

จักรยานล้อเดียว

UNICYCLE



นายสิทธิกร

นายสุทธิเกียรติ

ตระกูลฤตาวร

พูลสวัสดิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**83080**
วัน,เดือน,ปี.....- 5 ส.ค. 2551

b.....1116.4145
i.....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNICYCLE



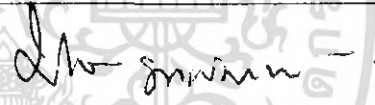
**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

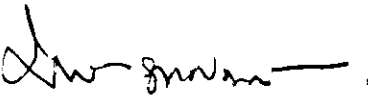
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท จักรยานล้อเดียว
UNICYCLE
นักศึกษาผู้จัดทำ นายสิทธิกร ตระกูลถาวร รหัสประจำตัว 47010832
นายสุทธิเกียรติ พูลสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 47010858
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รศ. ประภาส อุดกสิมาพันธุ์	

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ. ประภาส อุดกสิมาพันธุ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท	จักรยานล้อเดียว
	UNICYCLE
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายสิทธิกร ตระกูลสุวรรณ รหัสประจำตัว 47010832
	นายสุทธิเกียรติ พูลสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 47010858
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ประภาส อุคคกิมพันธ์
ปีการศึกษา	2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการศึกษาและสร้างจักรยานล้อเดียว โดยอาศัยหลักการรักษาสมดุลของ ก้านเพนดูลัมให้ตั้งฉากกับแกนหรือฐานของเพนดูลัม ในการทรงตัวของก้านเพนดูลัมนั้นจะต้อง สัมพันธ์กับการทำงานของระบบขับเคลื่อนของจักรยานล้อเดียว ซึ่งการควบคุมการทำงานของ มอเตอร์ใช้ระบบควบคุมแบบออปติมอลคอนโทรล ผ่านตัวประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC30F6010 และใช้เซนเซอร์แบบอินคลิโนมิเตอร์และ ไจโรสโคปเป็นตัวเซนเซอร์วัดความเอียง และวัดอัตราเร็วเชิงมุม ตามลำดับ ความสัมพันธ์ทั้งหมดนี้ถูกออกแบบเพื่อทำให้จักรยานล้อเดียว สามารถเคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่ผู้ใช้งานต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Unicycle	
Authors	Mr. Sithikom	Trakoonkootaworn
	Mr. Suttikiat	Poolsawad
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Prapat	Ukkakimapan
Year	2007	

ABSTRACT

This article presents the education and builds Unicycle. It is about balancing of the rigid body by keeping the pendulum to be perpendicularly with base. The principle of Inverted Pendulum was worked with optimal control theory can apply to build Unicycle. The main construction of Unicycle was included one wheel that had BLDC motor inside it and structure of Unicycle which made from stainless. Digital signal processing controller (dsPIC30F6010) by using C language to program. Gyroscope is used in angular velocity measurement and Inclinator is used in angular measurement.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์
ประภาส อุคคกิมพันธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ธนิตย์ ศรีสุวรรณวัฒน์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัย
ตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำปริญญาบัตรนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง
และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์กฤษณ์ เสมอพิทักษ์ และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อันเป็นที่รักยิ่งที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการ
ทำปริญญาบัตรฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ I บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	1
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหลักการควบคุมการทรงตัวของจักรยานล้อเดียว.....	3
2.1 บทนำ	
2.1.1 หลักการทำงานและทฤษฎีต่าง ๆ.....	3
2.1.2 หลักการออกแบบ.....	3
2.2 หลักการทำงานของ Brushless DC Motor	4
2.3 หลักการของระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุด(Optimal Control System).....	5
2.3.1 หลักการออกแบบระบบควบคุม.....	8
2.3.2 การออกแบบตัวควบคุมแบบ LQR.....	12
2.4 หลักการการทำงานของไอโรสโคป.....	16
2.5 หลักการทำงานของอินคลิโนมิเตอร์.....	17
2.6 หลักการทำงานของฟังก์ชัน SPI.....	18
2.7 หลักการทำงานร่วมกันของไอโรสโคปกับอินคลิโนมิเตอร์.....	18
2.8 ข้อมูลเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC.....	19
2.8.1 การสั่งงานคอมพิวเตอรืด้วยภาษาโปรแกรม.....	20
2.8.2 จุดเด่นของภาษาซี.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	23
3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์.....	23
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจักรยานล้อเดียว.....	26
บทที่ 4 การออกแบบระบบควบคุมและโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์.....	36
4.1 การออกแบบระบบควบคุม.....	36
4.2 การออกแบบโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์.....	52
4.3 การทดลองโดยการนำวัตุมาวางกับตัวรถ.....	55
4.4 การทดลองหาผลตอบสนองของจักรยานล้อเดียว.....	56
บทที่ 5 โครงสร้างของจักรยานล้อเดียว.....	54
5.1 ลักษณะทั่วไปของจักรยานล้อเดียว.....	54
5.2 วงจรควบคุมการทำงานของ Brushless DC motor.....	57
5.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า.....	58
5.3.1 Gyro Evaluation Board.....	58
5.3.2 Inclinator/Accelerometer Evaluation Board.....	59
5.3.3 Current Sensor.....	60
บทที่ 6 การทดลอง.....	61
6.1 การทดลองโดยมีผู้ใช้งานควบคุมการจักรยานล้อเดียว.....	61
6.2 การทดลองโดยการนำวัตุมาวางกับตัวรถ.....	62
6.3 การทดลองหาผลตอบสนองของจักรยานล้อเดียว.....	63
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง ปัญหา และข้อเสนอแนะ.....	66
7.1 สรุปผลการทดลอง.....	66
7.2 ปัญหา.....	66
7.3 ข้อเสนอแนะ.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก.....	70
ภาคผนวก ข.....	92
ภาคผนวก ค.....	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงส่วนประกอบของ Brushless DC motor.....	4
2.2 แสดงถึงอุปกรณ์พื้นฐานทั้งสามตัวได้แก่ ตัวค้ำทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ.....	6
2.3 ระบบทางไฟฟ้า.....	6
2.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกและปริมาณเข้า.....	7
2.5 แสดงการออกแบบตัวควบคุมในแนวตั้งเดิม.....	8
2.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบที่มีสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในวงควบคุม.....	9
2.7 แสดงการออกแบบตัวควบคุมในแนวใหม่.....	10
2.8 แสดงถึงลักษณะของ Plant.....	12
2.9 แสดงถึงลักษณะของ Weighting Functions.....	12
2.10 แสดงถึงลักษณะของระบบ LQR.....	13
2.11 แสดงรูปแบบสมการเมตริกซ์ของ State feedback gain F.....	13
2.12 แสดงถึงลักษณะของ Weighting Functions.....	14
2.13 แสดงภาพหน้าต่างอธิบาย LQR ของโปรแกรม MATLAB.....	15
2.14 แสดงภาพไจโรสโคป (Gyroscope) รุ่น ADIS16080	16
2.15 แสดงภาพอินคลิโนมิเตอร์ Inclinator รุ่น ADIS16201.....	17
2.16 dsPIC30F6010 80-Lead Plastic Thin Quad Flatpack (TQFP).....	20
3.1 แสดงล้อที่มีมอเตอร์อยู่ภายใน.....	23
3.2 แบบจำลองโครงสร้างของมอเตอร์.....	23
3.3 Free body diagram ของล้อจักรยานสภาวะสมดุล.....	27
3.4 Free body diagram ของส่วนที่เป็นก้าน Pendulum.....	30
4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{av} และ I_a	38
4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{emf} และ ω	40
4.3 แสดงวิธีการหาค่า k_m	41
4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงบิดของมอเตอร์ และ I_a	43
4.5 แสดงลักษณะของวัตถุทรงกลม.....	44
4.6 แสดงลักษณะของวัตถุทรงกระบอกรูปไข่.....	45
4.7 Open Loop Poles ของระบบที่ไม่อยู่ในเสถียรภาพ.....	47
4.8 Close Loop Poles ของระบบที่อยู่ในเสถียรภาพ.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 ผลตอบสนองของระบบเมื่อค่าน้ำหนัก $q_{11}=1$ กับ $q_{33}=1$ และ $R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	49
4.10 ผลตอบสนองเมื่อค่าน้ำหนักเป็น $q_{11} = 1000$ กับ $q_{33} = 1000$ และ $R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	50
4.11 ผลตอบสนองเมื่อค่าน้ำหนักเป็น $q_{11}=10000$ กับ $q_{33} = 10000$ และ $R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	50
4.12 ผลตอบสนองเมื่อค่าน้ำหนักเป็น $q_{11}=10000$ กับ $q_{33} = 10000$ และ $R = 0.1 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	51
4.13 แผนภาพโดยรวมของการเขียนโปรแกรมควบคุมจักรยานล้อเดียว.....	52
5.1 Dimension ของจักรยานล้อเดียว.....	54
5.2 ลักษณะทั่วไปของจักรยานล้อเดียว.....	55
5.3 ลักษณะของวงจรที่ติดตั้งในจักรยานล้อเดียว.....	56
5.4 วงจรขับ Brushless DC motor.....	57
5.5 แสดง Gyro Evaluation Board รุ่น ADIS16080/PCB.....	58
5.6 แสดง Inclinometer Evaluation Board รุ่น ADIS16201/PCB.....	59
5.7 แสดง Current Sensor รุ่น ACS754xCB-050-PFF.....	60
6.1 แสดงการทดลอง โดยมีผู้ใช้งานควบคุมกับจักรยานล้อเดียว.....	62
6.2 แสดงการทดลอง โดยมีผู้ใช้งานควบคุมกับจักรยานล้อเดียว.....	63
6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่โน้มเอียง (0-15 องศา) กับ PWM.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงผลการทดลองหาค่า R_a	38
4.2 แสดงผลการทดลองหาค่า k_e	40
4.3 แสดงผลการทดลองหาค่า k_m	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของการวิจัย

เทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการทรงตัวของวัตถุนั้นได้มีการคิดค้นและพัฒนาอยู่ตลอดเวลาซึ่งหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ นั้นได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมาย ไม่ว่าจะเป็นอาคารบ้านเรือน หุ่นยนต์ในโรงงานอุตสาหกรรม หรืออาจเป็นยานพาหนะต่าง ๆ เป็นต้น

ระบบแบบอินเวอร์ทเพนดูลัม ถือว่าเป็นระบบหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการทรงตัวของวัตถุซึ่งได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่าง ๆ มากมาย ทางผู้วิจัยจึงสนใจนำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองสร้างจรวดขีปนาวุธ

จรวดขีปนาวุธเป็นยานพาหนะที่ทรงตัวได้โดยอาศัยล้อเดียว เราจะทำการศึกษาและพัฒนา ยานพาหนะชนิดนี้ให้สามารถรักษาการทรงตัวได้และสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ ตามการควบคุมของผู้ใช้งาน ฉะนั้นจึงได้ทำการวิจัยและสร้างจรวดขีปนาวุธขึ้น โดยอาศัยหลักการอินเวอร์ทเพนดูลัม

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและออกแบบตัวควบคุมยานพาหนะขับเคลื่อนแบบล้อเดียว โดยใช้หลักการของอินเวอร์ทเพนดูลัม เพื่อให้ยานพาหนะนี้สามารถทรงตัวอยู่ได้โดยไม่ล้มและเคลื่อนที่ไปยังทิศทางต่างๆ ตามความต้องการของผู้ใช้งานโดยใช้การโน้มตัว

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมแบบออปติมอลคอนโทรลโดยอาศัยหลักการของอินเวอร์ทเพนดูลัมและทฤษฎีของมอเตอร์ในการออกแบบชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC (Digital Signal Processing PIC) ใช้ Inclinometer และ Gyroscope ประยุกต์เป็นตัวเซนเซอร์บอกความเอียงและวัดอัตราเร็วเชิงมุม เพื่อที่จะสามารถทำให้รถจรวดขีปนาวุธสามารถทรงตัวและเคลื่อนที่ได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ โดยวิธีการโน้มตัวตามทฤษฎีที่ออกแบบไว้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำปริญญานิพนธ์นี้เริ่มจากการศึกษาการทำงานของมอเตอร์ หลักการของอินเวอร์ทเพนดูลัมและออกแบบระบบควบคุมแบบออปติมอลคอนโทรล โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม SolidWork Matlab และใช้ภาษาซี เพื่อออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC30F เป็นต้น จากนั้นทำการสร้างตัวรถจักรยานล้อเดียวและทำการเขียนโปรแกรมบน dsPIC30F



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหลักการควบคุมการทรงตัว ของจรวดยานล้อยเดี่ยว

2.1 บทนำ

การควบคุมการทรงตัวและการเคลื่อนที่ของจรวดยานล้อยเดี่ยวนั้นเป็นการรวมองค์ประกอบหลาย ๆ องค์ประกอบเข้าด้วยกันอันได้แก่ หลักการของอินเวอร์ทเพนดูลัม หลักการของดีซีมอเตอร์ หลักการของการควบคุมแบบออปติมอล การทำงานของเซนเซอร์แบบ Gyroscope และ Inclinator หลักการออกแบบโครงสร้างของจรวดยานล้อยเดี่ยว เป็นต้น ดังที่กล่าวมานั้นแสดงว่าจรวดยานล้อยเดี่ยวจะทำงานได้จะต้องศึกษาถึงหลักการต่าง ๆ โดยสามารถแบ่งหลักการออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

2.1.1 หลักการทำงานและทฤษฎีต่างๆ ดังนี้

2.1.1.1 หลักการทำงานของ Brushless DC motor

- พฤติกรรมของ Brushless DC motor และ โมเดลทางคณิตศาสตร์ของ Brushless DC motor
- หลักการทำงานของวงจร Brushless DC motor

2.1.1.2 หลักการควบคุมของคอนโทรลเลอร์

- หลักการของออปติมอลคอนโทรล

2.1.1.3 หลักการของเซนเซอร์แบบ Gyroscope และ Inclinator

2.1.1.4 หลักการทำงานร่วมกันของ Gyroscope และ Inclinator

2.1.2 หลักการออกแบบ ดังนี้

2.1.2.1 การออกแบบโครงสร้างของจรวดยานล้อยเดี่ยว

- คำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น น้ำหนักของจรวดจรวดยานล้อยเดี่ยว ความสูงของจรวดยานล้อยเดี่ยว เป็นต้น

2.1.2.2 การออกแบบคอนโทรลเลอร์

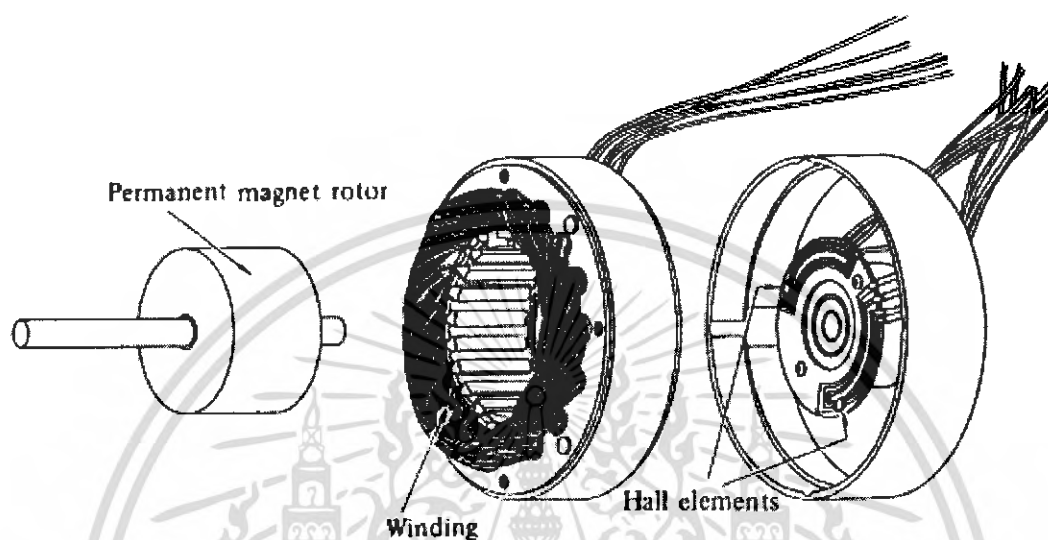
- การออกแบบระบบควบคุมที่เหมาะสมในโปรแกรม MATLAB
- การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานต่างๆของจรวดยานล้อยเดี่ยวในไมโครคอนโทรลเลอร์

2.1.2.3 การออกแบบวงจรขับ Brushless DC motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการทำงานของ Brushless DC motor

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Motor หรือ BLDC Motor) ประกอบไปด้วย แกนหมุนแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet rotor) และขดลวดที่พันอยู่ที่ขั้วของสเตเตอร์ (Stator) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของ Brushless DC motor

ส่วนประกอบของบัสเลสดีซีมอเตอร์นั้นมีขดลวดอาร์เมเจอร์พันที่สเตเตอร์ และที่โรเตอร์มีแม่เหล็กหนึ่งขั้วหรืออาจมากกว่านั้น การพันขดลวดในบัสเลสดีซีมอเตอร์นั้นคล้ายกับการพันขดลวดโพลีเฟส (Polyphase) ในมอเตอร์กระแสสลับ บัสเลสดีซีมอเตอร์แตกต่างจากมอเตอร์กระแสสลับตรงที่มีการตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์ (หรือขั้วแม่เหล็ก) เพื่อที่จะส่งสัญญาณไปควบคุมสวิตซ์ไฟฟ้า ซึ่งส่วนมากจะใช้อุปกรณ์ฮอลล์ (Hall element) เป็นเซ็นเซอร์ในการตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์และตำแหน่งโพล (pole) พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์จะถูกเปลี่ยนเป็น พลังงานกล โดยแรงดึงดูดระหว่างแกนหมุนแม่เหล็กถาวรและสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดที่พันอยู่รอบขั้วที่สเตเตอร์

แรงบิดของเพลา เกิดขึ้นจากกระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำสร้างฟิลด์ที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ และขดลวดตัวนำเหล่านั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลาและกระแสเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau = K\phi I$$

เมื่อ	τ	คือ แรงบิดของเพลา มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร
	ϕ	คือ เส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์
	I	คือ กระแส มีหน่วยเป็น แอมแปร์
	K	คือ ตัวคงที่

ดังนั้นแรงบิดของเพลาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดโวลต์เตจตกคร่อมตัวมันเอง โวลต์เตจนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลาของมอเตอร์และด้านการไหลของกระแสความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เตจย้อนกลับนี้และความเร็วของเพลามอเตอร์คือ

$$E = K\phi\omega$$

เมื่อ	E	คือ แรงดันย้อนกลับ emf มีหน่วยเป็น โวลต์
	ϕ	คือ เส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์
	ω	คือ ความเร็วของมอเตอร์ มีหน่วยเป็น เรเดียน/วินาที

2.3 หลักการของระบบควบคุมที่เหมาะสม (Optimal Control System)

การออกแบบของระบบควบคุมที่เหมาะสมนั้นมีอยู่ 2 ขั้นตอนได้แก่

- 1) การรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ของระบบที่ต้องการควบคุม
- 2) ทำการออกแบบตัวควบคุม

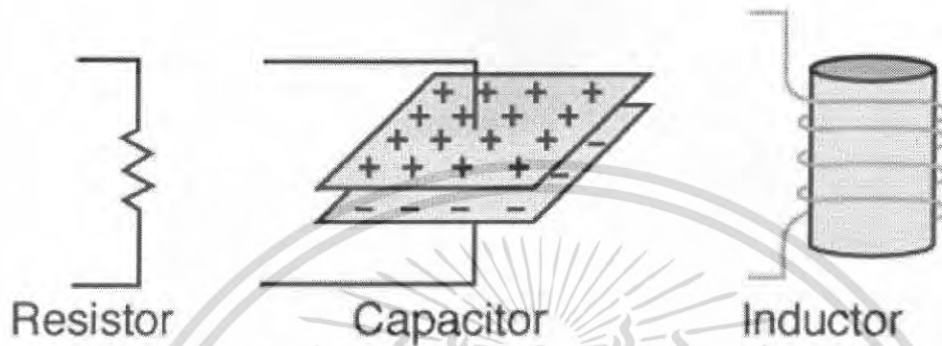
ในการออกแบบตัวควบคุมนั้นต้องอาศัยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบที่จะถูกควบคุม มาใช้ในการออกแบบตัวควบคุม โดยการที่เราจะควบคุมสิ่งใดได้นั้นเราต้องเข้าใจในกระบวนการของสิ่งๆนั้นให้ครอบคลุมทั้งหมดเสียก่อน เช่น คุณลักษณะของระบบนั้นๆ เป็นอย่างไร เป็นต้น แล้วการที่จะทราบคุณลักษณะของระบบนั้นๆ ได้สิ่งที่สามารถอธิบายได้นั้นจะมาจากสมการคุณลักษณะซึ่งหาได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบนั่นเอง

โดยในที่นี้จะยกตัวอย่างการหารูปแบบทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์พื้นฐานในวงจรไฟฟ้า ได้แก่ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และ ตัวเหนี่ยวนำ สำหรับตัวต้านทานแล้วมันไม่สามารถสะสมพลังงานไว้ในตัวมันได้แต่ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำนั้นสามารถสะสมพลังงานไว้ในตัวมันได้ กล่าวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

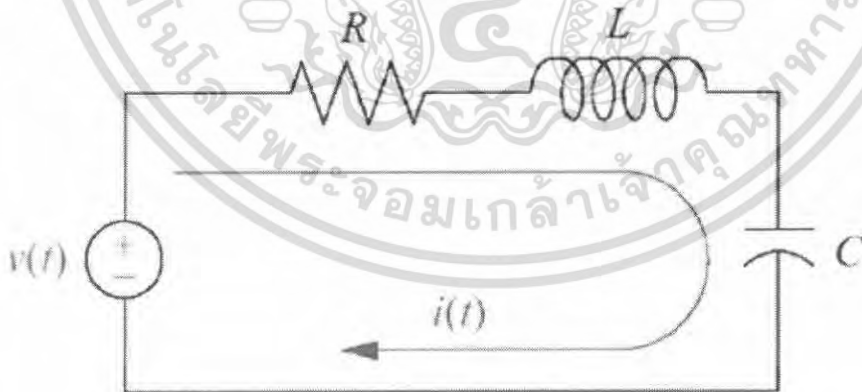
พลังงานที่สะสมใน

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ตัวต้านทาน } W_R = 0 \\ \text{ตัวเหนี่ยวนำ } W_L = \frac{1}{2} Li^2 \\ \text{ตัวเก็บประจุ } W_C = \frac{1}{2} Cv^2 \end{array} \right.$$



ภาพที่ 2.2 แสดงถึงอุปกรณ์พื้นฐานทั้งสามตัวได้แก่ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และ ตัวเหนี่ยวนำ

จากนั้นนำอุปกรณ์พื้นฐานทั้งสามตัวมาเชื่อมต่อระหว่างกันพร้อมกับแหล่งจ่ายไฟกลายเป็นระบบทางไฟฟ้าขึ้นมามีดังภาพที่ 2.3 โดยวัตถุประสงค์คือเพื่อที่จะอธิบายความหมายของสเตต(State) ของทฤษฎีระบบควบคุมที่เหมาะสม (Optimal Control System)



ภาพที่ 2.3 ระบบทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

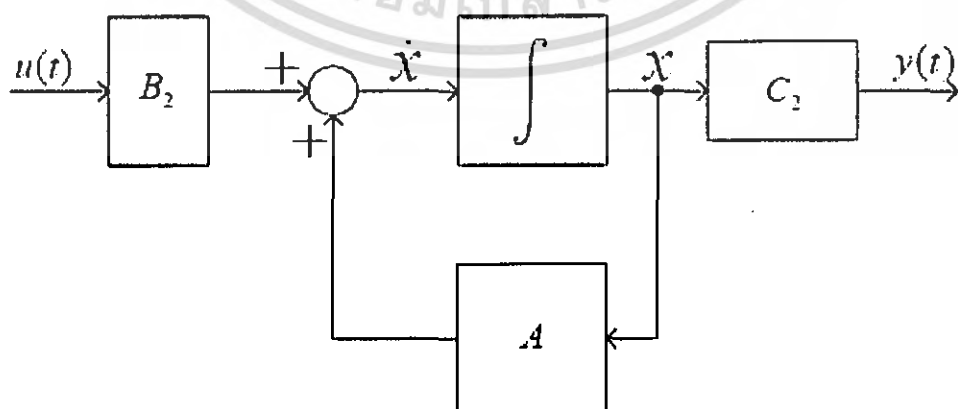
จากกฎศักดาไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Voltage Law)

$$\begin{aligned} v(t) &= v_R(t) + v_L(t) + v_C(t) \\ v_L(t) &= -v_R(t) - v_C(t) + v(t) \end{aligned}$$

จากพลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำ $W_L = \frac{1}{2} Li^2$ (ขึ้นอยู่กับกระแส) และพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ $W_C = \frac{1}{2} Cv^2$ (ขึ้นอยู่กับแรงดัน) เราจึงเขียนสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่งซึ่งเรียกว่า สมการสแตต (State Equation) ได้เป็น

$$\begin{aligned} L \frac{d}{dt} i(t) &= -R \cdot i(t) - v_C(t) + v(t) \\ C \frac{d}{dt} v_C(t) &= i(t) \\ \frac{d}{dt} i(t) &= -\left(\frac{R}{L}\right) i(t) - \left(\frac{1}{L}\right) v_C(t) + \left(\frac{1}{L}\right) v(t) \\ \frac{d}{dt} v_C(t) &= +\left(\frac{1}{C}\right) i(t) + \left(\frac{0}{C}\right) v_C(t) + \left(\frac{0}{C}\right) v(t) \end{aligned}$$

โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกและปริมาณเข้าดังแสดงในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอนนั้นจะเป็นส่วนหนึ่งของสมการสแตตและสมการปริมาณออก โดยสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกและปริมาณเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสามารถกำหนดรูปแบบเวกเตอร์-เมตริกซ์ของสมการสเตต (State Equation) เป็น
 $\dot{x} = Ax + B_2u$ และของสมการปริมาณออกเป็น $y = C_2x$ เขียนได้เป็นดังนี้

$$u(t) \rightarrow \begin{cases} \frac{d}{dt} x(t) = Ax(t) + B_2u(t) \\ y(t) = C_2x(t) \end{cases} \rightarrow y(t)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ i(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -(R/L) & -(1/L) \\ +(1/C) & +(0/C) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ i(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} +(1/L) \\ +(0/C) \end{bmatrix} u(t) \\ \begin{bmatrix} i(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} \\ &\equiv y \end{aligned}$$

