่กับที่ และขดลวดจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนหมุนของมอเตอร์

2.2.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง

ในการอธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงให้ละเอียดนั้นต้องพิจารณาแรงดันที่ป้อนและความต้านทานของโรเตอร์ด้วย วงจรภายในของมอเตอร์เขียนได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง

โดยสมมติให้ท่อนโรเตอร์ไม่มีความต้านทานอยู่เลย อนุกรมกับความต้านทานซึ่งในที่นี้ก็คือความต้านทานของขดลวดนั่นเอง แรงดันที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์ก็คือผลบวกระหว่างแรงดันที่ท่อนโรเตอร์ (V_A) และ แรงดันตกคร่อมความต้านทานขดลวด (V_R)

แรงดัน V_A ถูกเรียกว่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำป้อนกลับ (BACK EMF) ซึ่งเกิดขึ้นในโรเตอร์ขณะที่หมุนแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก สัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวนำแรงดันที่เกิดขึ้นจะมีขั้วตรงกันข้ามกับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และ แปรผันตรงกับความเร็วในการหมุน ผลบวกของแรงดันที่ท่อนโรเตอร์ (V_A) และแรงดันตกคร่อมขดลวด (V_R) ต้องเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ (V)

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

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

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

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะมีความเร็ว และ V_A เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว V_R ซึ่งมีค่าเท่ากับ ความแตกต่างระหว่าง V_A และ V จะเริ่มลดลงกระแส I ก็จะเริ่มลดลงเช่นกันขณะที่มอเตอร์ยังมีความเร็วอยู่ ความเร็วจะเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลงจนกว่าจะถึงจุดซึ่งแรงบิดของมอเตอร์รับภาระโหลดได้สมดุพอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด และ หมุนอย่างอิสระจะมีเพียงค่าความฝืดของ และ แรงต้านอากาศทำให้ V_A เกือบเท่ากับค่า V

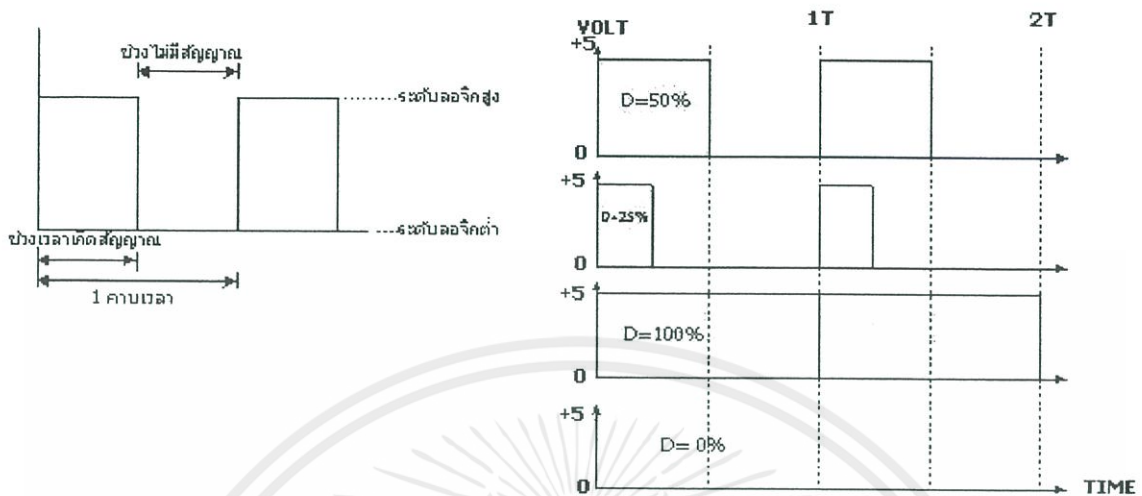
2.2.3 หลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจจะใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐานทั่วไปเช่นการควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าโดยต่ออนุกรมกับมอเตอร์ หรือใช้วิธีการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าว ถึงแม้ว่าจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ แต่ที่ความเร็วต่ำจะส่งผลให้แรงบิดต่ำไปด้วย ดังนั้นเราจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วงๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง ซึ่งเราเรียกว่าวิธีการของการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation)

2.2.4 วิธีการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM)

การมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation) จะเป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วน และความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) นั้นเอง ซึ่งค่าดิวตี้ไซเคิล คือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับเท่ากับ 50% ก็หมายถึงใน 1 รูปสัญญาณพัลส์จะมีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่ง ดังรูป 2.2 และในทำนองเดียวกันถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่ามาก หมายความว่าความกว้างของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 100% ก็หมายความว่า จะไม่มีสถานะลอจิกต่ำเลย ซึ่งค่าดิวตี้ไซเคิลสามารถ จะหาได้จากค่าความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ค่าดิวตี้ไซเคิล} = (\text{ช่วงของสัญญาณพัลส์} / \text{คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ}) \times 100\% \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.2 แสดงความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆ และค่าคิวตี้ไซเคิล ของช่วงพัลส์ที่มีความถี่คงที่

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับกลศาสตร์

2.3.1 การวิเคราะห์แรง

แรงที่เกี่ยวกับการทำงานของระบบกลไก แบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1. แรงสถิต (static force) เป็นแรงที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่เชื่อม โยงกัน โดยไม่รวมแรงเฉื่อยและแรงเสียดทานซึ่งเป็นแรงจลน์(dynamic force) แรงสถิตนี้จะเป็แรงที่ขึ้นต่อ โยงแต่ละชิ้นส่งผ่านต่อกัน โดยเริ่มจากชิ้นต่อ โยงด้านรับส่งผ่านแรงสถิตต่อไปยังชิ้นเชื่อมต่อต่างๆ เรื่อยๆ ไปจนถึงชิ้นต่อโยงด้านส่ง

2. แรงจลน์ (dynamic force) เป็นแรงที่เกิดจากระบบต่อ โยงมีการเคลื่อนที่ และเกิดความเร่ง เมื่อความเร่งประกอบเข้ากับมวลของชิ้นต่อ โยง ก็จะทำให้เกิดแรงเฉื่อยขึ้น นอกจากแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นแล้ว เมื่อระบบมีการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น ที่พื้นผิวต่างๆ ก็จะเกิดแรงเสียดทานเกิดขึ้น ทั้งแรงเฉื่อยและแรงเสียดทานนี้ต่างเป็นแรงจลน์ การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นต่อ โยงต่างๆของกลไก นั้นสิ่งแรกที่จะต้องทำคือ เขียน Free-Body Diagram ของชิ้นต่อ โยงแต่ละชิ้น โดยจะต้องแสดงถึงแรงทั้งหมดที่กระทำกับชิ้นต่อ โยงนั้นๆ ซึ่งขั้นตอนนี้สำคัญมาก เพราะถ้าเขียนแรงที่กระทำกับชิ้นต่อ โยงไม่ครบแล้ว การวิเคราะห์จะผิดพลาดไปหมด

วิธีวิเคราะห์แรงมีหลายวิธี แต่วิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ

2.3.1.1 การวิเคราะห์แรงโดยวิธีซูเปอร์โพสิชัน (Force Analysis by Superposition)

วิธี Superposition มีหลักว่า ผลลัพธ์รวมที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับผลรวมของผลลัพธ์ย่อยๆ ใดที่ถูกกระทำโดยแรงหลายแรงจะถูกวิเคราะห์ โดยแยกวิเคราะห์ทีละแรงหรือทีละประเภท แล้วนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทุกครั้งมารวมกัน จะได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 วิธี คือ Analytic และวิธี Graphic

2.3.1.2 การวิเคราะห์แรงโดยวิธีวิเคราะห์รวมแรง (Force Analysis by Combining all Force)

วิธีวิเคราะห์โดยการรวมแรงก็คือ การวิเคราะห์โดยที่ไม่ต้องแยกวิเคราะห์ทีละแรงหรือทีละประเภท แต่วิเคราะห์พร้อมกันไปครั้งเดียวเลย ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการที่มีแรงมากระทำหลายๆแรงในชั้นต่อไป จะทำให้วิเคราะห์หาค่าที่ต้องการได้ยากขึ้น ทำให้ต้องใช้วิธีแก้เพิ่มขึ้น เช่น ปกติจะเขียน Free-Body Diagram ของชั้นต่อไปเพียงชั้นเดียว แต่ถ้าไม่สามารถแก้ไขปัญหาก็อาจจะต้องเปลี่ยนเป็นเขียน Free Body Diagram ของชั้นต่อไปสองชั้น หรือสามชั้น ซึ่งจะช่วยให้ตัวไม่รู้สึกจำนวนลง และสามารถแก้ปัญหาได้ หรืออาจจะใช้การหาโมเมนต์เทียบกับจุดต่างๆเพื่อช่วยแก้ปัญหา เป็นต้น

2.3.2 การวิเคราะห์ความเร็ว

ความเร็วโดยทั่วไปอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ความเร็วสัมบูรณ์ (absolute velocity) และ ความเร็วสัมพัทธ์ (relative velocity) โดยความเร็วสัมบูรณ์ของวัตถุใดๆ หมายถึงความเร็วของวัตถุหรือจุดนั้น วัดเทียบกับพื้นโลกหรือจุดที่หยุดนิ่งไม่เคลื่อนไหว ส่วนความเร็วสัมพัทธ์จะเป็นความเร็วของวัตถุหรือจุดใดๆ วัดเทียบกับวัตถุอีกวัตถุหนึ่งหรือจุดอีกจุดหนึ่ง ซึ่งวัตถุหรือจุดนั้น อาจมีการเคลื่อนที่หรือหยุดนิ่งก็ได้ หรือการสัมพัทธ์ระหว่างความเร็วของจุด 2 จุดหรือวัตถุ 2 ชิ้นนั่นเอง

2.3.3 การวิเคราะห์ความเร่ง

ความเร่งเชิงเส้นคืออัตราการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์ความเร็วต่อหนึ่งหน่วยเวลาคุณสมบัติของมันเป็นปริมาณเวกเตอร์และสามารถหาได้จากอนุพันธ์ของเวกเตอร์ความเร็ว

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร่งเชิงมุมอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์ความเร็วเชิงมุมต่อหนึ่งหน่วยเวลาคุณสมบัติของมันเป็นปริมาณเวกเตอร์และสามารถหาได้จากอนุพันธ์ของเวกเตอร์ความเร็วเชิงมุม

$$\vec{\alpha} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad \text{หรือ} \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (2.5)$$

2.4 ทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

2.4.1 หลักทั่วไปในการออกแบบ

การออกแบบของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล หมายถึงการออกแบบสิ่งต่างๆ ระบบต่างๆ ของเครื่องจักรกล ผลิตภัณฑ์ โครงสร้างอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลส่วนใหญ่แล้วจะใช้หลักทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์วัสดุ และวิทยาศาสตร์วิศวกรรมเครื่องกล

การออกแบบเครื่องจักรกลจะต้องรู้ เข้าใจกับการจำแนกชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ ตั้งแต่การคำนวณจากข้อมูลที่ทราบ เช่น งานที่ทำได้ กำลังงานที่ใช้ แล้วคำนวณหาแรงในแต่ละส่วน ตามลำดับหน้าที่ในการทำงานของเครื่อง โดยใช้หลักการของกลศาสตร์ แล้วทำการออกแบบแต่ละชิ้นส่วนเพื่อให้สามารถทำงานได้ ตามหน้าที่ โดยไม่พังหรือเสียหาย

ผู้ออกแบบจำเป็นต้องใช้หลักการของความแข็งแรงของวัสดุเข้ามาช่วยแก้ปัญหาทางวิศวกรรม โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะให้ขนาดของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีความถูกต้องเหมาะสม ในวิธีการนั้นผู้ออกแบบจะต้องทำการวิเคราะห์ความเค้น เพื่อตัดสินใจที่จะให้ชิ้นส่วนต่างๆ สามารถรับความเค้นสูงสุดแต่ละชนิดได้

2.4.2 ลำดับขั้นตอนในการออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีลำดับขั้นดังนี้

1. รับรู้ความต้องการ คือ การรับรู้ความต้องการของลูกค้าที่เกี่ยวข้องในด้านการใช้งาน คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ความแข็งแรงทนทาน

2. กำหนดลักษณะจำเพาะและศึกษารายละเอียด คือ การรวบรวมรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการ ออกแบบให้มากที่สุด รู้วิธีการเลือกใช้วัสดุ วิธีการผลิต

3. สังเคราะห์ความคิดในการออกแบบ คือการวิเคราะห์และหล่อหลอมความคิดเก่าและใหม่เข้าด้วยกัน จนทำให้เกิดสิ่งใหม่ขึ้น ซึ่งดีกว่า มีคุณค่ากว่า และอำนวยความสะดวกได้มากที่สุด

4. วิเคราะห์ ออกแบบ และปรับปรุง คือ การวิเคราะห์รายละเอียดของสิ่งที่จะออกแบบ ส่วนประกอบ หน้าที่ของแต่ละชิ้นส่วน วิธีการผลิตทำให้เป็นไปได้ในการทำการผลิตจำนวนมาก ความสะดวกรวดเร็ว ต้นทุนต่ำ แล้วจึงทำการออกแบบส่วนประกอบใหญ่ๆ และชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนให้มีความสัมพันธ์กันและสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ ขนาด ลักษณะรูปร่างที่เหมาะสม และทำการปรับปรุงเป็นไปตามความต้องการ และการใช้งานให้มากที่สุด

5. ทดสอบและประเมิน เมื่อสร้างต้นแบบเสร็จก็ทำการทดสอบและปรับปรุงจนกระทั่งชิ้นงาน มีคุณภาพ สามารถทำงานได้ตามความต้องการ

6. นำเสนอ

2.4.3 ข้อที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

สิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบ คือ ความแข็งแรง(Strength) ซึ่งจัดว่าเป็นองค์ประกอบหลักในการกำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วน จึงกล่าวได้ว่าความแข็งแรงจึงเป็นข้อพิจารณาในการออกแบบที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการครากหรือแตกหักได้ และสิ่งอื่นๆอีกหลายอย่าง ที่จะต้องพิจารณาซึ่งอาจจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการกระทบกระเทือนต่อการออกแบบชิ้นส่วน ไม่ให้เกิดการเปลี่ยนรูปเกินขนาดหรือโก่งงอได้ และในสภาพการออกแบบที่อยู่ภายใต้ข้อกำหนด ข้อพิจารณาบางอย่างในการออกแบบอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดวิกฤตขึ้นได้ ซึ่งนั่นก็หมายถึงชิ้นส่วนหรือเครื่องจักรกลที่ได้ออกแบบมีความเสียหายไม่สามารถใช้งานได้ หรือ ใช้งานได้ไม่ถึงขีดความสามารถตามที่ออกแบบไว้

2.4.4 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

คุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สามารถช่วยให้ตัดสินใจเลือกใช้ชนิดของวัสดุตามความต้องการในการออกแบบได้ถูกต้อง คุณสมบัติทางกลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.1 ความเค้น (Stress)

ตามความเป็นจริงความเค้นหมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้คือ

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.6)$$

เมื่อ σ = ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นปาสกาล (Pa, 1 Pa = 1N/m²) หรือ kgf/mm² หรือ psi (lbf/in²)

P = แรงภายนอกที่มากระทำ มีหน่วยเป็น N หรือ kgf หรือ lbf

A = พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ : m² หรือ mm² หรือ in²

โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

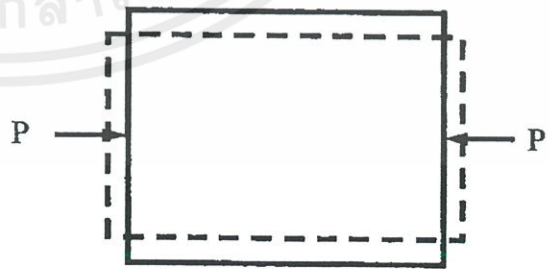
1. ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน ดังรูป 2.3



a) แรงดึง (Tension)

รูปที่ 2.3 ความเค้นแรงดึง



b) แรงกด (Compression)

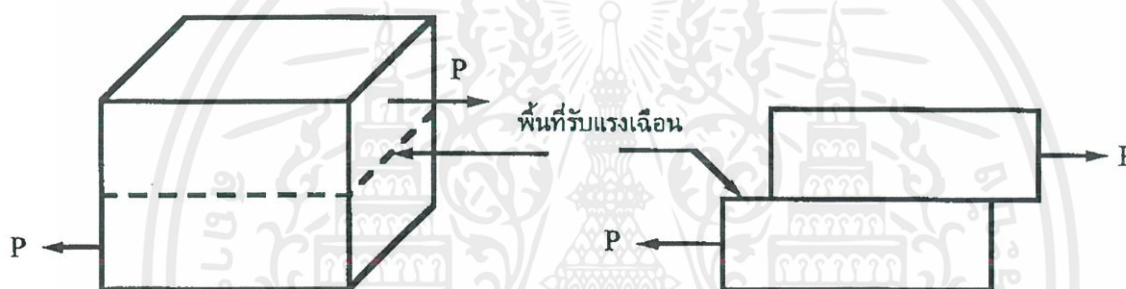
รูปที่ 2.4 ความเค้นแรงอัด

2. ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง ดังรูป 2.4

3. ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกัน มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง A ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน ในทางปฏิบัติความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีทั้ง 3 แบบนี้พร้อม ๆ กันดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 ความเค้นแรงเฉือน

2.4.4.2 ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain)

เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวยเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวงยางยืด, สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

2. การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain)

เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากกระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิสัยการคืนรูป (Elastic Limit) แล้ว วัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิสัยการคืนรูปแล้ววัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation)

นอกจากความเค้นทั้ง 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีความเค้นอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุประเภทโพลีเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่าความเค้นกึ่งยืดหยุ่นจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม

การวัดและคำนวณค่าความเค้นมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

1. แบบเส้นตรง

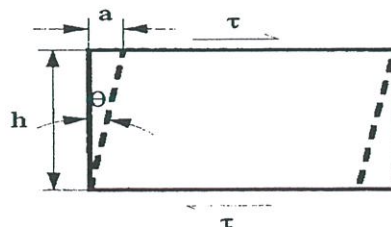
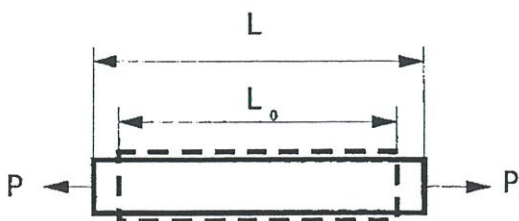
ความเค้นที่วัดได้จะเรียกว่า ความเค้นเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากกระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ดังรูปที่ 2.6 ค่าของความเค้นจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ดังสมการ

$$e = \frac{\Delta L}{L_o} \tag{2.7}$$

เมื่อ e = ความเค้นเชิงเส้น

ΔL = ความยาวที่เปลี่ยนไป ($L - L_o$)

L_o = ความยาวเดิมของวัสดุที่สนใจ หรือ Gage Length



2. แบบเฉือน

ความเครียดเฉือน (Shear Strain) ใช้กับกรณีที่แรงที่กระทำมีลักษณะเป็นแรงเฉือน (τ)

ดังรูป 2.7 ค่าของความเครียดจะเท่ากับระยะที่เคลื่อนที่ไปต่อระยะห่างระหว่างระนาบ ดังสมการ

$$\gamma = \frac{a}{h} \quad (2.8)$$

เมื่อ $\gamma = \tan \theta \approx \theta$ (Radian ในกรณีที่มุมเล็ก)

a = ระยะที่เคลื่อนที่ไป (Displacement)

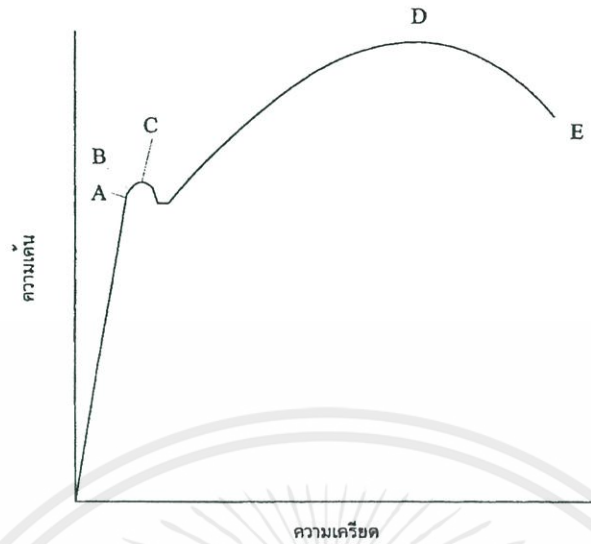
h = ระยะห่างระหว่างระนาบ

θ = มุมที่เปลี่ยนไป

จะเห็นว่าค่าของความเครียดทั้งสองแบบไม่มีหน่วย เพราะตัวตั้งและตัวหารมีหน่วยเป็นความยาวอยู่แล้ว