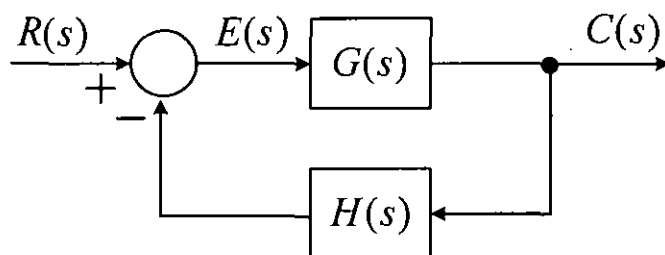
โดยที่เวกเตอร์และเมตริกซ์

$$A = \begin{bmatrix} -(R/L) & -(1/L) \\ (1/C) & 0 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} (1/L) \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เมื่อเราทำการหารูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบที่เราต้องการควบคุมได้แล้วขั้นตอนต่อไปต้องทำการออกแบบตัวควบคุม

2.3.1 หลักการออกแบบระบบควบคุม

ระบบควบคุมแบบดั้งเดิมนั้นเราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงการออกแบบตัวควบคุมในแนวดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ตัวแปรต่างๆจากภาพที่ 2.5 มีความหมายต่างๆดังนี้

$R(s)$ คือ ปริมาณอ้างอิงทางเข้า (Reference input)

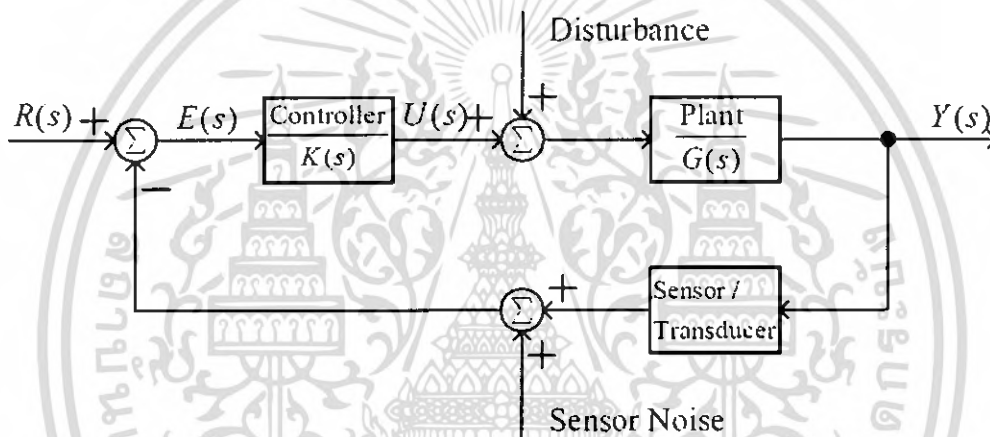
$E(s)$ คือ ความคลาดเคลื่อน (Error)

$C(s)$ คือ ปริมาณออกที่ถูกควบคุม (Controlled output)

$G(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของวิถีไปหน้า (Forward path)

$H(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของการป้อนกลับ (Feedback path)

จากบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบดั้งเดิมนั้นถ้าพิจารณาว่ามีสิ่งรบกวน (Disturbance) เกิดขึ้นเช่น การโน้มเอียงตัวรถจักรยานล้อเดียวจากจุดสมดุล เป็นคั่นในระบบสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมใหม่ได้ดังภาพที่ 2.6

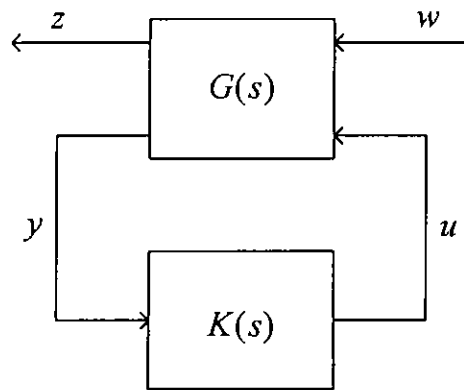


ภาพที่ 2.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบที่มีสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในวงควบคุม

จากภาพที่ 2.6 ระบบจะเกิดการรบกวนจากสิ่งรบกวนภายนอกโดยทำให้แผนภาพบล็อกต่างจากระบบควบคุมแบบดั้งเดิม โดยจากแนวคิดดังกล่าวเรานำมาทำการออกแบบตัวควบคุมในแนวใหม่ที่ประกอบด้วย

- 1) $G(s)$ คือ ระบบทั่วไปที่ต้องการทำการควบคุม (Generalized Plant)
- 2) $K(s)$ คือ ตัวควบคุมที่ต้องการออกแบบ (Controller)

จากภาพที่ 2.5 นั้นเราสามารถนำแผนภาพบล็อกที่มีสิ่งรบกวนเกิดขึ้นในวงควบคุมมาเขียนเป็นแผนภาพบล็อกของการออกแบบตัวควบคุมแนวใหม่ได้ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แสดงการออกแบบตัวควบคุมในแนวใหม่

โดยที่ตัวแปรต่างๆจากภาพที่ 2.7 ถูกกำหนดความหมายต่างๆไว้ดังนี้

Z คือ สัญญาณผิดพลาด (Error signal)

W คือ สัญญาณรบกวน (Disturbances)

Y คือ ตัวแปรต่างๆที่ถูกวัดค่า (Measured Variables)

U คือ สิ่งที่ต้องการควบคุมทางเข้า (Control input)

โดยจากตัวแปรทั้งหมดเราสามารถนำมาเขียนเป็นสมการในรูปเมตริกซ์ของ $G(s)$ (Generalized Plant) ได้ดังนี้

$$\text{Generalized Plant; } G(s) \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ z(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B_1 & B_2 \\ C_1 & 0 & D_{12} \\ C_2 & D_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ w(t) \\ u(t) \end{bmatrix}$$

จากนั้นทำการแปลงสมการเมตริกซ์ออกมาจะได้สมการของ $G(s)$ (Generalized Plant) ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}x(t) &= Ax(t) + B_1w(t) + B_2u(t) \\ z(t) &= C_1x(t) + D_{12}u(t) \\ y(t) &= C_2x(t) + D_{21}w(t) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากสมการเมตริกซ์ของ $G(s)$ (Generalized Plant) เราสามารถกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังนี้

X คือ ตัวแปรที่หาได้มาจากเวกเตอร์ของสแตตกำหนดให้มีขนาดเป็น n เวกเตอร์

u คือ สิ่งที่ต้องการควบคุมทางเข้า (Control input) กำหนดให้มีขนาดเป็น r เวกเตอร์

y คือ ตัวแปรต่าง ๆ ที่ถูกวัดค่า (Measured Variables) กำหนดให้มีขนาดเป็น m เวกเตอร์

A คือ ค่าคงที่ในรูปแบบของเมตริกซ์ ที่หาได้จากสมการสแตต (State Equation) โดยมีขนาดเป็น $n \times n$

B_2 คือ ค่าคงที่ในรูปแบบของเมตริกซ์ ที่หาได้จากสมการสแตต (State Equation) โดยมีขนาดเป็น $n \times r$

C_2 คือ ค่าคงที่ในรูปแบบของเมตริกซ์ ที่หาได้จากสมการสแตต (State Equation) โดยมีขนาดเป็น $m \times n$

B_1 คือ ค่าคงที่ในรูปแบบของเมตริกซ์ ที่หาได้จากสมการสแตต (State Equation) โดยมีขนาดเป็น $n \times r$ แต่ในที่นี้จะถูกกำหนดตามเงื่อนไขของผู้ออกแบบแต่ละคนว่าต้องการให้ระบบเป็นอย่างไรในส่วนของ Weighting Functions

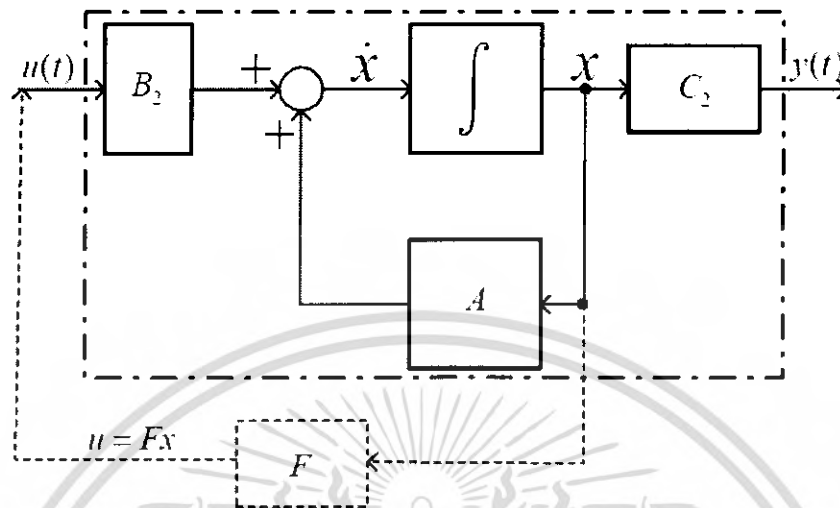
C_1 คือ ค่าคงที่ในรูปแบบของเมตริกซ์ ที่หาได้จากสมการสแตต (State Equation) โดยมีขนาดเป็น $m \times n$ แต่ในที่นี้จะถูกกำหนดตามเงื่อนไขของผู้ออกแบบแต่ละคนว่าต้องการให้ระบบเป็นอย่างไรในส่วนของ Weighting Functions

D_{12} คือ ค่าคงที่ในรูปแบบเมตริกซ์ซึ่งจะถูกกำหนดได้ตามลักษณะเฉพาะของระบบที่ต้องการควบคุม สามารถกำหนดได้จากลักษณะที่เกิดขึ้นในระบบนั้น ๆ โดยกำหนดมาจากค่าของสัญญาณผิดพลาดทางขาเข้า

D_{21} คือ ค่าคงที่ในรูปแบบเมตริกซ์ซึ่งจะถูกกำหนดได้ตามลักษณะเฉพาะของระบบที่ต้องการควบคุม สามารถกำหนดได้จากลักษณะที่เกิดขึ้นในระบบนั้น ๆ โดยกำหนดได้จากค่าของสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละระบบ

จากที่กล่าวมาในส่วนของการหารูปแบบทางคณิตศาสตร์นั้นต้องทำการหาสมการสแตต (State Equation) ของระบบที่ต้องการควบคุมโดย $G(s)$ Generalized Plant ประกอบไปด้วย

เป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.10 โดยสามารถสังเกตได้ว่าระบบจะถูกป้อน State feedback gain F เข้าไปดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 แสดงถึงลักษณะของระบบ LQR

จากภาพที่ 2.10 เราสามารถกำหนดนิยามของ State feedback gain F ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{array}{c}
 u_1 \rightarrow \\
 u_2 \rightarrow \\
 \vdots \\
 u_m \rightarrow
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \rightarrow x_1 \\
 \rightarrow x_2 \\
 \vdots \\
 \rightarrow x_n
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \left[\begin{array}{c} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_m \end{array} \right] = \left[\begin{array}{ccc} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & & & f_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ f_{m1} & & \cdots & f_{mn} \end{array} \right] \begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{array}
 \end{array}$$

$$\boxed{u = Fx}$$

ภาพที่ 2.11 แสดงรูปแบบสมการเมตริกซ์ของ State feedback gain F

จากภาพที่ 2.11 จะเห็นได้ว่า State feedback gain F จะเป็นตัวที่มาปรับค่าของตัวแปร x โดยการหาค่า $u = Fx$ โดยการเขียนโปรแกรมนั้นจะกำหนดให้ค่า $F = -K$ จากเงื่อนไขในโปรแกรมซึ่งได้แสดงไว้ดังภาพที่ 2.13 ก็คือต้องการทำให้ฟังก์ชันของ x ให้ได้ค่า J ต่ำนี้สมรรถนะ (Performance Indexes) ให้มีค่าต่ำที่สุดโดยการทำให้ J มีค่าต่ำสุดสามารถเรียกระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นว่า ระบบควบคุมที่เหมาะสม (Optimal Control) โดยเราจะกำหนดคณิยามของ J ดัชนีสมรรถนะ (Performance Indexes) ได้ดังนี้โดยจะอ้างอิงจาก Weighting Functions ของ $G(s)$ Generalized Plant ดังภาพที่ 2.12

$$z(t) = \begin{array}{|c|} \hline \boxed{B_1} w(t) \\ \hline \boxed{C_1} x(t) \\ \hline \boxed{D_{21}} w(t) \\ \hline \end{array} + \boxed{D_{12}} u(t)$$

ภาพที่ 2.12 แสดงถึงลักษณะของ Weighting Functions

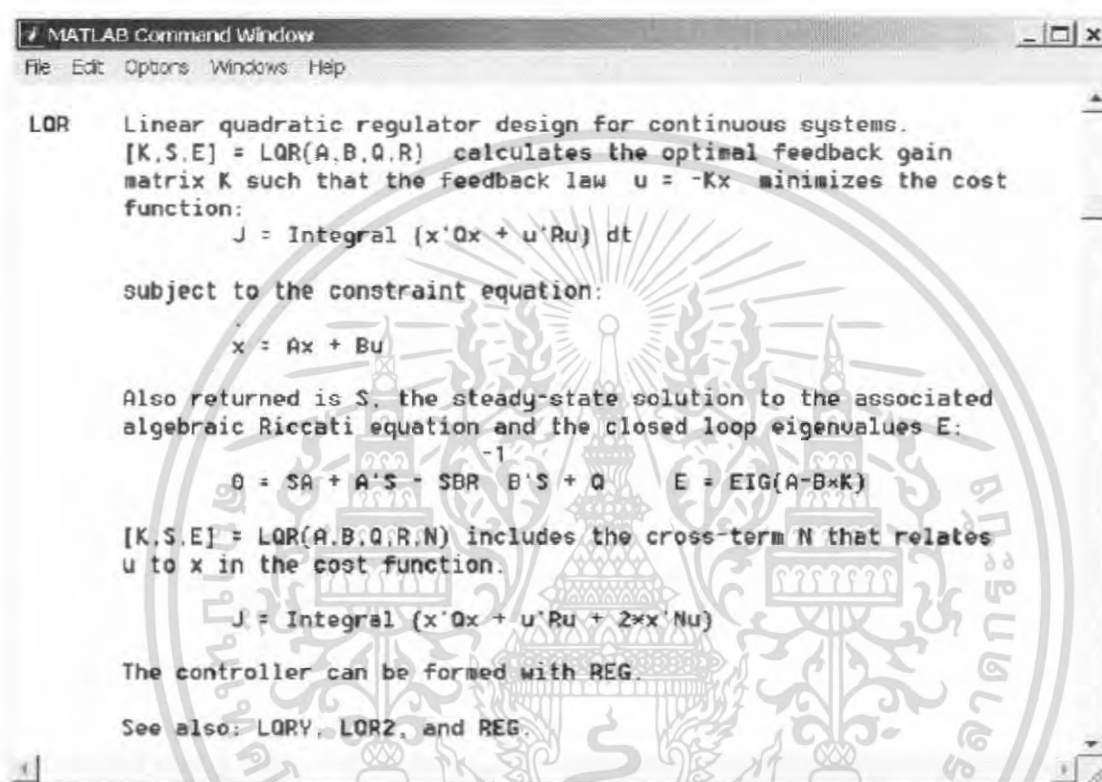
จากนั้นพิจารณาเพื่อหาสมการของ J ดัชนีสมรรถนะ (Performance Indexes) ดังนี้

$$\begin{aligned} z(t) &= C_1 x(t) + D_{12} u(t) = \begin{bmatrix} C_1 & D_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ u(t) \end{bmatrix} \\ z^T(t) &= [C_1 x(t) + D_{12} u(t)]^T = \begin{bmatrix} x(t) \\ u(t) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} C_1 & D_{12} \end{bmatrix}^T \\ z^T z &= [C_1 x + D_{12} u]^T [C_1 x + D_{12} u] = (C_1^T x^T + D_{12}^T u^T) (C_1 x + D_{12} u) \\ &= x^T C_1^T C_1 x + u^T D_{12}^T D_{12} u + \underbrace{x^T C_1^T D_{12} u + u^T D_{12}^T C_1 x}_{\text{cross-term}} \\ &= x^T C_1^T C_1 x + u^T D_{12}^T D_{12} u + \underbrace{\left(x^T \cancel{C_1^T D_{12}} u + u^T \cancel{D_{12}^T C_1} x \right)}_{=0} \\ z^T z &= x^T \underbrace{C_1^T C_1}_{\equiv Q} x + u^T \underbrace{D_{12}^T D_{12}}_{\equiv R} u \equiv x^T Q x + u^T R u \end{aligned}$$

$$\int_0^x (z^T z) dt = \|z(t)\|_2^2 \quad \left\| z(t) \right\|_2^2 \equiv \int_0^x (x^T Q x + u^T R u) dt = J$$

โดยจากสมการของ J ดัชนีสมรรถนะ (Performance Indexes) ข้างต้นเราจะต้องทำการปรับค่าของเมตริกซ์ Q และ R ซึ่งค่า Q และ R เราสามารถหาได้จากตัวอย่างการหาสมการของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J ข้างต้นโดยการปรับค่าของเมตริกซ์ก็จะสามารถทำให้ J มีค่าต่ำสุดได้โดยการที่เราจะสามารถทราบได้ว่าค่า J จะมีค่าที่ดีที่สุดได้อย่างไรนั้นจะสามารถทำการหาได้จากโปรแกรม MATLAB ซึ่งสามารถดูวิธีการเขียนหาการปรับค่าของเมตริกซ์ Q และ R ได้จากภาคผนวก ก ในส่วนของโปรแกรม MATLAB โดยสามารถศึกษาข้อมูลและวิธีการใช้งาน LQR ได้จากข้อมูลที่โปรแกรมให้มาดังภาพที่ 2.13



```

MATLAB Command Window
File Edit Options Windows Help

LQR Linear quadratic regulator design for continuous systems.
[K,S,E] = LQR(A,B,Q,R) calculates the optimal feedback gain
matrix K such that the feedback law u = -Kx minimizes the cost
function:
    J = Integral (x'Qx + u'Ru) dt
subject to the constraint equation:
    x-dot = Ax + Bu
Also returned is S, the steady-state solution to the associated
algebraic Riccati equation and the closed loop eigenvalues E:
    Q = SA + A'S - SBR^-1B'S + Q    E = EIG(A-B*K)
[K,S,E] = LQR(A,B,Q,R,N) includes the cross-term N that relates
u to x in the cost function.
    J = Integral (x'Qx + u'Ru + 2*x'Nu)
The controller can be formed with REG.
See also: LQRY, LQR2, and REG

```

ภาพที่ 2.13 แสดงภาพหน้าต่างอธิบาย LQR ของโปรแกรม MATLAB

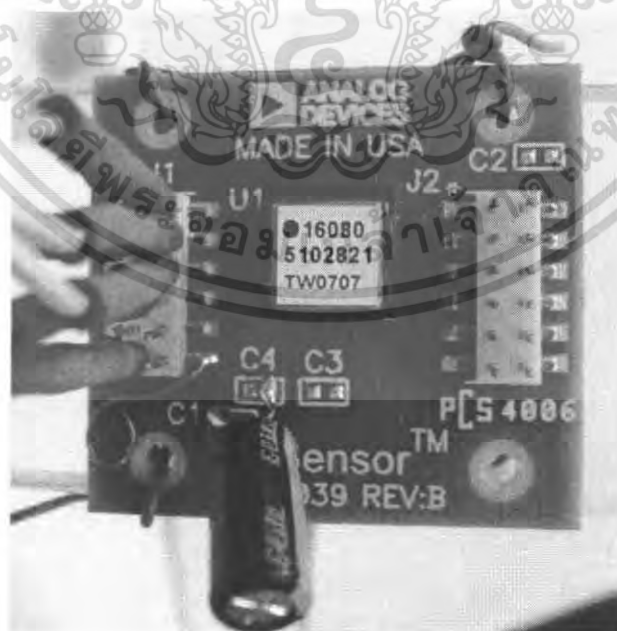
จากที่ได้อธิบายมาทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าค่าของ State feedback gain F ที่เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ตำแหน่งผลตอบสนองของระบบเปลี่ยนไปด้วยซึ่งสามารถดูผลการทดลองได้ในบทที่ 4 โดยการหาค่า F ที่เหมาะสมที่สุดขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบว่าต้องการผลตอบสนองของระบบในลักษณะใดโดยการเปลี่ยนค่าของ State feedback gain F แล้วดูลักษณะของผลตอบสนอง ค่า State feedback gain F ต่าง ๆ

โดยที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เทคนิคการออกแบบตัวควบคุม F นี้เรียกว่า Linear Quadratic Regulator (LQR) ซึ่งวัตถุประสงค์ของ LQR ก็คือ ทำให้ระบบเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบเป็นไปดังที่ได้ทำการออกแบบไว้ตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 หลักการทำงานของไจโรสโคป

ไจโรสโคป (Gyroscope) เป็นเซนเซอร์ที่สามารถวัดอัตราเร็วเชิงมุมหลักการในการทำงานของ ไจโรสโคป(Gyroscope) นี้จะประกอบไปด้วย Polysilicon 2 ตัวประกอบอยู่ในตัวไจโรสโคป (Gyroscope) โดย Polysilicon แต่ละตัวนั้นจะถูกทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ด้วยวิธีการทางไฟฟ้าโดยจะทำให้สามารถนำหลักการนี้ไปหาค่าของความเร็วเชิงมุมที่เกิดขึ้นได้กับสิ่งที่จะนำไปวัดสัญญาณที่ออกมาที่แรกนั้นจะออกมาในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจะถูกนำไปแปลงค่าให้สัญญาณออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งจะทำได้สามารถนำมาใช้งานในฟังก์ชันของ SPI ได้ โดยการสร้างจ็กรยานล้อเดียนี่ได้เลือกใช้ไจโรสโคป (Gyroscope) รุ่น ADIS16080 ดังภาพที่ 2.14 ซึ่งผลิตโดยบริษัท Analog Devices ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยไจโรสโคป (Gyroscope) นี้จะมีค่า Input เป็นอัตราเร็วเชิงมุมที่วัดได้และจะให้สัญญาณ Output เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสามารถทำงานร่วมกับหมวด SPI (Serial Peripheral Interface) ของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC30F ได้โดยในส่วนของสัญญาณ Output ที่ได้ออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งสามารถนำข้อมูลที่วัดได้มาแลกเปลี่ยนข้อมูลทำงานร่วมกับเซนเซอร์ชนิดอื่นได้ตามคุณสมบัติของฟังก์ชันหมวด SPI ในไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC30F โดยเซนเซอร์ที่มาใช้งานในหมวด SPI ร่วมกับไจโรสโคป (Gyroscope) นั้นคืออินคลินอมิเตอร์ (Inclinometer) ซึ่งเป็นเซนเซอร์วัดความเอียงหรือมุมที่เปลี่ยนแปลงไปโดยในรายละเอียดของอินคลินอมิเตอร์ (Inclinometer) จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป ส่วนในรายละเอียดต่างๆนอกเหนือจากที่กล่าวมานี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Datasheet ของไจโรสโคป (Gyroscope) รุ่น ADIS16080 ในภาคผนวกได้

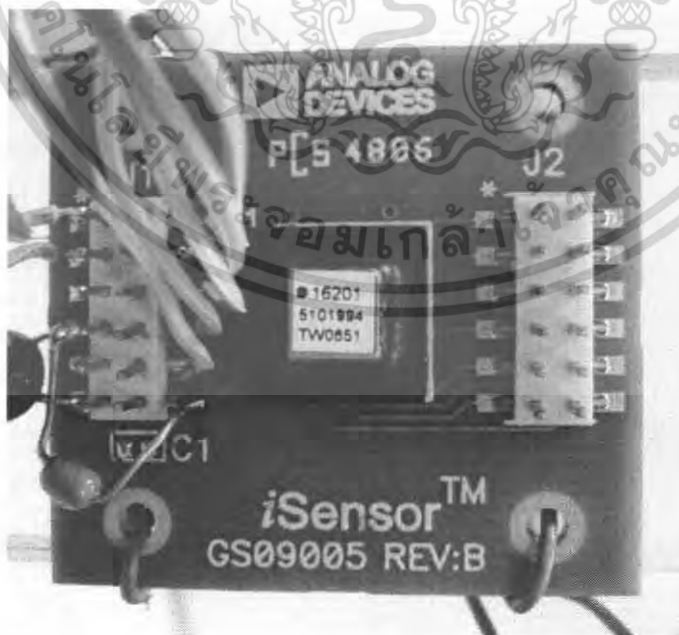


ภาพที่ 2.14 แสดงภาพไจโรสโคป (Gyroscope) รุ่น ADIS16080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หลักการทำงานของอินคลินอมิเตอร์

อินคลินอมิเตอร์ (Inclinometer) เป็นเซนเซอร์วัดความเอียงหรือมุมที่เปลี่ยนแปลงไปชนิดหนึ่ง โดยหลักการทำงานของอินคลินอมิเตอร์ (Inclinometer) นี้จะมีตัว Polysilicon วางไว้บน Silicon โดยเมื่อเกิดมุมที่เปลี่ยนแปลงไปจากจุดสมดุลสปริงของ Polysilicon จะขยายออกไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความต้านทางไฟฟ้าที่จะแปรผันไปตามมุมที่เปลี่ยนแปลงไปสัญญาณที่ออกมาที่แรกนั้นจะออกมาในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าจากนั้นจะถูกนำไปแปลงค่าให้สัญญาณออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งจะทำให้สามารถนำมาใช้งานในฟังก์ชันของ SPI โดยอินคลินอมิเตอร์ (Inclinometer) ที่นำมาใช้ในการสร้างจรวดยานล้อเดียวนี้คือรุ่น ADIS16201 ผลิตขึ้นโดยบริษัท Analog Devices ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยลักษณะของอินคลินอมิเตอร์ (Inclinometer) จะแสดงไว้ในภาพที่ 2.15 โดยหลักการทำงานของอินคลินอมิเตอร์ (Inclinometer) นี้จะมีค่า Input ที่ได้เป็นมุมที่เปลี่ยนแปลงไปและจะให้สัญญาณ Output เป็นสัญญาณดิจิทัลโดยสัญญาณ Output ที่ได้มานี้จะสามารถทำงานได้ตามคุณสมบัติในหมวดของฟังก์ชันแบบ SPI (Serial Peripheral Interface) บนไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC30F ได้ โดยหลักการทำงานของฟังก์ชัน SPI จะเหมือนกับที่ได้กล่าวมาในหัวข้อของไจโรสโคป (Gyroscope) คือ สามารถนำข้อมูลของค่าที่วัดได้มาทำงานร่วมกัน ซึ่งหลักของการทำงานร่วมกันระหว่างอินคลินอมิเตอร์ (Inclinometer) กับ ไจโรสโคป (Gyroscope) นั้น จะกล่าวในหัวข้อถัดไปส่วนในรายละเอียดต่างๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมานี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Datasheet ของอินคลินอมิเตอร์ (Inclinometer) รุ่น ADIS16201 ในภาคผนวกได้