2.4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain Relationship)

ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ในที่นี้เราจะใช้เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) ซึ่งได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เป็นหลัก โดยจะพล็อตค่าของความเค้นในแกนตั้งและความเครียดในแกนนอน ดังรูป 2.4 การทดสอบแรงดึง นอกจากจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดแล้ว ยังจะแสดงความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ ความเปราะ เหนียวของวัสดุ (Brittleness and Ductility) และบางครั้งอาจใช้บอกความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ (Formability) ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.8 แสดงเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point)

2.4.5 คาน

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจำนวนมากรับแรงในแนวตั้งลักษณะเช่นเดียวกับคานทั่วไป ฉะนั้นจึงใช้ความเค้นดัด (Bending stress) และการยุบตัว (Deflection) เป็นข้อจำกัดในการออกแบบความเค้นดัดสูงสุดเกิดที่ผิวนอกสุดของคาน ณ ตำแหน่งที่โมเมนต์ดัด (Bending moment) มีค่าสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma_b = \frac{M_c}{I} \quad (2.9)$$

เมื่อ	M	คือ โมเมนต์ดัด
	C	คือ ระยะจากแกนสะเทิน (Neutral axis) ไปยังผิวนอกสุด ดังรูป
	I	คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่

โดยทั่วไปแล้วความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในคานจะมีค่าน้อยมาก จนกระทั่งไม่ต้องนำมาคิดในการออกแบบก็ได้ แต่ถ้าคานสั้นและมีหน้าตัดสูงมาก ความเค้นเฉือนก็อาจจะมีค่ามากได้ สำหรับคานที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดที่แกนสะเทิน และมีค่า 1.5 เท่าของความเค้นเฉือนเฉลี่ยหรือเท่ากัน

$$\tau = \frac{3V}{2A} \quad (2.10)$$

สำหรับหน้าตัดกลม

$$\tau = \frac{4V}{3A} \quad (2.11)$$

โดยที่ V คือ แรงเฉือนสูงสุด

A คือ พื้นที่หน้าตัด

2.4.5.1 การบิด

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีพื้นที่หน้าตัดกลมอยู่ภายใต้โมเมนต์บิด (Torque) จะบิดไปเป็นมุมเท่ากับ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (2.12)$$

โดยที่ T คือ โมเมนต์บิด

L คือ ความยาว

J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่ (Polar area moment of inertia)

$$\theta = \frac{\pi}{32} d^4 \quad \text{สำหรับท่อนกลมตัน} \quad (2.13)$$

$$\theta = \frac{\pi}{32} (d^4 - d_i^4) \quad \text{สำหรับท่อนกลมกลวง} \quad (2.14)$$

โดยที่ d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก

d_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

ความเค้นเฉือนที่เกิดจากการบิดจะมีค่าสูงสุดที่ผิวนอกของท่อนกลมนี้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ r คือ รัศมีนอกของท่อนกลม

ในการที่จะใช้สมการนี้จะจำเป็นต้องหาค่าโมเมนต์บิดให้ได้เสียก่อน สำหรับเครื่องจักรกลที่ส่งผ่านกำลังมาตามเพลลา จะคำนวณหาค่าโมเมนต์บิดได้จาก

$$W_p = T\omega = 2\pi nT \quad (2.16)$$

โดยที่ W_p คือ กำลังงานเป็น W

T คือ โมเมนต์บิดเป็น Nm

ω คือ อัตราเร็วเชิงมุมเป็น rad/s

n คือ ความเร็วรอบเป็น rev/s

สำหรับในระบบหน่วยอังกฤษซึ่งยังมีใช้กันอยู่จะบอกกำลังงานเป็นแรงม้า และคำนวณ โมเมนต์บิดได้จาก

$$hp = \frac{Tn}{63000} \quad (2.17)$$

โดยที่ T คือ โมเมนต์บิดเป็น in-lb

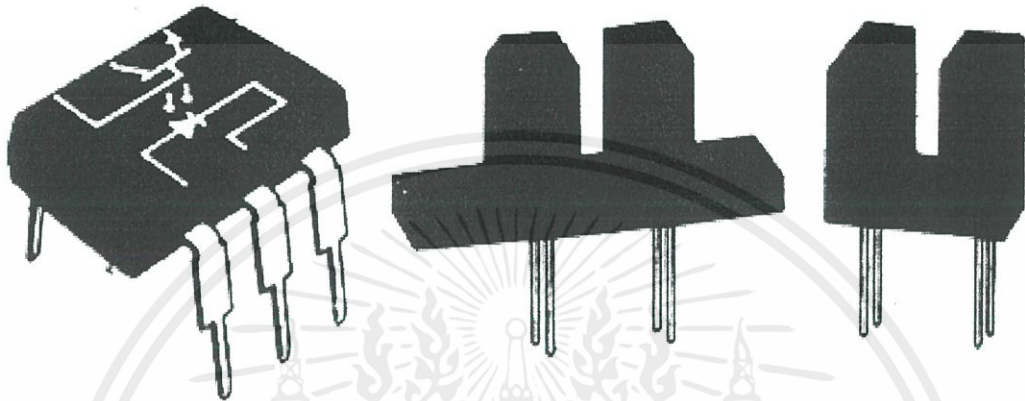
n คือ ความเร็วรอบเป็น rev/min

2.5 ทฤษฎีอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์

2.5.1 Opto Isolator

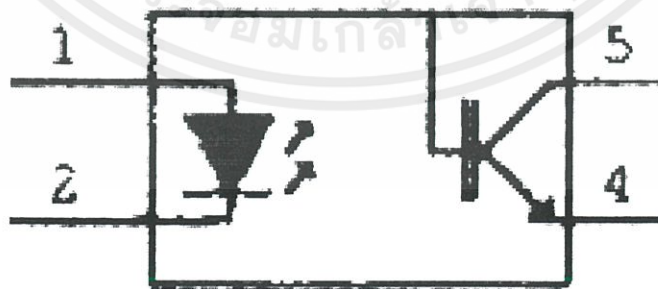
ในบางครั้งเราจำเป็นต้องควบคุมการทำงานจากวงจรหนึ่งไปอีกรวงจรหนึ่ง โดยการแยก Ground ออกจากกัน เนื่องจากต้องการความปลอดภัยจากไฟฟ้าแรงสูง จากวงจรหนึ่งไหลมายัง Ground ปัญหาของวงจรนี้แก้ไขได้โดยอาศัย Opto Isolator อุปกรณ์แยกกันทางแสงหรือออฟโตไอโซเลเตอร์ (Opto-Isolator) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนที่ใช้การเชื่อมต่อกันทางแสง ด้วยทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงที่คงที่ภายในตัวอุปกรณ์ ใช้หลักการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และเปลี่ยนกลับจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม ใช้สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างวงจร 2 วงจรที่ต้องการ

แยกกันทางไฟฟ้าอย่างเด็ดขาด เพื่อป้องกันการรบกวนกันของสัญญาณไฟฟ้า แบ่งออกเป็นหลายชนิด แต่ละชนิดจะประกอบด้วย LED ส่งแสงซึ่งปกติจะเป็นชนิดอินฟราเรดและตัวรับแสงที่เป็น โฟโตทรานซิสเตอร์หรือโฟโตไดโอด โดยจะถูกผลิตรวมอยู่ในตัวเดียวกันรูปร่างและลักษณะของ อุปกรณ์แยกกันทางแสง แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะของ Opto Isolate

อุปกรณ์แยกกันทางแสงเบื้องต้น จะประกอบด้วยอุปกรณ์กำเนิดแสง ส่วนมากเป็นพวก LED กำเนิดแสงในย่านอินฟราเรด และอุปกรณ์รับแสงมักเป็นพวกโฟโตทรานซิสเตอร์ ทั้ง LED และ โฟโตทรานซิสเตอร์มักถูกสร้างไว้ในตัวเดียวกัน และต่อขาออกมาใช้งานแต่ละส่วน อาจสร้างขึ้นในรูป IC ดังรูปที่ 2.10 หรือสร้างแยกกันชัดเจนวางแนวขนานห่างกัน มีช่องว่างกั้นกลาง เพื่อให้อุปกรณ์บังแสง เช่น เฟืองหรือจานกลมแบนเจาะรูมาเคลื่อนที่ตัดผ่านลำแสงตรงบริเวณช่องว่าง วงจรภายใน อุปกรณ์แยกกันทางแสง ดังรูปที่ 2.10

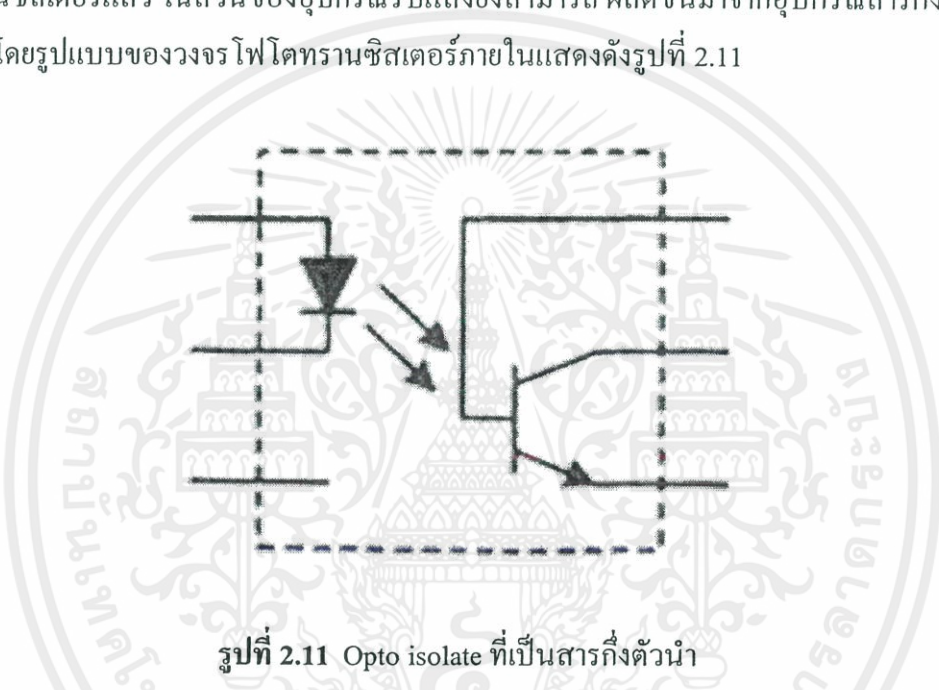


รูปที่ 2.10 วงจรภายในอุปกรณ์แยกกันทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

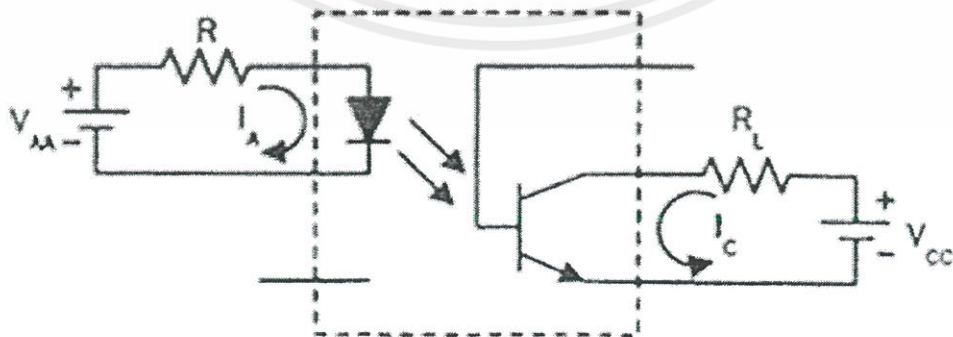
2.5.1.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์แยกกันทางแสง

เมื่อจ่ายแรงดันไบอัสให้ LED และ โฟโตทรานซิสเตอร์ส่งผลให้ LED เปล่งแสงขึ้นส่องผ่านไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์ ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแส มีกระแส I_C ไหลในวงจรไปยังภาระ R_L แรงดันระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองด้าน ทั้ง LED และด้านโฟโตทรานซิสเตอร์ ต้องใช้แรงดันมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะระหว่างตัวอุปกรณ์ทั้งสอง การจัดค่าแรงดันไบอัสที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ และพหุเหมาะกับค่าทนแรงดันของอุปกรณ์ด้วย นอกจากอุปกรณ์แยกกันทางแสงจะทำมาจาก LED และโฟโตทรานซิสเตอร์แล้ว ในส่วนของอุปกรณ์รับแสงยังสามารถผลิตขึ้นมาจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอื่น ๆ ได้ด้วย โดยรูปแบบของวงจรโฟโตทรานซิสเตอร์ภายในแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 Opto isolate ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ

รูปแบบของการนำไปใช้เพื่อทำการแยกกันทางแสงมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์แยกกันทางแสงเช่น โฟโตทรานซิสเตอร์หรือโฟโตไดโอดดังรูปที่ 2.12

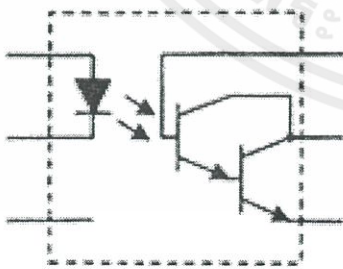


รูปที่ 2.12 วงจรการนำอุปกรณ์แยกกันทางแสงชนิดโฟโตทรานซิสเตอร์มาใช้

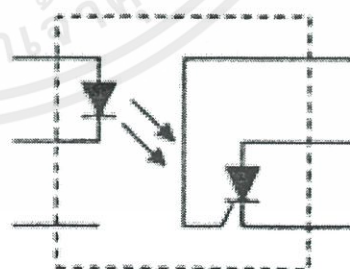
2.5.1.2 อุปกรณ์แยกกันทางแสงแบบต่างๆ

อุปกรณ์แยกกันทางแสงมีมากมายหลายแบบ อุปกรณ์กำเนิดแสงใช้ LED อินฟราเรดเป็นหลัก ส่วนอุปกรณ์รับแสงสามารถผลิตขึ้นได้จากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำหลายชนิด เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับวงจรและอุปกรณ์ทางเอาต์พุตที่จะเชื่อมต่อไป ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 6 ชนิดได้แก่

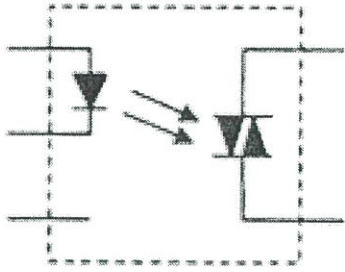
1. อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตคาร์ลิงตัน ช่วยให้สามารถใช้งานได้กับวงจรที่ต้องการกระแสทำงานสูง แต่ความไวในการทำงานของวงจรลดลง ดังรูปที่ 2.13
2. อุปกรณ์รับแสงเป็น LASCR ช่วยการต่อเชื่อมวงจรทางอินพุตที่มีระดับแรงดันต่ำ ไปควบคุมวงจรทางเอาต์พุตที่มีระดับแรงดันสูง หรืออุปกรณ์เครื่องมือกลทางไฟฟ้าบางชนิดดังรูปที่ 2.14
3. อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตไดโอด แยก สร้างขึ้นมาเพื่อประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์กระตุ้นขาเกตไตรแอก โดยที่วงจรอินพุตมีระดับแรงดันต่ำ ดังรูปที่ 2.15
4. อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตเฟต ใช้งานได้กับวงจรเอาต์พุตที่ต้องการอิมพีแดนซ์สูงในการต่อเชื่อม ที่ต้องการแรงดันในการทำงานมากกว่ากระแสในการทำงาน ดังรูปที่ 2.16
5. อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตแนนด์เกต เป็นพวกอุปกรณ์ดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์ใช้ในการต่อเชื่อมวงจรมัลติเพลกซ์ และวงจรดิจิทัลเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 2.17
6. อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตไดโอดต่อร่วมกับ NPN ทรานซิสเตอร์ สามารถใช้งานได้กับภาระที่ต้องการกระแสสูงขึ้น พร้อมกับมีการขยายสัญญาณในตัวก่อนส่งต่อไปให้วงจรเอาต์พุต ดังรูปที่ 2.18



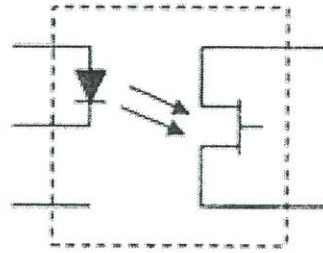
รูปที่ 2.13 อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตคาร์ลิงตัน



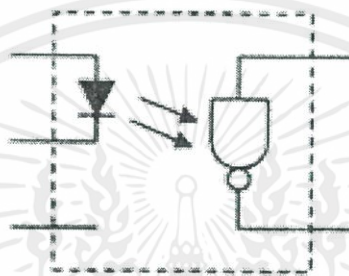
รูปที่ 2.14 อุปกรณ์รับแสงเป็น LASCR



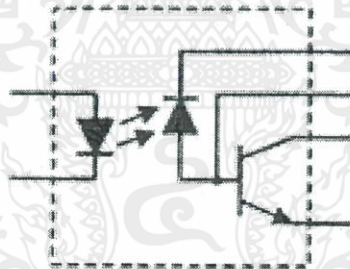
รูปที่ 2.15 อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตไดโอดแอก



รูปที่ 2.16 อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตเฟต

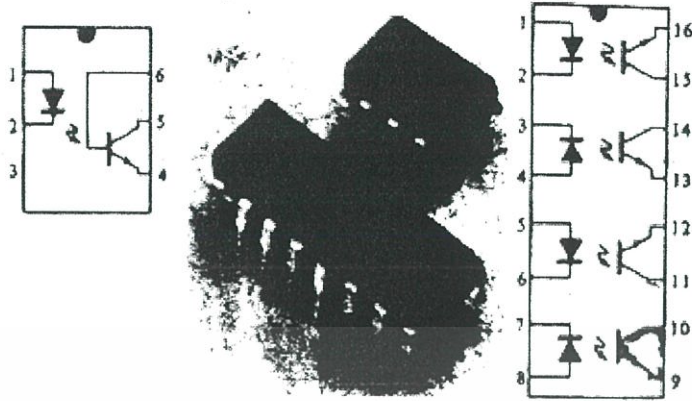


รูปที่ 2.17 อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตเนนค้เกด



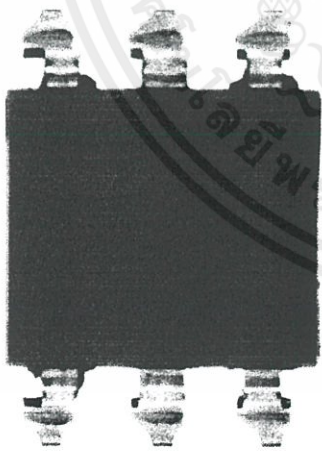
รูปที่ 2.18 อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตไดโอดต่อร่วมกับ NPN ทรานซิสเตอร์

อุปกรณ์แยกกันทางแสงหรือออฟโตไอโซเลเตอร์ ส่วนมากมักผลิตขึ้นมาในรูป IC อาจมี
 อุปกรณ์แยกกันทางแสงชุดเดียวหรือหลายชุดก็ได้ แสดงดังรูปที่ 2.19