ภาพที่ 2.15 แสดงภาพอินคลินอมิเตอร์ Inclinometer รุ่น ADIS16201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 หลักการทำงานของฟังก์ชัน SPI

SPI หรือ Serial Peripheral Interface โดยโมดูลนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่ระบบการติดต่อ SPI เหมือนกัน อาทิ หน่วยความจำอีอีพรอมอนุกรม IC วัดอุณหภูมิ, IC แปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลหรือ แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อก เป็นต้น แต่ในโครงการนี้เราจะใช้ SPI ในการติดต่อระหว่างไจโรสโคป (Gyroscope) กับอินคลิโนมิเตอร์ (Inclinometer) โดยให้ระหว่างรับและส่งข้อมูลของไจโรสโคป (Gyroscope) กับอินคลิโนมิเตอร์ (Inclinometer) นี้จะผลัดกันทำหน้าที่กัน เป็น Master และ Slave โดยข้อมูลที่นำมาแลกกันนี้เพื่อสามารถเป็นตัวชี้วัดให้จักรยานล้อเดียวทราบถึงตำแหน่งของตัวเองเนื่องจากการใช้ อินคลิโนมิเตอร์ (Inclinometer) เป็นตัวบอกมุมที่เปลี่ยนแปลงไปจากจุดสมดุลของจักรยานล้อเดียวเพียงอย่างเดียว นั้นไม่สามารถทำให้ระบบทราบความเร็วเชิงมุมที่เกิดขึ้นได้ อีกทั้งการออกแบบตัวควบคุมแบบเหมาะสมนั้นต้องสามารถทราบค่าทั้งหมดของระบบที่ได้ทำการหามาจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นเราจึงต้องทำการใช้เซนเซอร์ทั้ง 2 ตัวนี้มาวัดทั้งมุมที่เปลี่ยนแปลงไปจากจุดสมดุลของจักรยานล้อเดียวและอัตราความเร็วเชิงมุมของจักรยานล้อเดียวจากนั้นนำข้อมูลที่วัดได้มาทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันเพื่อที่จะได้ทราบว่าตอนนี้ระบบอยู่ที่ตำแหน่งใดและมีความเร็วเชิงมุมเท่าไรนั่นเอง

2.7 หลักการทำงานร่วมกันของไจโรสโคปกับอินคลิโนมิเตอร์

จากหัวข้อ 2.5 และ 2.6 ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นได้นำเสนอหลักการทำงานคร่าวๆของเซนเซอร์ที่เลือกใช้ในการสร้างจักรยานล้อเดียวและเหตุผลที่นำมาใช้ได้อ้างอิงถึงฟังก์ชัน SPI (Serial Peripheral Interface) ที่เซนเซอร์ทั้งสองตัวมีคุณสมบัติอยู่ โดยสามารถสรุปหลักการของฟังก์ชัน SPI (Serial Peripheral Interface) คือ การนำข้อมูลของเซนเซอร์ที่วัดได้มารับ ส่ง และแลกเปลี่ยนข้อมูลกันทั้งนี้ที่ต้องทำการใช้ข้อมูลที่วัดได้ของเซนเซอร์ทั้งสองชนิดมาแลกเปลี่ยนกันก็คือ เมื่อตัวรถจักรยานล้อเดียวถูกโน้มเอียงไปด้วยอัตราเร่งค่าหนึ่งก็จะเกิดมุมที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นค่าๆหนึ่งแต่เมื่อตัวรถจักรยานล้อเดียวสามารถรักษาสถิตได้แล้วค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงไปก็จะกลับมาสู่จุดสมดุลคือมีค่าประมาณ 0 องศาแล้วค่าอัตราเร่งที่วัดได้ก็จะมีค่าเป็นศูนย์เช่นกันเนื่องจากตัวรถกลับมาสู่สภาวะสมดุลแล้วอัตราเร็วจึงไม่มีค่าเกิดขึ้น โดยหลักการที่กล่าวมาถ้าเซนเซอร์ทั้งสองตัวมีความสามารถในการรับ ส่ง และแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันได้ก็จะทำให้เซนเซอร์ทั้งสองตัวพยายามปรับตัวตามกัน จากข้อมูลที่ได้ทำการรับ ส่ง และแลกเปลี่ยนข้อมูลกันซึ่งวิธีนี้จะถูกเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ซึ่งสามารถดูวิธีการเขียนได้จากภาคผนวก ก ส่วนของโปรแกรมที่เขียนบนไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

ส่วนอีกเหตุผลที่ต้องทำการใช้เซนเซอร์ทั้งสองชนิดพร้อมกันคือ จากรูปแบบพฤติกรรมทางคณิตศาสตร์ของจักรยานล้อเดียวที่ได้ทำการหาไว้ในบทที่ 3 นั้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

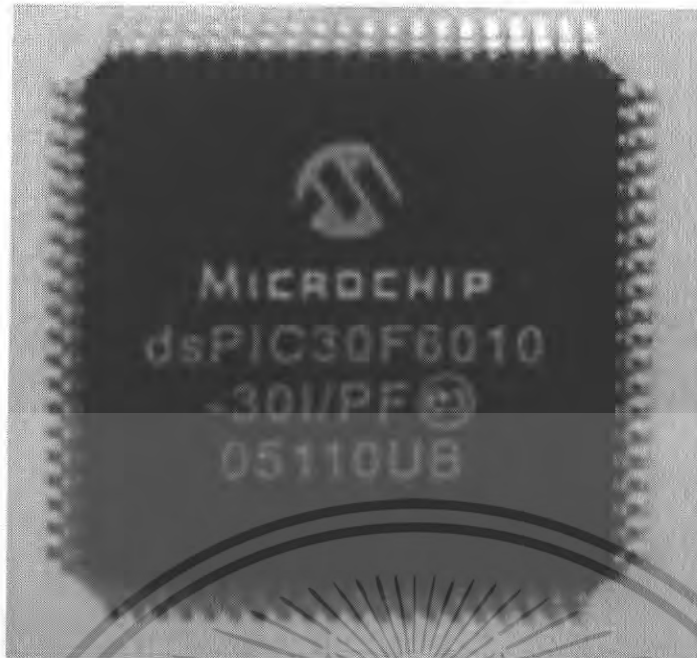
สมการสแตต (State Equation) ว่าเราต้องทราบค่าของมุมที่เปลี่ยนแปลงไปและอัตราเร็วเชิงมุมที่เกิดขึ้นกับตัวรถจักรยานล้อเดียว โดยการที่เราใช้เซนเซอร์ทั้งสองชนิดนี้จะทำให้สามารถวัดค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงไปและอัตราเร็วเชิงมุมที่เกิดขึ้นกับตัวรถจักรยานล้อเดียวได้อย่างถูกต้องมากกว่าที่ใช้เซนเซอร์เพียงชนิดเดียว

2.8 ข้อมูลเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC

เนื่องจากการทำงานของจักรยานล้อเดี่ยวนั้นจำเป็นต้องอาศัยการประมวลผลด้านการคำนวณที่มีความไวค่อนข้างมากและมีหน่วยความจำให้ใช้มากพอสมควรดังนั้นคุณสมบัติที่กล่าวมาดังกล่าวจึงควรเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบดิจิทัลหรือ Digital Signal Processing (dsPIC)

เนื่องจาก dsPIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิต จาก Microchip Technology Inc. ผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ที่ใช้กันแพร่หลายในท้องตลาดและรู้จักกันเป็นอย่างดีในแวดวงพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์โดย Microchip Technology ได้กำหนดชื่ออย่างเป็นทางการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่นี้ว่า Digital Signal Controller หรือ DSC นั้นหมายความว่า dsPIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ เพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง

ในการใช้งานนั้นจะเลือกรุ่น dsPIC30F6010 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 80 ขา แบบ Thin Quad Flatpack (TQFP) สาเหตุที่ใช้รุ่นนี้เนื่องจากมีโมดูลของ pulse width modulation ถึง 4 คู่ ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการและสามารถเลือกใช้งานฟังก์ชันของ SPI ได้ด้วยอีกทั้งหน่วยความจำและจำนวนพอร์ทัลที่มีให้ใช้มากเพียงพอต่อความต้องการอีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ จะกล่าวอยู่ในภาคผนวก ค.



ภาพที่ 2.16 dsPIC30F6010 80-Lead Plastic Thin Quad Flatpack (TQFP)

โดยวิธีทำการ โปรแกรมลงบน dsPIC30F6010 นั้นใช้ภาษาซีเข้ามาช่วยโดยทำการ โปรแกรมลงในโปรแกรม MPLAB IDE ซึ่งแถมมากับ dsPIC30F6010 โดยข้อมูลพื้นฐานของภาษาซี มีดังนี้

ภาษาซีเป็นภาษาที่ถือกำเนิดมายาวนาน โดยแต่เดิมนั้นภาษาซี ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้เป็นภาษา ที่ใช้สำหรับการสร้างระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ เนื่องจากในขณะนั้นระบบปฏิบัติการยูนิกซ์เขียนด้วย ภาษาแอสเซมบลี(Assembly) ซึ่งเป็นภาษาที่ยึดติดกับฮาร์ดแวร์ของเครื่อง ดังนั้นการที่จะย้าย ระบบปฏิบัติการไปใช้กับเครื่องอื่นจึงเป็นเรื่องเป็นไปได้ยาก ซึ่งนับเป็นข้อเสียที่ค่อนข้างใหญ่ สำหรับภาษาแอสเซมบลี ดังนั้นภาษาซี ซึ่งเป็นภาษาที่ไม่ยึดติดกับฮาร์ดแวร์จึงถูกพัฒนาขึ้นมา ใน ปัจจุบันภาษาซีไม่ได้จำกัดอยู่เพียงแค่การสร้างระบบปฏิบัติการเท่านั้น แต่สามารถนำไปใช้สร้าง โปรแกรมเพื่อทำงานในทุกประเภท เช่น งานเกี่ยวกับการคำนวณ ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือ ฮาร์ดแวร์ชนิดต่าง ๆ หรือสร้าง โปรแกรมสำหรับจัดพิมพ์เอกสาร เป็นต้น

2.8.1 การสั่งงานคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาโปรแกรม

ภาษาที่เครื่องคอมพิวเตอร์เข้าใจเรียกว่า ภาษาเครื่อง (Machine Language) ซึ่งอยู่ในรูปแบบ ของรหัสเลขฐานสอง (Binary Code) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวเลขอยู่เพียงแค่ 2 ตัวคือ 0 และ 1 เรียง สลับและต่อกันเป็นความหมายที่เครื่องเข้าใจ

ต่อมา จึงมีการพัฒนาภาษาสำหรับสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ที่มนุษย์เข้าใจ โดยใช้ตัวอักษร ภาษาอังกฤษมากำหนดเป็นรูปแบบคำสั่ง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคำที่มีความหมายในภาษาอังกฤษ แต่การ ที่จะทำให้คอมพิวเตอร์เข้าใจภาษาที่พัฒนาขึ้นมาได้นั้น ต้องมีตัวกลางเพื่อทำหน้าที่แปลภาษานั้น ออกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนเวียนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่อนักเรียนได้เห็นว่าประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นภาษาเครื่องอีกที ซึ่งสามารถแบ่งระดับตามลักษณะและการทำงานของแต่ละภาษาได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

2.8.1.1 ภาษาระดับต่ำ (Low Level Language)

เป็นภาษาที่ใกล้เคียงกับภาษาเครื่องมากที่สุด สามารถเขียนคำสั่งเพื่อติดต่อสั่งงานกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ได้โดยตรง โปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาระดับต่ำ จะทำงานได้รวดเร็วมมาก แต่ปัญหาของภาษาระดับต่ำก็คือ เขียนยาก รูปแบบคำสั่งจดจำและทำความเข้าใจได้ยาก นอกจากนี้ก็เหตุผลที่สำคัญคือ ภาษาระดับต่ำยึดติดกับชนิดของเครื่องคอมพิวเตอร์ นั่นหมายถึงถ้าเราเขียนโปรแกรมด้วยภาษาระดับต่ำ สำหรับคอมพิวเตอร์แบบหนึ่ง โปรแกรมนั้นจะไม่สามารถนำไปใช้กับคอมพิวเตอร์อีกแบบได้ ตัวอย่างของภาษาระดับต่ำได้แก่ แอมเซมบลี

2.8.1.2 ภาษาระดับสูง (High Level Language)

เป็นภาษาที่ใกล้เคียงกับภาษาที่ใช้สื่อสารกันตามปกติ คำสั่งต่าง ๆ มักเป็นคำที่มีความหมายในภาษาอังกฤษ ทำให้จดจำและเขียนได้ง่าย แต่ข้อเสียของภาษาระดับสูงก็คือ มักไม่มีคำสั่งในการติดต่อกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์โดยตรง และทำงานได้ช้ากว่าภาษาระดับต่ำ ตัวอย่างของภาษาระดับสูงได้แก่ Pascal Cobol หรือ Basic เป็นต้น

เนื่องจากภาษาระดับต่ำและระดับสูงต่างก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังนั้นภาษาซีจึงพัฒนาขึ้นมาโดยปรับปรุงข้อเสียและนำเอาข้อดีของภาษาทั้ง 2 ระดับมาใช้โดยคำสั่งของภาษาซีเป็นคำที่มีความหมายในภาษาอังกฤษ สามารถจดจำและเขียนได้ง่าย เหมือนกับภาษาระดับสูงแต่ภาษาซีทำงานได้อย่างรวดเร็ว และมีคำสั่งที่ให้ผู้เขียนโปรแกรมเรียกใช้เพื่อติดต่อสั่งงานกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์โดยตรงเหมือนกับภาษาระดับต่ำ ดังนั้นภาษาซีจึงถูกจัดให้เป็นภาษาระดับกลาง

2.8.2 จุดเด่นของภาษาซี

ในปัจจุบัน ภาษาซีได้รับการยอมรับและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจาก

- ภาษาซี เป็นภาษาที่มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกรุ่นและระบบปฏิบัติการทุกชนิด ทำให้โครงสร้างทางภาษา ฟังก์ชันไลบรารี (Library) ต่าง ๆ สามารถนำไปใช้งานระหว่างเครื่องแต่ละรุ่นและระบบปฏิบัติการแต่ละชนิดได้
- โปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยภาษาซีมีขนาดเล็กและทำงานได้เร็ว
- ภาษาซี มีโครงสร้างทางภาษาที่ดี และเครื่องหมายสำหรับดำเนินการ ไม่ว่าจะเป็นการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ตรรกศาสตร์ หรือ การเปรียบเทียบ มีประสิทธิภาพการทำงานสูง
- สามารถเขียนคำสั่งภาษาซี เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์บางส่วนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีฟังก์ชันสำเร็จรูปสำหรับงานประเภทต่าง ๆ ให้เลือกใช้มากมาย ซึ่งช่วยประหยัดเวลาในการเขียนคำสั่ง นอกจากนี้ถ้าฟังก์ชันที่ภาษาซีเตรียมไว้ให้ใช้งานได้ไม่ตรงตามต้องการทั้งหมด เราสามารถเขียนคำสั่งเพิ่มเติมลงไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในบทนี้แสดงการคำนวณเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งการคำนวณหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มี 2 ส่วน ด้วยกันคือ

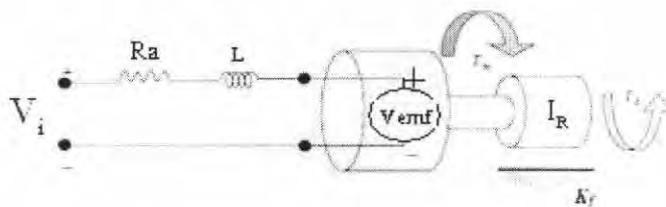
- 3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์
- 3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจักรยานล้อเดียว

3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์

ในเรื่องนี้กล่าวถึงพฤติกรรมของมอเตอร์ที่ติดอยู่ในล้อ จากภาพที่ 3.1 สามารถนำมาเขียนในลักษณะของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Math Model) ได้ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 แสดงล้อที่มีมอเตอร์อยู่ภายใน



ภาพที่ 3.2 แบบจำลองโครงสร้างของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_i	คือ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์
R_a	คือ ค่าความต้านทานของตัวต้านทานไฟฟ้า
L	คือ ค่า Inductance ของขดลวดตัวนำ
V_{emf}	คือ Back electromotive force voltage
k_e	คือ ค่าคงที่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์
ω	คือ อัตราเร็วเชิงมุม
τ_m	คือ แรงบิดของมอเตอร์
k_m	คือ ค่าคงที่ของแรงบิดของมอเตอร์
I_a	คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในมอเตอร์
τ_a	คือ แรงบิดที่เกิดจาก Inertia ของเพลามอเตอร์
I_R	คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของเพลามอเตอร์
$\dot{\omega}$	คือ อัตราเร่งเชิงมุม
k_f	คือ ค่าคงที่ของแรงเสียดทาน

จากภาพที่ 3.2 จะเห็นว่ามีความต้านทานไฟฟ้า (R_a) และขดลวดตัวนำ (L) ต่ออนุกรมอยู่กับ V_{emf} เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า (V_i) เข้ามาจะเกิดกระแสไหลภายในขดลวดของมอเตอร์ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กทำให้มอเตอร์หมุน โดยสามารถประมาณค่าให้มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับอัตราเร็วเชิงมุม (ω) ได้ดังนี้

$$V_{emf} = k_e \omega \quad (3.1)$$

และเกิดแรงบิดของมอเตอร์โดยจะเป็นสัดส่วนกับกระแสที่บายความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

$$\tau_m = k_m I_a \quad (3.2)$$

จากภาพที่ 3.2 ใช้ Kirchoff's Voltage Law (ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าภายในเท่ากับศูนย์) ดังนี้

$$V_i - R_a I_a - L \frac{dI_a}{dt} - V_{emf} = 0 \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.2 พิจารณาสมการการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เพื่อหาอัตราเร่งเชิงมุมโดยประมาณ ค่าแรงเสียดทานของมอเตอร์ให้เป็นเชิงเส้นกับอัตราเร็วเชิงมุมโดยที่ I_R คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของเพลามอเตอร์จากกฎของนิวตันจะได้ผลรวมของโมเมนต์เชิงมุมรอบจุดศูนย์กลาง ($\sum M$) เท่ากับ โมเมนต์ความเฉื่อยของเพลามอเตอร์คูณกับอัตราเร่งเชิงมุม ดังสมการ

$$\begin{aligned}\sum M &= I_R \dot{\omega} \\ \tau_m - k_f \omega - \tau_a &= I_R \dot{\omega}\end{aligned}\quad (3.4)$$

แทนสมการที่ (3.1) ลงในสมการที่ (3.3) จะได้

$$\begin{aligned}V_i - R_a I_a - L \frac{dI_a}{dt} - k_e \omega &= 0 \\ L \frac{dI_a}{dt} &= V_i - R_a I_a - k_e \omega\end{aligned}\quad (3.5)$$

แทนสมการที่ (3.2) ลงในสมการที่ (3.4) จะได้

$$\begin{aligned}k_m I_a - k_f \omega - \tau_a &= I_R \dot{\omega} \\ \dot{\omega} = \frac{d\omega}{dt} &= \frac{k_m}{I_R} I_a - \frac{k_f}{I_R} \omega - \frac{\tau_a}{I_R}\end{aligned}\quad (3.6)$$

จากสมการที่ (3.5) เนื่องจากเป็น Brushless DC Motor (ค่า Inductance ของขดลวดตัวนำมีค่าน้อยมากจึงไม่คิด) จะได้

$$\begin{aligned}V_i - R_a I_a - k_e \omega &= 0 \\ I_a &= \frac{1}{R_a} V_i - \frac{k_e}{R_a} \omega\end{aligned}\quad (3.7)$$

จากสมการที่ (3.6) ไม่สนใจค่าของแรงเสียดทาน ($k_f = 0$) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{\omega} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{k_m}{I_R} I_a - \frac{\tau_a}{I_R} \quad (3.8)$$

แทนค่า I_a ของสมการที่ (3.7) ลงในสมการที่ (3.8)

$$\dot{\omega} = \frac{d\omega}{dt} = -\frac{k_m k_e}{I_R R_a} \omega + \frac{k_m}{I_R R_a} V_i - \frac{\tau_a}{I_R} \quad (3.9)$$

$$\frac{d\theta_w}{dt} = \dot{\theta}_w = \omega \quad (3.10)$$

เมื่อ θ_w คือ มุมที่เกิดจากการหมุนของล้อ

จากสมการที่ (3.9) และ (3.10) สามารถแสดงเป็น State space model โดยมีตัวแปรที่เราสนใจและต้องการควบคุมคือ θ และ ω อินพุตของมอเตอร์คือ Voltage และ Torque

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_w \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & \frac{-k_m k_e}{I_R R_a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_w \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{k_m}{I_R R_a} & \frac{-1}{I_R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_i \\ \tau_a \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจักรยานล้อเดียว

ในการอธิบายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจักรยานล้อเดียวจะทำการแยกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ

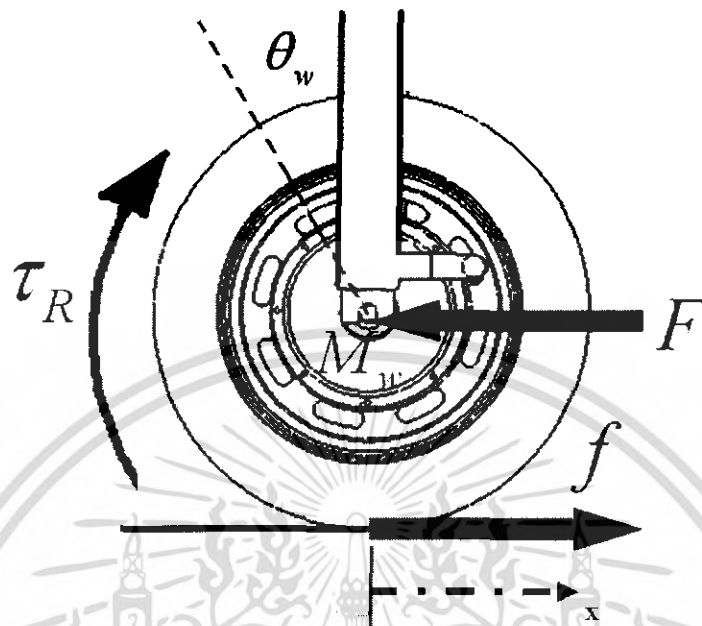
- ส่วนของล้อจักรยาน
- ส่วนของก้าน Pendulum

โดยทั้งสองส่วนนี้สามารถอธิบายพฤติกรรมของจักรยานล้อเดียวได้ดังนี้

- ส่วนของล้อจักรยานเป็นส่วนที่มีการเชื่อมต่ออยู่กับก้าน Pendulum ที่เพลของล้อจักรยานจากภาพที่ 3.3 เราพิจารณาการเคลื่อนที่ของล้อจักรยานที่มีทิศทางเคลื่อนที่ตามแนวแกน x เมื่อล้อจักรยานเกิดการหมุนจากจุดสมดุลไปทำให้เกิดมุม (θ_w) ขึ้นมีผลทำให้เกิดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทำกับล้อแรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นและเกิดแรงบิดของล้อ (τ_R) เพื่อนำไปคำนวณหาผลรวมของแรงแนวแกนอนติศทาง x และผลรวมของโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางของล้อ



ภาพที่ 3.3 Free body diagram ของล้อจักรยานสภาวะสมดุล

f	คือ แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้น
F	คือ แรงที่กระทำกับล้อ
τ_R	คือ แรงบิดของล้อ
θ_w	คือ มุมที่เกิดจากการหมุนของล้อ
$\dot{\theta}_w$	คือ อัตราเร็วเชิงมุมของล้อ
$\ddot{\theta}_w$	คือ อัตราเร่งเชิงมุมของล้อ
X	คือ ระยะทางที่ล้อเคลื่อนที่
\dot{X}	คือ อัตราเร็วที่ล้อเคลื่อนที่
\ddot{X}	คือ อัตราเร่งที่ล้อเคลื่อนที่
M_w	คือ มวลของล้อ
I_w	คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของล้อ
r	คือ รัศมีล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.3 พิจารณาผลรวมของแรงแนวแกนอนทิสทาง x ($\sum F_x$) โดยใช้กฎของ Newton

$$\begin{aligned}\sum F_x &= Ma_x \\ f - F &= M_w \ddot{X}\end{aligned}\quad (3.12)$$

จากภาพที่ 3.3 พิจารณาผลรวมของโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางของล้อจักรยานจากกฎของนิวตันจะได้ผลรวมของโมเมนต์เชิงมุมรอบจุดศูนย์กลาง ($\sum M$) เท่ากับโมเมนต์ความเฉื่อยของล้อคูณกับอัตราเร่งเชิงมุมของล้อดังสมการ

$$\begin{aligned}\sum M &= I_w \alpha \\ \tau_R - fr &= I_w \ddot{\theta}_w\end{aligned}\quad (3.13)$$

จากสมการที่ (3.8)

$$\begin{aligned}\dot{\omega} &= \frac{d\omega}{dt} = \frac{k_m I_a}{I_R} \frac{\tau_a}{I_R} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{\tau_m}{I_R} - \frac{\tau_a}{I_R} \\ \tau_m &= I_R \frac{d\omega}{dt} + \tau_a\end{aligned}\quad (3.14)$$

จากสมการที่ (3.9)

$$\begin{aligned}\dot{\omega} &= \frac{d\omega}{dt} = -\frac{k_m k_e}{I_R R_a} \omega + \frac{k_m}{I_R R_a} V_i - \frac{\tau_a}{I_R} \\ I_R \frac{d\omega}{dt} &= -\frac{k_m k_e}{R_a} \omega + \frac{k_m}{R_a} V_i - \tau_a \\ I_R \frac{d\omega}{dt} + \tau_a &= -\frac{k_m k_e}{R_a} \omega + \frac{k_m}{R_a} V_i\end{aligned}\quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.15) แทนค่า ω ด้วย $\dot{\theta}_w$ ได้เป็น

$$I_R \frac{d\omega}{dt} + \tau_a = -\frac{k_m k_e}{R_a} \dot{\theta}_w + \frac{k_m}{R_a} V_i \quad (3.16)$$

จากสมการที่ (3.14) และ (3.16) จะได้

$$\tau_m = -\frac{k_m k_e}{R_a} \dot{\theta}_w + \frac{k_m}{R_a} V_i \quad (3.17)$$

จากภาพที่ 3.2 และ 3.3 จะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของมอเตอร์และแรงบิดของล้อคือ เมื่อมอเตอร์ภายในล้อหมุนทำให้เพลลาของมอเตอร์หมุนไปด้วย (ล้อไม่หมุน) แต่ถ้าทำให้เพลลาของมอเตอร์หยุดหมุนส่วนของล้อก็จะเกิดการหมุนขึ้นแทนจึงเกิดความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของมอเตอร์และแรงบิดของล้อขึ้นดังสมการ

แรงบิดของมอเตอร์ = แรงบิดของล้อ

$$\tau_m = \tau_R \quad (3.18)$$

แทนค่าสมการที่ (3.17) ในสมการที่ (3.13) ได้

$$\begin{aligned} -\frac{k_m k_e}{R_a} \dot{\theta}_w + \frac{k_m}{R_a} V_i - fr &= I_w \ddot{\theta}_w \\ f &= -\frac{k_m k_e}{R_a r} \dot{\theta}_w + \frac{k_m}{R_a r} V_i - \frac{I_w}{r} \ddot{\theta}_w \end{aligned} \quad (3.19)$$

แทนสมการที่ (3.19) ลงในสมการที่ (3.12)

$$-\frac{k_m k_e}{R_a r} \dot{\theta}_w + \frac{k_m}{R_a r} V_i - \frac{I_w}{r} \ddot{\theta}_w - F = M_w \ddot{X} \quad (3.20)$$

เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวตรง คือการกระทำที่จุดศูนย์กลางของล้อดังนั้นเราจึงเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

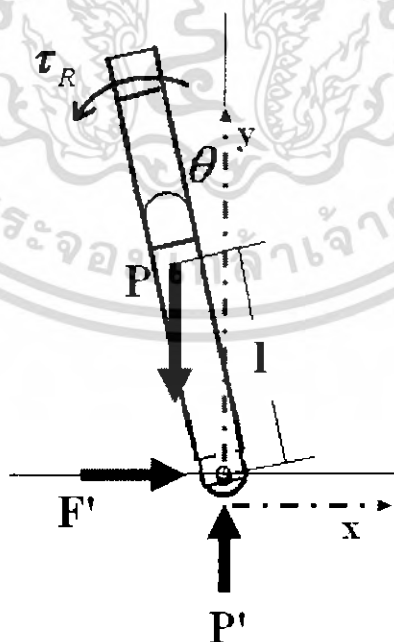
$$\begin{aligned}\ddot{\theta}_w r &= \ddot{X} \\ \ddot{\theta}_w &= \frac{\ddot{X}}{r}\end{aligned}\quad (3.21)$$

$$\begin{aligned}\dot{\theta}_w r &= \dot{X} \\ \dot{\theta}_w &= \frac{\dot{X}}{r}\end{aligned}\quad (3.22)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (3.20) สามารถเปลี่ยนเป็นสมการเส้นตรง

$$M_w \ddot{X} = -\frac{k_m k_e \dot{X}}{R_a r} + \frac{k_m V_i}{R_a r} - \frac{I_w \ddot{X}}{r} - F \quad (3.23)$$

- ส่วนของก้าน Pendulum คือ ส่วนที่เชื่อมต่อกมาจากเพลลาของล้อเราจึงพิจารณาการเคลื่อนที่ของก้าน Pendulum ที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกนอนติศทาง x เมื่อก้าน Pendulum เกิดการโน้มเอียงไปทำมุม θ กับแกน y ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาและแรงบิดในทิศทางต่าง ๆ ดังภาพที่ 3.4 เพื่อนำไปคำนวณหาผลรวมของแรงแนวแกนอนติศทาง x และผลรวมของโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางของก้าน Pendulum



ภาพที่ 3.4 Free body diagram ของส่วนที่เป็นก้าน Pendulum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- P คือ น้ำหนักก้าน Pendulum
- P' คือ แรงปฏิกิริยาของน้ำหนักก้าน Pendulum
- F' คือ แรงปฏิกิริยาของแรงที่กระทำกับล้อ
- M_p คือ มวลก้าน Pendulum (โครงสร้างของจักรยานล้อเดี่ยวรวมกับผู้ใช้งาน)
- l คือ ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของก้าน Pendulum ถึงจุดศูนย์กลางล้อ
- θ คือ มุมที่ก้าน Pendulum เกิดการ โน้มเอียง
- τ_R คือ แรงบิดของล้อ
- g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูด (มีค่าเท่ากับ 9.81 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง)
- X คือ ระยะทางที่ล้อเคลื่อนที่ตามแนวแกน x
- \ddot{X} คือ อัตราเร่งที่ก้านเพนดูลัมเคลื่อนที่ตามแนวแกน x
- \ddot{Y} คือ อัตราเร่งที่ก้านเพนดูลัมเคลื่อนที่ตามแนวแกน y
- I_p คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของก้าน Pendulum

จากภาพที่ 3.4 ทำการแตกความยาว l เข้าแกน x และ y จะได้

$$l \text{ ในแกน } x \text{ คือ } l \sin \theta$$

$$l \text{ ในแกน } y \text{ คือ } l \cos \theta$$

จากภาพที่ 3.4 พิจารณาผลรวมของแรงแนวแกนนอนทิสทาง x ($\sum F_x$) เพื่อหาแรงปฏิกิริยาของแรงที่กระทำกับล้อโดยใช้กฎของ Newton

$$\sum F_x = Ma_x$$

$$F' = M_p \frac{d^2(X + l \sin \theta)}{dt^2}$$

$$F' = M_p \left[\ddot{X} + l \frac{d(\cos \theta * \dot{\theta})}{dt} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 F' &= M_p \left[\ddot{X} + l(\cos \theta * \ddot{\theta} - \sin \theta * \dot{\theta}^2) \right] \\
 F' &= M_p \left[\ddot{X} + l \cos \theta * \ddot{\theta} - l \sin \theta * \dot{\theta}^2 \right] \\
 F' &= M_p \ddot{X} + M_p l \cos \theta * \ddot{\theta} - M_p l \sin \theta * \dot{\theta}^2 \quad (3.24)
 \end{aligned}$$

จากภาพที่ 3.3 พิจารณาผลรวมของแรงแนวแกนตั้งทิศทาง y ($\sum F_y$) เพื่อหาแรงปฏิกิริยาของน้ำหนัก้าน Pendulum โดยใช้กฎของ Newton

$$\begin{aligned}
 \sum F_y &= M a_y \\
 P' - P &= M_p a_y \quad \text{เมื่อ } P = M_p g \\
 P' - M_p g &= M_p \frac{d^2(l \cos \theta)}{dt^2} \\
 P' - M_p g &= M_p \left[\frac{d^2(l \cos \theta)}{dt^2} \right] \\
 P' - M_p g &= M_p \left[l \left[\frac{d^2(\cos \theta)}{dt^2} \right] \right] \\
 P' - M_p g &= M_p \left[l \left[\frac{d(-\sin \theta * \dot{\theta})}{dt} \right] \right] \\
 P' - M_p g &= M_p \left[l \left[-\sin \theta * \ddot{\theta} - \cos \theta * \dot{\theta}^2 \right] \right] \\
 P' - M_p g &= M_p \left(-l \sin \theta * \ddot{\theta} - l \cos \theta * \dot{\theta}^2 \right) \\
 P' - M_p g &= -M_p l \sin \theta * \ddot{\theta} - M_p l \cos \theta * \dot{\theta}^2 \\
 P' &= M_p g - M_p l \sin \theta * \ddot{\theta} - M_p l \cos \theta * \dot{\theta}^2 \quad (3.25)
 \end{aligned}$$

จากภาพที่ 3.4 พิจารณาผลรวมโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางมวลของก้านเพนดูลัมจากกฎของนิวตันจะได้ผลรวมของโมเมนต์เชิงมุมรอบจุดศูนย์กลางก้านเพนดูลัม ($\sum M$) เท่ากับโมเมนต์ความเฉื่อยของก้าน Pendulum คูณกับอัตราเร่งเชิงมุมของก้านเพนดูลัม ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\sum M &= I_p \alpha \\ \sum M &= I_p \ddot{\theta} \\ F'l \cos \theta + P'l \sin \theta - \tau_R &= I_p \ddot{\theta}\end{aligned}\quad (3.26)$$

จากสมการที่ (3.18)

$$\tau_m = \tau_R = -\frac{k_m k_e}{R_a} \dot{\theta}_w + \frac{k_m}{R_a} V_i \quad (3.27)$$

จากสมการที่ (3.27) เปลี่ยนรูปสมการเชิงมุมเป็นสมการเชิงเส้น จะได้

$$\tau_m = \tau_R = -\frac{k_m k_e}{R_a r} \dot{X} + \frac{k_m}{R_a} V_i \quad (3.28)$$

นำสมการที่ (3.24) (3.25) และ (3.28) แทนในสมการ (3.26) เพื่อเปลี่ยนแรงปฏิกิริยาของน้ำหนักของก้าน Pendulum (P') แรงปฏิกิริยาของแรงที่กระทำกับล้อ (F') และแรงบิดของล้อ (τ_R) ให้อยู่ในเทอมของ \dot{X} \ddot{X} $\dot{\theta}$ และ $\ddot{\theta}$

$$\begin{aligned}I_p \ddot{\theta} &= (M_p \ddot{X} + M_p l \cos \theta * \ddot{\theta} - M_p l \sin \theta * \dot{\theta}^2) l \cos \theta \\ &+ (M_p g - M_p l \sin \theta * \ddot{\theta} - M_p l \cos \theta * \dot{\theta}^2) l \sin \theta + \frac{k_m k_e}{R_a r} \dot{X} - \frac{k_m}{R_a} V_i\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_p \ddot{\theta} &= -M_p \ddot{X} l \cos \theta + M_p g l \sin \theta - M_p l^2 * \ddot{\theta} [(\sin \theta)^2 + (\cos \theta)^2] \\ &+ \frac{k_m k_e}{R_a r} \dot{X} - \frac{k_m}{R_a} V_i\end{aligned}$$

$$I_p \ddot{\theta} = M_p g l \sin \theta - M_p \ddot{X} l \cos \theta - M_p l^2 * \ddot{\theta} + \frac{k_m k_e}{R_a r} \dot{X} - \frac{k_m}{R_a} V_i$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(I_p + M_p l^2) \ddot{\theta} = M_p g l \sin \theta - M_p \ddot{X} l \cos \theta + \frac{k_m k_e}{R_a r} \dot{X} - \frac{k_m}{R_a} V_i \quad (3.29)$$

จากกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน จะได้

$$F = F'$$

ดังนั้นแทนสมการที่ (3.24) ลงในสมการที่ (3.23) เพื่อเปลี่ยนแรงปฏิกิริยาของแรงที่กระทำกับล้อ

(F') ให้อยู่ในเทอมของ \dot{X} \ddot{X} $\dot{\theta}$ และ $\ddot{\theta}$ จะได้

$$\begin{aligned} M_w \ddot{X} &= -\frac{k_m k_e}{R_a r} \frac{\dot{X}}{r} + \frac{k_m}{R_a r} V_i - \frac{I_w}{r} \frac{\ddot{X}}{r} - (M_p \ddot{X} + M_p l \cos \theta * \ddot{\theta} - M_p l \sin \theta * \dot{\theta}^2) \\ \frac{k_m}{R_a r} V_i &= M_w \ddot{X} + \frac{I_w}{r} \frac{\ddot{X}}{r} + M_p \ddot{X} + M_p l \cos \theta * \ddot{\theta} - M_p l \sin \theta * \dot{\theta}^2 + \frac{k_m k_e}{R_a r} \frac{\dot{X}}{r} \\ \frac{k_m}{R_a r} V_i &= [M_w + \frac{I_w}{r^2} + M_p] \ddot{X} + \frac{k_m k_e}{R_a r^2} \dot{X} + M_p l \cos \theta * \ddot{\theta} - M_p l \sin \theta * \dot{\theta}^2 \end{aligned} \quad (3.30)$$

ให้ $\theta = \pi + \phi$ เมื่อ ϕ คือมุมที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและมีทิศทางไปด้านหน้า เพราะฉะนั้นเมื่อค่า ϕ มีค่าน้อยมากทำให้ค่าที่ได้ในรูปของตัวแปรทางตรีโกณมิติมีค่าประมาณได้เท่ากับ 0 จึงทำให้สามารถสรุปค่าที่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= -1 \\ \sin \theta &= -\phi \\ \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 &= 0 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (3.29) และสมการที่ (3.30) ทำให้เป็นสมการเชิงเส้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(I_p + M_p l^2) \ddot{\phi} - \frac{k_m k_e}{R_a r} \dot{X} + \frac{k_m}{R_a} V_i - M_p g l \phi = M_p l \ddot{X} \quad (3.31)$$

$$\frac{k_m}{R_a r} V_i = [M_w + \frac{I_w}{r^2} + M_p] \ddot{X} + \frac{k_m k_e}{R_a r^2} \dot{X} - M_p l \ddot{\phi} \quad (3.32)$$

จัดสมการ (3.31) และ (3.32) ใหม่

$$\ddot{\phi} = \frac{M_p l}{(I_p + M_p l^2)} \ddot{X} + \frac{k_m k_e}{R r (I_p + M_p l^2)} \dot{X} - \frac{k_m}{R (I_p + M_p l^2)} V_a + \frac{M_p g l}{(I_p + M_p l^2)} \phi \quad (3.33)$$

$$\ddot{X} = \frac{k_m}{R r [M_w + \frac{I_w}{r^2} + M_p]} V_a - \frac{k_m k_e}{R r^2 [M_w + \frac{I_w}{r^2} + M_p]} \dot{X} + \frac{M_p l}{[M_w + \frac{I_w}{r^2} + M_p]} \ddot{\phi} \quad (3.34)$$

นำสมการที่ (3.33) แทนลงในสมการที่ (3.32) และแทนสมการที่ (3.34) ลงในสมการที่ (3.31) จากนั้นนำมาเขียนเป็นสมการสเตต (State Equation) จะได้

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \ddot{X} \\ \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{k_m k_e (M_p l r - I_p - M_p l^2)}{R r^2 \alpha} & \frac{M_p^2 g l^2}{\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_m k_e (r \beta - M_p l)}{R r^2 \alpha} & \frac{M_p g l \beta}{\alpha} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ \dot{X} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{k_m (I_p + M_p l^2 - M_p l r)}{R r \alpha} \\ 0 \\ \frac{k_m (M_p l - r \beta)}{R r \alpha} \end{bmatrix} V_a \quad (3.35)$$

เมื่อกำหนดให้

$$\beta = (M_w + \frac{I_w}{r^2} + M_p)$$

$$\alpha = [I_p \beta + M_p l^2 (M_w + \frac{I_w}{r^2})]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบระบบควบคุมและโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1 การออกแบบระบบควบคุม

จากสมการสเตต (State Equation) ที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3 จะมีตัวแปร 9 ตัวที่ต้องทำการหาค่าก่อนนำไปคำนวณตามรูปแบบทางคณิตศาสตร์และนำไปออกแบบระบบควบคุมดังนี้

1. M_w คือ มวลของล้อโดยสามารถทราบค่าน้ำหนักมวลของล้อได้โดยนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งในขณะที่ล้อใส่ยางแล้วเติมลมเรียบร้อยแล้วจากนั้นสามารถอ่านค่าที่ได้จากเครื่องชั่งมีน้ำหนักดังนี้คือ

$$M_w = 11.2 \text{ kg}$$

2. M_p คือ มวลก้านเพนดูลัม (มวลโครงสร้างของจักรยานล้อเดียวรวมกับมวลผู้ใช้งาน) นำโครงสร้างของจักรยานล้อเดียวและผู้ใช้งานไปชั่งด้วยเครื่องชั่งจากนั้นสามารถอ่านค่าที่ได้จากเครื่องชั่งมีน้ำหนักดังนี้คือ

$$M_p = 71.5 \text{ kg}$$

3. r คือ รัศมีล้อโดยสามารถทราบได้จากการวัดจากจุดศูนย์กลางล้อถึงขอบยางด้านนอกสุดสามารถอ่านค่ารัศมีล้อได้ดังนี้

$$r = 0.2 \text{ m}$$

4. R_a คือ ค่าความต้านทานของตัวต้านทานไฟฟ้าในมอเตอร์

การหาค่า R_a มีขั้นตอนดังนี้

จากสมการที่ (3.3) ในบทที่ 3

$$V_i - R_a I_a - L \frac{dI_a}{dt} - V_{emf} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเป็น Brushless DC Motor (ค่า Inductance ของขดลวดตัวนำมีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาคิด) จะได้

$$V_i - R_a I_a - V_{emf} = 0$$

$$V_i = R_a I_a + V_{emf}$$

กำหนดให้ $V_{av} = V_i$ จะได้

$$V_{av} = V_{emf} + I_a R_a \quad (4.1)$$

V_{av} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่จ่ายให้กับมอเตอร์ซึ่งเป็นผลจากการสวิตช์ของ Gate Driver เพื่อตัดต่อกระแสที่จ่าย

เนื่องจากการหาค่า R_a นั้นจะต้องให้ $V_{emf} = 0$ ดังนั้นจะได้

$$V_{av} = I_a R_a \quad (4.2)$$

$$V_{av} = \%Duty\ Cycle \times V_{Supply} \quad (4.3)$$

$$\%Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{(T_{off} + T_{on})}$$

กำหนดให้ $V_{Supply} = 24\text{ V}$ (กำหนดค่า V_{Supply} จากแบตเตอรี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์) จากนั้นแทนสมการที่ (4.3) ลงในสมการที่ (4.2) จะได้

$$\%Duty\ Cycle \times V_{Supply} = I_a R_a$$

$$R_a = \frac{\%Duty\ Cycle \times V_{Supply}}{I_a} \quad (4.4)$$

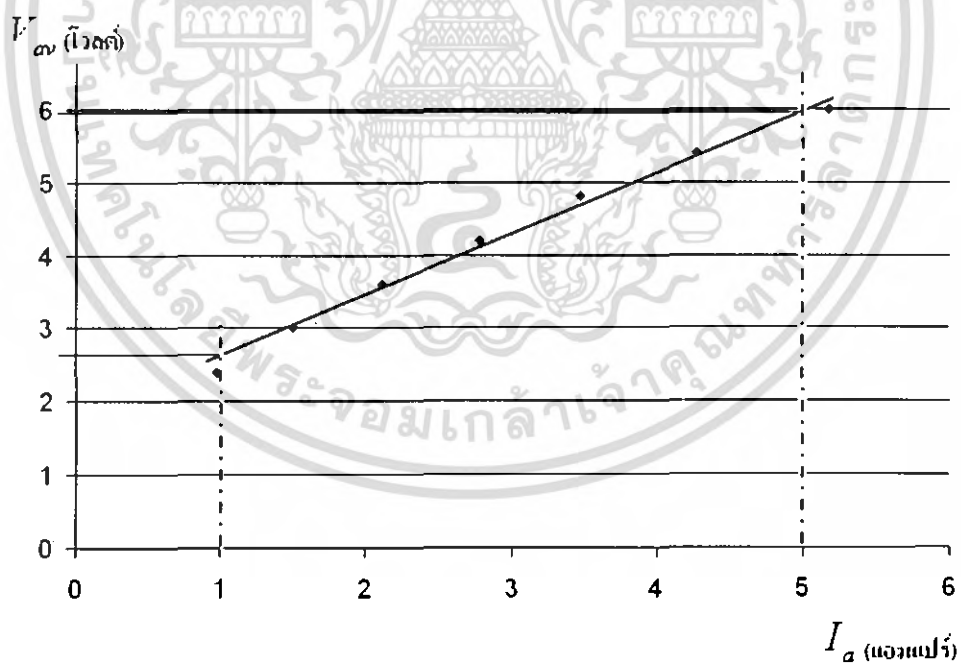
จากสมการที่ (4.4) สามารถหาค่า R_a ได้จากความชันของกราฟระหว่าง V_{av} และ I_a การทดลองคือจ่ายค่า V_{Supply} ให้กับมอเตอร์ปรับค่า V_{av} ไปที่ระดับต่างๆ (ปรับค่า V_{av} จาก $\%Duty\ Cycle$) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ $V_{emf} = 0$ โดยการ Break motor ขณะที่มอเตอร์หมุนต่อมาทำการวัดค่าของ I_a และบันทึกผลค่า V_{av} และ I_a ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองหาค่า R_a

V_{Supply} (โวลต์)	%Duty Cycle	V_{av} (โวลต์)	I_a (แอมแปร์)	R_a (โอห์ม)
24.0	10.0	2.4	0.98	2.352
24.0	12.5	3.0	1.50	4.500
24.0	15.0	3.6	2.11	7.596
24.0	17.5	4.2	2.77	11.634
24.0	20.0	4.8	3.46	16.608
24.0	22.5	5.4	4.27	23.058
24.0	25.0	6.0	5.18	31.080



ภาพที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{av} และ I_a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาทำการหาความชันของกราฟดังนี้

$$R_a = \frac{\Delta V_{av}}{\Delta I_a}$$

$$R_a = \frac{5.95 - 2.65}{5.00 - 1.00}$$

$$R_a = 0.825 \text{ โอห์ม} \quad (4.5)$$

5. k_e คือ ค่าคงที่ของแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์

การหาค่า k_e มีขั้นตอนการทดลองนี้

จากสมการที่ (4.1)

$$V_{av} = V_{emf} + I_a R_a$$

$$V_{emf} = V_{av} - I_a R_a \quad (4.6)$$

V_{av} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่จ่ายให้กับมอเตอร์ซึ่งเป็นผลจากการสวิตช์ของ Gate Driver เพื่อตัดต่อกระแสที่จ่าย

แทนสมการที่ (4.3) และ (4.5) ในสมการที่ (4.6)

$$V_{emf} = \%Duty\ Cycle \times V_{Supply} - 0.825 I_a \quad (4.7)$$

จากสมการที่ (3.1)

$$V_{emf} = k_e \omega$$

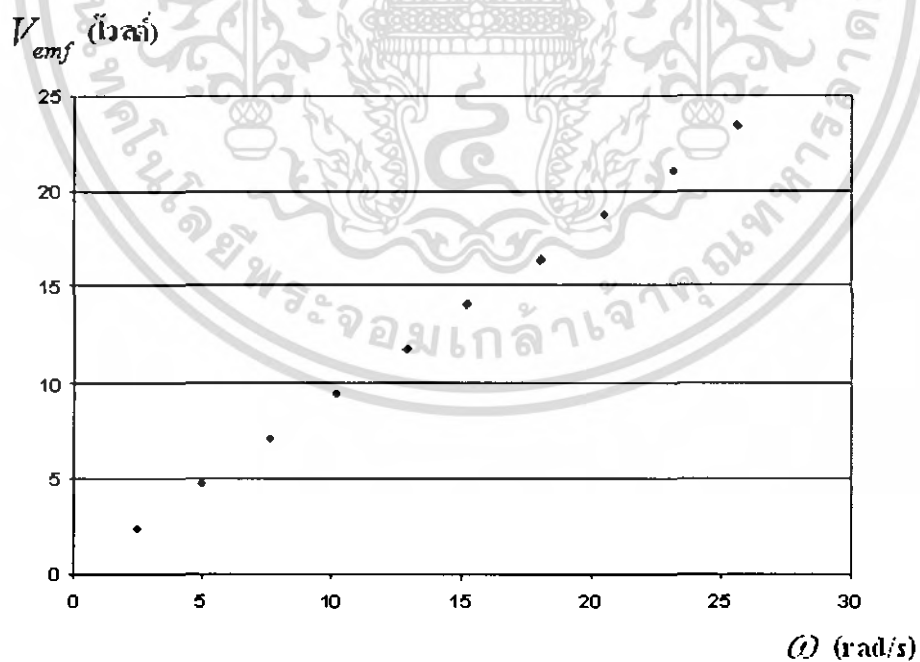
$$k_e = \frac{V_{emf}}{\omega} \quad (4.8)$$

จากสมการที่ (4.8) สามารถหาค่า k_e ได้จากความชันของกราฟระหว่าง V_{emf} และ ω การทดลองคือจ่ายค่า V_{Supply} ให้กับมอเตอร์ ปรับค่า V_{av} ไปที่ระดับต่าง ๆ (ปรับค่า V_{av} จาก %Duty Cycle) ทำการวัดค่าของ I_a และวัดอัตราเร็วรอบของล้อ (ω) ด้วยทาโคมิเตอร์ เพื่อนำไปสู่การคำนวณหาค่า V_{emf} และ k_e ดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองหาค่า k_e

V_{Supply} (โวลต์)	%Duty Cycle	V_{av} (โวลต์)	I_a (แอมแปร์)	$0.825 \times I_a$ (แอมแปร์)	V_{emf} (โวลต์)	ω (rad/s)	k_e
24	10	2.4	0.06	0.04950	2.35050	2.45143	0.958828
24	20	4.8	0.12	0.09900	4.70100	4.93430	0.952719
24	30	7.2	0.19	0.15675	7.04325	7.58476	0.928606
24	40	9.6	0.26	0.21450	9.38550	10.17238	0.922645
24	50	12.0	0.33	0.27225	11.72775	12.85430	0.912360
24	60	14.4	0.40	0.33000	14.07000	15.16950	0.927519
24	70	16.8	0.48	0.39600	16.40400	17.99800	0.911435
24	80	19.2	0.55	0.45375	18.74625	20.48100	0.915300
24	90	21.6	0.64	0.52800	21.07200	23.14190	0.910556
24	100	24.0	0.70	0.57750	23.42250	25.65620	0.912937