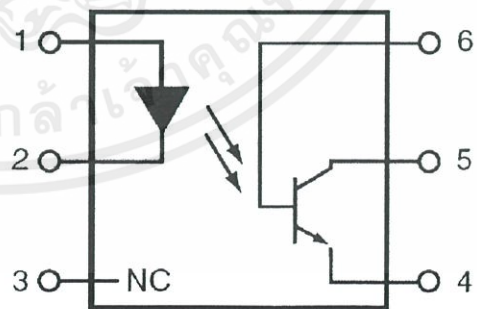


รูปที่ 2.19 อุปกรณ์แยกกันทางแสงในรูป IC

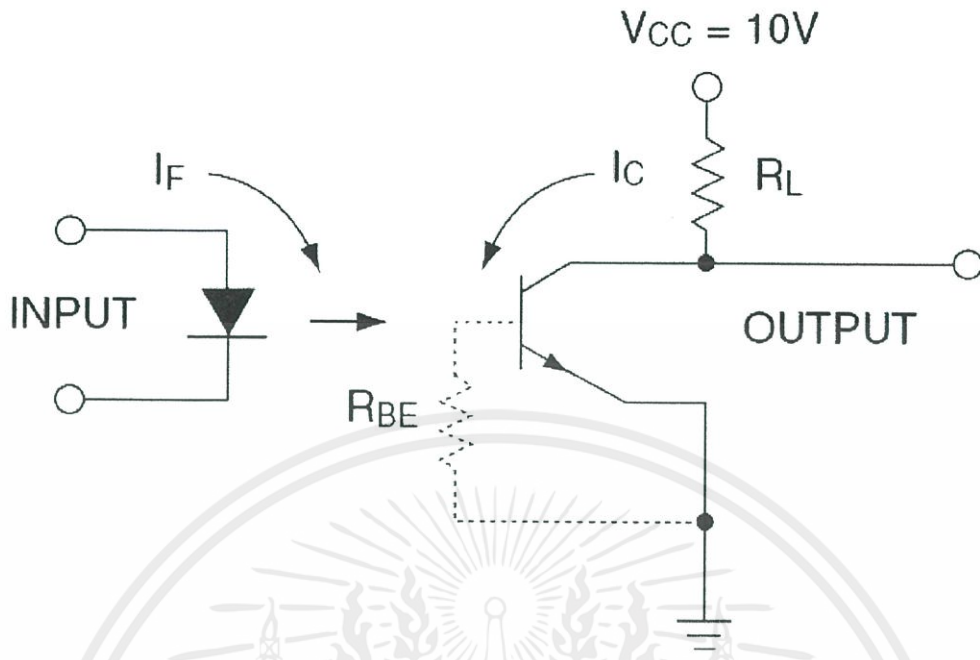
ซึ่ง Opto Isolator ที่เราเลือกใช้ในโครงงานนี้คือ ไอซีเบอร์ 4N35 เป็นอุปกรณ์แยกกันทางแสงแบบโฟโตทรานซิสเตอร์ เป็นไอซีสำเร็จรูปที่ภายในประกอบด้วยไดโอดแบบเปล่งแสงอินฟราเรด (Infrared) เมื่อทำการป้อนแรงดันที่เหมาะสมจะทำให้หลอดอินฟราเรดที่อยู่ภายในเปล่งแสงอินฟราเรดออกมา และในด้านตรงข้ามของไอซีจะมีอุปกรณ์รับแสงชนิดโฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) ดังรูปที่ 2.20 โฟโตทรานซิสเตอร์ ได้รับแสงที่มาจากแอลอีดีฝั่งตรงข้ามจะทำให้เกิดการนำกระแสจากขาคอลเลกเตอร์ (Collector) ไปยังขาอีมิเตอร์ (Emitter) ได้ในการนำไปใช้งานจะต้องต่อตัวต้านทานที่ขาคอลเลกเตอร์เพื่อทำการจำกัดกระแสที่จะนำไปใช้งานดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.20 ไอซีเบอร์ 4N35



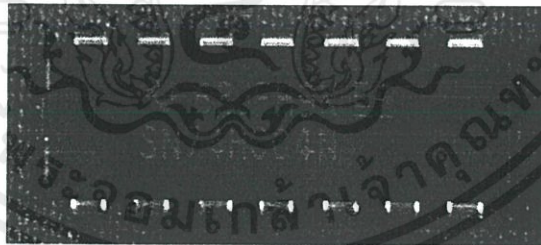
รูปที่ 2.21 วงจรภายในของไอซีเบอร์ 4N35



รูปที่ 2.22 การต่อตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแส

2.5.2 อินเวอร์ตติ้งบัฟเฟอร์

ไอซีเบอร์ 74HC04 นี้เป็นไอซีสำเร็จรูปของบริษัท Philips Semiconductor เป็นไอซี Inverter สำเร็จรูปมีจำนวนอินพุต (Input) และ เอาท์พุต (Output) ทั้งหมด 8 ช่อง หรือ 8 พอร์ตดังรูปที่ 2.23



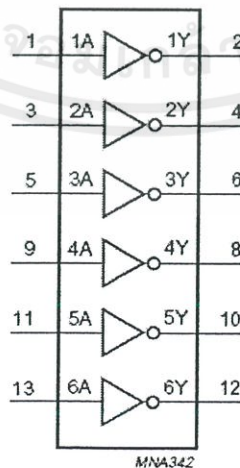
รูปที่ 2.23 ไอซีเบอร์ 74HC04

โดยรับค่าที่เข้ามาเป็นสัญญาณตรรกะหรือ ลอจิก (Logic Input Signal) จะทำการกลับสถานะของสัญญาณตรรกะที่เข้ามา ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การทำงานของไอซีเบอร์ 74HC04

INPUT	OUTPUT
nA	nY
L	H
H	L

ซึ่งในโครงงานนี้เราเลือกไอซีเบอร์ 74HC04 นี้เพื่อทำการกลับสถานะของสัญญาณตรรกะที่เข้ามา เรายังใช้ไอซีเบอร์ 74HC04 เป็นวงจรมัลติเพล็กซ์หรือวงจรถักชน ดังรูปที่ 2.24 เป็นวงจรที่มีคุณสมบัติคือความต้านทานอินพุตมีค่าสูง ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าต่ำและมีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ 1 จากการที่มันมีความต้านทานอินพุตสูงทำให้ไม่กระทบต่อสัญญาณของวงจรภาคหน้าและ จากการที่มีความต้านทานเอาต์พุตต่ำทำให้สามารถจ่ายกระแสไปยังโหลดได้มาก ซึ่งหมายถึงสามารถต่อโหลดที่มีความต้านทานต่ำได้ อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการจ่ายกระแสขึ้นกับขีดจำกัดของตัวบัฟเฟอร์เอง ด้วย จากคุณสมบัติดังกล่าววงจร บัฟเฟอร์สามารถนำไปใช้งานเพื่อแก้ปัญหา loading effect ได้ โดยไอซีเบอร์ 74HC04นี้เป็นไอซีบัฟเฟอร์ชนิดหนึ่ง โดยแรงดัน output ที่ได้ขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนเป็นไฟเลี้ยงให้แก่ไอซี ซึ่งไอซีเบอร์ 74HC04 สามารถทนแรงดันไฟได้มากที่สุด 6 โวลต์ ตาม datasheet ดังตารางที่ 2.2 ดังนั้นแรงดันไฟที่ออก จะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 6 โวลต์ ในกรณีที่เราป้อนแรงดันไฟเลี้ยงให้แก่ไอซีเท่ากับ 6 โวลต์ แต่ในโครงงานนี้เราต้องการสัญญาณตรรกะที่ 5 โวลต์ ดังนั้นจึงป้อนแรงดันไฟเลี้ยงไอซีที่ 5 โวลต์เท่านั้น



รูปที่ 2.24 วงจรมัลติเพล็กซ์ภายในไอซีเบอร์ 74HC04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

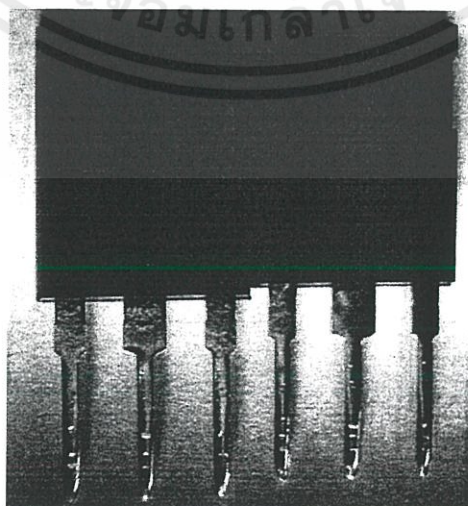
ตารางที่ 2.2 แสดงแรงดันไฟที่ทนได้และแรงดันที่ออก

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	74HC04			74HCT04			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.	
V _{CC}	supply voltage		2.0	5.0	6.0	4.5	5.0	5.5	V
V _I	input voltage		0	–	V _{CC}	0	–	V _{CC}	V
V _O	output voltage		0	–	V _{CC}	0	–	V _{CC}	V

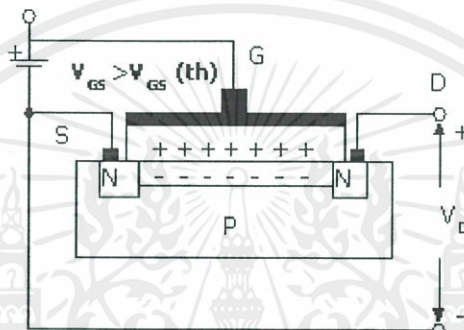
2.5.3 มอสเฟตกำลัง

มอสเฟตกำลัง (Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำซึ่งได้รับ การเคลือบผิวบางส่วนด้วยโลหะออกไซด์ ข้อเด่นของมอสเฟตกำลังนี้คือ มีค่าความต้านทานอินพุต (หมายถึงค่าความต้านทานที่เกต) สูงมาก จึงไม่ทำให้เกิดการรั่วไหลของกระแส ในปัจจุบันมีมอสเฟตกำลังที่มีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 1,000 โวลต์ แต่มีพิกัดกระแสได้ไม่เกิน 100 แอมแปร์ แต่จุดเด่นอยู่ที่ความถี่ในการสวิตช์ที่มากถึงระดับร้อยกิโลเฮิร์ตซ์ ช่วงเวลาการสวิตช์ (Switching) ของมอสเฟตกำลังจะมีค่าอยู่ระดับนาโนวินาที ถึงระดับมิลลิวินาที โดยขึ้นอยู่กับชนิดและรุ่นของมอสเฟตกำลัง ซึ่งในโครงการนี้เลือกใช้มอสเฟตชนิด N หรือ N-Mos เพื่อใช้ในการขับกระแสและแรงดันในการขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยมอสเฟตที่เลือกใช้คือ มอสเฟตเบอร์ IRFP150N ของบริษัท International Rectifier ดังรูปที่ 2.25 ที่สามารถทนแรงดันได้มากถึง 100 โวลต์ และสามารถขับกระแสได้มากถึง 42 แอมแปร์ มีความต้านทานภายในเพียง 0.036 โอห์ม ซึ่งมีคุณสมบัติในการสวิตช์ที่เร็วน้อยกว่า 300 ไมโครวินาที ที่ 2% duty cycle

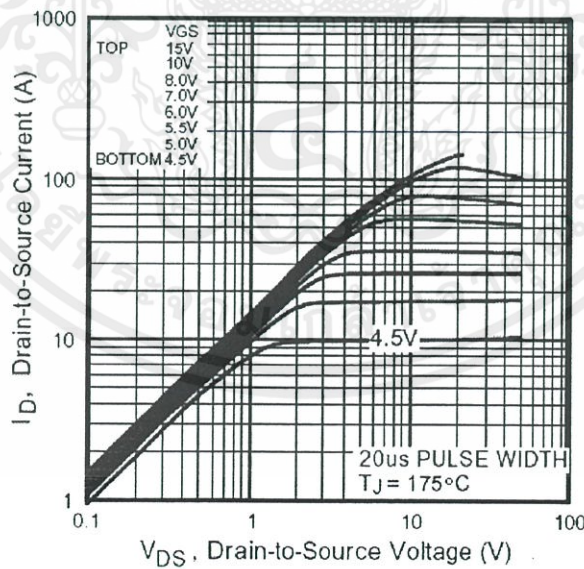


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เฉพาะเจ้าของเอกสารเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของมอสเฟตกำลัง IRFP150N นี้จากรูปที่ 2.26 เนื่องจากระหว่างสารเอ็นที่ขาเดรนและซอร์สเป็นสาร P เมื่อป้อนแรงดันบวกเข้าที่ขาเกต จะเกิดประจุลบขึ้นทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากสารเอ็นที่ขาซอร์สมายังเดรนได้ จึงทำให้มอสเฟตกำลังทำงานได้ ดังนั้นมอสเฟตกำลังนี้จะทำงานได้ต้องป้อนแรงดันที่ขาเกตเป็นแรงดันบวกเท่านั้น และแรงระหว่างขาเกตและซอร์ส (V_{gs}) ที่ป้อนให้นี้ต้องมีค่ามากกว่า $V_{gs(th)}$ (Gate Source threshold voltage) ขาเกต (Gate) และขาซอร์ส (source) V_{GS} ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.26 แสดงโครงสร้างของมอสเฟต



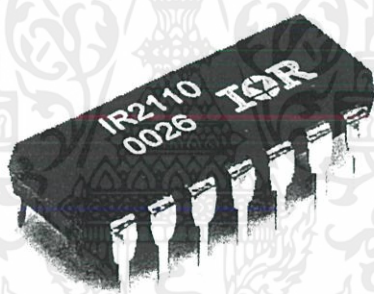
รูปที่ 2.27 แรงดัน V_{gs} ที่ใช้ในการทำงานของมอสเฟต

ความต้านทานระหว่างขาเดรนและขาซอร์ส $R_{DS(on)}$ จะขึ้นอยู่กับพิกัดแรงดันที่ทนได้ของมอสเฟตกำลัง ยิ่งทนได้สูงก็ยิ่งทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนและขาซอร์สมีค่ามากขึ้นซึ่งจะมีผลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อกำลังสูญเสียจากการนำกระแส (Conduction Losses) และค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิยังมีผลต่อค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนและขาซอสของมอสเฟตกำลัง เมื่อค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูงขึ้นค่าความต้านทานก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

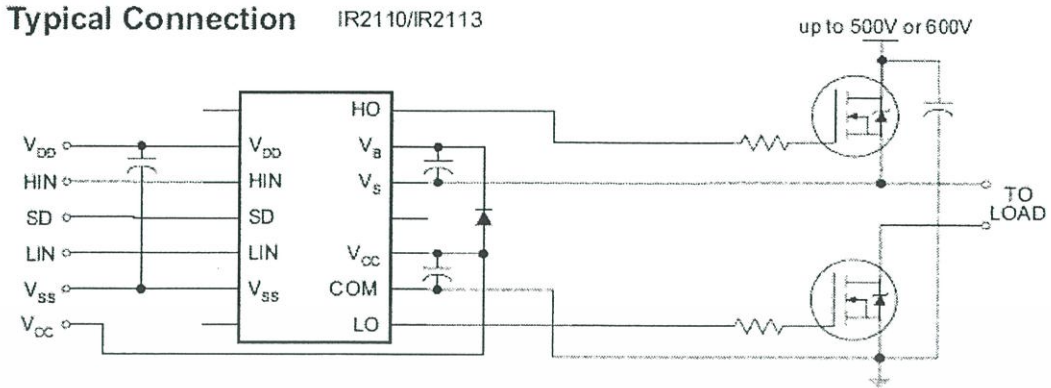
2.5.4 ไอซีควบคุมมอสเฟต

ในการควบคุมการทำงานของมอสเฟตในเวลาเดียวหลายตัวนั้นทำให้เกิดความยุ่งยาก และมีโอกาสเกิดปัญหาในจังหวะการทำงานได้มากในกรณีที่มอสเฟตตัวใดตัวหนึ่งทำงานช้ากว่าตัวอื่นอาจทำให้เกิดความเสียหายของอุปกรณ์อื่นได้ เพื่อความปลอดภัยและความสะดวกจึงนำเอาไอซีควบคุมมอสเฟตมาใช้ ในโครงการนี้ใช้ไอซีควบคุมมอสเฟตเบอร์ IR2110 ของบริษัท International Rectifier ดังรูปที่ 2.28 ทั้งหมด 2 ตัว เพื่อใช้ควบคุมให้มอสเฟต 4 ตัว



รูปที่ 2.28 ไอซีควบคุมมอสเฟต IR2110

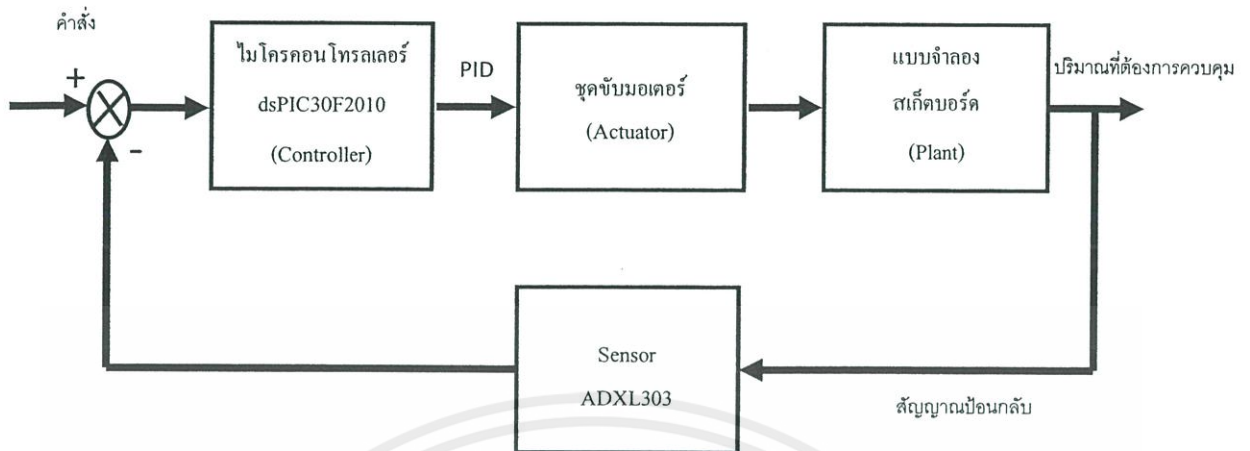
โดยไอซีตัวแรกจะควบคุมให้มอสเฟต 2 ตัวควบคุมทิศทางของแรงดันและกระแสให้ทำงานจากซ้ายไปขวา และอีกตัวหนึ่งทำงานจากขวาไปซ้าย ภายในไอซีควบคุมมอสเฟต IR2110 นี้จะทำการแบ่งการควบคุมมอสเฟตออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดของ Hi และ Lo ดังรูปที่ 2.28 ซึ่งทั้ง 2 ชุดจะทำงานสลับกันเมื่อชุดใดชุดหนึ่งทำงานอีกชุดหนึ่งจะไม่ทำงาน ความเร็วในสวิตชิ่งให้กับมอสเฟตของไอซี IR2110 จะอยู่ที่ 94 นาโนวินาที การทำงานของไอซีควบคุมมอสเฟต IR2110 จะขึ้นอยู่กับขา input ซึ่งจะมี 2 ชุด โดยแบ่งเป็น Hi-in และ Lo-in เมื่อมีการป้อนสัญญาณเข้าที่ขา input จะทำให้เกิดแรงดันที่ขา Output ของชุดนั้น ออกตามไฟเลี้ยงที่ป้อนให้แก่ขา Vcc



รูปที่ 2.29 ไอซีควบคุมฟอสเฟต IR2110 แบ่งการทำงานออกเป็น Hi และ Lo

2.6 ทฤษฎีและหลักการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในโครงการนี้มีความจำเป็นที่เราจะต้องออกแบบ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ดีและมีความสามารถสูงไม่ว่าจะเป็นการใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์ และการขับมอเตอร์หรือการนับความถี่ด้วยโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุต เพื่อนำไปประยุกต์เพื่อให้ได้จุดประสงค์ตามโครงการและเกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด โครงการนี้ผู้จัดทำจึงเลือกใช้หน่วยประมวลผลเร็วประกอบกับมีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ร่วมด้วย คณะผู้จัดทำจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 เป็นหน่วยประมวลผลหลักของโครงการ ผู้จัดทำโครงการออกแบบให้มีการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) จากเซนเซอร์และระบบควบคุมแบบ PID เพื่อไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยตรงโดยการบังคับล้อให้สเก็ตบอร์ดรักษาสมดุลให้สมดุลจะเป็นการตอบสนองจากเซนเซอร์โดยตรง สำหรับโครงการนี้เลือกใช้ Sensor (ADXL303) เพราะมีความไวในการตอบสนองมากกว่าเซนเซอร์ตัวอื่นอีกทั้งยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อีกด้วย



รูปที่ 2.30 แสดงโครงสร้างระบบควบคุมแบบเปิดของสเก็ทบอร์ด

สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้รวมไปถึงข้อมูลและคุณสมบัติของอุปกรณ์นั้นๆ ผู้จัดทำได้อธิบายโดยสังเขปดังนี้

2.6.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

2.6.1.1 คุณสมบัติของ dsPIC30F2010

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

2.6.1.2 คุณสมบัติด้านการประมวลผล

1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูแบบ RISC
2. มีความสามารถในการประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 30 MIPS (30 ล้านคำสั่งต่อวินาที)
3. มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สามารถป้องกันการอ่านได้ และสามารถโปรแกรมตัวเอง โดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์
5. ใช้สถาปัตยกรรมแบบ RISC โดยมี 84 ล้านคำสั่งมาตรฐาน รองรับการอ้างอิงตำแหน่งแอดเดรสแบบต่างๆ 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. รองรับสัญญาณความถี่นาฬิกาจากแหล่งภายนอกไปจนถึง 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. รองรับแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้สูงสุด 62 แหล่ง รวมทั้งการอินเทอร์รัปต์จากภายนอก 3 แหล่ง สามารถจัดระดับความสำคัญของการอินเทอร์รัปต์ได้ 8 ระดับ
14. มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
15. มีเพาเวอร์-อนรีเซต, เพาเวอร์-อัปไทมเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ท-อัปไทมเมอร์
16. รองรับการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรม (ICSP : In-Circuit Serial Programming)
17. สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้
18. ย่านไฟเลี้ยง 2.5 ถึง 5.5V กระแสไฟฟ้า 2.6 ถึง 44 mA ที่ไฟเลี้ยง +5V ขึ้นอยู่กับการกำหนด
19. มีวอตช์ดีออกไทมเมอร์แบบโปรแกรมได้
20. มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรมีสัญญาณนาฬิกา หากผิดพลาดจะเข้าสู่โหมดสัญญาณนาฬิกา RC พลังงานต่ำทันที

2.6.1.3 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ (dsPIC30F2010)

1. ขาสัญญาณ I/O สามารถจ่ายกระแส (Source) และรับกระแส (Sink) ได้มากถึง 25mA
2. มี Timer ขนาด 16 บิต 3 ตัว สามารถต่อใช้งานรวมกันหรือโปรแกรมเป็น Timer ขนาด 32 บิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มีโมดูลตรวจจับสัญญาณดิจิทัลขนาด 16 บิต 4 ช่อง (Input Capture)
4. มีวงจรเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์อนุกรมแบบ SPI
5. มีวงจรติดต่อเข้ากับอุปกรณ์ผ่านระบบบัส I²C ทั้งแบบ 7 และ 10 บิต กำหนดเป็นมาสเตอร์หรือสเลฟได้
6. มี Output Compare/PWM ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ช่อง
7. มีวงจรสื่อสารและติดต่ออนุกรมแบบ UART จำนวน 1 ช่อง
8. มีโมดูลติดต่อกับตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ (QEIM)
9. มีวงจร A/D (แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล) ขนาด 10 บิต จำนวน 16 ช่อง
10. มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ 6 ช่อง
 - 10.1 เลือกรูปแบบเอาต์พุตได้ทั้งแบบคอมพลีเมนต์และแบบอิสระ
 - 10.2 มีโหมดปรับตำแหน่งการหมุนทั้งแบบปรับขอบสัญญาณและแบบกึ่งกลาง
 - 10.3 มีส่วนกำเนิดควิตซ์ไจเกิล 4 ชุด
 - 10.4 กำหนดฐานเวลาได้ 4 โหมด
 - 10.5 สามารถควบคุมสัญญาณเอาต์พุตได้
 - 10.6 สามารถเลือกขั้วของสัญญาณทางเอาต์พุตได้
 - 10.7 มีสัญญาณกระตุ้นเพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กับวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์
 - 10.8 มีโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์
 - 10.8.1 มีอินพุต Phase A, Phase B และรับสัญญาณพัลส์เพื่อกำหนดตำแหน่ง
 - 10.8.2 มีตัวนับตำแหน่งขนาด 16 บิต นับได้ทั้งขึ้นและลง
 - 10.8.3 แสดงสถานะของทิศทางการนับได้
 - 10.8.4 กำหนดโหมดของการวัดตำแหน่งได้ 2 โหมดคือ x2 และ x4
 - 10.8.5 มีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบดิจิทัลจากอินพุตแบบโปรแกรมได้
 - 10.8.6 กำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากตำแหน่งที่นับเกิน (rollover) หรือนับขาด (underflow)

2.6.1.4 คุณสมบัติด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

1. มีวงจรเฟรชข้อมูล จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

2. มีแอกทิวมูเลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้
3. มีตัวเลื่อนข้อมูลบาร์เรล 40 สเตจ ช่วยให้การประมวลผลข้อมูลที่จำนวนบิตมากๆ สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว
4. มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและหารเลข 17 บิต ในรูปของฮาร์ดแวร์จึงทำให้สามารถคูณและหารเลขได้อย่างรวดเร็ว
5. มีการคูณเลข 16 บิต ได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไชเกิล

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 มีคุณสมบัติที่ดีมาก และหลายคุณสมบัติสามารถนำมาประยุกต์ใช้กันในโครงการงานได้เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการพัฒนาโครงการงาน



รูปที่ 2.31 แสดงการจัดขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

2.6.2 การตอบสนองสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกกับ dsPIC30F2010

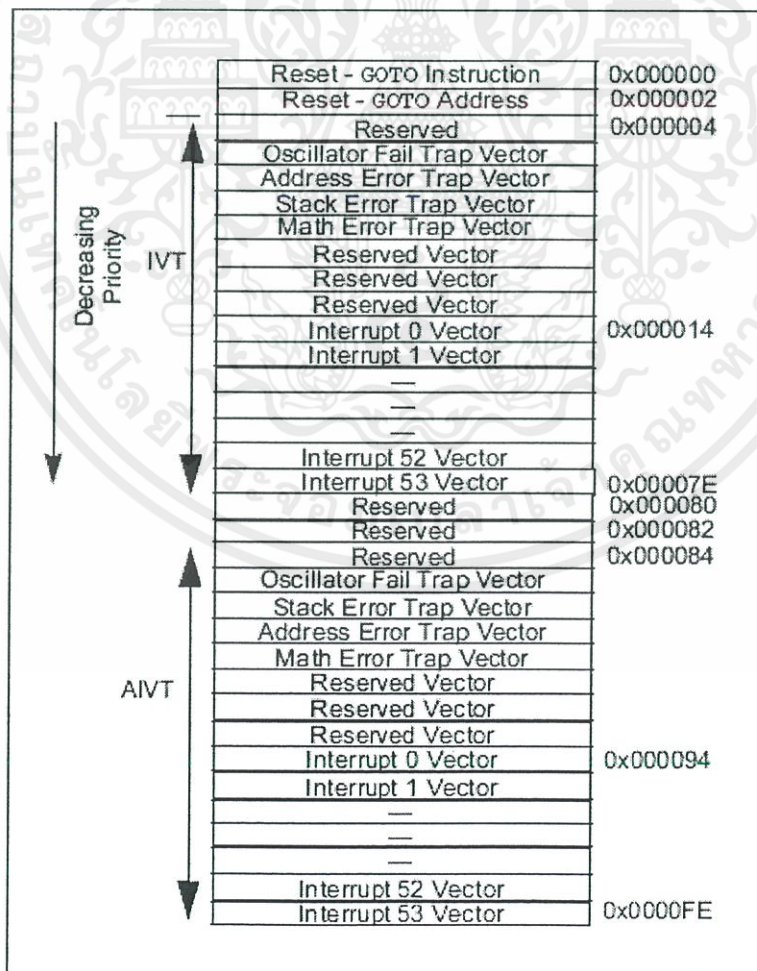
2.6.2.1 คุณสมบัติของอินเทอร์รัปต์ใน dsPIC30F2010

ใน dsPIC30F2010 ได้รับเพิ่มเติมความสามารถด้านการจัดการและตอบสนองอินเทอร์รัปต์อย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์และอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ ทำให้ข้อจำกัดด้านอินเทอร์รัปต์ที่เคยมีในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC หดหายไป อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีแหล่งกำเนิด

สัญญาณอินเทอร์รัปต์มากมาย แต่ด้วยการจัดการของโมดูลควบคุมอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Controller) ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Module) สามารถทำให้การจัดการเกี่ยวกับการเลือกใช้และการตอบสนองอินเทอร์รัปต์สามารถทำได้
 อย่างเป็นระบบและไม่ซับซ้อนเกินไป

1. กำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองอินเทอร์รัปต์ได้ 8 ระดับ
2. มีแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์ 44 แหล่ง
3. รองรับการขัดจังหวะจากโปรเซสเซอร์หรือโปรเซสเซอร์แทร์ป (processor trap) หรืออาจ
 เรียกว่า “การอินเทอร์รัปต์จากซีพียู” ได้อีก 4 แบบ
4. มีอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ 44 ตำแหน่ง รวมกับอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์อื่นเนื่องมาจากการ
 ทำงานของซีพียูหรือซีพียูแทร์ปเวกเตอร์อีก 4 ตำแหน่ง โดยได้รับการจัดสรรในรูปแบบ
 ของตาราง เรียกว่า “ตารางอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์” (Interrupt Vector Table : IVT)
5. มีตารางอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์เสริม (Alternate Interrupt Vector Table : AIVT) เพื่อรองรับ
 การดีบั๊ก



รูปที่ 2.32 แสดงรายละเอียดของอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์หลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

2.6.2.2 รีจิสเตอร์ควบคุมและแสดงสถานะการอินเทอร์รัปต์

1. INTCON1 และ INTCON2 เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมหลัก โดยรีจิสเตอร์ INTCON1 ใช้ในการเอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้แสดงสถานะของการอินเทอร์รัปต์ ในขณะที่รีจิสเตอร์ INTCON2 ใช้ควบคุมแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกและจัดการเกี่ยวกับตารางอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์เสริม
2. IFSx เป็นรีจิสเตอร์แสดงสถานะแฟลกของการอินเทอร์รัปต์ โดยตัวอักษร x หมายถึงหมายเลขของรีจิสเตอร์ เนื่องจากใน dsPIC มีรีจิสเตอร์ IFS ทั้งหมด 3 ตัว คือ IFS0, IFS1 และ IFS2 เหตุที่ต้องมีมากก็เนื่องมาจาก dsPIC มีแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์มากมายนั่นเอง
3. IECx เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเอ็นเอเบิลการตอบสนองอินเทอร์รัปต์ โดยตัวอักษร x หมายถึงหมายเลขของรีจิสเตอร์ เนื่องจากใน dsPIC มีรีจิสเตอร์ IEC ทั้งหมด 3 ตัว คือ IEC0, IEC1 และ IEC2
4. IPCx เป็นรีจิสเตอร์กำหนดระดับความสำคัญของแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์โดยตัวอักษร x หมายถึงหมายเลขของรีจิสเตอร์ เนื่องจากใน dsPIC มีรีจิสเตอร์ IPC ทั้งหมด 12 ตัวคือ IPC0 ถึง IPC11 เพื่อรองรับแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์ทั้ง 44 แหล่ง โดยแต่ละแหล่งสามารถกำหนดระดับความสำคัญได้ 8 ระดับ
5. SR เป็นรีจิสเตอร์แสดงสถานะของซีพียู โดยในบางบิตของรีจิสเตอร์ STATUS (บิต 5 ถึง 7 ซึ่งก็คือ บิต IPL0 ถึง IPL2) ถูกใช้ในการกำหนดระดับความสำคัญของการอินเทอร์รัปต์
6. CORCON เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง โดยในบิต 3 ของรีจิสเตอร์ CORCON ซึ่งก็คือ บิต 3 ถูกใช้ในการแสดงระดับความสำคัญของการอินเทอร์รัปต์

2.6.3 โมดูลไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ใน dsPIC30F2010

ใน dsPIC30F2010 จะบรรจุไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ไว้ 5 ตัว คือ ไทมเมอร์ 1 ถึง ไทมเมอร์ 5 โดยแต่ละตัวมีขนาด 16 บิต แต่สำหรับไทมเมอร์ 2 และ 3 กับไทมเมอร์ 4 และ 5 สามารถทำงานร่วมกันได้ โดยมีขนาดของไทมเมอร์ 32 บิต

2.6.3.1 คุณสมบัติของไทมเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน dsPIC30F2010 มีไทเมอร์/แกนเตอร์ขนาด 16 บิต ใช้งานรวมกัน 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 1 (T1), ไทเมอร์ 2 (T2) และ ไทเมอร์ 3 (T3)

2.6.3.2 คุณสมบัติของไทเมอร์ 1

1. มีรีจิสเตอร์นับความละเอียด 16 บิต
2. ทำงานได้ทั้งแบบซิงโครนัส และ อะซิงโครนัสเตอร์
3. สามารถทำงานร่วมกับขาอินพุตของไทเมอร์ได้
4. มีปริเทเลเตอร์สำหรับลดทอนความถี่การนับ
5. สามารถตรวจพบสัญญาณที่ขอบขาอินพุตไทเมอร์ได้
6. สามารถกำหนดอินเตอร์รัปต์จากการนับหรือจากการตรวจพบสัญญาณขอบขาอินพุตของไทเมอร์

2.6.3.3 คุณสมบัติของไทเมอร์ 2 และ 3

1. ไทเมอร์ 2 และ 3 เมื่อทำงานจะแยกอิสระต่อกัน มีลักษณะคล้ายไทเมอร์ 1
2. ถ้าไทเมอร์ 2 และ 3 ทำงานร่วมกัน รีจิสเตอร์จะมีขนาด 32 บิต
3. ทำงานร่วมกับขาอินพุตของไทเมอร์ได้
4. มีปริเทเลเตอร์สำหรับลดทอนความถี่การนับ
5. สามารถตรวจพบสัญญาณที่ขอบขาอินพุตไทเมอร์ได้
6. สามารถกำเนิดสัญญาณกระตุ้นการทำงานไปยัง โมดูล ADC ได้
7. สามารถกำหนดการอินเตอร์รัปต์จากการนับหรือจากการตรวจพบสัญญาณขอบขาอินพุตของไทเมอร์

2.6.3.4 รีจิสเตอร์ในโมดูลไทเมอร์ของ dsPIC30F2010

ในโมดูลไทเมอร์ของ dsPIC30F2010 มีรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ที่สำคัญอยู่ 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 TMRx (16-bit timer count register) เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์เก็บค่าไทเมอร์ กลุ่มนี้มี 5 ตัว แต่ใน dsPIC30F2010 มีเพียง 3 ตัว คือ TMR1, TMR2 และ TMR3

กลุ่มที่ 2 PRx (16-bit period register associated with the timer) เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์คาบเวลา ที่สัมพันธ์กับไทเมอร์ใน dsPIC30F2010 มี 3 ตัว คือ PR1-PR3

กลุ่มที่ 3 TxCON (16-bit control register associated with the timer) เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไทเมอร์ มี 5 ตัว เช่นกัน T1CON-T5CON แยกกันตามไทเมอร์หลักทั้ง 5 ตัว สำหรับกลุ่มนี้จะมีความพิเศษตรงที่ยังสามารถแยกย่อยออกไปได้ 3 แบบภายใต้รีจิสเตอร์เดียวกัน เนื่องจากไทเมอร์สามารถทำงานได้อีก 3 แบบตามลักษณะของฐานเวลา จึงทำให้รีจิสเตอร์ TxCON สามารถระบบได้เป็น TxCON ในแบบ A, B และ C

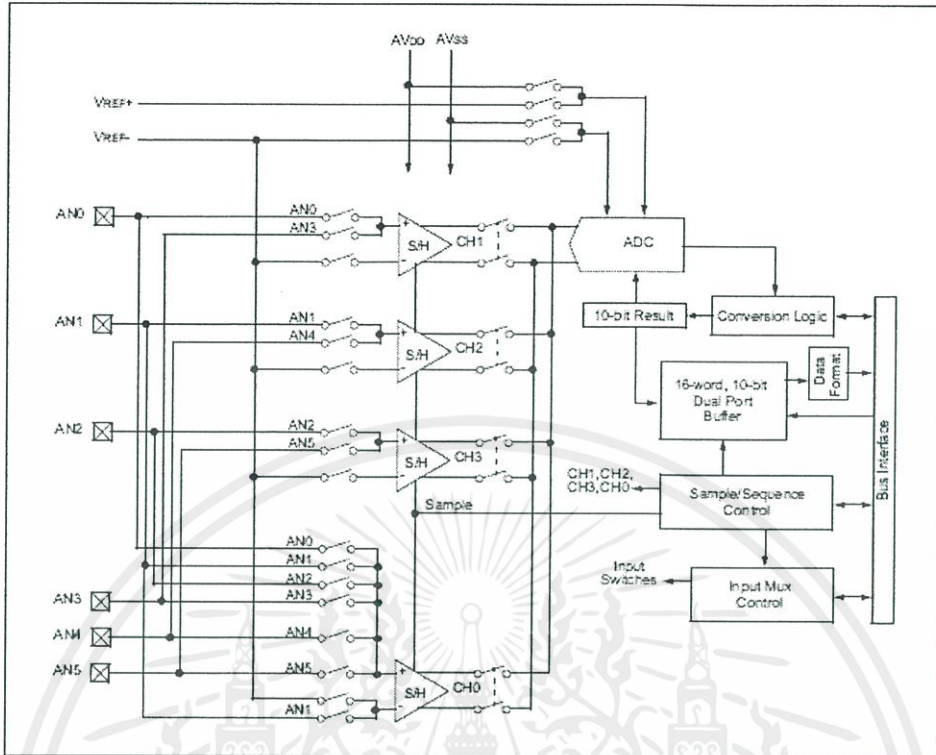
2.6.4 โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลภายใน dsPIC30F2010

เป็น โมดูลที่ใช้แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ซึ่งบรรจุโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลที่มีความละเอียด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง ที่ความละเอียดของการแปลงข้อมูล 10 บิต ทำให้ได้ข้อมูลดิจิตอลมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1023

2.6.4.1 คุณสมบัติของโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล

1. เป็นโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลที่มีความละเอียด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง
2. ใช้วิธีการแปลงสัญญาณแบบประมาณค่าหรือซัคเซสซีฟ แอ็ปพร็อกซิเมชัน (Successive Approximation)
3. มีอัตราเร็วในการสุ่มสัญญาณสูงสุด 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที (ksps) หรือ 500,000 จุด ตัวอย่างต่อวินาที
4. สามารถกำหนดให้ทำงานได้ขณะเข้าสู่โหมดสลีป (Sleep mode)
5. สามารถกำหนดระดับแรงดันอ้างอิงได้ทั้งจากภายในผ่านทางขา AV_{DD} กับ AV_{SS} และภายนอกผ่านทางขา V_{REF+} และ V_{REF-}

ในรูปที่ 2.33 เป็นไดอะแกรมการทำงานของโมดูล ADC ใน dsPIC30F2010 ซึ่งมีขาพอร์ต์ อินพุตอะนาลอกทั้งสิ้น 6 ขาคือ AN0-AN5 โดยมี 2 ขาที่สามารถใช้รับแรงดันอ้างอิงเพื่อขยายย่านของแรงดันอินพุต ภายในโมดูลมีวงจรสุ่มและเก็บค่าสัญญาณ (Sample and Hold : S/H) จำนวน 4 ชุด โดยทำงานร่วมกับส่วนควบคุมการมัลติเพล็กซ์สัญญาณอินพุต ทำให้สามารถจัดสรรวงจร S/H ให้สามารถรองรับกับสัญญาณอินพุตอะนาลอกทั้ง 6 ช่องได้ด้วยความเร็วสูงสุด



รูปที่ 2.33 โค้ดอะแกรมการทำงานอย่างง่ายของโมดูล ADC ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

สัญญาณที่ผ่านจากวงจร S/H จะถูกป้อนเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบซิงโครไนซ์ แอ็ปพร็อกซิเมชันขนาด 10 บิต ข้อมูลที่ได้จากการแปลงจะถูกพักไว้ในหน่วยความจำแรม จากนั้นจะได้รับการจัดรูปแบบตามที่ผู้พัฒนา โปรแกรมกำหนด จากนั้นข้อมูลจะถูกถ่ายถอดลงบนบัสข้อมูลเพื่อส่งไปยังซีพียูต่อไป

อีกองค์ประกอบหนึ่งที่ทำให้โมดูล ADC สามารถแปลงสัญญาณได้รวดเร็ว คือ ภายในโมดูล ADC มีบัฟเฟอร์ความจุ 16 เวิร์ด นั่นคือ สามารถรองรับข้อมูลที่ได้จากการแปลงสูงสุด 16 ชุดข้อมูล ดังนั้นเมื่อแปลงสัญญาณครั้งหนึ่งก็นำมาเก็บไว้ที่บัฟเฟอร์ หากบัฟเฟอร์ยังไม่เต็มก็สามารถกลับไปแปลงสัญญาณต่อได้ทันที โดยไม่ต้องรอให้การถ่ายถอดข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าการแปลงเสร็จสิ้น

2.6.4.2 รีจิสเตอร์หลักที่ใช้ในโมดูล ADC

1. ADCON1 (A/D Control Register 1) รีจิสเตอร์ควบคุมโมดูล ADC ตัวที่ 1
2. ADCON2 (A/D Control Register 2) รีจิสเตอร์ควบคุมโมดูล ADC ตัวที่ 2

3. ADCON3 (A/D Control Register 3) รีจิสเตอร์ควบคุม โมดูล ADC ตัวที่ 3
4. ADCHS (A/D Input Select Register) รีจิสเตอร์เลือกช่องของวงจร S/H ที่ต่อกับขาพอร์ต์ อินพุตอะนาลอกที่ต้องการแปลงสัญญาณ
5. ADPCFG (A/D Port Configuration Register) รีจิสเตอร์กำหนดค่าทางฮาร์ดแวร์ของพอร์ต์ อินพุตอะนาลอก
6. ADCSSL (A/D Input Scan Select Register) รีจิสเตอร์เลือกช่องอินพุตที่ต้องการแปลงสัญญาณ

2.6.5 หน่วยกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตความกว้างของพัลส์ (MCPWM)