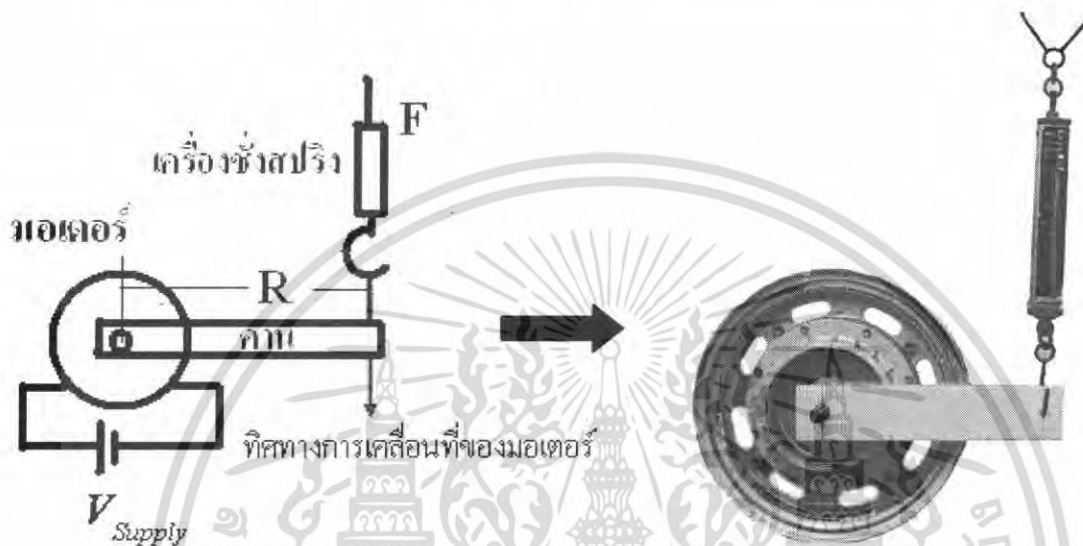
ภาพที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{emf} และ ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาทำการหา Slope ของกราฟจะได้ค่า $k_e = 0.9043$

6. k_m คือ ค่าคงที่ของแรงบิดมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้งานมีกำลังสูงสุดเท่ากับ 800 วัตต์ และรับแรงดันไฟฟ้าได้ 24 โวลต์



ภาพที่ 4.3 แสดงวิธีการหาค่า k_m

จากภาพที่ 4.3 จะเห็นว่ามียุกรณ์ 2 อย่างที่ช่วยในการหาค่า k_m

1. ก้าน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับแรงบิดจากมอเตอร์ โดยปลายข้างหนึ่งจะถูกยึดติดไว้กับเพลาของมอเตอร์ ดังนั้นเมื่อมอเตอร์หมุนทำให้ก้านหมุนตามไปด้วย ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเกี่ยวไว้กับเครื่องชั่งสปริง

2. เครื่องชั่งสปริง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าของน้ำหนักที่เกิดจากการหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาของมอเตอร์

จากสมการ โมเมนต์ของแรง

โมเมนต์ของแรงเท่ากับแรงคูณกับระยะตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรง

$$M = F \times R \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M คือ โมเมนต์ของแรง

F คือ แรง

R คือ ระยะตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรง

และจากสมการที่ (3.2)

$$\tau_m = k_m \times I_a \quad (4.10)$$

จากภาพที่ 4.4 สมการที่ (4.9) และ (4.10) จะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดของมอเตอร์และโมเมนต์ของแรง คือ

แรงบิดของมอเตอร์เท่ากับโมเมนต์ของแรง

$$\tau_m = M$$

$$k_m \times I_a = F \times R$$

$$k_m = \frac{F \times R}{I_a}$$

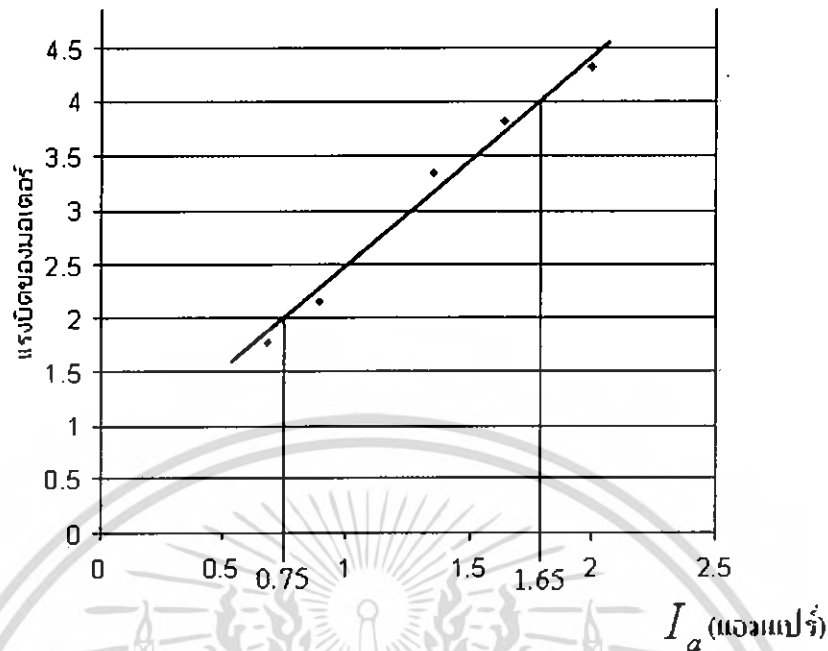
จากสมการที่ (4.10) สามารถหาค่า k_m ได้จากความชันของกราฟระหว่างแรงบิดของมอเตอร์และ I_a การทดลองโดยจ่าย V_{Supply} ที่ค่าต่าง ๆ ให้กับมอเตอร์แล้ววัดค่าของ I_a และวัดค่าแรงบิดทางกลจากเครื่องชั่งสปริง (โดย $R = 0.2$ เมตร) เพื่อนำไปสู่การคำนวณหาค่าคงที่ของแรงบิดมอเตอร์ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองหาค่า k_m

V_{Supply} (โวลต์)	F (นิวตัน)	R (เมตร)	แรงบิดของมอเตอร์	I_a (แอมแปร์)	k_m
2	8.829	0.2	1.7658	0.68	2.596765
3	10.791	0.2	2.1582	0.89	2.424944
4	16.677	0.2	3.3354	1.35	2.470667
5	19.1295	0.2	3.8259	1.64	2.332866
6	21.582	0.2	4.3164	2.00	2.158200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงบิดของมอเตอร์ (นิวตัน·เมตร)



ภาพที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงบิดของมอเตอร์ และ I_a

ต่อมาทำการหาความชันของกราฟดังนี้

$$k_m = \frac{4.00 - 2.00}{1.65 - 0.75}$$

$$k_m = 2.22$$

7. I_w คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของล้อ

จากภาพที่ 4.5 แสดงถึงลักษณะของวัตถุทรงกลมโดยเราสามารถหา I_w คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของล้อได้จากการนำภาพที่ 4.5 มาพิจารณาคคุณสมบัติทางฟิสิกส์ซึ่งในที่นี้เราจะต้องนำปริมาตรของวัตถุทรงกลมดังภาพที่ 4.5 มาทำการคำนวณโดยวิธีการพิสูจน์หาสมการนั้นสามารถหาได้จากหนังสือฟิสิกส์พื้นฐานทั่วไปในหัวข้อ โมเมนต์ความเฉื่อยโดยสมการที่ได้คือ

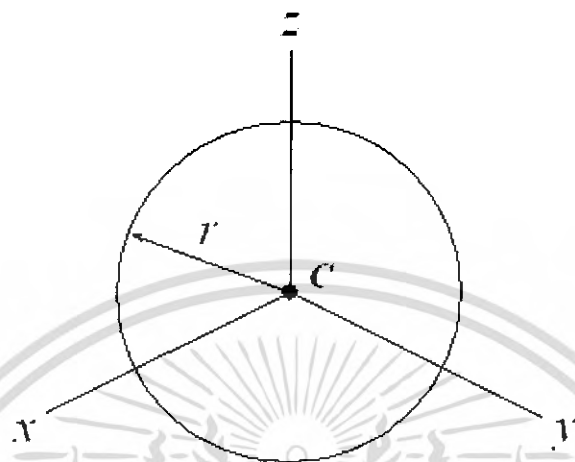
$$I_w = \frac{2}{5} M_w r^2$$

โดยจากที่กำหนดไว้ข้างต้น $M_w = 11.2 \text{ kg}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่า $r = 0.2m$

จากนั้นนำไปแทนในสมการข้างต้น $I_w = 0.8960kg \cdot m^2$



Properties of Sphere

ภาพที่ 4.5 แสดงลักษณะของวัตถุทรงกลม

8. I_p คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของก้านเพนดูลัม

จากการที่กำหนดให้น้ำหนักของเพนดูลัมคือน้ำหนักของโครงสร้างของจักรยานล้อเดียว รวมกับน้ำหนักของผู้ทดลองนั้นจึงทำให้การหาโมเมนต์ความเฉื่อยของก้านเพนดูลัมนั้นทำได้ยาก และซับซ้อนฉะนั้นเราจึงได้ทำการประมาณค่าการหาโมเมนต์ความเฉื่อยของก้านเพนดูลัมในลักษณะของรูปแบบของวัตถุทรงกระบอกรูปไข่โดยจะสามารถหา I_p คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของก้านเพนดูลัมได้จากการนำภาพที่ 4.6 มาพิจารณาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ซึ่งในที่นี้เราจะต้องนำปริมาตรของวัตถุทรงกระบอกรูปไข่ดังภาพที่ 4.6 มาทำการคำนวณโดยวิธีการพิสูจน์หาสมการนั้นสามารถหาได้จากหนังสือฟิสิกส์พื้นฐานทั่วไปในหัวข้อ โมเมนต์ความเฉื่อยโดยสมการที่ได้คือ

$$I_p = \frac{1}{4} M_p (a^2 + b^2)$$

โดยจากที่กำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ไว้ข้างต้นดังนี้

$$M_p = 71.5kg$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ a คือ รัศมีของลำตัวผู้ทดลองโดยสามารถหาได้โดยทำการวัดความกว้างของลำตัวของผู้ทดลองโดยค่าที่วัดได้คือ

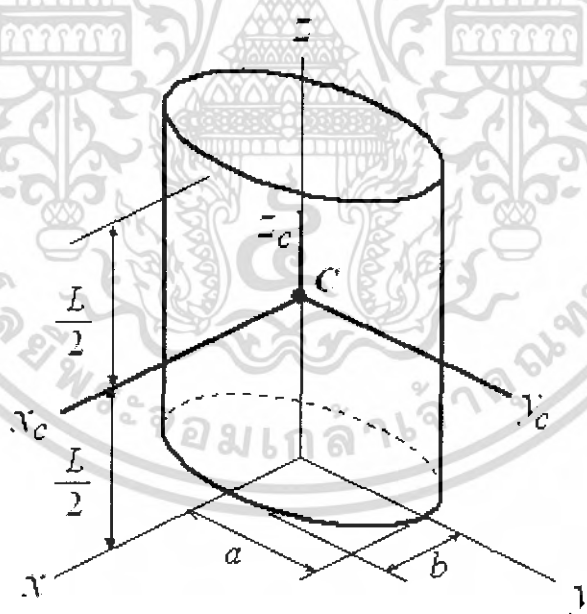
$$a = 0.25m$$

โดย b คือ ความหนาของลำตัวผู้ทดลองโดยสามารถหาได้โดยทำการวัดความหนาของลำตัวของผู้ทดลองโดยค่าที่วัดได้คือ

$$b = 0.07m$$

จากนั้นนำค่าต่าง ๆ ไปแทนในสมการข้างต้นจะได้ค่า I_p คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของก้านเพนดูลัมคือ

$$I_p = 0.8026kg \cdot m^2$$



Properties of Elliptical Cylinder

ภาพที่ 4.6 แสดงลักษณะของวัตถุทรงกระบอกรูปไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. L คือ ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของก้านเพนดูลัมถึงจุดศูนย์กลางล้อ

เราสามารถหาระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของก้านเพนดูลัมถึงจุดศูนย์กลางล้อได้โดยการใช้สูตรจากวัตถุทรงกระบอกรูปไข่จากภาพที่ 4.6 นั้นเราสามารถทำการหาระยะจุดศูนย์กลางมวลโดยการนำลักษณะทางฟิสิกส์ในภาพที่ 4.6 มาใช้ประกอบการคำนวณ โดยมีสมการดังนี้คือ

$$\frac{L}{2}$$

จากสมการข้างต้นสามารถหาวิธีการพิสูจน์ได้จากหนังสือฟิสิกส์พื้นฐานทั่วไปในหัวข้อโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุทรงกระบอกรูปไข่ โดยค่า L คือ ค่าของความยาวของก้านเพนดูลัมซึ่งหาได้จากกรณีที่ผู้ทดลองกำลังนั่งอยู่บนจักรยานล้อเดียวโดยทำการวัดความยาวมีค่าดังนี้คือ

$$L = 1.3m$$

จากนั้นนำค่ามาแทนลงในสมการข้างต้นจะได้ค่า

$$l = 0.65m$$

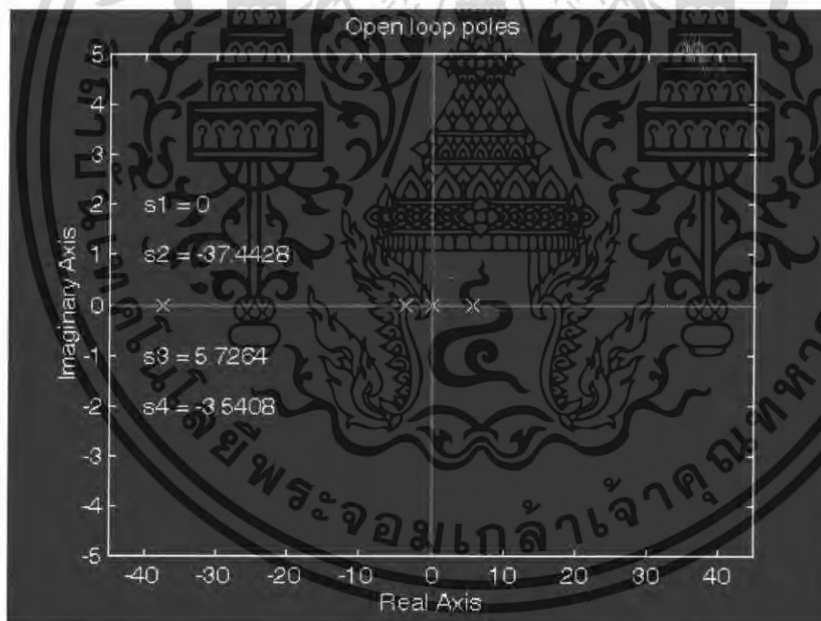
เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดแล้วนำไปแทนในสมการ (3.35) และใช้โปรแกรม MATLAB ในหมวดของ State Space ช่วยในการคำนวณและการ Simulate โดยสามารถดูรายละเอียดของโปรแกรมได้ในภาคผนวก ก เมื่อทำการเขียน โปรแกรมบน โปรแกรม MATLAB และนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่หามาได้แทนลงในโปรแกรมแล้วค่าต่างๆที่คำนวณออกมาได้มีค่าดังต่อไปนี้

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1.0000 & 0 & 0 \\ 0 & -3.0208 & 57.1312 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0000 \\ 0 & -4.2604 & 102.1097 & 0 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

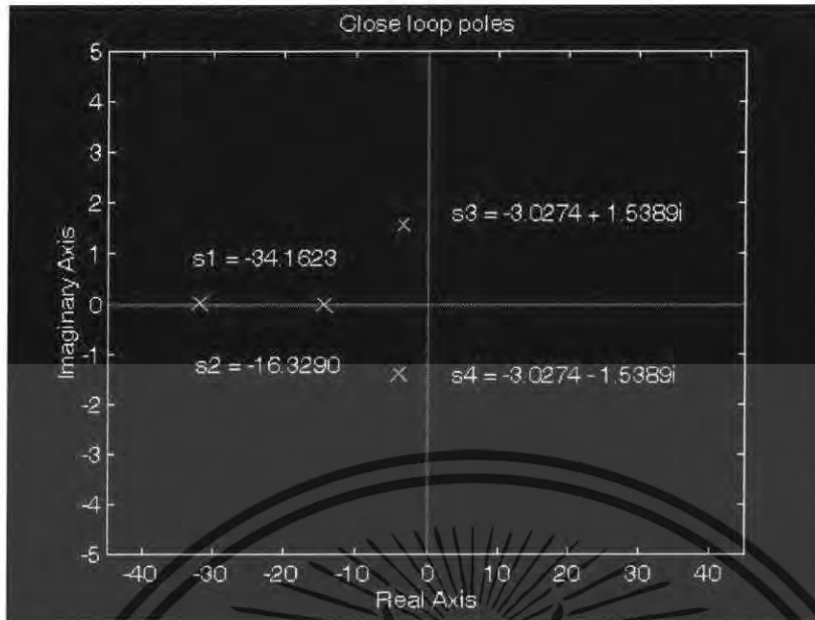
$$B_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.6681 \\ 0 \\ 0.9423 \end{bmatrix} \quad C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

โดยตัวแปร A B_2 และ C_2 เป็นตัวแปรต่าง ๆ ในสมการสแตต (State Equation) ที่ได้กล่าวมาแล้วในส่วนของการออกแบบระบบควบคุมที่เหมาะสมและสามารถเทียบได้จากสมการที่ (3.35) ในส่วนของการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำการเขียนโปรแกรมโดยสามารถเรียกใช้ฟังก์ชันในการหาค่าตำแหน่งของ Open Loop Poles ได้โดยสามารถดูวิธีการได้จากโปรแกรมในภาคผนวก ก เพื่อที่จะได้ทราบว่าระบบมีตำแหน่งของ Open Loop Poles อยู่ตำแหน่งใด โดยหลังจากทำการโปรแกรมแล้วระบบจะมีตำแหน่งของ Open Loop Poles ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 Open Loop Poles ของระบบที่ไม่อยู่ในเสถียรภาพ

จากภาพที่ 4.7 จะสังเกตได้ว่าระบบไม่อยู่ในเสถียรภาพเนื่องจากมีโพลของระบบอยู่ทางซีกขวาของแกนจริงโดยอยู่ที่ตำแหน่งที่ 5.7264 โดยเราสามารถแก้ปัญหาได้โดยทำการออกแบบตัวควบคุมแบบ LQR วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ LQR สามารถทำได้โดยการเขียน M File ในโปรแกรม MATLAB ซึ่งสามารถดูได้จากโปรแกรมในภาคผนวก ก วัตถุประสงค์ก็คือเพื่อหาค่า State Feedback Gain F โดยจะทำให้ผลของ Close Loop Poles ดังภาพที่ 4.8 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 Close Loop Poles ของระบบที่อยู่ในเสถียรภาพ

สังเกตตำแหน่งของ Close Loop Poles จะเห็นได้ว่าระบบอยู่ในเสถียรภาพเนื่องจากตำแหน่งของโพลอยู่ทางซ้ายซ้ายหมด

ผลตอบสนองของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าปรับน้ำหนักของเมตริก Q และเมตริก R จากเทคนิคการออกแบบตัวควบคุมแบบ LQR ที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อหลักการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสม โดยสามารถกำหนดเมตริกซ์ Q ได้ดังสมการเมตริกซ์ข้างล่างดังนี้

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

โดยที่ q_{11} จะเป็นตัวนำหนักของ X (position)

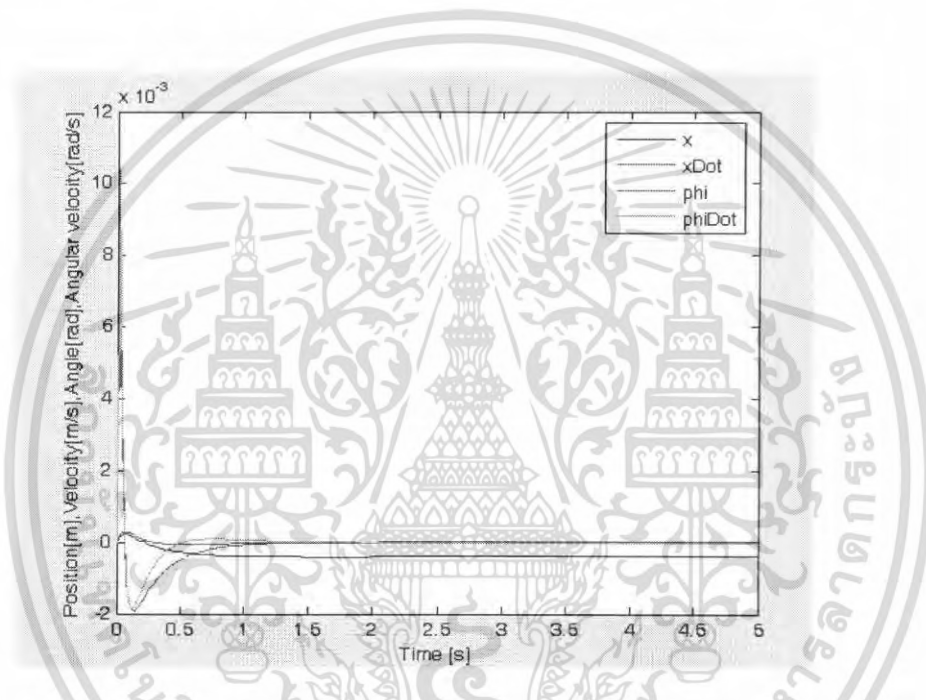
q_{33} จะเป็นตัวนำหนักของ θ (Angular)

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เมื่อเราทำการเปลี่ยนแปลงค่า Q และ R เป็นค่าต่างจะพบว่าผลตอบสนองของระบบจะเปลี่ยนไป ค่าถ่วงน้ำหนักของเมตริกซ์ Q เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสำคัญของตัวแปร State เมื่อค่าในเมทริกซ์ใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตริกซ์ Q ของตัวแปร State ใดมีค่าสูงแสดงว่าเราให้ความสำคัญต่อผลตอบสนองของตัวแปร State นั้นสูง ส่วนค่าในเมตริกซ์ Q ของตัวแปร State ที่มีค่าต่ำ บ่งบอกถึงว่าเราให้ความสนใจต่อผลตอบสนองแก่ตัวแปร State นั้นน้อย

โดยภาพที่ 4.9 จะเป็นสถานะเริ่มต้นของการปรับค่า Q และ R โดยจะกำหนดให้ค่าของ Q และ R มีค่าดังนี้คือ $q_{11}=1$ กับ $q_{33}=1$ และ $R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ โดยพบว่าผลตอบสนองของระบบเป็นไปดังภาพที่ 4.9

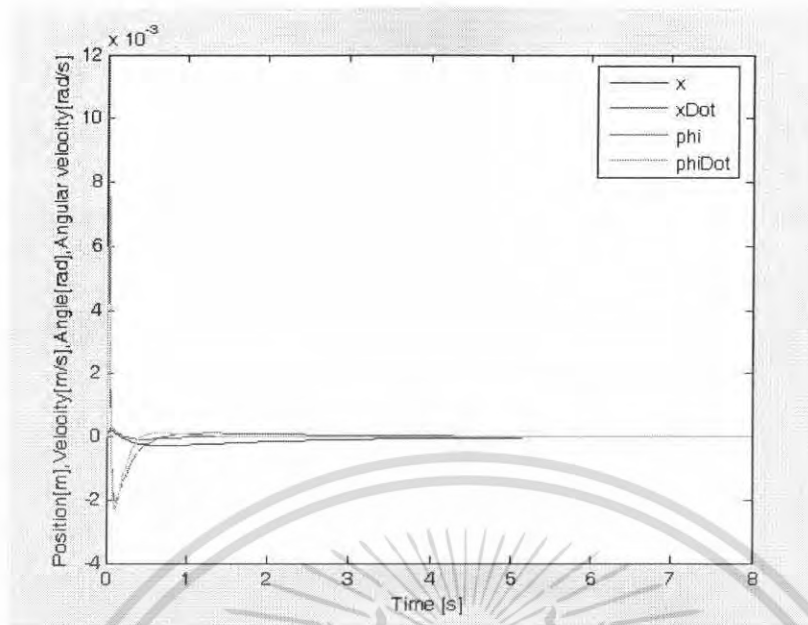


ภาพที่ 4.9 ผลตอบสนองของระบบเมื่อค่าน้ำหนัก $q_{11}=1$ กับ $q_{33}=1$ และ $R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

จากนั้นทำการปรับค่าเมตริกซ์ Q และ R ใหม่ให้มีค่าดังนี้คือ $q_{11} = 1000$ กับ $q_{33} = 1000$ และ

$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ โดยพบว่าผลตอบสนองของระบบเป็นไปดังภาพที่ 4.10

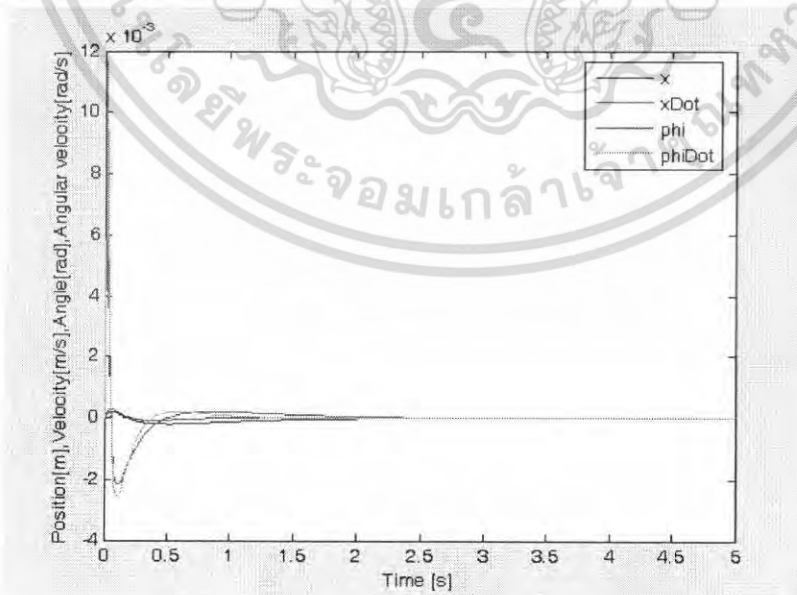
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 ผลตอบสนองเมื่อค่าน้ำหนักเป็น $q_{11} = 1000$ กับ $q_{33} = 1000$ และ $R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

จากการเปรียบเทียบกันระหว่างภาพที่ 4.9 กับภาพที่ 4.10 โดยการเพิ่มค่า q_{11} จาก 1 เป็น 1000 โดย q_{11} คือค่าน้ำหนักในเมตริกซ์ Q ที่เป็นน้ำหนักของตัวแปร State X (position) เส้นกราฟสีน้ำเงินจะเห็นได้ว่า Setting Time มีค่าลดลง