เป็นอีกหนึ่งโมดูลฟังก์ชันที่ใช้ในโครงงานนี้ก็คือ โมดูลการสร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) ซึ่งใน dsPIC30F2010 มีโมดูลสร้างสัญญาณ (PWM) ในการควบคุมมอเตอร์หรือเรียกโมดูล MCPWM (MOTOR Control PWM) สำหรับใน dsPIC30F2010 ได้บรรจุฟังก์ชันนี้ไว้ให้เลือกใช้งานถึง 6 ช่องการใช้งาน สามารถเลือกขับมอเตอร์แบบเฟสเดียวได้ 3 ตัว และมอเตอร์ 3 เฟสได้ 1 ตัว ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้เพียง 2 ช่องสำหรับควบคุมมอเตอร์ 2 ตัวเท่านั้น สัญญาณที่ออกจากโมดูล MCPWM จะมีขาพอร์ต์ 2 ขาคือช่องนั้น จะมีขาเอาต์พุตด้านแรงดันสูง PWMxH และขาเอาต์พุตด้านแรงดันต่ำ PWMxL หรือเรียกว่าคู่เอาต์พุตให้เลือกใช้อีกด้วย

ในส่วนประกอบการทำงานของโมดูล MCPWM คือ ส่วนประกอบที่เป็นส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM โดยใน dsPIC30F2010 จะมี 3 ชุด ซึ่งได้ค่าฐานเวลาจากรีจิสเตอร์ PTMR และ PTPER ในส่วนของค่า (Duty cycle) ของสัญญาณ MCPWM สามารถกำหนดได้จากรีจิสเตอร์ในส่วนของการกำเนิดสัญญาณ PWM แต่ละส่วนจะเป็นอิสระต่อกัน นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการทำงานของขาพอร์ต์เอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยตรงโดยผ่านทางรีจิสเตอร์ OVDCON

2.6.5.1 คุณสมบัติของโมดูล MCPWM

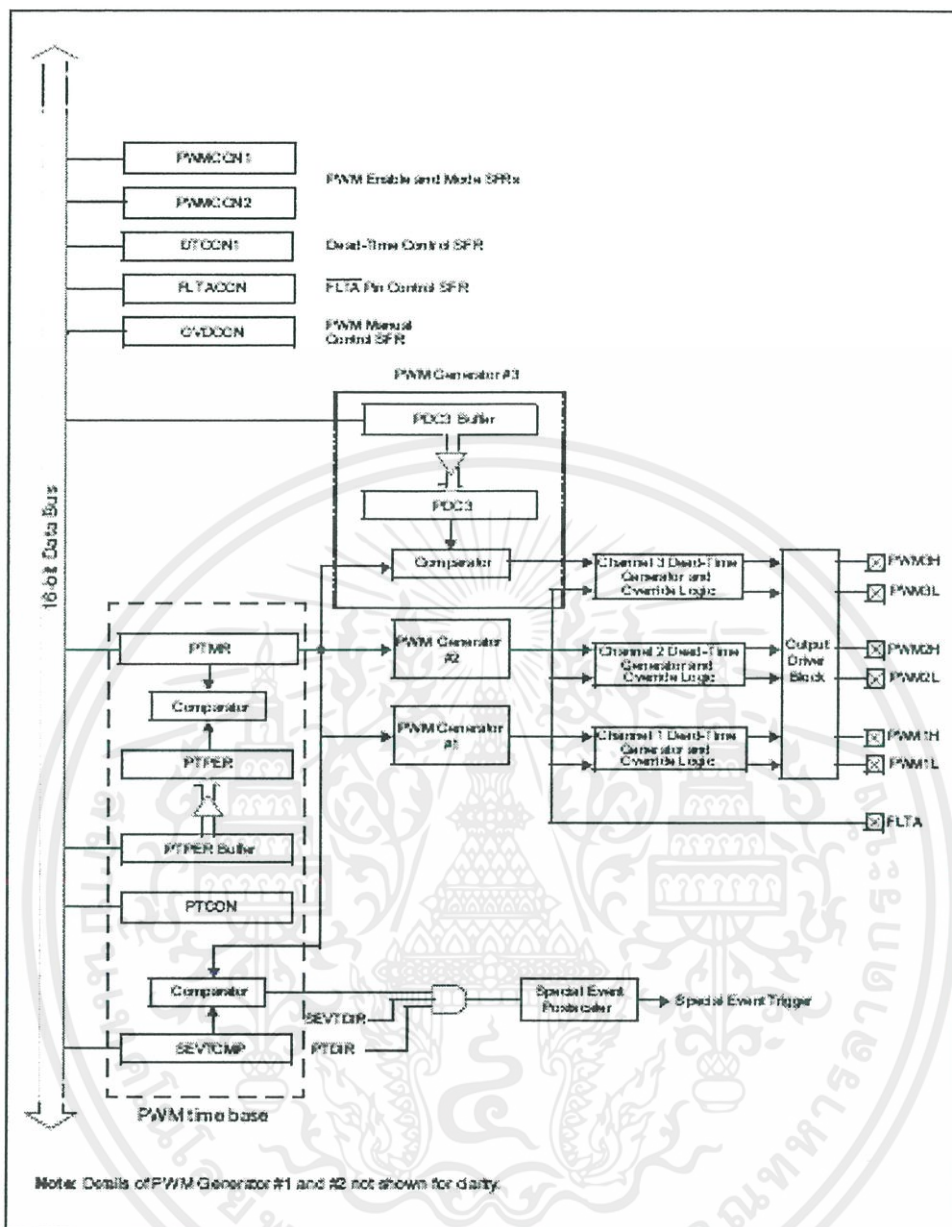
1. ความละเอียดของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นเท่ากับ $\frac{T_{cy}}{2}$
2. ในโมดูล MCPWM 1 ชุด มี 2 เอาต์พุตใน dsPIC30F2010 มีโมดูล 3 ชุด จึงมีทั้งสิ้น 6 ช่อง
3. มีอินพุตสำหรับตรวจจับความผิดพลาดในการทำงาน (FAULT) แบบโปรแกรมได้
4. สามารถเลือกโหมดเอาต์พุตได้ทั้งหมด 4 โหมดตามความต้องการของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.1 โหมดปรับขอบสัญญาณ (Edge aligned mode)
- 4.2 โหมดสัญญาณเดี่ยว (Single event mode)
- 4.3 โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลาง (Center aligned mode)
- 4.4 โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลางพร้อมปรับปรุงค่า (Center aligned mode with double update)
5. เมื่อทำงานในแบบร่วมกันหรือคอมพลิเมนต์ารี สามารถกำหนดค่าเวลาวิกฤต (dead time) เพื่อช่วยให้การขับมอเตอร์ 3 เฟสเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
6. สามารถสร้างสัญญาณกระตุ้นส่งไปยัง โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล เพื่อ กำหนดจังหวะการทำงานให้สัมพันธ์กัน

ในรูปที่ 2.34 แสดงแผนผังการทำงานของ โมดูล MCPWM ส่วนประกอบหลักในโมดูลนี้คือ ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ที่มีอยู่ด้วยกันสูงสุด 4 ชุด โดยใน dsPIC30F2010 จะมี 3 ชุด ซึ่งได้ค่าฐานเวลามาจากรีจิสเตอร์ PTMR และ PTPER ส่วนค่าความถี่ไซเคิลของสัญญาณ PWM ในโมดูล MCPWM นี้ สามารถกำหนดได้จากรีจิสเตอร์ความถี่ไซเคิลในส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM แต่ละส่วนที่เป็นอิสระต่อกัน นอกจากนั้นยังสามารถกำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาต์พุตของ โมดูล MCPWM โดยตรงผ่านทาง รีจิสเตอร์ OVDCON

ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์แต่ละชุดในโมดูล MCPWM ให้สามารถ กำหนดให้ทำงานแยกจากกันเป็นอิสระ (Independent mode) หรือทำงานร่วมกัน (Complementary mode) เพื่อขับมอเตอร์ 3 เฟสได้ โดยกำหนดผ่านรีจิสเตอร์ PWMCON1 และ PWMCON2 และเมื่อ กำหนดให้ทำงานร่วมกันจะต้องมีการจัดการสัญญาณเพื่อให้มอเตอร์ในแต่ละเฟสสามารถทำงานได้ อย่างต่อเนื่อง นั่นคือการจัดการค่าเวลาหน่วงเฟส (datetime control) โดยใช้รีจิสเตอร์ DTCON1



รูปที่ 2.34 แสดงแผนผังการทำงานของ โมดูล MCPWM

สัญญาณที่ออกจากโมดูล MCPWM จะมีขาพอร์ต 2 ขาคือช่องนั้นคือ ขาเอาต์พุตด้านแรงดันสูง PWMxH และขาเอาต์พุตด้านแรงดันต่ำ PWMxL (x หมายถึง เลขของช่องเอาต์พุต) ใน dsPIC30F2010 มีเพียง 1-3 หรือเรียกว่า คู่เอาต์พุต นอกจากนั้นยังสามารถส่งสัญญาณเอาต์พุตผ่าน โปสต์สเกลเลอร์เพื่อสร้างเป็นสัญญาณกระตุ้นพิเศษให้แก่โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ด้วยเพื่อให้โมดูล MCPWM สามารถทำงานสัมพันธ์กับโมดูล ADC ได้เป็นอย่างดี

อีกทั้งในโมดูล MCPWM ยังมีอินพุตสำหรับสัญญาณตรวจสอบความผิดปกติหรือ FAULT เพื่อป้องกันไม่ให้โมดูล MCPWM ทำงานผิดพลาดหรือเสียหายเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในโมดูล MCPWM โดยใน dsPIC30F2010 จะมีเพียงขาเดียวคือ FLTA

2.6.5.2 รีจิสเตอร์ที่ใช้งานในโมดูล MCPWM ของ dsPIC30F2010 มีดังนี้

ในโมดูล MCPWM ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC มีรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมและกำหนดค่าในการทำงานรวม 14 ตัว อันประกอบด้วย

1. PTCON รีจิสเตอร์ควบคุมฐานเวลาในการกำเนิดสัญญาณ PWM
2. PTMR รีจิสเตอร์กำหนดค่าฐานเวลาของการดำเนินสัญญาณ 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 รีจิสเตอร์ควบคุมการตรวจจับความผิดปกติของการขับมอเตอร์ชุด A
10. FLTBCON รีจิสเตอร์ควบคุมการตรวจจับความผิดปกติของการขับมอเตอร์ชุด B
11. PDC1 รีจิสเตอร์กำหนดค่าดีวีดีไอเกิดของโมดูลกำเนิดสัญญาณ PWM ชุดที่ 1
12. PDC2 รีจิสเตอร์กำหนดค่าดีวีดีไอเกิดของโมดูลกำเนิดสัญญาณ PWM ชุดที่ 2
13. PDC3 รีจิสเตอร์กำหนดค่าดีวีดีไอเกิดของโมดูลกำเนิดสัญญาณ PWM ชุดที่ 3
14. PDC4 รีจิสเตอร์กำหนดค่าดีวีดีไอเกิดของโมดูลกำเนิดสัญญาณ PWM ชุดที่ 4

นอกจากนั้นแล้วในโมดูล MCPWM ยังมีความสามารถพิเศษอีกประการหนึ่งคือ การป้องกันการเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ทำได้โดยเซตบิต UDIS ซึ่งเป็นบิต 2 ของรีจิสเตอร์ PWMCON2

2.7 หลักการการทำงานของใจโรสโคป

ใจโรสโคปเป็นอุปกรณ์ที่น่าพิศวงเป็นอย่างยิ่ง เพราะการหมุนของมันค่อนข้างแปลกและคล้ายกับว่ามันทำท่ายกกับแรงโน้มถ่วงได้ คุณสมบัติอันพิเศษนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ตั้งแต่รถจักรยานจนถึงยานขนส่งอวกาศ เครื่องบิน โดยสารทุกประเภทมีใจโรสโคปไว้สำหรับทำเป็นเข็มทิศ และระบบนำร่องอัตโนมัติ สถานีอวกาศ Mir ของรัสเซียใช้ใจโรสโคปจำนวน 11 อัน เพื่อบังคับให้แผงโซลาร์เซลล์หันไปในทิศทางเดียวกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา

การเคลื่อนที่แบบใจโรจะเกิดกับมวลทุกชนิดในโลกที่มีการหมุน ซึ่งมีการนำมาประยุกต์ใช้ในลักษณะต่างๆ มากมายนับไม่ถ้วน ซึ่งพื้นฐานของตัวมันมีดังนี้

2.7.1 การควง

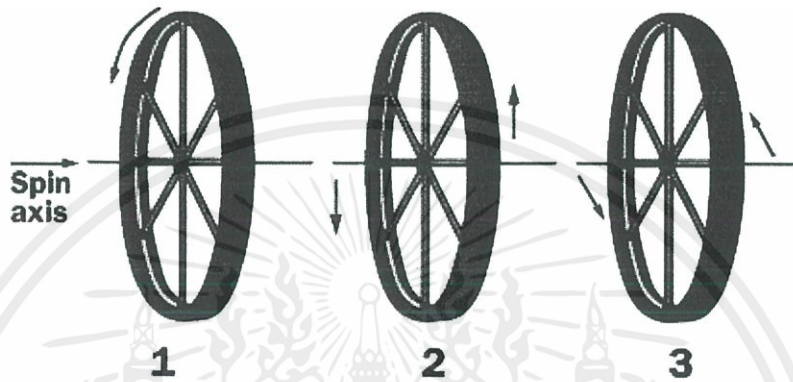
การหมุนของลูกข่างจะมีการหมุน 2 แบบด้วยกัน อย่างแรกคือ การหมุนรอบตัวเองของลูกข่าง อย่างที่สองก็คือ ลูกข่างทั้งลูกจะหมุนรอบแกนกลางอีกแกนหนึ่ง การหมุนแบบนี้เรียกว่า การควง (Precession) โดยลูกข่างไม่ล้ม แต่ถ้าไม่หมุนจะล้ม ซึ่งดูเหมือนกับทำท่ายกกับแรงโน้มถ่วงของโลก



รูปที่ 2.35 แสดงการหมุนและทิศทางของแรงที่กระทำกับลูกข่าง

2.7.2 ทฤษฎีและหลักการ

แขวนล้อจักรยานดั่งรูป และหมุนล้อ ตั้งล้อขึ้นให้เอียงดั่งรูป การตั้งล้อในลักษณะนี้ทำให้น้ำหนักของล้อตกลงห่างจากจุดหมุน เกิดการบิดในแนวตั้งฉากกับน้ำหนักของล้อกระทำกับแกนหมุน ดังภาพ



แสดงทิศทางการหมุนและแรง

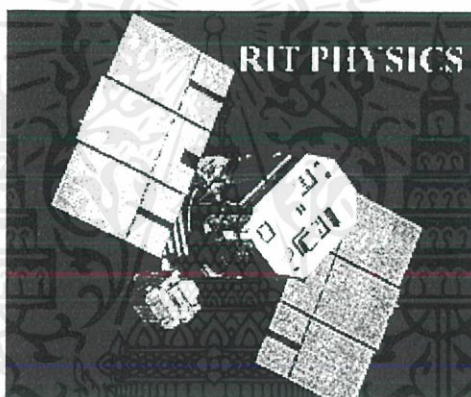
1. ไจโรสโคปหมุนรอบแกนหมุน
2. แรงจากภายนอกทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่แกนหมุน
3. ไจโรจะหมุนไปในทิศตั้งฉากกับแรงจากภายนอก เรียกว่า การควง

แรงบิดกระทำที่แกนหมุน (ลูกศรขึ้นและลง) เราจะใช้แรงกระทำจากภายนอกก็ได้ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำหนักของตัวไจโรเองให้สังเกตที่จุด 2 จุด ถูกแรงกระทำ (ลูกศรซ้ายและขวา) พยายามเคลื่อนที่ไปในทิศทางดังภาพ เมื่อล้อจักรยานยังไม่มีอาการหมุนและมีแรงบิด (ลูกศรซ้ายและขวา) กระทำกับแกนหมุนดังภาพ จุดบนของไจโรจะเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและจุดล่างของไจโร จะเคลื่อนที่ไปขวาตามทิศทาง

เอกสารนี้ขึงแรง ดังนั้นถ้าไจโรยังไม่มีอาการหมุน ล้อจะพลิก แต่ถ้าเราหมุนล้อจักรยานหรือไจโร ลองมาคิดว่ามีไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะไรเกิดขึ้นกับจุดสองจุดบนใจโรบ้าง จากกฎข้อที่หนึ่งของนิวตันที่กล่าวถึงสมดุลของมวลไว้ว่า มวลจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่ ถ้าไม่มีแรงภายนอกมากระทำดังนั้นจุดบนของใจโรจะถูกแรงบิดจากภายนอก ทำให้เคลื่อนที่ไปทางซ้าย ส่วนจุดล่างจะถูกแรงบิดให้เคลื่อนที่ไปทางขวา ล้อจะเกิดการหมุนแบบควง เมื่อตัวใจโรโคปหมุนไป 90 องศา จุดบนจะหมุนเปลี่ยนตำแหน่งไป 90 องศา มันยังคงเคลื่อนที่ไปทางขวา ทำให้ล้อเกิดการหมุนควง ขณะที่จุดบนและจุดล่างเปลี่ยนตำแหน่งไป 90 องศา การเคลื่อนที่ในครั้งแรก จะถูกยกเลิกไปไม่เกิดการพลิกของล้อ ดังนั้นแกนหมุนของใจโรจะเหมือนกับห้อยอยู่กับอากาศ ดูเสมือนว่าทำทาบกับแรงโน้มถ่วง ทั้งๆ ที่เป็นไปตามกฎของฟิสิกส์ทั้งสิ้น

2.7.3 ประโยชน์ของใจโรโคป



รูปที่ 2.36 แสดงถึงดาวเทียมขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน

ดาวเทียมบางดวงใช้หลักของใจโร เพื่อปรับตำแหน่งของดาวเทียมในอวกาศ ดังรูปที่ 2.36 ภายในดาวเทียมจะประกอบด้วยล้อ 3 อัน ตั้งฉากซึ่งกันและกัน แต่ละอันมีมอเตอร์และเบรกไว้สำหรับควบคุมการหมุน เมื่อล้อเริ่มหมุน ดาวเทียมจะเริ่มหมุนเช่นกันแต่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับล้อ หลังจากที่อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ก็บังคับให้ล้อหยุดหมุน ดาวเทียมก็จะหยุดหมุนตามไปด้วย เมื่อใช้วิธีนี้เราสามารถที่จะบังคับทิศทางของดาวเทียมได้โดยไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงหรือพลังงานมากมายนัก รูปบนขณะที่ดาวเทียมโคจรอยู่รอบโลก ตำแหน่งของแผงโซลาร์ อาจจะไม่ตรงกับแสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแต่งตำแหน่งของดาวเทียมเสมอ เพื่อให้พลังงานแสงที่ตกลงบนแผงโซลาร์มากที่สุด เมื่อไม่มีแรงบิดหรือทอร์กกระทำจากภายนอก โมเมนตัมเชิงมุมทั้งขนาดและทิศทางจะคงที่ ดังเช่น เข็มทิศใจโรโคปที่หมุนอยู่ในเรือ ถ้าไม่มีทอร์กภายนอกไปกระทำมันจะไม่เปลี่ยนทิศทาง แม้ว่าเรือลำนั้นจะเคลื่อนที่รอบโลกไปที่ใดก็ตามดังภาพ ดังนั้นเข็มทิศใจโรโคปจึงนำไปใช้ในระบบนำร่อง ปัจจุบันมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

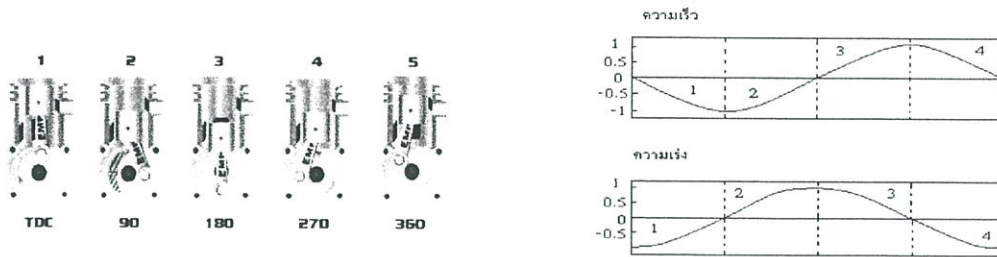
ระบบคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ ดังนั้นเมื่อเรือเปลี่ยนตำแหน่งไป คอมพิวเตอร์จะคำนวณเทียบกับตำแหน่งของเข็มทิศใจโร จำนวนพร้อมไปกับข้อมูลจากตัววัดความเร็ว คอมพิวเตอร์จะคำนวณหา ระยะทางจากจุดเริ่มต้น ได้แม่นยำไม่มีผิดพลาด



สังเกตที่หัวลูกซึ่งเป็นแกนหมุนของจาน ใจโรสโคป จะไม่เปลี่ยนทิศทางแม้ว่าโครงของใจโรสโคปจะถูกจับให้หมุน เหตุผลเพราะไม่มีแรงบิดไปกระทำกับแกนหมุน

2.8 หลักการทำงานของตัววัดความเร่ง (Accelerometer)

เราอาจคุ้นเคยกับรถยนต์ว่าเวลาเขาโฆษณา ความเร่ง (ม้า) ของรถยนต์ที่ส่งผลต่อทอร์คบิดเพลลาขับ เช่น ความเร็ว (Velocity) รถจาก 0 ถึง 100 กม.ต่อชม. ภายใน 1 วินาที ซึ่งจะเห็นแล้วว่าอัตราเร่งของรถยนต์จะมากหรือน้อยจะสัมพันธ์โดยตรงกับทอร์คบิดหรือแรงกระทำนั่นเอง หมายถึงว่าการทราบอัตราเร่งจะทราบแรงกระทำกับผลิตภัณฑ์ (รถยนต์ หรือการบิดที่เพลลาขับรถยนต์) ต่อความเร่ง ลักษณะนี้เป็นความเร่งแบบคงที่ กรณีความเร่งแบบมีการเปลี่ยนทิศทางไปมาหรือที่ทราบว่าเป็นการสั่นสะเทือนหรือถ้านึกไม่ออกลองดูการเคลื่อนที่เร่งขึ้นลงของลูกสูบในกระบอกสูบเครื่องยนต์



รูปที่ 2.37 แสดงพฤติกรรมความเร็ว ความเร่ง ของลูกสูบขณะเคลื่อนที่ขึ้นลง

ซึ่งถ้าดูในแง่ของความเร็วลูกสูบแล้ว ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นและหยุดชั่วคราว ณ จุดสูงสุด หรือ ศูนย์ตายบนของลูกสูบ (ความเร็วเป็นศูนย์) และเกิดการจุดระเบิดขึ้น ลูกสูบจะเคลื่อนที่ตัวมีความเร็วเพิ่มขึ้น (มีการเร่งความเร็วในทิศทางลง, 1) และเมื่อลูกสูบเคลื่อนตัวเข้าใกล้จุดศูนย์ตายล่างของลูกสูบ จะลดความเร็วลงจนศูนย์ (ความเร่งเปลี่ยนทิศทาง, 2) หลังจากนั้นงานเหวี่ยงจะทำหน้าที่ส่งลูกสูบจาก ศูนย์ตายล่างขึ้นศูนย์ตายบน โดยความเร็วเป็นศูนย์ที่ศูนย์ตายล่างจนมีความเร็วเพิ่มขึ้น (ความเร่งมี ทิศทางขึ้น, 3) และลดความเร็วลงเป็นศูนย์เมื่อเข้าถึงศูนย์ตายบน (ความเร่งเปลี่ยนทิศทาง, 4) ซึ่ง กระบวนการทั้งหมดนี้เองที่ทำให้เกิดเป็นการสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์ และส่งผ่าน ไปยังชิ้นส่วน ต่างๆ ในรถยนต์ได้ ยิ่งเราเพิ่มการเหยียบคันเร่งหมายถึงต้องการเพิ่มแรง ($F = ma$ กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ สองของนิวตัน) จากการส่งส่วนผสมน้ำมัน – อากาศ เข้าไปจุดระเบิดเพิ่มขึ้นและทำให้ลูกสูบเกิดการเร่ง ขึ้นลงมากขึ้นอุปกรณ์ที่ยังสัญญาณความเร่ง สามารถใช้เพื่อการต่อไปนี้ได้และจะได้กล่าวในรายละเอียด ต่อไป เพื่อการเลือกใช้ตัวยังความเร่งได้ถูกต้อง

- การวัดการเคลื่อนที่
- การวัดความถี่ความถี่สูง
- การวัดความถี่ความถี่ต่ำ
- การวัดกระแทก
- การวัดการสั่นระดับค่าความเร่งน้อย (ไมโคร G)
- การวัดการสั่นบนวัตถุที่มีขนาดเล็ก
- การวัดภายใต้อุณหภูมิแวดล้อมสูงมาก
- การวัดภายใต้อุณหภูมิแวดล้อมต่ำมาก
- การวัดภายใต้สภาวะที่แวดล้อมด้วยการแผ่รังสี
- การวัดในงานตรวจติดตามสภาพเครื่องจักร
- การวัดแบบหลายช่องสัญญาณ

ตัวยังความเร่งได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางโดยเฉพาะงานเชิงกลและงานเชิงอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น

- Self Balancing robots
- Tilt-mode game controllers
- Car alarm systems
- Crash detection/airbag deployment
- Human motion monitoring
- Leveling tool
-

ADXL203E
TOP VIEW
(Not to Scale)

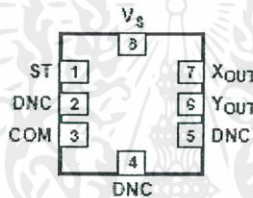


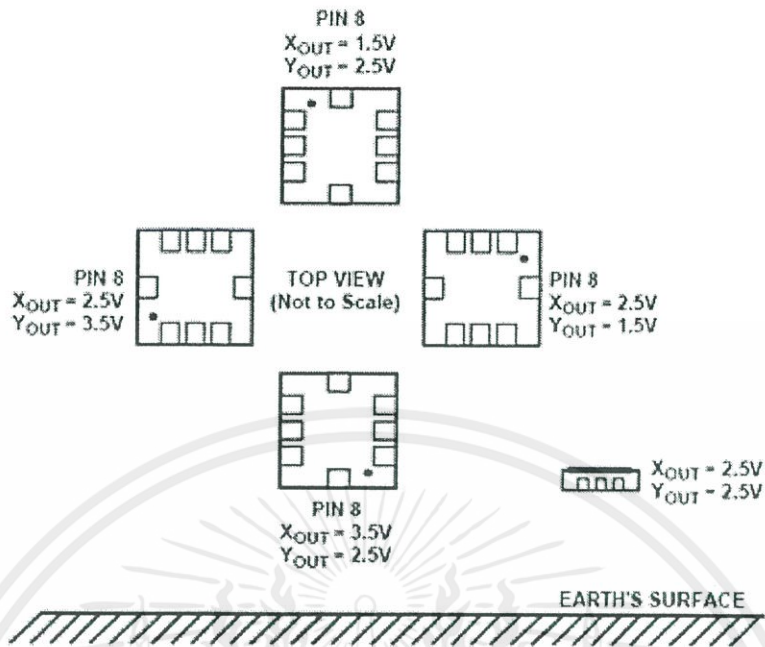
Figure 23. ADXL203 8-Lead CLCC

Table 8. ADXL203 8-Lead CLCC Pin Function Descriptions

Pin No.	Mnemonic	Description
1	ST	Self Test
2	DNC	Do Not Connect
3	COM	Common
4	DNC	Do Not Connect
5	DNC	Do Not Connect
6	YOUT	Y Channel Output
7	XOUT	X Channel Output
8	Vs	3 V to 6 V

รูปที่ 2.38 โครงสร้างบอร์ด ADXL203

ตัวอย่างตัวหยังความเร่ง ADXL103/ADXL203 เป็น accelerometers ที่มีประสิทธิภาพสูง และใช้พลังงานต่ำสามารถวัดได้ทั้ง x-axis และ y-axis โดย full-scale ของ ADXL203 จะอยู่ที่ ± 1.7 g และ ADXL203 สามารถวัดค่า dynamic และ static acceleration ยกตัวอย่างเช่น วัดค่าการสั่นสะเทือน (vibration) หรือแรงโน้มถ่วงโลก (gravity)



รูปที่ 2.39 แสดงความสัมพันธ์ทิศทางการโน้มเอียงของตัวไอซี

จากรูปที่ 2.39 ข้างต้นนั้นแสดงความสัมพันธ์ของ ADXL203 ด้าน top view จะมีสัญลักษณ์ที่บ่งบอกถึงแกนแต่ละแกนว่าหันด้านใดเข้าหาตัวจึงจะมีผลต่อ y-axis หันด้านใดเข้าหาตัวจะมีผลต่อ x-axis และสัญญาณเอาต์พุตที่ส่งออกมาในแต่ละแกนจะเป็นไปตามรูปลักษณะการทำงานข้างต้น

สัญญาณที่ออกจาก ADXL203 นั้นเป็นสัญญาณอะนาลอก ผิดกับตัวอื่นๆ ที่รหัสใกล้เคียงกัน เช่น ADXL202 ที่สัญญาณเอาต์พุตเป็น PWM ดังนั้นการประมวลผลสัญญาณต้องทำให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล

บทที่ 3

การออกแบบและดำเนินงาน

3.1 การออกแบบโครงสร้างทางกลศาสตร์

3.1.1 การออกแบบสเก็ตบอร์ดรักษาสมดุล

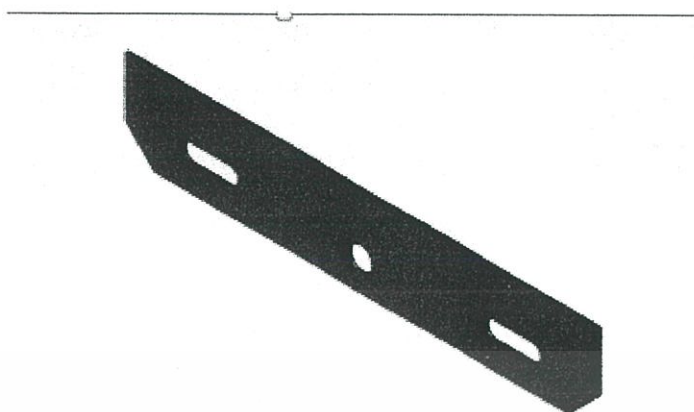
ในการออกแบบสเก็ตบอร์ดรักษาสมดุลนั้นผู้ออกแบบได้ใช้โซลิดเวิร์ค(SolidWork) ในการออกแบบเพราะสามารถสร้างภาพ 3 มิติได้ และสามารถเรียนรู้ได้อย่างรวดเร็ว

3.1.2 โครงสร้างสเก็ตบอร์ดรักษาสมดุล

โครงสร้างหลักของสเก็ตบอร์ดถูกออกแบบโดยใช้ แผ่นเหล็กหนา 5 มิลลิเมตรตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมมุมตัด 2 ด้าน เจาะรูตรงกลางขนาด 40 มิลลิเมตร เพื่อรองรับลูกปืน (Bearings) ข้างๆรูใส่ลูกปืนนั้น เจาะรูขนาดครึ่งวงกลมรัศมี 15 มิลลิเมตร เจาะยาวมาขนาด 62.5 มิลลิเมตร ซึ่งเจาะทั้ง 2 ด้านของรูใส่ลูกปืน และมีแผ่นเหล็กตัดเป็นรูปตัว U ขนาด 5 มิลลิเมตรวางครอบทั้งด้านบน และด้านล่าง ซึ่งแผ่นเหล็กด้านล่างข้างหนึ่งเจาะรูไว้เพื่อยึดติดกับมอเตอร์ โดยชิ้นงานแบ่งเป็น 13 ส่วนของการออกแบบดังนี้

3.1.2.1 PLATE

สร้างจากเหล็กชนิด AISI 1020 ซึ่งเป็นเหล็กชนิดมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป มีความยาว 800 มิลลิเมตร กว้าง 150 มิลลิเมตร เจาะรูขนาดรัศมี 15 มิลลิเมตรเป็นครึ่งวงกลมแล้วลากยาวไปประมาณ 62.5 มิลลิเมตรจากส่วนครึ่งวงกลม ตรงกลางเจาะรูขนาด 40 มิลลิเมตร และเจาะรูน็อตขนาด M8 x 1.0 และ M5 x 0.8 ตามลำดับ ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงภาพแผ่น PLATE

3.1.2.2 TOP COVER

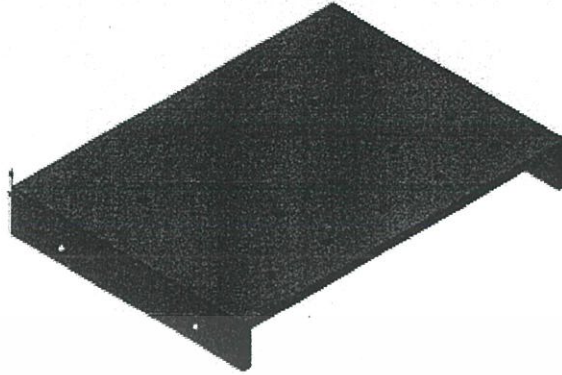
สร้างจากเหล็กชนิด AISI 1020 กว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 240 มิลลิเมตร ด้านที่พับลงยาว 35 มิลลิเมตร รูน็อตขนาด M8 x 1.0 ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงภาพ TOP COVER

3.1.2.3 BOTTOM COVER

สร้างจากเหล็กชนิด AISI 1020 กว้าง 175 มิลลิเมตร ยาว 240 มิลลิเมตร ด้านที่พับลงยาว 30 มิลลิเมตร รูน็อตขนาด M8 x 1.0 และ M6 x 1.0 ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงภาพ BOTTOM COVER

3.1.2.4 AXEL

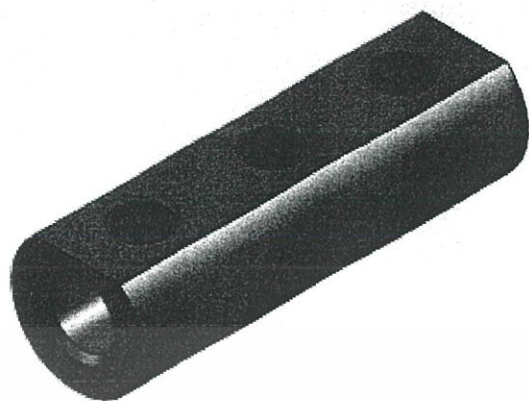
กลึงจากเหล็กตัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงภาพ AXEL

3.1.2.5 JOIN MOTOR

กลึงจากเหล็กตัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ปลายด้านหนึ่งลงไป 2.5 มิลลิเมตร เจาะรู กลวง เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร และเจาะรูน็อตขนาด M8 x 1.0 ดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงภาพ JOIN MOTOR

3.1.2.6 JOIN

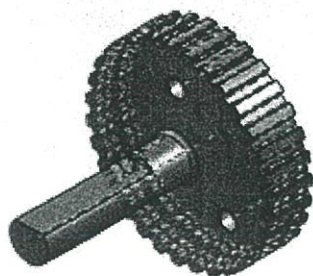
กลึงจากเหล็กตัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร และ 30 มิลลิเมตร ตามลำดับ ตรงกลางเจาะรู กลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร และ เจาะรูน็อตขนาด M8 x 1.0 ดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงภาพ JOIN

3.1.2.7 GEAR MOTOR

ทำจากอลูมิเนียม ชนิด 6061 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร เซาะเป็นร่องสำหรับ สายพานแบบ ไท้มิ่ง แกนเกียร์ยาว 40 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ปลายผิวแกนกลึง ไป 1.69 มิลลิเมตร เจาะรูน็อต M5 x 0.8 ดังรูป 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงภาพ GEAR MOTOR

3.1.2.8 PLATE GEAR MOTOR

ทำจากอลูมิเนียม หนา 2 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 70 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใน 21 มิลลิเมตรเจาะรูน็อตขนาด M5 x 0.8 ดังรูป 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงภาพ PLATE GEAR MOTOR

3.1.2.9 GEAR WHEEL

ทำจากอลูมิเนียม 100 มิลลิเมตร และ 30 มิลลิเมตร ตามลำดับ ตรงกลางเจาะรูกลวง เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร ปาดผิวหน้าปลอกสวมลงไป 3 มิลลิเมตร เป็นระยะ 30 มิลลิเมตรเจาะรูน็อตขนาด M5 x 0.8 ดังรูป 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงภาพ GEAR WHEEL

3.1.2.10 PLATE GEAR WHEEL

ทำจากอลูมิเนียมหนา 2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 220 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใน 30 มิลลิเมตรเจาะรูน็อตขนาด M5 x 0.8 ดังรูป 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงภาพ PLATE GEAR WHEEL

3.1.2.11 LOCK AXIS

ทำจากเหล็กตันนำไปกลึงหนา 10 มิลลิเมตร ปาดผิวตีกลงไป 3 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 30 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใน 18 มิลลิเมตร เจาะรูน็อตขนาด M5 x 0.8 ดังรูป 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงภาพ LOCK AXIS

3.1.2.12 BLOCK BEARING 1

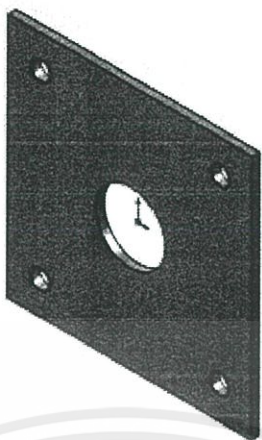
ทำจากเหล็ก มีขนาด 6x6 มิลลิเมตรหนา 10 มิลลิเมตร ด้านในคว้านเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร ลึก 7 มิลลิเมตร และคว้านตรงกลางจนทะลุซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตรเจาะรูน็อตขนาด M5 x 0.8 ดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงภาพ BLOCK BEARING 1

3.1.2.13 BLOCK BEARING 2

ทำจากเหล็ก มีขนาด 6x6 มิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร ตรงกลางเจาะรูขนาด 17 มิลลิเมตรและเจาะรูน็อตขนาด M5 x 0.8 ดังรูป 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงภาพ BLOCK BEARING 2

3.1.2.14 MOTOR

มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางแกนมอเตอร์มีค่า 10 มิลลิเมตร แกนมอเตอร์ยาว 30 มิลลิเมตร ฐานยึดมอเตอร์กว้าง 55 มิลลิเมตร ยาว 110 มิลลิเมตร รูน็อตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ดังรูป 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงภาพ MOTOR

3.1.2.15 WHEEL

มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร หนา 195 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางที่ใส่ JOIN มีขนาด 80 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใส่ AXIS มีขนาด 40 มิลลิเมตร พื้นที่ผิวสัมผัสของยางล้อกับพื้นมีค่า 50 มิลลิเมตร พื้นที่ผิวสัมผัสของยางล้อกับพื้นเมื่อมี Load 70 Kg มีค่า 145 มิลลิเมตร มีรูน็อตขนาด M8 x 1.0 ดังรูป 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงภาพ WHEEL

3.1.2.16 BEARINGS

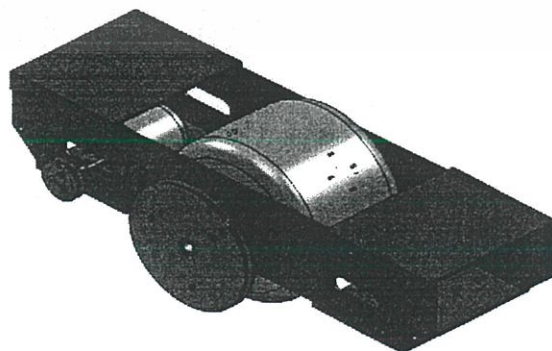
มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 40 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใน 17 มิลลิเมตร หนา 12 มิลลิเมตร ดังรูป 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงภาพ BEARING

3.1.2.17 SCRUE

ใช้ยึดแต่ละส่วนเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งขนาดที่ใช้มีดังนี้ M8 x 1.0 , M5 x 0.8 , M6 x 1.0 ดังรูป 3.17

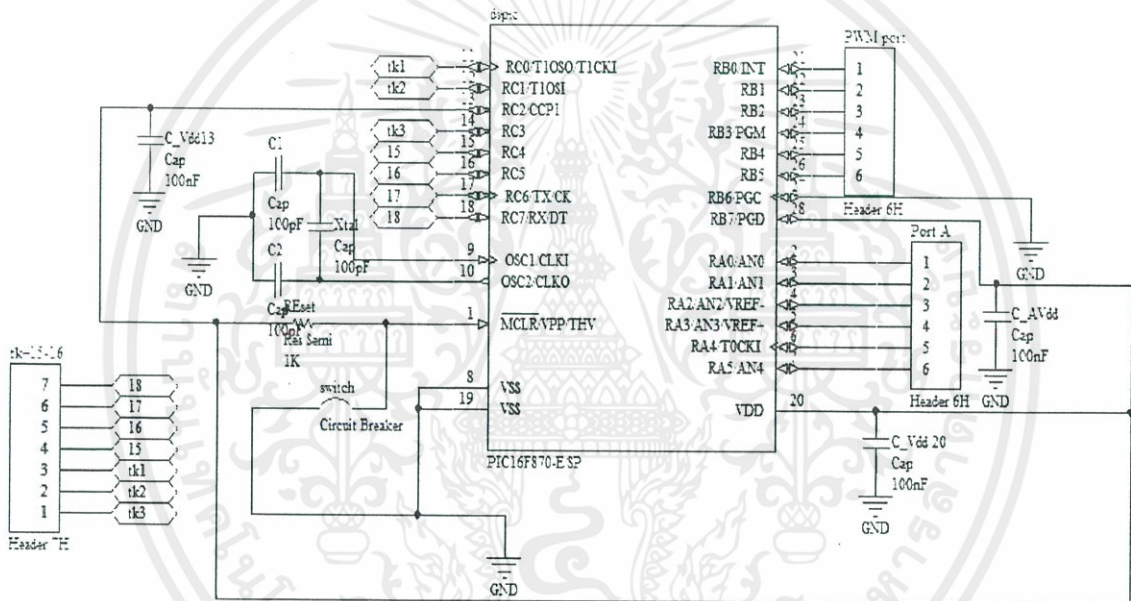


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.17 แสดงภาพสเก็ทบอร์ดที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