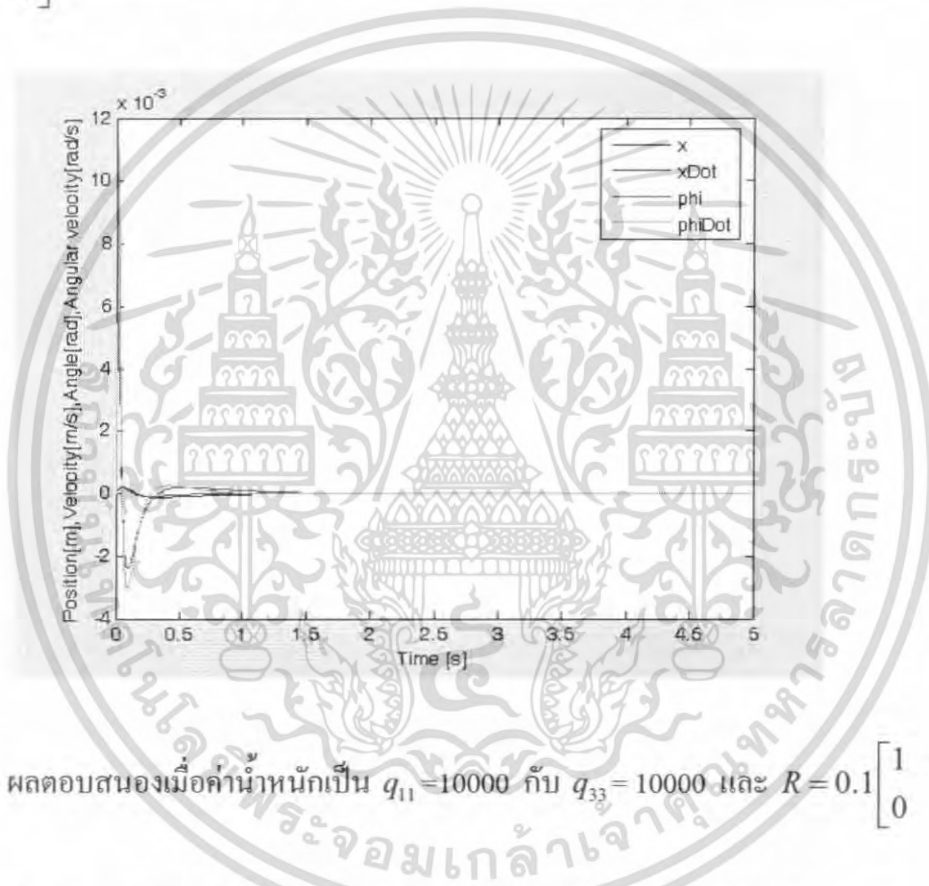
จากนั้นทำการปรับค่า Q และ R ใหม่ให้มีค่าดังนี้คือ $q_{11} = 10000$ กับ $q_{33} = 10000$ และ $R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ โดยพบว่าผลตอบสนองของระบบเป็นไปดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ผลตอบสนองเมื่อค่าน้ำหนักเป็น $q_{11} = 10000$ กับ $q_{33} = 10000$ และ $R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบกันระหว่างภาพที่ 4.10 กับภาพที่ 4.11 โดยการเพิ่มค่า q_{11} จาก 1000 เป็น 10000 และเพิ่มค่า q_{33} จาก 1000 เป็น 10000 โดย q_{11} คือค่าน้ำหนักในเมตริกซ์ Q ที่เป็นน้ำหนักของตัวแปร State X (position) เส้นกราฟสีน้ำเงินจะเห็นได้ว่า Setting Time มีค่าลดลงและ q_{33} คือค่าน้ำหนักในเมตริกซ์ Q ที่เป็นน้ำหนักของตัวแปร State ϕ (Angular) เส้นกราฟสีแดงก็จะเห็นได้ว่า Setting Time มีค่าลดลงเช่นกัน

จากนั้นทำการปรับค่า Q และ R ใหม่ให้มีค่าดังนี้คือ $q_{11}=10000$ กับ $q_{33}= 10000$ และ $R = 0.1 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ โดยพบว่าผลตอบสนองของระบบเป็นไปดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ผลตอบสนองเมื่อค่าน้ำหนักเป็น $q_{11}=10000$ กับ $q_{33}= 10000$ และ $R = 0.1 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

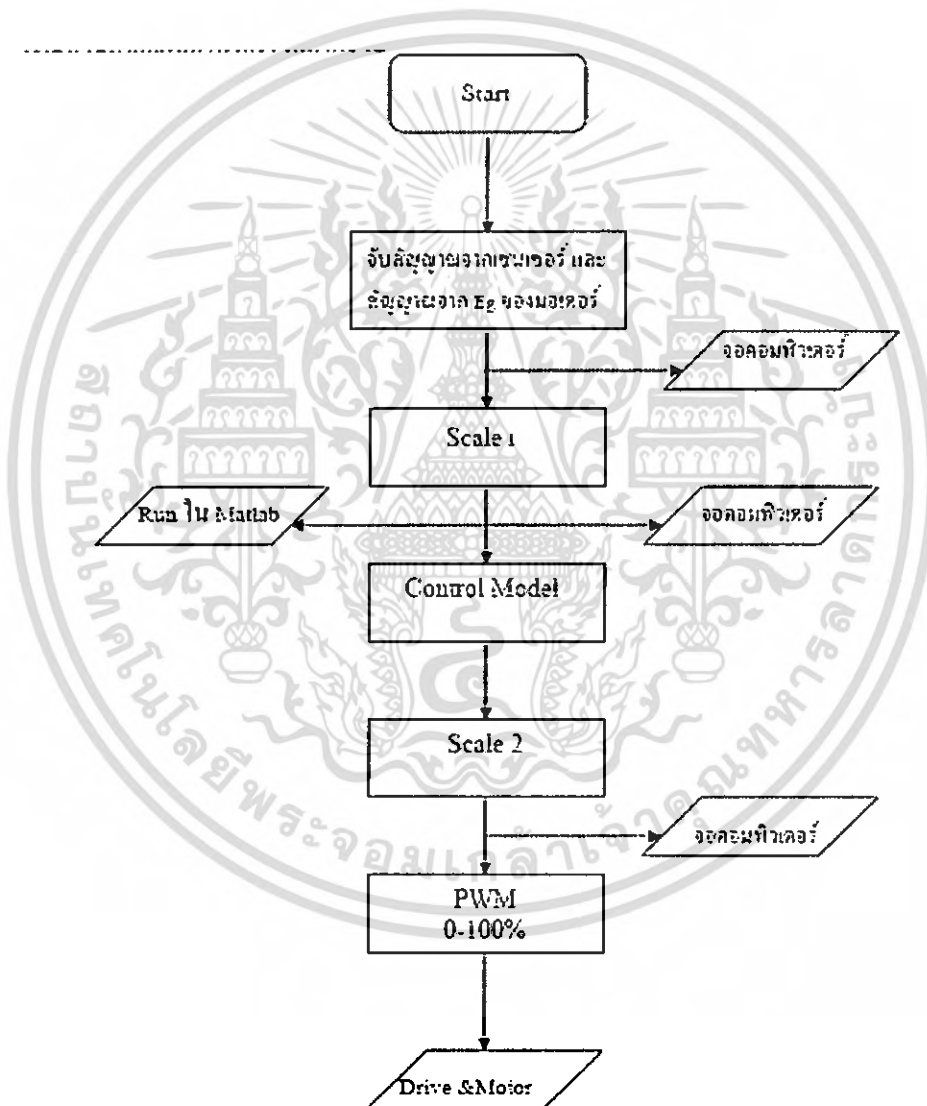
จากที่กล่าวมาข้างต้นค่าน้ำหนักของเมตริก R มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกับผลตอบสนองของระบบเช่นกันดังนั้นจึงทำการปรับค่าน้ำหนักของเมตริก R มาอยู่ที่ $R = 0.1 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ จะสังเกตเห็นทันทีที่สามารถลดค่าของ Setting Time ลงได้ดังนั้นระบบจะเข้าสู่เสถียรภาพได้เร็วขึ้น

ดังนั้นสรุปได้ว่าการลดค่าของ R ลงจะทำให้ Setting Time และการเพิ่มค่าน้ำหนักของเมตริก Q ก็ทำให้ Setting Time ลดลงเช่นกันโดยหลักในการปรับน้ำหนักเมตริกซ์ Q และ R นั้นสามารถสังเกตได้จากกราฟของผลตอบสนองว่ามีลักษณะเช่นไรแล้วจึงเลือกค่าที่เหมาะสมโดยอาศัยกราฟของผลตอบสนองเป็นเกณฑ์การตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของการเขียนโปรแกรมนั้นจะใช้ภาษาซีในการเขียนและใช้โปรแกรม MPLAB IDE เป็นตัวคอมไพล์เลอร์ การเขียนโปรแกรมทั้งหมดนี้จะอยู่ภายใต้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ศึกษามาแล้วทั้งหมดเพื่อให้การควบคุมมีประสิทธิภาพที่สุดซึ่งการออกแบบโปรแกรมนั้นจะเริ่มตั้งแต่มีสัญญาณที่รับค่าได้จากใจ ไรส โคลปและอินคลินอมิเตอร์ เข้ามาเพื่อนำค่าความเร็วเชิงมุมและค่าของมุมที่เปลี่ยนแปลงไปมาคำนวณในโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะได้นำสัญญาณเอาต์พุตออกมาใช้ควบคุมการเคลื่อนที่และทรงตัวของตัวจรวดยานล้อยืดียว โดยสามารถสรุปออกมาเป็นแผนภาพโดยรวมของการเขียนโปรแกรมได้ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 แผนภาพโดยรวมของการเขียนโปรแกรมควบคุมจรวดยานล้อยืดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

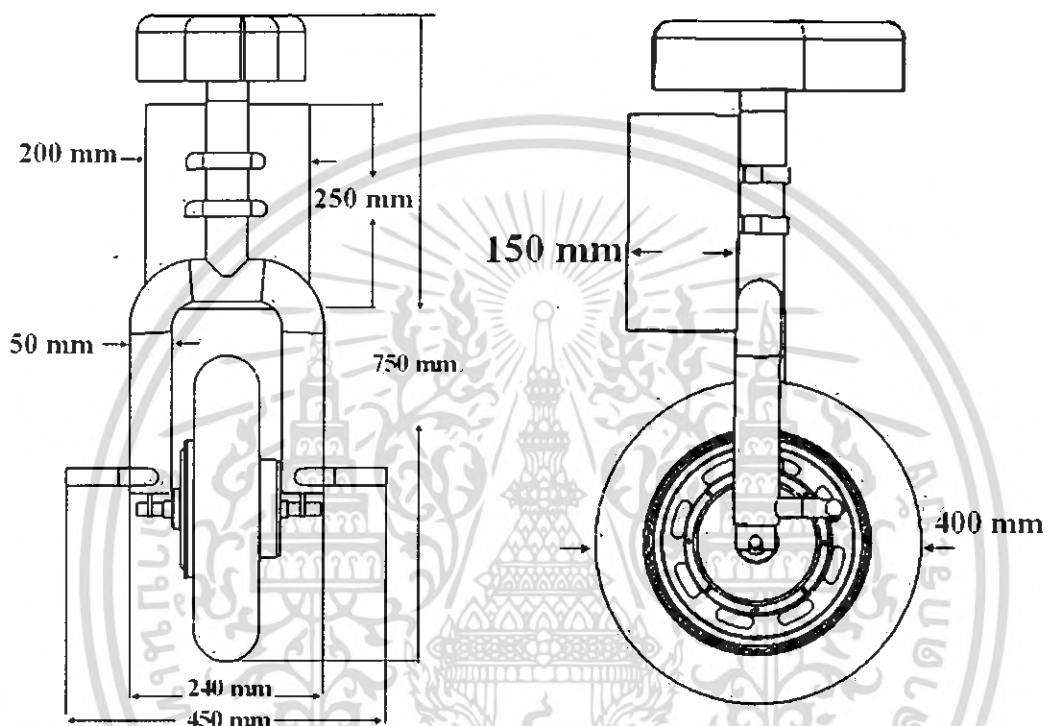
จากแผนภาพการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จะเริ่มด้วยการจับสัญญาณจากเซนเซอร์ทั้งหมดในจักรยานล้อเดียว จากนั้นทำการเขียนคำสั่งให้ทำการรับค่าที่อ่านได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์มาคิดว่าเกิดความผิดพลาดจากความเป็นจริงหรือไม่ จากนั้นทำการนำค่าต่างๆที่ได้มาจากเซนเซอร์มาทำการปรับค่าสเกลให้อยู่ในช่วง 0 – 100 % โดยสามารถดูขั้นตอนนี้ได้จากโปรแกรมในภาคผนวก ก จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ทำการสเกลค่าแล้วมาคำนวณในตัวควบคุมแบบออปติมอลคอนโทรล ซึ่งทำการออกแบบและเขียนโปรแกรมไว้แล้วในโปรแกรม MATLAB แล้วทำการอ่านข้อมูลจากมอดิวลคอมพิวเตอร์ที่ได้รับจากไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าเป็นไปตามผลตอบสนองที่ได้จากตัวควบคุมที่ออกแบบไว้หรือไม่ โดยจบจากขั้นตอนนี้นำค่าที่ได้มาใส่ใน Control Model ที่ทำการโปรแกรมไว้ จากนั้นนำมาสเกลค่าให้มีช่วงเป็น 0 – 100 % ตามช่วงของค่า PWM ได้ โดยสุดท้ายนี้ค่าของระบบที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นก็คือค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของเซนเซอร์ที่วัดได้ซึ่งจะทำให้ค่าต่างๆ ถูกเปลี่ยนแปลงไปซึ่งเมื่อจักรยานล้อเดียวเกิดมุมที่เปลี่ยนไปมากหรือน้อยก็จะทำให้เกิดการปรับค่าของ PWM เพื่อที่จะไปขับมอเตอร์ให้มีผลตอบสนองทันกับระบบที่เปลี่ยนไปนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

โครงสร้างของจักรยานล้อเดียว

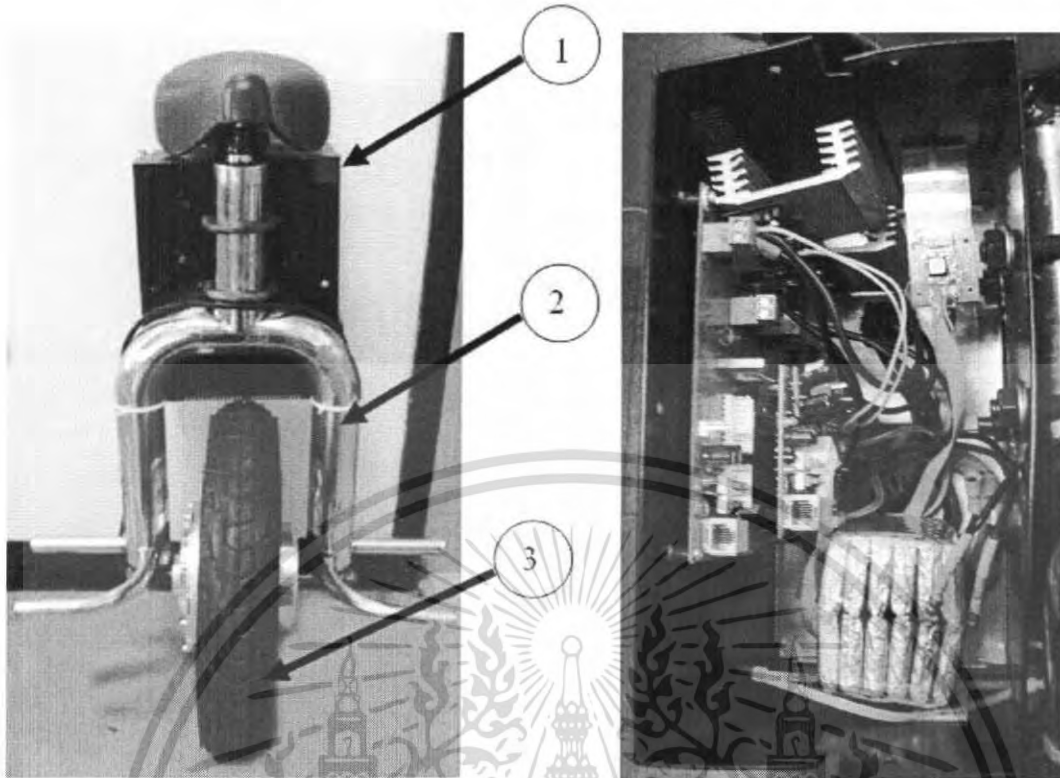
5.1 ลักษณะทั่วไปของจักรยานล้อเดียว



ภาพที่ 5.1 Dimension ของจักรยานล้อเดียว

จากภาพที่ 5.1 แสดง Dimension ของจักรยานล้อเดียว ซึ่งมีความสูงจากที่สำหรับนั่งถึงปลายล้อจักรยานเท่ากับ 750 มิลลิเมตร ความกว้างจากปลายที่รองเท้าด้านซ้ายถึงปลายที่รองเท้าด้านขวาเท่ากับ 450 มิลลิเมตร ส่วนกล่องสี่เหลี่ยมด้านหลังซึ่งถูกยึดติดกับโครงสร้างของจักรยานล้อเดียวด้วยเหล็กรูปตัวยูมีขนาด คือ ความกว้าง 200 มิลลิเมตร ความยาว 250 มิลลิเมตร และความสูง 150 มิลลิเมตร และล้อของจักรยานล้อเดียวซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 400 มิลลิเมตร

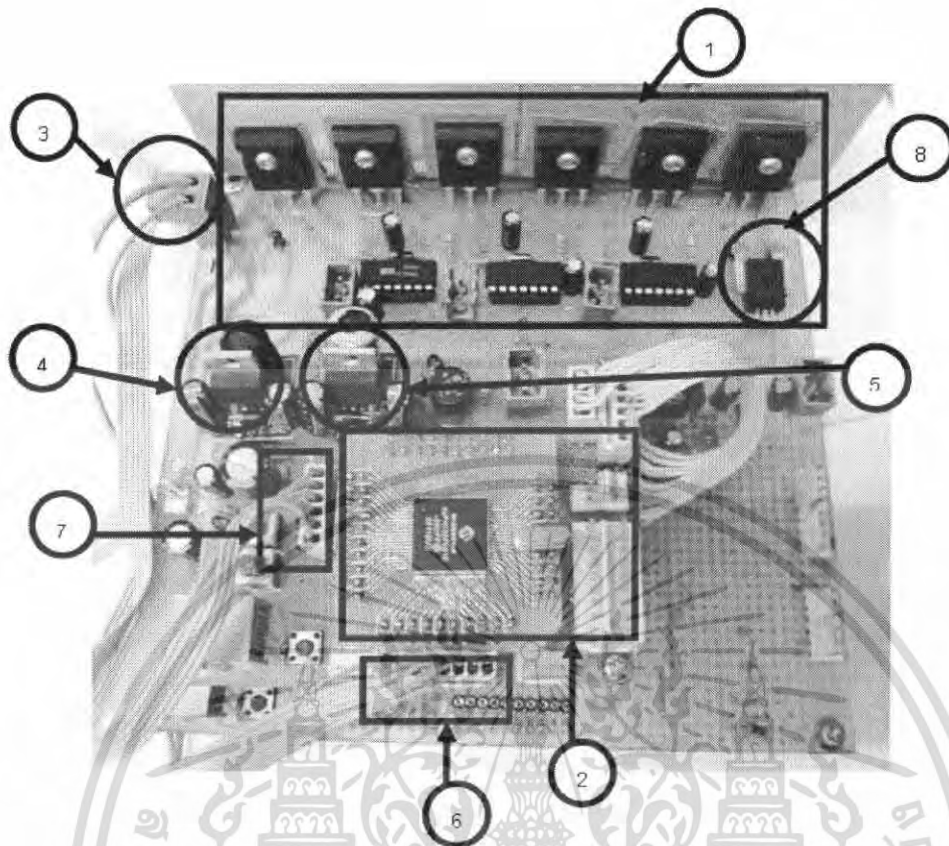
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.2 ลักษณะทั่วไปของจักษยานล้อเดียว

- หมายเลข 1 กอล่องสี่ดำ ขนาดความกว้าง 200 มิลลิเมตร ความยาว 250 มิลลิเมตร และความสูง 150 มิลลิเมตร ภายในกอล่องดำนี้บรรจุวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า (Gyro Inclinometer และ Current Sensor) และแบตเตอรี่ แสดงดังภาพที่ 5.3 ด้านขวา
- หมายเลข 2 โครงของจักษยานล้อเดียว ซึ่งทำจากสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร
- หมายเลข 3 ล้อจักษยานที่มีมอเตอร์อยู่ภายในมีกำลังสูงสุด 800 วัตต์และรับแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.3 ลักษณะของวงจรที่ติดตั้งในจักรยานล้อเดียว

จากภาพที่ 5.3 แสดงวงจรต่าง ๆ และการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์วัดค่ากับวงจร ซึ่งได้แสดงตามหมายเลขต่างๆ ดังนี้

หมายเลข 1 วงจรขับมอเตอร์ ประกอบด้วยมอสเฟต (รุ่น IRFP250N) จำนวน 6 ตัว Gatedrive (รุ่น IR2110) จำนวน 3 ตัว

หมายเลข 2 วงจรประมวลผลและควบคุม ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC30F

หมายเลข 3 รับแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ จากแบตเตอรี่

หมายเลข 4 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 24 โวลต์ เป็น 5 โวลต์

หมายเลข 5 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 24 โวลต์ เป็น 12 โวลต์

หมายเลข 6 รับสัญญาณดิจิทัลมาจาก Inclinometer Evaluation Board รุ่น ADIS1620x/PCB ส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

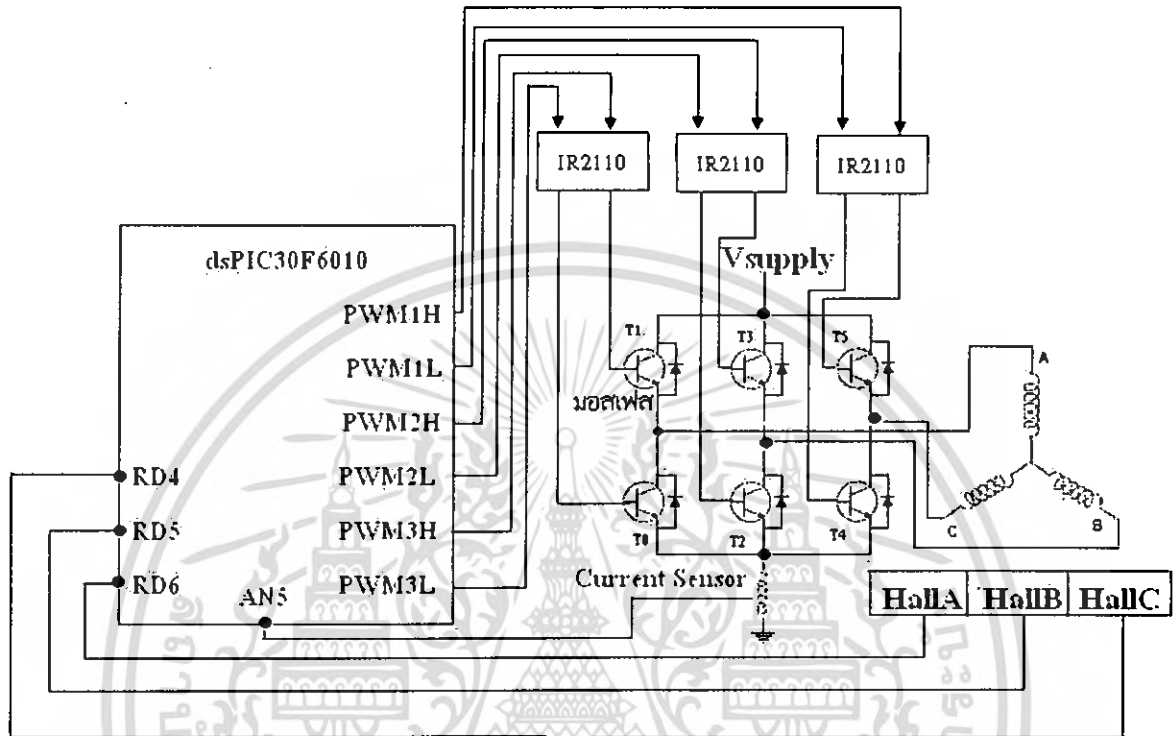
หมายเลข 7 รับสัญญาณดิจิทัลมาจาก Gyro Evaluation Board รุ่น ADIS16080/PCB ส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

หมายเลข 8 Current Sensor รุ่น ACS754xCB-050-PFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วงจรควบคุมการทำงานของ Brushless DC motor

จากภาพที่ 5.4 ในการออกแบบวงจรขับ Brushless DC motor อาศัยหลักการขับมอเตอร์แบบ 6 steps



ภาพที่ 5.4 วงจรขับ Brushless DC motor

สำหรับการทำงานของวงจรนี้จะรับสัญญาณอินพุตแบบพัลส์วิดมอดดูเลชัน ซึ่งเป็นสัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยค่าดิวิตีไซเคิลขึ้นอยู่กับผลการคำนวณทางคณิตศาสตร์ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สัญญาณพัลส์วิดที่ออกมา 1 คู่ จะประกอบไปด้วยสัญญาณแบบ High และ Low ซึ่งสัญญาณทั้งสองนั้นจะเป็นแบบคอมพลิเมนต์ารี

สัญญาณทั้งสองจะถูกส่งเข้าไปที่ตัว Gatedrive (รุ่น IR2110) เพื่อขยายสัญญาณทางด้านเอาต์พุต จะได้ H_{out} (High side gate drive output จาก pin 7 ของ IR2110) และ L_{out} (Low side gate drive output จาก pin 1 ของ IR2110) เพื่อไปสั่งการทำงานของตัวสวิทช์ซึ่ง T0-T5 (ซึ่งในโปรเจกต์นี้ใช้มอสเฟต (รุ่น IRFP250N) เนื่องจากความสามารถในการทนต่อกระแสแรงดันและสามารถสวิทช์ที่ความถี่สูงๆ)

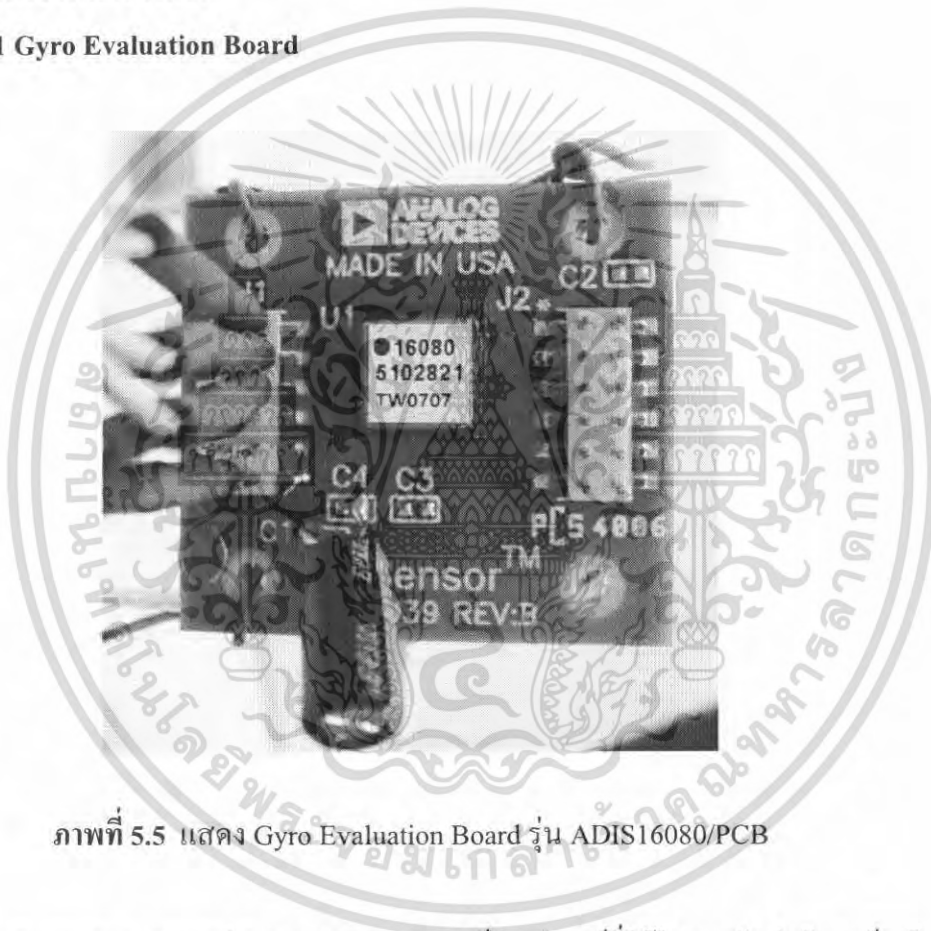
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ 1 ตัวใช้สัญญาณพัลส์วิด 3 คู่ เพื่อให้สามารถเลือกทิศทางของกระแสได้แรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์นั้นจะอยู่ที่ 0 ถึง 24 โวลต์ ซึ่งตัวที่จะกำหนดขนาดของแรงดันที่จะป้อนให้มอเตอร์ก็คือ สัญญาณพัลส์วิดที่ปรับค่าความถี่ไซเคิลได้ตั้งแต่ 0-100% โดยที่

$$V_{av} = \frac{T_{on}}{(T_{off} + T_{on})} \times V_{battery} = \text{duty cycle} \times V_{battery}$$

5.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า

5.3.1 Gyro Evaluation Board



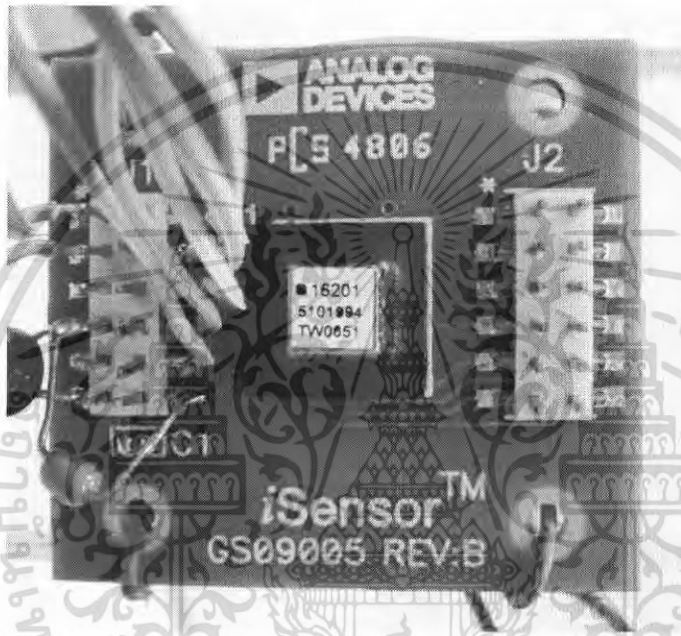
ภาพที่ 5.5 แสดง Gyro Evaluation Board รุ่น ADIS16080/PCB

Gyro Evaluation Board รุ่น ADIS16080/PCB เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าอัตราเร็วเชิงมุม โดย Input คือค่าที่วัดได้เป็นอัตราเร็วเชิงมุม Output เป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งสัญญาณดิจิตอลนี้จะถูกส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC โดย Gyro Evaluation Board รุ่น ADIS16080/PCB สามารถทำงานร่วมกับฟังก์ชัน SPI (Serial peripheral interface) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่สามารถทำให้ Gyroscope สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลค่าที่วัดมาได้จาก Inclinometer อีกทั้งฟังก์ชัน SPI (Serial peripheral interface) นี้ยังสามารถใช้งานบนตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC ได้และจักรยานล้อเดียวนี้ใช้ Gyro Evaluation Board รุ่น ADIS16080/PCB 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการติดตั้งจะยึดติดกับอะครีลิกและยึดอะครีลิกกับส่วนบนของกล่องใส่วงจรดังภาพที่ 5.2 เหตุผลที่ทำการติดตั้ง ณ ตำแหน่งนี้เนื่องจากตัว Gyroscope จะถูกยึดติดไปกับตัวรถจักรยานล้อเดียวดังนั้นเมื่อตัวรถมีการโน้มเอียงเกิดขึ้น Gyroscope จะสามารถวัดค่าได้ถูกต้องที่สุดตามค่าความเร็วเชิงมุมที่เกิดขึ้นกับตัวรถจักรยานล้อเดียว

5.3.2 Inclinometer/Accelerometer Evaluation Board



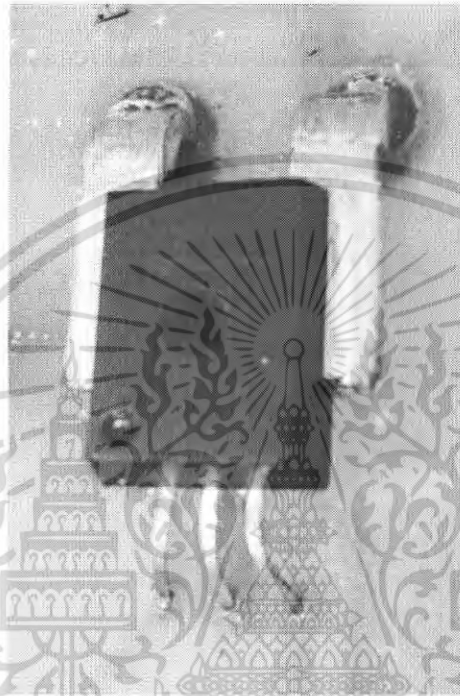
ภาพที่ 5.6 แสดง Inclinometer Evaluation Board รุ่น ADIS16201/PCB

Inclinometer Evaluation Board รุ่น ADIS1620x/PCB เป็นเซนเซอร์ที่สามารถวัดค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงไปโดย Input นั้นคือค่ามุมมองสาเหตุการเปลี่ยนแปลง Output เป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งสัญญาณดิจิทัลนี้จะถูกส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC โดย Inclinometer Evaluation Board รุ่น ADIS16201/PCB สามารถทำงานร่วมกับฟังก์ชัน SPI (Serial peripheral interface) ได้ ดังนั้นข้อมูลที่วัดได้จะสามารถนำมาใช้งานร่วมกับ Gyroscope ได้ อีกทั้งฟังก์ชัน SPI (Serial peripheral interface) นี้ยังสามารถใช้งานบนตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC ได้และจักรยานล้อเดียนี้ใช้ Inclinometer Evaluation Board รุ่น ADIS16201/PCB 1 ตัว

ลักษณะการติดตั้งจะยึดติดกับอะครีลิกและยึดอะครีลิกกับส่วนบนของกล่องใส่วงจรดังภาพที่ 5.2 โดยทำการติดตั้งร่วมกับ Gyroscope ที่ตำแหน่งเดียวกัน เพื่อที่จะได้สามารถนำข้อมูลของค่าที่วัดได้มาอ้างอิงซึ่งกันและกันเหตุผลที่ทำการติดตั้ง ณ ตำแหน่งนี้เนื่องจากตัว Inclinometer จะถูกยึดติดไปกับตัวรถจักรยานล้อเดียวดังนั้นเมื่อตัวรถมีการโน้มเอียงเกิดขึ้น Inclinometer จะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถวัดค่าได้ถูกต้องที่สุดตามค่าของมุมที่เปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกับมุมที่เปลี่ยนแปลงไปที่เกิดขึ้นกับตัวรถจักรยานล้อเดียว

5.3.3 Current Sensor



ภาพที่ 5.7 แสดง Current Sensor รุ่น ACS754xCB-050-PFF

Current Sensor เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดกระแส โดยแปลงค่ากระแสที่วัดได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) เพื่อนำค่าของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ ณ เวลานั้นๆ ไปใช้ในการทดสอบค่าของแรงดันไฟฟ้าที่เข้าไปในมอเตอร์ Current Sensor ที่ใช้ คือ รุ่น ACS754xCB-050-PFF สามารถวัดค่ากระแสได้ในช่วง $(-50) \text{ A} - 50 \text{ A}$ และแปลงค่าของกระแสที่วัดได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง $0 - 5 \text{ V}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลอง

6.1 การทดลองโดยมีผู้ใช้งานควบคุมการจักรยานล้อเดียว

จากภาพที่ 6.1 ทำการทดลองให้จักรยานล้อเดียวทรงตัวร่วมกับผู้ขี่พบว่าจักรยานล้อเดียวสามารถทรงตัวอยู่ได้ในขณะที่ผู้ใช้งานนั่งอยู่บนตัวรถ โดยที่จักรยานล้อเดียวยังสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่เคลื่อนที่ตามที่ผู้ขี่โน้มตัวไป โดยการออกแบบนั้นกำหนดมุมของการโน้มเอียงไม่เกิน 15 องศา เนื่องจากจะเป็นการป้องกันอันตรายของผู้ขี่เนื่องจากถ้ามุมของการโน้มเอียงมากจะทำให้ผู้ใช้ใช้งานได้ยากและทำให้ผู้ขี่เสียการทรงตัวได้อีกด้วย โดยจากภาพที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าจักรยานล้อเดียวมีการติดตั้งล้อประกอบไว้เพื่อที่จะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถทรงตัวง่ายขึ้นเหตุผลที่ต้องทำการติดตั้งล้อประกอบ คือ ผู้ใช้จะยังไม่มีทักษะเพียงพอที่จะประกอบจักรยานล้อเดียวไว้ได้ในช่วงแรกเนื่องจากรถจักรยานล้อเดียวจะสามารถรักษาการทรงตัวได้เฉพาะในทิศทางที่เคลื่อนที่แต่จะไม่สามารถรักษาการทรงตัวด้านซ้ายและด้านขวาของผู้ใช้ได้ คล้ายกับในกรณีของการที่บุคคลทั่วไปหัดขี่จักรยานครั้งแรกจะยังไม่สามารถทรงตัวได้ดีในช่วงแรกของการหัดขี่ดังนั้นจึงต้องมีล้อประกอบเพื่อช่วยในการทรงตัวและป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นในขณะที่ขี่จักรยาน จากการทดลองจักรยานล้อเดียวสามารถทำการเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวาได้ โดยการพยายามบิดตัวไปในทิศทางที่ต้องการเลี้ยวแต่ผลที่ได้จากการทดลองนั้น ในการที่จะพยายามทำให้ตัวรถจักรยานล้อเดียวเลี้ยวนั้นค่อนข้างยากเนื่องจากผู้ขี่ยังขาดทักษะในการทรงตัวอยู่ จึงทำให้ในขณะที่กำลังพยายามจะบิดตัวเพื่อที่จะทำการเลี้ยว นั้น ผู้ใช้ต้องใช้เวลาในการที่จะพยายามเลี้ยวไม่สามารถเลี้ยวได้ทันทีที่ต้องการ อีกทั้งรัศมีการเลี้ยวของจักรยานล้อเดียวนั้นค่อนข้างมาก ดังนั้นในการที่จักรยานล้อเดียวจะทำการเลี้ยวในพื้นที่จำกัดจะทำให้ยาก สรุปได้ว่ารถจักรยานล้อเดียวนั้นจะสามารถใช้งานได้ดีและง่ายก็ต่อเมื่อผู้ขี่มีความคุ้นเคยและทักษะที่ดีในการควบคุมจักรยานล้อเดียวก่อน โดยช่วงแรกที่ทำกรหัดขี่นั้นผู้ขี่จะขาดความคุ้นเคยและทักษะทำให้ไม่สามารถใช้งานรถจักรยานล้อเดียวได้ดี



ภาพที่ 6.1 แสดงการทดลองโดยมีผู้ใช้งานควบคุมกับจักรยานล้อเดียว

6.2 การทดลองโดยการนำวัตถุมาวางกับตัวรถ

จากภาพที่ 6.2 ทำการทดลอง โดยนำวัตถุที่มีน้ำหนักประมาณ 25 กิโลกรัมมาวางไว้บนตัวรถจักรยานล้อเดียวและสังเกตพฤติกรรมการทำงานของรถจักรยานล้อเดียว จะเห็นได้ว่า ในขณะที่ปล่อยให้ตัวของรถจักรยานล้อเดียวให้ทรงตัวร่วมกับวัตถุนั้นตัวรถจักรยานล้อเดียวจะพยายามรักษาสมดุลให้ตัวรถทรงตัวอยู่นิ่งดังภาพที่ 4.2(ก) จากนั้นตัวรถจะสามารถรักษาสมดุลให้ตัวรถอยู่นิ่งได้ชั่วขณะหนึ่งดังภาพที่ 4.2(ข) แต่สุดท้ายแล้วตัวรถไม่สามารถรักษาสมดุลได้ดังภาพที่ 4.2(ค) เนื่องจากวัตถุนั้นจะไม่สามารถช่วยให้ตัวรถทรงตัวได้เหมือนในกรณีที่มีผู้ใช้ทรงตัวอยู่ กล่าวคือเมื่อกรณีที่มีผู้ใช้ขี้อยู่บนตัวรถจักรยานล้อเดียนั้น ผู้ใช้จะสามารถรักษาความแรงไว้ได้แตกต่างจากในกรณีที่เป็นวัตถุเมื่อตัวรถเสียสมดุลไปวัตถุจะไม่สามารถรักษาความแรงไว้ได้ทำให้ตัวรถไม่สามารถทรงตัวอยู่นิ่งได้ สาเหตุเกิดจากการที่ตัวรถมีการติดตั้ง Control Box ไว้ทางด้านหลังทำให้น้ำหนักเสียสมดุลไปทางด้านหลัง สังเกตได้จากพฤติกรรมของจักรยานล้อเดียว ในขณะที่ทดลองเมื่อจักรยานล้อเดียวเสียการรักษาสมดุลไปทิศทางที่จักรยานล้อเดียวเสียสมดุลไปคือ ทิศทางด้านหลัง โดยอีกปัจจัยหนึ่งคือการทำกรอกแบบทฤษฎีที่ไม่ได้คำนึงถึงการรักษาสมดุลของจักรยานล้อเดียวเมื่อมีวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) วางไว้บนตัวรถจึงทำให้ไม่สามารถรักษาสมดุลไว้ได้เหมือนในกรณีที่มีผู้ใช้ขี้อยู่บนจักรยานล้อเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สถานะกำลังรักษาสมดุล

(ข) สถานะสมดุล



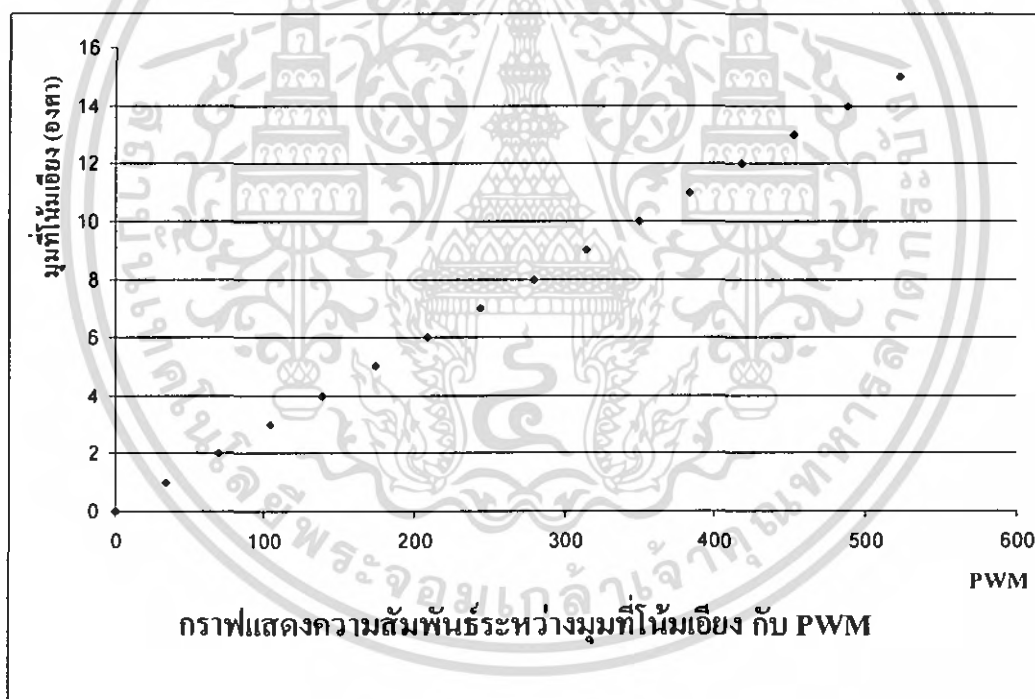
(ค) สถานะเสถียรสมดุล

ภาพที่ 6.2 แสดงการทดลอง โดยมีผู้ใช้งานควบคุมกับจักรยานล้อเดียว

6.3 การทดลองหาผลตอบสนองของจักรยานล้อเดียว

การทดลองหาผลตอบสนองของจักรยานล้อเดียวเมื่อระบบเกิดสิ่งรบกวนขึ้นทำการทดลองได้โดยทำการออกแรงผลักดันจักรยานล้อเดียวออกจากจุดสมดุลไปตามองศาที่เปลี่ยนไปมุมต่างๆ จากมากไปน้อย โดยทำการโปรแกรมให้รถจักรยานล้อเดียวหยุดการทำงานเมื่อมีองศาที่เปลี่ยนแปลงไปเกินจากที่เราต้องการทราบค่า กล่าวคือเมื่อทำการทดลองที่มุมที่เปลี่ยนไปจากไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดสมมูล 1 องศาที่เราต้องการทราบเราจะทำการ โปรแกรมให้จักรยานล้อเดียวหยุดทำงานเมื่อมีมุมที่เปลี่ยนไปจากจุดสมมูลของจักรยานล้อเดียวเกิน 1 องศาโดยทำการอ่านค่าของ PWM และองศาที่เปลี่ยนไปจากจุดสมมูลของจักรยานล้อเดียวผ่านจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ที่ได้รับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านสาย RS 232 โดยจะเห็นว่าระบบจะทำการควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยการปรับค่าของ PWM ให้มีค่ามากขึ้น กล่าวคือเมื่อค่าของ PWM สูงค่าความเร็วของมอเตอร์ก็จะมีความเร็วสูงขึ้นตามไปด้วย โดยปัจจัยที่ทำให้ค่า PWM มีค่าสูงขึ้นนั้นเกิดจากการที่จักรยานล้อเดียวเกิดการโน้มเอียงออกจากจุดสมมูลเมื่อองศาที่เปลี่ยนไปมีค่ามากกว่าของ PWM ก็จะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย สรุปได้ว่าค่า PWM จะแปรผันไปตามค่าองศาที่เปลี่ยนไปจากจุดสมมูลของจักรยานล้อเดียว โดยจากการทดลองทำการบันทึกค่าของ PWM และองศาที่เปลี่ยนแปลงไปจากจุดสมมูลของจักรยานล้อเดียวที่อ่านค่าได้จากมอนิเตอร์คอมพิวเตอร์ตั้งแต่มุมที่เปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ 0 องศา - 15 องศา จากนั้นนำค่าที่ได้จากการบันทึกค่ามาพล็อตกราฟ โดยกราฟที่ได้จากการทดลองจะมีลักษณะดังภาพที่ 6.3



ภาพที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่โน้มเอียง (0-15 องศา) กับ PWM

จากภาพที่ 6.3 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เปลี่ยนไปจากสมมูลของจักรยานล้อเดียวกับค่าของ PWM ที่ส่งให้กับมอเตอร์เพื่อควบคุมให้ระบบกลับสู่สมมูลอีกครั้ง เมื่อระบบถูกรบกวนกล่าวคือเมื่อจักรยานล้อเดียวถูกออกแรงผลักให้มีการโน้มเอียงเกิดมุมที่เปลี่ยนไปจากจุดสมมูลของจักรยานล้อเดียวจะทำให้ค่าของ PWM ที่ต้องป้อนให้กับมอเตอร์มีค่ามากขึ้นไปตามมุมที่เอียงนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนไปด้วย ซึ่งจักรยานล้อเดียวจะสามารถให้ผู้ใช้ทรงตัวได้ง่ายที่ประมาณมุมสิบห้าองศา เนื่องจากถ้าจักรยานล้อเดียวมีมุมที่เปลี่ยนไปเกินสิบห้าองศา นั้น จะทำให้ผู้ใช้สามารถทรงตัวได้ยากเนื่องจากการที่จะโน้มตัวไปให้ได้มากกว่าสิบห้าองศาขณะที่นั่งอยู่บนจักรยานล้อเดียนั้น จะทำให้รู้สึกลำบากในการที่จะควบคุมจักรยานล้อเดียวให้มีมุมที่เปลี่ยนไปจากจุดสมดุลเกินสิบห้าองศา โดยที่ระบบที่มุมไม่เกินสิบห้าองศาจะมีเสถียรภาพค่อนข้างดีโดยสามารถสังเกตได้จากกราฟภาพที่ 6.3 ที่ผลตอบสนองของจักรยานล้อเดียวมีความเป็นเชิงเส้นค่อนข้างสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลอง ปัญหา และข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าตัวรถจักรยานล้อเดียวสามารถทรงตัวและเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่เคลื่อนที่ตามที่ใช้โน้มเอียงไป โดยผู้ใช้งานสามารถทรงตัวอยู่ร่วมกับตัวรถจักรยานล้อเดียว โดยที่ตัวรถจักรยานล้อเดียวนั้นจะไม่เสียการทรงตัวไปในทิศทางอื่นแตกต่างจากกรณีที่ทดลองร่วมกับการวางวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ไว้บนตัวรถจักรยานล้อเดียว ตัวรถจะพยายามรักษาสมดุลไว้ขณะหนึ่ง จากนั้นตัวรถจักรยานล้อเดียวจะเสียสมดุลจนกระทั่งเสียทิศทางเคลื่อนที่ที่กลับ ไปทางด้านหลัง ซึ่งเป็นด้านที่มีตำแหน่งการติดตั้ง Control Box เนื่องจากการที่กำหนดค่าของการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมนั้นเรากำหนดค่าของความยาวก้านเพนดูลัมจากระยะที่ผู้ทดลองกำลังนั่งอยู่บนจักรยานล้อเดียวซึ่งมีระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของก้านเพนดูลัมถึงจุดศูนย์กลางล้อประมาณ 0.65 เมตรแตกต่างจากกรณีที่ทำการทดลองกับวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ซึ่งจะมีค่าของความยาวก้านเพนดูลัมในขณะที่วางวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ต่างจากกรณีที่มีผู้ขี่อยู่มากพอสมควร โดยระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของก้าน Pendulum ถึงจุดศูนย์กลางล้อกรณีที่ทดลองร่วมกับวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) นั้นมีค่าประมาณ 0.4 เมตร ทำให้จักรยานล้อเดียวไม่สามารถรักษาสมดุลเองได้ในขณะวางวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ไว้บนจักรยานล้อเดียว

7.2 ปัญหา

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจักรยานล้อเดียวมีการคำนวณโดยใช้โมเดลรูปร่างคนมาคำนวณ แต่การหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับคนทำได้ยาก เช่น จุดศูนย์กลางมวลของคนขณะที่นั่งบนตัวรถ เป็นต้น ดังนั้นจึงทำการประมาณตัวคนให้คล้ายกับวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ชนิดหนึ่งขึ้นมา ทำให้ค่าที่ได้มาคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่หามาได้อาจจะมีข้อผิดพลาดได้ทำให้ตัวรถยังไม่สามารถรักษาสมดุลได้ดีที่สุด

2. การทำงานร่วมกันของตัว Gyroscope และ Inclinometer ผลการตอบสนองของการทำงานร่วมกันยังไม่ดีนัก คือจากการทดลองเมื่อมีการเอียงก้านเพนดูลัมเร็วมาก ๆ จักรยานล้อเดียวจะกลับเข้าสู่สมดุลได้จะต้องใช้เวลาอยู่บ้าง โดยจะไม่สามารถเข้าสู่สมดุลได้ทันทีเหมือนกับในกรณีที่มีการเอียงก้านที่ความเร็วค่อยๆ ตัวรถจะสามารถกลับเข้าสู่สมดุลได้ทันที

3. โครงสร้างจักรยานล้อเดียวยังขาดความสมดุลของน้ำหนักอยู่เนื่องจากตัว Control Box มีการติดตั้งที่ด้านหลังของตัวรถจึงทำให้ตัวรถขาดความสมดุลในขณะที่พยายามทรงตัวร่วมกับวัตถุที่วางไว้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ข้อเสนอแนะ

1. แก้ไขวิธีการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใหม่โดยนำมาคิดร่วมกับวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ชนิดใดชนิดหนึ่งแทน เนื่องจากการหาพารามิเตอร์จะทำได้ง่ายและแม่นยำมากกว่าของร่างกายคนอีกทั้งถ้าตัวรถสามารถรักษาสมดุลร่วมกับตัวของ Rigid Body ได้แล้วก็เป็นาง่ายที่จะรักษาสมดุลขณะมีผู้ใช้งานอยู่ได้ เนื่องจากตัวคนสามารถควบคุมทิศทางและความเร่งได้โดยตัวเอง

2. ทำการปรับวิธีการทำงานร่วมกันของตัว Gyroscope และ Inclinometer ใหม่โดยพยายามทำให้ตัวรถจักรยานล้อเดียวสามารถเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วในทุกๆกรณีไม่ว่าจะมีการ โน้มเอียงเร็วหรือช้าก็ตาม