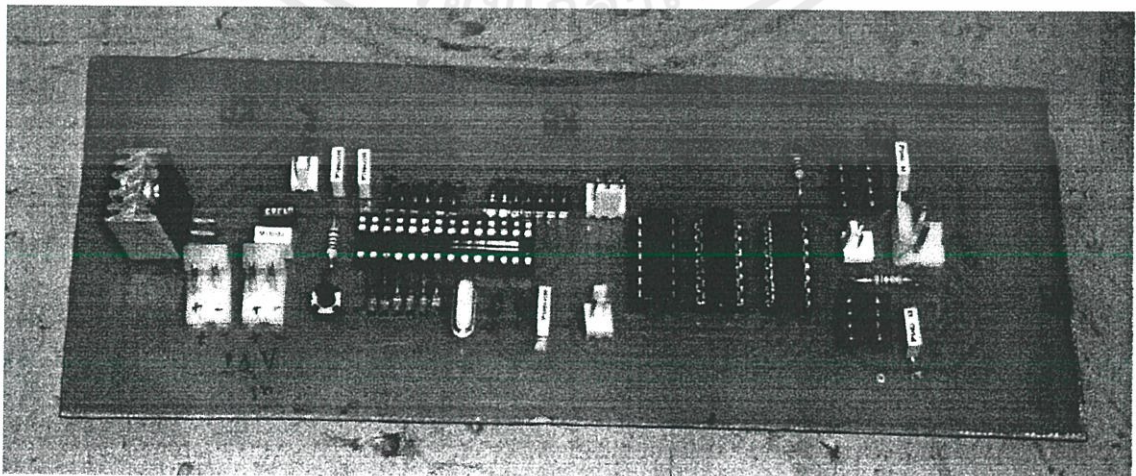
3.2 การออกแบบโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์

3.2.1 วงจรควบคุมการทำงานของสเก็ทบอร์ดรักษาสมดุล

วงจรควบคุมการทำงานของสเก็ทบอร์ดรักษาสมดุลด้วยตนเองในโครงการนี้ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีขนาดความจำ 16 บิตมีความสามารถในการควบคุมสัญญาณที่เร็วกว่ารุ่นที่เป็น PIC เป็นรุ่นมีชื่อว่า Digital Signal Control ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ DS-PIC ของบริษัท Microchip รุ่น 30F2010 ดังรูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 โครงสร้างการทำงานวงจรควบคุมโดย dsPIC30F2010

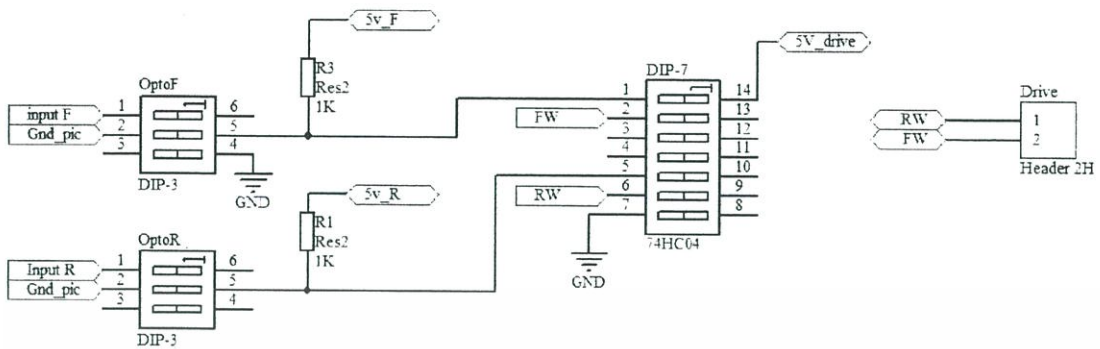


รูปที่ 3.19 วงจรควบคุมด้วย dsPIC30F2010

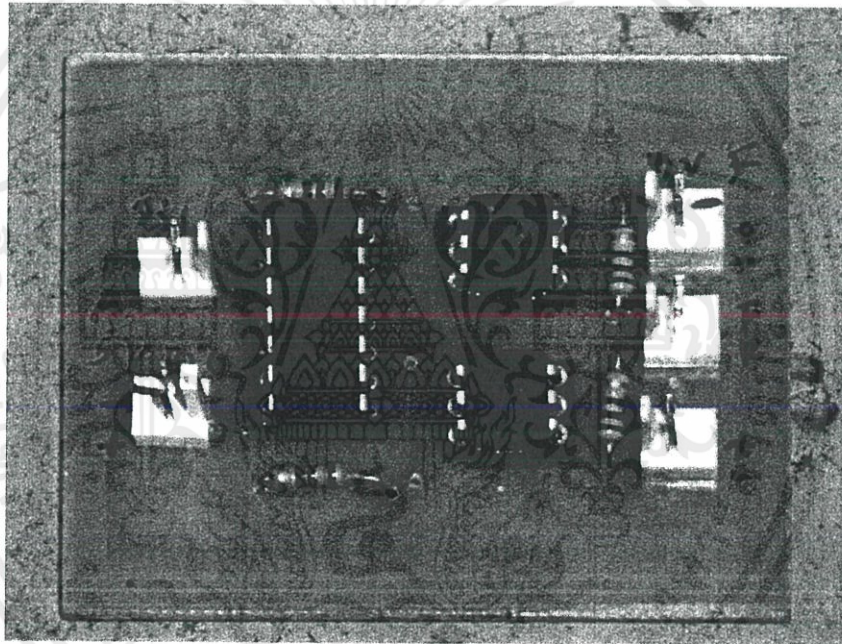
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการเข้านงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วงจรป้องกันโดยใช้ Opto Isolate

วงจร Opto Isolate นี้มีไอซี 4N35 เป็นตัว Isolator โดยจะทำการควบคุมวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยการควบคุมทางแสงและค่ามาจากวงจรควบคุม ซึ่งค่าที่รับมาจะเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบตรรกะซึ่งผ่านการมอดูเลตความกว้างของสัญญาณพัลส์ (Pulse Width Modulation) จากไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มีแรงดันไฟ 5 โวลต์ ผ่านเข้าขาแอนโนด (Anode) เพื่อเป็นการป้อน Input เมื่อมีสัญญาณเข้าแล้วหลอด LED ภายในตัวไอซีเบอร์ 4N35 จะสว่างทำให้โฟโตไดโอดซึ่งอยู่ฝั่งเกิดการนำกระแสซึ่งแรงดันที่ต่อเข้าขา คอลเลคเตอร์ (Collector) ของด้านตัวรับของโฟโตไดโอดนั้นจะป้อนไฟเลี้ยงจากแหล่งอีกแหล่งหนึ่งเพื่อเป็นการแยกขาดกันทางไฟฟ้าเมื่อ LED ดิจจะทำให้โฟโตไดโอดที่อยู่ฝั่งหนึ่งนำกระแสครบวงจรในจุดที่เราต่อออกมาเพื่อนำไปใช้นั้น เมื่อสัญญาณที่ป้อนเข้ามาเป็น 0 หรือ Low นั้น ด้านของ โฟโตไดโอดจะมีค่าเป็น 1 หรือ High ในลักษณะที่กลับกัน ด้วยสาเหตุเพราะในขณะที่ไม่มีสัญญาณป้อนเข้านั้นขา อิมิตเตอร์และขาคอลเลคเตอร์ไม่สามารถเชื่อมถึงกันหรือนำกระแสได้ ที่ขาคอลเลคเตอร์จึงมีแรงดันไฟเท่ากับแรงดันไฟที่เป็นแหล่งซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์ เมื่อมีสัญญาณเข้ามาเป็น 1 หรือ High ที่ขาแอนโนดจะทำให้ขาอิมิตเตอร์และขาคอลเลคเตอร์สามารถเชื่อมถึงกันได้จึงทำให้แรงดันไฟที่ขา อิมิตเตอร์เป็น 0 หรือ Low เพราะเป็นตำแหน่งที่อ้างอิงกับแรงดันที่ขาอิมิตเตอร์ ซึ่งเท่ากับ 0 โวลต์ทำให้เกิดการกลับสถานะของสัญญาณที่เข้ามา เราสามารถแก้ปัญหานี้ได้หลายวิธีเช่น จากการโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการกลับค่าที่ได้จากการคำนวณให้กลับสถานะมาก่อนแล้วจึงมากลับสถานะอีกครั้งหนึ่งผ่านตัวไอซีเบอร์ 4N35 หรืออีกวิธีหนึ่งคือการต่ออุปกรณ์เพิ่มเพื่อทำการกลับค่าสถานะของสัญญาณที่ออกมาจากไอซีเบอร์ 4N35 ในโครงการนี้เราเลือกต่ออุปกรณ์เพิ่มเนื่องด้วยการออกแบบวงจรที่ต้องการให้มีวงจรบัฟเฟอร์เพื่อเป็นวงจรป้องกันอีกชั้นหนึ่งซึ่งมีอุปกรณ์ที่สามารถเป็น ได้ทั้ง บัฟเฟอร์และสามารถกลับสถานะของสัญญาณได้จึงเลือกใช้ไอซีเบอร์ 74HC04นี้เพื่อกลับสัญญาณที่กลับสถานะสัญญาณของวงจรควบคุมมาก่อนหน้านี้ให้ทำงานในสถานะเดียวกันกับวงจรควบคุมดังรูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.20 โครงสร้างการทำงานของวงจรป้องกัน

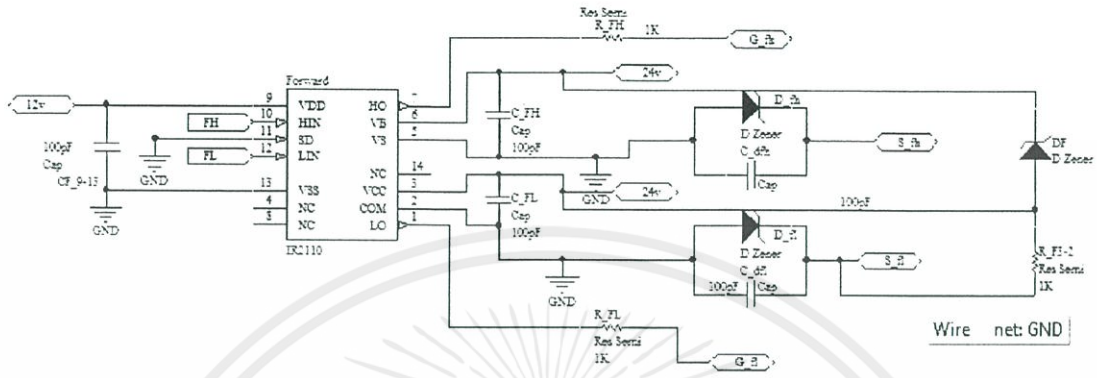


รูปที่ 3.21 วงจรป้องกัน Opto Isolate

3.2.3 วงจรขับมอเตอร์ด้วย ไอซีเบอร์ IR2110 และ Mosfet เบอร์ IRFP150N แบบ H-bridge

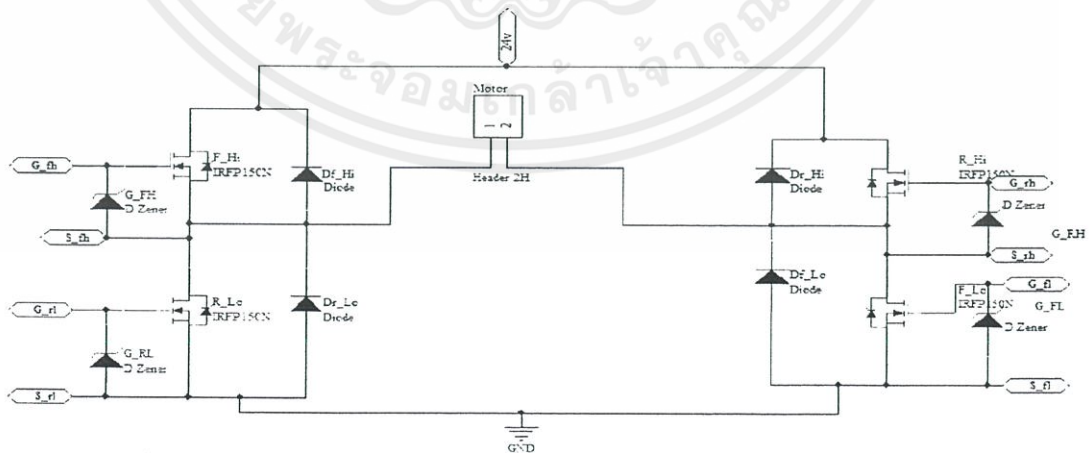
วงจรถับมอเตอร์ใช้ ไอซีเบอร์ IR2110 แบบ Half-Bridge 2 ตัว ในการขับมอเตอร์ สามารถขับแรงดันได้ถึง 500 volt และความเร็วในการ switching ถึง 10ns และยังสามารถขับมอเตอร์ออกเป็น 2 ชุด โดยแยกออกจากกันอย่างอิสระ การป้อนสัญญาณควบคุมไอซีเบอร์ IR2110 โดยการป้อนสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) เข้าที่ขา HI (Hi-In) และ LI (Low-In) เมื่อได้รับสัญญาณเข้าที่ขา Input ของแต่ละชุดแล้ว จะทำการจ่ายแรงดันออกที่ขา HO (Hi-Out) และ LO (Lo-Out) ตามแรงดันที่จ่ายให้ขา Vb ในชุดของ Hi และ Vcc ในชุดของ Lo เพื่อให้ Mosfet ขับแรงดันไปยังมอเตอร์ ซึ่งจะใช้อิเล็กตรอนนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบอร์ IR2110 สองตัว เพื่อให้สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้สองทิศทาง คือทางเดินหน้าและถอยหลัง ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ IR2110

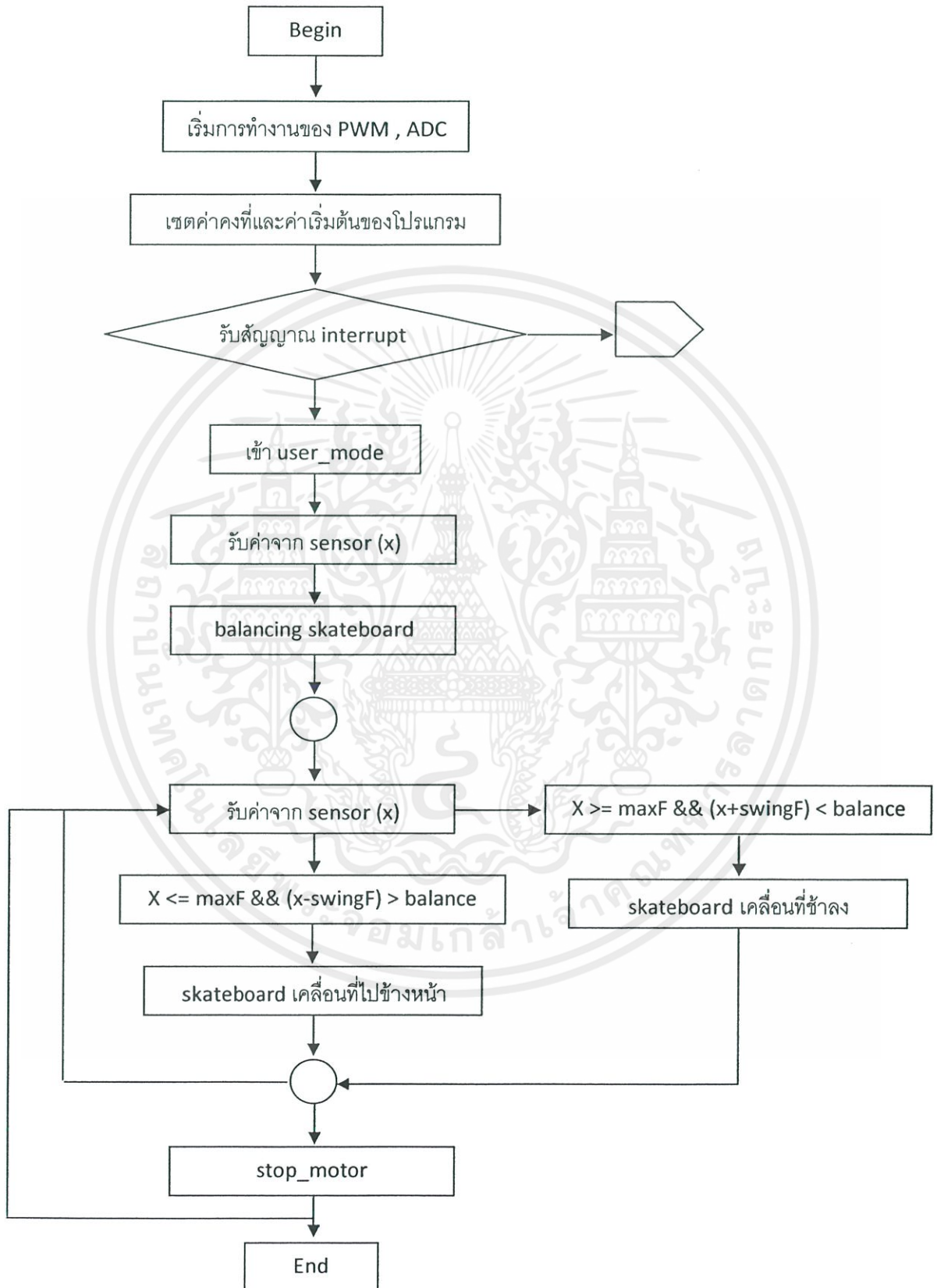
Mosfet จะทำหน้าที่เหมือน Switch ในการจ่ายแรงดันเพื่อทำการขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยสามารถรับแรงดันได้ถึง 100 volt และทนกระแสได้ถึง 42 A ในช่วงต้นของการขับเคลื่อนมอเตอร์ และในช่วงของการทำ Balance ของตัว scooter โดยจะต่อกันในลักษณะ H-Bridge เพื่อให้สามารถควบคุมมอเตอร์ให้สามารถหมุนสองทิศทาง ทั้งไปและกลับ โดยทิศเดินหน้าจะผ่าน Mosfet ตัวบนด้านซ้ายผ่านมอเตอร์ไปยัง Mosfet ตัวล่างด้านขวา ในทิศถอยหลัง เริ่มต้นที่ Mosfet ตัวบนด้านขวาผ่านมอเตอร์ไปยัง Mosfet ตัวล่างด้านซ้าย ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การต่อ Mosfet แบบ H-Bridge

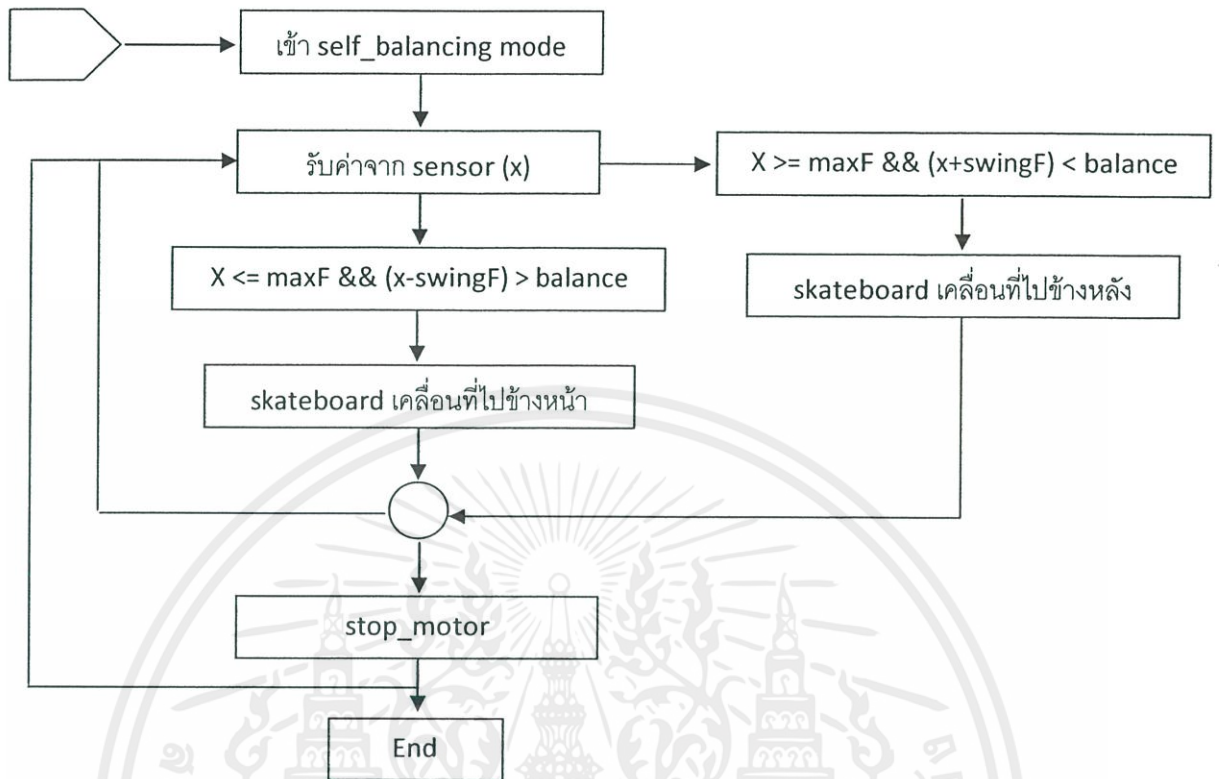
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบโครงสร้างทางโปรแกรม



รูปที่ 3.24 แสดงการทำงานของสเก็ทบอร์ดรักษาสมดุลด้วยตนเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แสดงการทำงานของสเก็ทบอร์ดรักษาสมดุลด้วยตนเอง (ต่อ)

บทที่ 4

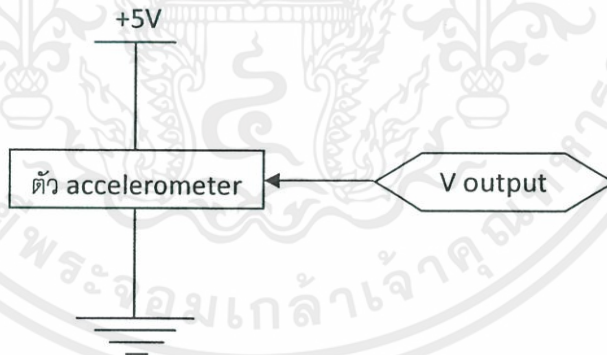
การทดลองและผลการทดลอง

จากสเก็ทบอร์ดรักษาสมดุลที่ได้ออกแบบและได้ทำการประกอบขึ้นมา ในบทนี้จะอธิบายถึงการทดลองต่างๆ ที่ได้จากการทดลองจริง เพื่อศึกษาผลตอบสนอง และทดสอบเสถียรภาพของระบบ

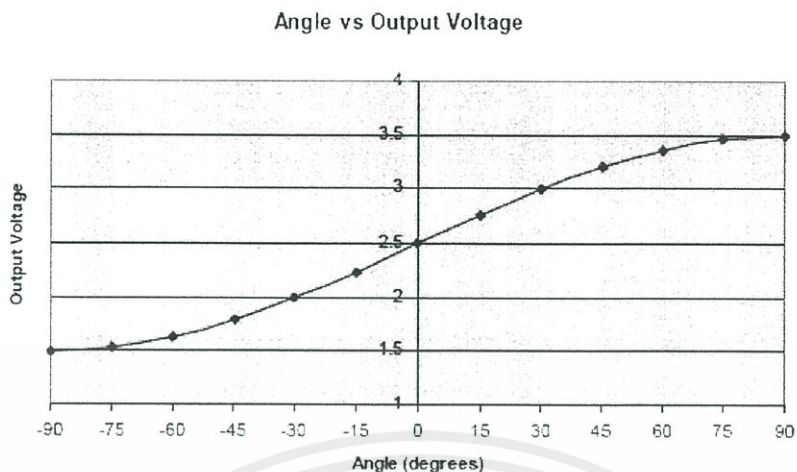
4.1 ทดลองระหว่างองศาที่เปลี่ยนไปของตัว accelerometer กับแรงดันไฟฟ้า

โครงงานนี้ใช้ตัว accelerometer เป็นเซ็นเซอร์ในการตรวจวัดองศาของสเก็ทบอร์ดกับระนาบของพื้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องรู้ว่าตัววัดค่า g ที่ใช้ในโครงงานนี้มีช่วงการใช้งานเป็นมุมเท่าใด และแต่ละช่วงการใช้งานมีค่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นเช่นไรบ้าง

ในการทดลองใช้การเพิ่มมุมของตัว accelerometer ที่อยู่ในช่วงการใช้งานครั้งละ 2 องศา และที่ไม่ได้อยู่ในช่วงการใช้งานครั้งละ 10 องศา และวัดค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้ แล้วนำมาพล็อตกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เปลี่ยนไปของตัววัดค่า g และแรงดันเอาต์พุต



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรต่อทดลอง



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟระหว่างแรงดันเอาต์พุตและมุมของตัว accelerometer

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศากับโวลต์ ของตัววัดค่า g

องศา	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
90	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39
80	3.39	3.37	3.39	3.38	3.39	3.38
70	3.36	3.34	3.35	3.34	3.36	3.35
60	3.3	3.27	3.3	3.29	3.29	3.29
50	3.21	3.22	3.23	3.21	3.2	3.21
40	3.11	3.11	3.12	3.1	3.1	3.11
30	2.96	2.98	2.98	2.96	2.97	2.97
20	2.82	2.83	2.83	2.81	2.84	2.83
18	2.78	2.8	2.8	2.79	2.8	2.79
16	2.76	2.77	2.77	2.76	2.77	2.77
14	2.73	2.73	2.73	2.73	2.74	2.73
12	2.7	2.69	2.71	2.71	2.7	2.7
10	2.68	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
8	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
6	2.61	2.59	2.61	2.61	2.6	2.6
4	2.57	2.56	2.59	2.57	2.58	2.57
2	2.53	2.52	2.54	2.53	2.54	2.53

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศากับโวลต์ ของตัววัดค่า g

องศา	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
0	2.5	2.5	2.5	2.51	2.5	2.5
-2	2.48	2.48	2.49	2.49	2.48	2.48
-4	2.45	2.45	2.46	2.45	2.44	2.45
-6	2.42	2.42	2.42	2.42	2.4	2.42
-8	2.38	2.38	2.39	2.38	2.36	2.38
-10	2.35	2.35	2.35	2.34	2.33	2.34
-12	2.32	2.3	2.33	2.3	2.29	2.31
-14	2.29	2.26	2.26	2.26	2.26	2.27
-16	2.25	2.24	2.24	2.22	2.23	2.24
-18	2.22	2.2	2.2	2.2	2.22	2.21
-20	2.19	2.18	2.17	2.17	2.19	2.18
-30	2.03	2.02	2.01	2.01	2.02	2.02
-40	1.88	1.87	1.85	1.86	1.86	1.86
-50	1.74	1.75	1.73	1.74	1.73	1.74
-60	1.63	1.63	1.61	1.62	1.62	1.62
-70	1.53	1.55	1.53	1.54	1.54	1.54
-80	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
-90	1.44	1.45	1.46	1.45	1.44	1.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอสเก็ทบอร์ดรักษาสมดุลด้วยตนเอง ให้สามารถรักษาสมดุลได้ แม้เมื่อมีการรบกวนจากแรงภายนอก โดยมีหลักการทำงานแบบป้อนกลับ โดยใช้ตัว accelerometer เป็นเซ็นเซอร์จะถูกนำไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลและทำการคำนวณเพื่อที่จะส่งสัญญาณออกไปควบคุมมอเตอร์ การออกแบบโครงสร้างของสเก็ทบอร์ดในโครงการนี้ได้มาจากการศึกษารายงานและบทความของโครงการที่มีความเกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุล เช่น ระบบอินเวอร์ทเพนดูลัม และหุ่นยนต์รักษาสมดุลที่มีผู้เคยทดลองมาก่อนหน้านี้ จึงได้ข้อสรุปว่า สเก็ทบอร์ดควรมีความสูงที่เหมาะสมและมอเตอร์ที่ใช้ควรมีแรงบิดสูงเพื่อที่จะสามารถให้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว วงจรที่ใช้ในการควบคุมควรมีความเร็วในการประมวลผลสูงเพื่อให้เพียงพอต่อการคำนวณและการแปลงค่าอะนาลอกเป็นดิจิทัลให้อยู่ในช่วงเวลาจริง ไม่เช่นนั้นแล้วจะไม่สามารถตอบสนองได้ทันกับความเป็นไปของระบบ ณ เวลานั้น เมื่อได้ทำการสร้างและประกอบโครงสร้างของสเก็ทบอร์ดรวมถึงวงจรจนเสร็จสมบูรณ์

เนื่องจากต้องการรักษาสมดุลของสเก็ทบอร์ด เมื่อทำการผลักสเก็ทบอร์ด คือ ระบบถูกรบกวนทำให้เกิดการโน้มเอียงเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปจากจุดสมดุล ตัว accelerometer จะทำการวัดมุมการเอียงของตัวสเก็ทบอร์ด จากนั้นสัญญาณการเอียงของมุมจะนำมาคำนวณเพื่อหาค่าของสัญญาณควบคุมไปทำการควบคุมระบบผ่านทางมอเตอร์ เพื่อให้ระบบกลับเข้าสู่จุดสมดุลเดิม

เอกสารอ้างอิง

1. วงศธร อินทอง, วรพจน์ทรัพย์สมบูรณ์, ปริญญาณีพนธ์เรื่อง “หุ่นยนต์รักษาสมดุลด้วยตัวเอง” ปีการศึกษา 2549 : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ชวลิต ศรีณยศุปต์, สงกรานต์ ศรีปัญญา, ปริญญาณีพนธ์เรื่อง “อินเวอร์ทเพนคูล์ม” ปีการศึกษา 2542 : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ทรงกลด ชिरาชัย, ทศยา ปุคคละนันท์, จันทรค์คุณภาส, ปริญญาณีพนธ์เรื่อง “รถอินเวอร์ทเพนคูล์ม” ปีการศึกษา 2541 : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. ธนาวัน อุทัยเจริญพงษ์, จุฑธร แคล้วโยธาปริญญาณีพนธ์เรื่อง “หุ่นยนต์รักษาสมดุลด้วยตัวเอง” ปีการศึกษา 2548 : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5. รศ. มนตรี พิรุณเกษตรเจริญ “Engineering Dynamic” เอกสารประกอบการเรียนการสอน
6. มณฑล ใจกุศล, พงษ์ศักดิ์ ชินนาบุญ, วีระชัย ถิมพรชัยเจริญ “Engineering Statics” เอกสารประกอบการเรียนการสอน
7. *Dr. Ray Ridley, Ridley Engineering. Gate Drive design TIP.*
8. Larry Barello. Gyrobot a Two Wheel Balancing Robot.
9. Laszlo Balogh . Design And Application Guide For High Speed MOSFET Gate Drive Circuits
10. www.Thaimicroton.com
11. www.electoday.com
12. www.google.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----//

// Program      : Control skateboard

// Description   : Read ADC 4 channel(AN0)

// Frequency    : 7.3738 MHz at PLL 4x

// Filename     : skateboard.c

// C compiler    : C30 Compiler by Microchip Technology

//-----//

#include <p30f2010.h> // Header file for dsPIC30F2010

#include <adc10.h> // Module function for 10 bit ADC

#include <pwm.h> // Module function for PWM

#include <ports.h> // Module function for Interrupt configuration port

//-----//

//-----// ฟังก์ชันกำหนดค่าเริ่มต้น //-----//

//-----//

_FOSC(CSW_FSCM_OFF & //ไม่มีการสวิตช์ clock

XT_PLL4); //ใช้ crystal ภายนอก x postscal:1 x PLL:4เท่า

_FWDT(WDT_OFF); //ปิดการใช้งาน watch dog timer

_FBORPOR(PBOR_ON & //Brown-out reset function:ON

BORV_20 & //Brown-out voltage: 2.0V

PWRT_64 & //Power on reset timer:64msec

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MCLR_EN);                //MCLR function:ON

_FGS(CODE_PROT_OFF);     //code protect off

#define PERIOD 4608        // Define Period 10 ms(100 Hz)

double swingF=2.59;       // 5 องศา

double swingB=2.44;       // 5 องศา

double maxF=2.75 , maxB=2.26;

//-----//
//-----Function for initial module 10 bit ADC-----//
//-----//

void adc_init()
{
    unsigned int Channel, PinConfig, Scanselect, Adcon3_reg, Adcon2_reg, Adcon1_reg;

    ADCON1bits.ADON = 0;    // Turn off ADC

    Channel = ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN0 & // Channel 0 positive input select AN0

                ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN1 & // Channel 0 positive input select AN1

                ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN2 & // Channel 0 positive input select AN2

                ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN3 & // Channel 0 positive input select AN3

                ADC_CH0_NEG_SAMPLEA_NVREF ; // Channel 0 negative VREF

    SetChanADC10(Channel);    // Set channel configuration

    ConfigIntADC10(ADC_INT_DISABLE); // Disable interrupt for ADC

```

```

PinConfig = ENABLE_AN0_ANA & // Enable AN0-AN3 analog port

           ENABLE_AN1_ANA &

           ENABLE_AN2_ANA &

           ENABLE_AN3_ANA ;

```

```

Scanselect = SKIP_SCAN_AN4 & // Scan for AN0-AN3

```

```

           SKIP_SCAN_AN5 &

```

```

           SKIP_SCAN_AN6 &

```

```

           SKIP_SCAN_AN7;

```

```

Adcon3_reg = ADC_SAMPLE_TIME_10 & // Sample for 10 time

```

```

           ADC_CONV_CLK_INTERNAL_RC & // Internal Clock

```

```

           ADC_CONV_CLK_13Tcy;

```

```

Adcon2_reg = ADC_VREF_AVDD_AVSS & // Vref at Vdd and Vss

```

```

           ADC_SCAN_ON & // Enable scan for ADC

```

```

           ADC_ALT_BUF_OFF & // Disable alternate buffer

```

```

           ADC_ALT_INPUT_OFF & // Disable alternate input

```

```

           ADC_CONVERT_CH0 & // Select CH0 convert

```

```

           ADC_SAMPLES_PER_INT_16; // 16 sample between

```

interrupt

```

Adcon1_reg = ADC_MODULE_ON & // Enable module ADC

```

```

           ADC_IDLE_CONTINUE & // ADC run on idle mode

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ADC_FORMAT_INTG & // Output value integer
format

ADC_CLK_MANUAL & // ADC manual clock

ADC_SAMPLE_SIMULTANEOUS & // ADC sampling
simultaneous

ADC_AUTO_SAMPLING_ON; // ADC auto sampling

OpenADC10(Adcon1_reg, Adcon2_reg, Adcon3_reg, PinConfig, Scanselect); // Turn
on ADC module
}

//-----//
//----- Function for read ADC value -----//
//-----//

int read_adc(char channel)
{

ADCON1bits.SAMP = 1; // Start Sampling

while(!ADCON1bits.SAMP); // Wait for End Sampling process

ConvertADC10(); // Convert ADC

return(ReadADC10(channel)); // Keep value for ADC value

}

//-----//

```

```

//-----//

void delay(unsigned int ms)

{

    unsigned int x,a;        // Keep for counter loop

    for(x=0;x<ms;x++)

    {

        for(a=0;a<816;a++);    // Loop for delay 1 millisc per unit

    }

}

//-----//
//----- Interrupt service routine for PWM -----//
//-----//

void _ISR_PWMInterrupt(void)

{

    IFS2bits.PWMIF = 0;    // Clear PWM interrupt flag

}

//-----//

//----- Interrupt service routine for FAULT event -----//
//-----//

void _ISR_FLTAInterrupt(void)

```

```

{

    IFS2bits.FLTAIF = 0; // Clear FLUAT interrupt flag

}

//-----//

//----- Interrupt service routine for External interrupt 1 -----//

//-----//

void _ISR_INT1Interrupt(void)
{
    delay(10); //ลดสัญญาณรบกวนจากหน้าสัมผัสของสวิทช์
    IFS1bits.INT1IF = 0; // Clear External interrupt 1 flag
    //User_Mode();
}

//-----//

//----- Function for initial module PWM -----//

//-----//

void pwm_init(void)
{

    unsigned int config; // Holds the PWM interrupt configuration value

    unsigned int sptime; // Holds the value to be loaded into special event compare register

    unsigned int config1; // Holds PWM configuration value

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unsigned int config2; // Holds the value be loaded into PWMCON1 register

unsigned int config3; // Holds the value to configure the special event trigger

// postscale and duty cycle

TRISFbits.TRISF2 = 0; // Configuration RC13 output port

TRISFbits.TRISF3 = 0; // Configuration RC14 output port

sptime = 0x0;

config1 = (PWM_EN & // Enable PWM module
           PWM_OP_SCALE16 & // Output post scaler select 1:1
           PWM_IPCLK_SCALE16 & // Input prescaler select 1:1
           PWM_MOD_FREE); // PWM free running mode

config2 = (PWM_MOD1_IND & // 3th channel in independent mode
           PWM_MOD2_IND & // 2th channel in independent mode
           PWM_MOD3_IND & // 1th channel in independant mode
           PWM_PEN3H & // H of channel 3 works as PWM
           PWM_PDIS3L & // L of channel 3 works as IO
           PWM_PDIS2H & // H of channel 2 works as IO
           PWM_PDIS2L & // L of channel 2 works as IO
           PWM_PDIS1H & // H of channel 1 works as IO
           PWM_PDIS1L ); // L of channel 1 works as IO

config3 = (PWM_SEVOPS1 & // Special event post scaler 1:1

```

```

        PWM_OSYNC_PWM &           // over ride synchronised with PWM clk

        PWM_UEN);                 // Update of PDCs and PTPER enabled

    OpenMCPWM(PERIOD,sptime,config1,config2,config3); // Setup parameter for PWM
module

}

//-----//

//----- Function drive DC motor Forward -----//

//-----//

void forward(int pow)
{
    unsigned int dutycycle,updatedisable;

    dutycycle = 100 - (pow*(PERIOD/100)) ;           // Keep dutycycle

    updatedisable = 0;                               // Disable update

    LATFbits.LATF2 = 1;

    LATFbits.LATF3 = 0;

    SetDCMCPWM(1,dutycycle,updatedisable);          //สั่ง PWM1 ทำงาน

}

//-----//

//----- Function drive DC motor Backward -----//

//-----//

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void backward(int pow)

{

    unsigned int dutycycle,updatedisable;

    dutycycle = 100 - (pow*(PERIOD/100)) ; // Keep dutycycle

    updatedisable = 0;                                // Disable update

    LATFbits.LATF2 = 0;

    LATFbits.LATF3 = 1;

    SetDCMCPWM(2,dutycycle,updatedisable);           //สั่ง PWM2 ทำงาน
}

//-----//
//-----Function stop motor-----//
//-----//

void stop_motor()

{

    unsigned int dutycycle,updatedisable;

    dutycycle = 0;

    updatedisable = 0;                                // Disable update

    LATFbits.LATF2 = 0;

    LATFbits.LATF3 = 0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----//

//----- Set Swing For Blance -----//

//-----//

void set_swing( int val)

{

/*double swingF=2.59; // 5 องศา

double swingB=2.44; // 5 องศา

double maxF=2.75,maxB=2.26; */

double power ;

power = (val* 5)/1024;

if ((power >= 0) && (power <= 2.26))

{

forward(100*power/maxB);

}

else if ((power >= 2.27) && (power <= 2.75))

{

stop_motor();

}

else if ((power >= 2.75) && (power <= 5))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

backward(100*power/maxF);

}

}

//-----//

//----- Set speed stop -----//

//-----//

void set_start_stop( int val)

{

/* double swingF=2.59; // 5 องศา

double swingB=2.44; // 5 องศา

double maxF=2.75,maxB=2.26; */

double count_sum_power;

double power_sum[5];

double power ;

power = (val* 5)/1024;

if (power < swingB)

{

stop_motor(); // stop

}

else if (power > maxF )

```

```

{

    count_sum_power++;

    if(count_sum_power == 5)

    {

        power=
power_sum[1]+power_sum[2]+power_sum[3]+power_sum[4]+power_sum[5];

        power = power/5;

    }

    forward(100*power/maxF); // start
}

}

//-----//
//-----//
//-----//

void main()

{

    int a ;

    unsigned int adc_val;

    TRISDbits.TRISD1=1;

    PORTDbits.RD1=1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

adc_init();

pwm_init();

while(1)

{

adc_val=read_adc(0);

delay(10);

a = adc_val ;

//set_swing(a);

set_start_stop(a);

while(PORTDbits.RD1=0)

{

adc_val=read_adc(0);

delay(10);

a = adc_val ;

//set_start_stop(a);

set_swing(a);

}

}

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้