3. ทำการออกแบบตัวรถจักรยานล้อเดียวให้มีความสมดุลของน้ำหนักทั้งทางด้านหน้าและด้านหลังมากที่สุด เพื่อที่ง่ายต่อการที่จักรยานล้อเดียวจะรักษาสมดุลโดยตัวเองในขณะที่มีวัตถุอยู่หรือทรงตัวเองในขณะที่ ไม่มีผู้ใช้ขี้อยู่บนตัวรถ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ผ.ศ.ดร. ธนิตย์ ศรีสุวรรณวัฒน์ “ optimal control system” เอกสารประกอบการเรียนการสอน
- [2] Rich Chi Ooi “ Balancing a Two-Wheeled Autonomous Robot ” The University of Western Australia,thesis 2003
- [3] Felix Grasser, Aldo D’Arrigo, Silvio Colombi, Alfred Rufer “A Mobile, InvertePedulum” Swiss Federal Institute of Technology Lausanne.
- [4] นคร ภัคดีชาติ, ชัยวัฒน์ ถิมพรจิตรวิไล “dsPIC microcontroller: Basic experiment in C programming with MPLAB C30” Innovative Experiment Co.,Ltd.
- [5] T. Kenjo and S. Nagamori “Permanent-Magnet and Brushless DC Motors” Filmset and printed in Northern Ireland at The Universities Press (Belfast) Ltd.
- [6] นายเจษฎา ชนะทัฬ , นายทัตพล อาจสำอางค์ “ปริญญานิพนธ์ หุ่นยนต์ขับเคลื่อนสองล้อแบบสมดุท โดยใช้หลักการ อินเวอร์ทเพนคูติม” ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมที่เขียนบนไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

```

/*
    Xtal 9.6 MHz , Oscillator Mode Xt w/PLL 8x
    Watchdog Timer Disable
    Board Rate Uart1 38400
    Capture use Timer23 32bit
        : input capture 50 HZ 20 ms
        : if input pwm = min Timer32bit read
        : if input pwm = max
*/

#include<p30f6010.h>
#include<uart.h>
#include<pwm.h>
#include<timer.h>
#include<incap.h>
#include<stdio.h>
#include<ports.h>
#include<math.h>
#include<reset.h>

#include<print.c>
#include<pwm.c>
#include<capture.c>
#include<acd.c>
#include<spi.c>
#include<timer.c>
#include<incline.c>
#include<gyro.c>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include<bldc.c>

unsigned long zeta_old,zeta_new;

unsigned int current;

char count_sec ;
char dir_bldc ;
char calibrate;
char str[12];
char count_sum_degree ;

int dutycycle;

float A1,A2,A3,ZERO,T,offset_error;
float zeta_com;
float total_zeta,zeta_rad;
float xd = 0;
float zd = 0;
float xdd;
float zdd;
float Vbatt;
float Ia;
float Eg;
float Biass,Ra1,Ra2,Rate;
float W;
float velo1,velo2,speed,zeta_dot,old_zeta;
float distance1,distance1_old,distance_total;
float Va,K1,K2,K3,K4;
float Ra;
float Dir;
float F11,F12,F13,F14,F15;
float U,velo;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float Zeta,X;
float GainE,GainP,GainI,Set_Point,error,Int;
float DEGREE_sum[6] ;

////////// Read all value from Sensors every 20 ms (50 Hz) //////////

void __attribute__((__interrupt__)) _T1Interrupt(void)
{

    GYRO_Value = Read_GYRO();

    DEGREE = Read_DEGREE_R() ;

    DEGREE = DEGREE - 0.01745 ;

    current = analog(5) ;

    Vbatt = analog(8) ;

    count_sum_degree ++;
    if (count_sum_degree == 6) {
        count_sum_degree =1;
        DEGREE =
DEGREE_sum[1]+DEGREE_sum[2]+DEGREE_sum[3]+DEGREE_sum[4]+DEGREE_sum[5];
        DEGREE = DEGREE /6;

        if ( DEGREE >= 0.7857 ){
            PDC1 = 0;
            PDC2 = 0;
            PDC3 = 0;
            PDC4 = 0;

            PORTDbits.RD3 = 0 ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        while(1){ } ;
    }
    if (DEGREE <= -0.7857){
        PDC1 = 0;
        PDC2 = 0;
        PDC3 = 0;
        PDC4 = 0;
        PORTDbits.RD3 = 0 ;
        while(1){ } ;
    }
}

DEGREE_sum[count_sum_degree]= DEGREE ;

////////// Calibrate Gyroscope & Iniclinometer //////////

        A1 = GYRO_Value ;
        A3 = (A1 - ZERO) * 0.0000612 ; //zeta_dot in rad/s(0.0000452)
        A2 = A2 + A3 ; // Change W to Theta (radian)
        offset_error = (DEGREE - A2)*0.001 ;
        A2 = A2 + offset_error ;

////////// Calibrate = 0 //////////

        calibrate = 0 ;
        if(calibrate==0)
        {

////////// Find Eg from current sensor output //////////

        Ra= 0.8563;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Ia = current ;
Ia = (Ia/600) - 1 ;
Ia = (Ia*PWM_value) / 3830 ;

Va = (Vbatt*PWM_value) / 3830 ;
Va = (Va / 214.8716) * 5.167 ; //Battery (24.6 = MAX)

Eg = Va - (Ia*Ra) ;

```

////////// Find every Value before calculate in Optimal control //////////

```

W = Eg / (0.9043);
velo1 = W*0.2;
velo= velo1;
distance1 = distance1+(velo1*0.02 + distance1_old)/2.0;
distance1_old = velo1*0.02;
distance_total = distance1;
zeta_rad = A2;
// zeta_dot = A3;

Zeta= (zeta_rad*(-1.00)) ;
zeta_dot = (Zeta - old_zeta)/0.02;
old_zeta = Zeta;

X=distance_total;

```

////////// Optimal Control(LQR) //////////

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

F11= 0.0050 ; //0.0050;
F12= 11.9625 ; //11.9625;
F13= -754.8200 ; //-754.8200;
F14= -41.3438 ; //-17.3438;-41.3438;

```

```

U=F11*X+F12*velo+F13*Zeta+F14*zeta_dot;//<-----U-signal

```

```

if (U>=200.00)

```

```

{
  U=200.0;
}

```

```

if (U<=-200.0)

```

```

{
  U=-200.0;
}

```

```

////////////////////// PI Control ////////////////////////////////////////

```

```

GainE = 0.4 ;

```

```

GainP = 10.0 ;

```

```

GainI = 0.0 ;

```

```

Set_Point = U * 1.4 ; //(1.0-2.0)

```

```

error = Set_Point - (W*GainE) ;

```

```

Rate = 1 ;

```

```

Int = Int + error*Rate ;

```

```

cmd = error*GainP + error*GainI ;

```

```

PWM_value = abs(cmd) ;

```

```

if(PWM_value>=3000)

```

```

{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        PWM_value =3000;
    }
    if(PWM_value<=0)
    {
        PWM_value = 0;
    }

    if (cmd >= 0) {
        dir_bldc = 0;
    }

    else {
        ;
        dir_bldc = 1;
    }

    One = 0;
    IFS0bits.T1IF=0;
}

void Test_SPI (){

    printf ( " \r\n ");
    printf ( " //////////////////////////////////// Sagway //////////////////////////////////// \r\n " );

    TRISBbits.TRISB6 = 0; // LED gennernal
    TRISBbits.TRISB7 = 0; //
    TRISGbits.TRISG2 = 0;
    TRISGbits.TRISG6 = 1;
    TRISAbits.TRISA14 = 0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TRISCbits.TRISC3 = 0; // PIN Reset For SPI
```

INCLINOMETER

```
TRISCbits.TRISC1 = 0; // PIN SS For SPI
```

INCLINOMETER

```
TRISGbits.TRISG9 = 0; // PIN SS For SPI GYRO
```

```
Reset_INCLINO_OF
```

```
delay_us(1);
```

```
CUP2_DE ; delay_us(1);
```

```
CUP3_DE ; delay_us(1);
```

```
Mode_M1 = 0; Mode_M2 = 0;
```

```
spi_init1();
```

```
spi_init2();
```

```
spi_init2_GYRO();
```

```
Init_GYRO ();
```

```
}
```

```
void Start_Program(){
```

```
////////// PWM Control Motor Inital //////////
```

```
// Motor_OFF
```

```
TRISDbits.TRISD5 = 1; TRISDbits.TRISD4 = 1; TRISDbits.TRISD13 = 0;
```

```
TRISFbits.TRISF0 = 0;TRISFbits.TRISF1 = 0;
```

```
TRISGbits.TRISG0 = 0;TRISGbits.TRISG1 = 0;
```

```
TRISDbits.TRISD6 = 1;TRISDbits.TRISD7 = 0;
```

```
TRISCbits.TRISC1 = 0;TRISCbits.TRISC3 = 0;
```

```
TRISDbits.TRISD1 = 0;
```

```
WDTSWDisable;
```

```
}
```

```
////////// PWM //////////
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void __attribute__((__interrupt__)) _PWMInterrupt(void)
{
    IFS2bits.PWMIF = 0;
}

////////////////////////////////// TX1 RX1 ////////////////////////////////////

void __attribute__((__interrupt__)) _U1TXInterrupt(void)
{
    IFS0bits.U1TXIF=0;
}

void __attribute__((__interrupt__)) _U1RXInterrupt(void)
{
    IFS0bits.U1RXIF=0;
}

void Wait_And_Read_Data(){ // Wait data into Uart1 by 5 char to convert is Interger
char Buf[10];
while ( 0 != getsUART1 ( 1,Buf,6000 ) );
}

////////////////////////////////// Main Program ////////////////////////////////////

int main(void)
{
    char Txdata []="\r\nUART test Gyroscope sensor\r\n";
    char i;
    unsigned int Count_Reset;
        calibrate = 1;
        count_sec = 0;
        total_zeta = 0;
        distance1 = 0;
        distance_total = 0;
        Int = 0;
        xd = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

zd = 0;
Va = 0;
zeta_old = 0;
Eg=0;
Zeta=0;
old_zeta = 0;
X=0;
U=0;
i = 0;

uart1_init();
PWM_init();
putsUART1((unsigned int *)Txdata );
printf("\r");
Start_Program();
One = 1;
Test_SPI ();
TRISG = 0x0000;

CNPU1 = 0xffff;
CNPU2 = 0xffff;

CNPU1bits.CN13PUE = 1;

CNPU1bits.CN14PUE = 1;
CNPU1bits.CN15PUE = 1;

TRISDbits.TRISD4 = 1;

TRISDbits.TRISD5 = 1;
TRISDbits.TRISD6 = 1;

A2 = 0.00 ;

ZERO = 4073.00 ; // MID Value Of Gyroscope

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

One = 1 ;

GYRO_Value = Read_GYRO();
DEGREE = Read_DEGREE_R() ;
current = analog(5) ;
    Vbatt = analog(8) ;

GYRO_Value = Read_GYRO();
DEGREE = Read_DEGREE_R() ;
current = analog(5) ;
    Vbatt = analog(8) ;

    count_sum_degree = 0;

////////// Test for Start ////////////
    Count_Reset = 0;
while( Count_Reset >= 1000 ){
    Count_Reset ++;
    PDC1 = 0;
    PDC2 = 0;
    PDC3 = 0;
    PDC4 = 0;

    printf ("Reset_on =%d \n\r",Count_Reset) ;
}
//////////

```

```
Timer1(1500);
```

```
PWM_value = 0;
```

```
dir_bldc = 0 ;
```

```
while (1) {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Motor_PWM (dir_bldc);  
  
// printf ("%0.2f %0.2f \n\r",DEGREE,zeta_dot) ;  
  
}  
  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่เขียนบน MATLAB

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% open_loop_impulse_response.m
% Simulation of open loop impulse response of Electric Unicycle
% This model includes the motor dynamics
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Variable initialization
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

g=9.81; %Gravity(m/s^2)
r=0.20; %Radius of wheel(m)
Mw=11.2; %Mass of wheel(kg)
Mp=71.5; %Mass of body(kg)
Iw=0.01456; %Inertia of the wheel(kg*m^2)
Ip=0.2594; %Inertia of the body(kg*m^2)
l=0.65; %Length to the body's centre of mass(m)

%Motor's variables
Km = 2.0042 ; %Motor torque constant (Nm/A)
Ke = 0.9043 ; %Back EMF constant (Vs/rad)
Ra = 0.8563 ; % Armature Resistance(Ohm)

% Va = voltage applied to motors for controlling the pendulum

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% System Matrices
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```


```

%pre-calculated to simplify the matrix
%Denominator for the A and B matrices
beta = (Mw+(Iw/r^2)+Mp);
alpha = (Ip*beta + Mp*I^2*(Mw + Iw/r^2));

A = [0 I 0 0;
 0 (Km*Ke*(Mp*I*r-Ip-Mp*I^2))/(R*r^2*alpha) (Mp^2*g*I^2)/alpha 0;
 0 0 0 1;
 0 (Km*Ke*(r*beta - Mp*I))/(R*r^2*alpha) (Mp*g*I*beta)/alpha 0]

B = [0;
 (Km*(Ip + Mp*I^2 - Mp*I*r))/(R*r*alpha);
 0;
 (Km*(Mp*I-r*beta))/(R*r*alpha)]

C = [1 0 0 0;
 0 0 1 0]

D = [0;
 0]

%TRANSFER FUNCTION FORM OF THE STATE SPACE MODEL
disp('Transfer Function of the system')
[num,den] = ss2tf(A,B,C,D)

%OBTAINING THE IMPULSE RESPONSE OF THE SYSTEM
T = 0:0.02:10;
U = zeros(size(T));
U(1) = 1; %input voltage
[Y,X] = lsim(A,B,C,D,U,T);
plot(T,Y);

```


```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

title('Open loop impulse response of the system')
ylabel('Position[m], Angle[rad]')
xlabel('Time[s]')
legend('Vehicle position','Vehicle angle')
axis([0 10 0 100])

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% LQR_control.m
% Simulation of Electric Unicycle with LQR control
% This model includes the motor dynamics
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Variable initialization
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

g=9.81; %Gravity(m/s^2)
r=0.20; %Radius of wheel(m)
Mw=11.2; %Mass of wheel(kg)
Mp=71.5; %Mass of body(kg)
Iw=0.01456; %Inertia of the wheel(kg*m^2)
Ip=0.2594; %Inertia of the body(kg*m^2)
l=0.65; %Length to the body's centre of mass(m)

%Motor's variables
Km = 0.2042 ; %Motor torque constant (Nm/A)
Ke = 0.9043 ; %Back EMF constant (Vs/rad)
R = 0.8563 ; % Armature Resistance(Ohm)

% Va = voltage applied to motors for controlling the pendulum

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% System Matrices

%%%%%%%%%

%pre-calculated to simplify the matrix

%Denominator for the A and B matrices

beta = (Mw+(Iw/r^2)+Mp);

alpha = (Ip*beta + Mp*I^2*(Mw + Iw/r^2));

A = [0 1 0 0;

0 (Km*Ke*(Mp*I*r-Ip-Mp*I^2))/(R*r^2*alpha) (Mp^2*g*I^2)/alpha 0;

0 0 0 1;

0 (Km*Ke*(r*beta - Mp*I))/(R*r^2*alpha) (Mp*g*I*beta)/alpha 0]

B = [0;

(Km*(Ip + Mp*I^2 - Mp*I*r))/(R*r*alpha);

0;

(Km*(Mp*I-r*beta))/(R*r*alpha)]

C = [1 0 0 0;

0 0 1 0]

D = [0;

0]

%Obtaining the eigenvalues of the system matrix

disp('The eigenvalues of the system matrix A')

disp('A positive value will indicate an unstable system')

p = eig(A)

%%%%%%%%%

%LQR control design

%%%%%%%%%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

disp('Designing the optimal controller')
disp('Q = C'*C is a 4 x 4 weighting matrix for the outputs')
disp('Q could well be Identity matrix with size same with system matrix A, as long as it is
positive definite')
disp('R is a 1 x 1 weighting matrix for the input')

%x is the weighting for the vehicle position
%y is the weighting for the pendulum position

x = 10000; y = 20000;

Q = [x 0 0 0;
     0 0 0 0;
     0 0 y 0;
     0 0 0 0];

R = 0.5;

BRinverse = B*inv(R)*B';
P = are(A,BRinverse,Q);

%Feedback Gain
disp('Feedback Gains for the system')

%%%%%%%%%%

%Simulate the system
%%%%%%%%%%

%Simulation time step
T=0:0.02:5;

%Impulse response input

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

U=zeros(size(T));
U(1)= 1;

%System matrices with feedback
K = lqr(A,B,Q,R);
F=-K
Ac = [(A+B*F)];
Bc = [B];
Cc = [C];
Dc = [D];

%Obtaining the States and the output response
[Y,X]=lsim(Ac,Bc,Cc,Dc,U,T);

%Obtaining the torque needed to control the system
[n m] = size (X);
for i = 1:n
UU(i) = -K*X(i,:);
end

new_poles = eig(Ac)
figure,
%plot the states
title(' Impulse response of the plant with LQR control')
subplot(1,1,1), plot(T,[X(:,1) X(:,2) X(:,3) X(:,4)]), xlabel('Time [s]'),
ylabel('Position[m],Velocity[m/s],Angle[rad],Angular velocity[rad/s]')
legend('x','xDot','phi','phiDot')

%plot the outputs
%subplot(3,1,2), plot(T,[Y(:,1) Y(:,2)]), xlabel('Time [s]'), ylabel('Outputs')
%legend('x','theta')

%plot the control input

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%subplot(2,1,2), plot(T,UU), xlabel('Time [s]'), ylabel('Control u')
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% pole_placement.m
```

```
% Simulation of with pole placement control
```

```
% This model includes the motor dynamics
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% Variable initialization
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
g=9.81; %Gravity(m/s^2)
```

```
r=0.20; %Radius of wheel(m)
```

```
Mw=11.2; %Mass of wheel(kg)
```

```
Mp=71.5; %Mass of body(kg)
```

```
Iw=0.01456; %Inertia of the wheel(kg*m^2)
```

```
Ip=0.2594; %Inertia of the body(kg*m^2)
```

```
l=0.65; %Length to the body's centre of mass(m)
```

```
%Motor's variables
```

```
Km = 2.0042 ; %Motor torque constant (Nm/A)
```

```
Ke = 0.9043 ; %Back EMF constant (Vs/rad)
```

```
R = 0.8563 ; % Armature Resistance(Ohm)
```

```
% Va = voltage applied to motors for controlling the pendulum
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% System Matrices
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%pre-calculated to simplify the matrix
%Denominator for the A and B matrices
beta = (Mw+(Iw/r^2)+Mp);
alpha = (Ip*beta + Mp*I^2*(Mw + Iw/r^2));

A = [0 1 0 0;
      0 (Km*Ke*(Mp*I*r-Ip-Mp*I^2))/(R*r^2*alpha) (Mp^2*g*I^2)/alpha 0;
      0 0 0 1;
      0 (Km*Ke*(r*beta - Mp*I))/(R*r^2*alpha) (Mp*g*I*beta)/alpha 0]

B = [ 0;
      (Km*(Ip + Mp*I^2 - Mp*I*r))/(R*r*alpha);
      0;
      (Km*(Mp*I-r*beta))/(R*r*alpha)]

C = [1 0 0 0;
      0 0 1 0]

D = [0;
      0]

%Obtaining the eigenvalues of the system matrix
disp('The eigenvalues of the system matrix A')
disp('A positive value will indicate an unstable system')
p = eig(A)

%%%%%%%%%%
%Pole Placement control design
%%%%%%%%%%

disp('The system matrix have to be full rank for pole placement control')
rank_ =rank(ctrb(A,B))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
P = [-10 -11 -20 -25]
```

```
K = place(A,B,P)
```

```
%%%%%%%%%
```

```
%Simulate the system
```

```
%%%%%%%%%
```

```
%Simulation time step
```

```
T=0:0.02:5;
```

```
%Impulse response input
```

```
U=zeros(size(T));
```

```
U(1)= 1;
```

```
%System matrices with feedback
```

```
Ac = [(A-B*K)];
```

```
Bc = [B];
```

```
Cc = [C];
```

```
Dc = [D];
```

```
%Obtaining the States and the output response
```

```
[Y,X]=lsim(Ac,Bc,Cc,Dc,U,T);
```

```
%Obtaining the torque needed to control the system
```

```
[n m] = size (X);
```

```
for i = 1:n
```

```
UU(i) = -K*X(i,:);
```

```
end
```

```
figure,
```

```
%plot the states
```

```
title(' Impulse response of the plant with Pole Placement control')
```

```
plot(1), plot(T,[X(:,1) X(:,2) X(:,3) X(:,4)]), xlabel('Time [s]'),
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ylabel('Position[m],Velocity[m/s],Angle[rad],Angular velocity[rad/s]')
legend('x','xDot','phi','phiDot')
% %plot the outputs
% subplot(3,1,2), plot(T,[Y(:,1) Y(:,2)]), xlabel('Time [s]'), ylabel('Outputs')
% legend('x','theta')
%plot the control input
plot(2), plot(T,UU), xlabel('Time [s]'), ylabel('Control u')

```

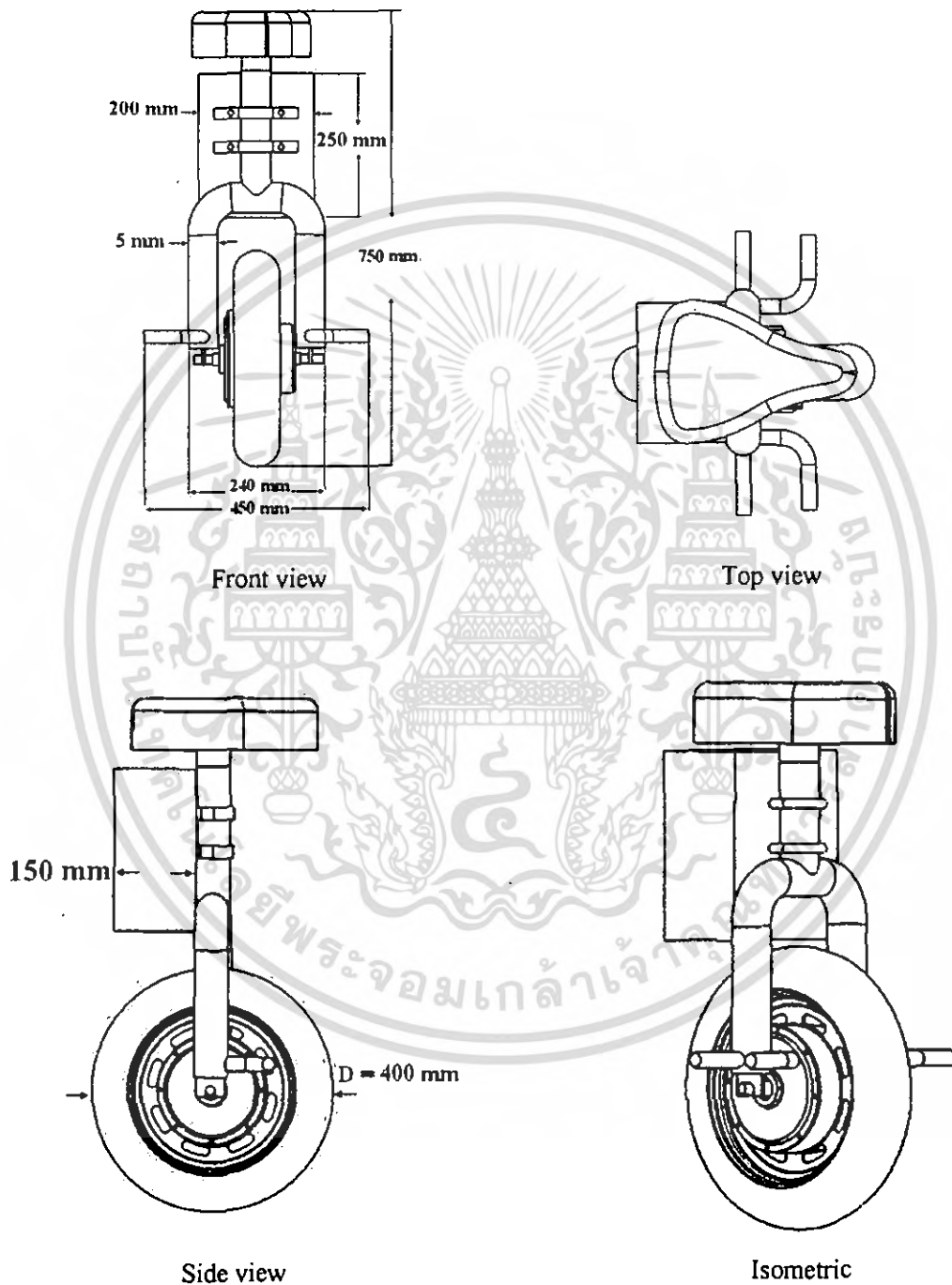


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โครงสร้างของจักรยานล้อเดียว

Dimension ของตัวรถ



Dimension ของจักรยานล้อเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลของไอซีที่ใช้ในปริยญานิพนธ์

1. dsPIC30F6010 (ไมโครคอนโทรลเลอร์)
2. IR2110 (gate drive)
3. Gyro Evaluation Board รุ่น ADIS16080/PCB
4. Inclinometer/Accelerometer Evaluation Board รุ่น ADIS1620x/PCB
5. Current Sensor รุ่น ACS754xCB-050-PFF



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



dsPIC30F6010

dsPIC30F6010 Enhanced Flash 16-bit Digital Signal Controller

Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the *dsPIC30F Family Reference Manual* (DS70048). For more information on the device instruction set and programming, refer to the *dsPIC30F Programmer's Reference Manual* (DS70030).

High-Performance Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture with flexible Addressing modes
- 84 base instructions
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 144 Kbytes on-chip Flash program space (Instruction words)
- 8 Kbytes of on-chip data RAM
- 4 Kbytes of non-volatile data EEPROM
- Up to 30 MIPs operation:
 - DC to 40 MHz external clock input
 - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- 44 interrupt sources
 - 5 external interrupt sources
 - 8 user selectable priority levels for each interrupt source
 - 4 processor trap sources
- 16 x 16-bit working register array

DSP Engine Features:

- Dual data fetch
- Accumulator write back for DSP operations
- Modulo and Bit-Reversed Addressing modes
- Two, 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single cycle hardware fractional/integer multiplier
- All DSP instructions single cycle
- \pm 16-bit single cycle shift

Peripheral Features:

- High current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Timer module with programmable prescaler:
 - Five 16-bit timers/counters; optionally pair 16-bit timers into 32-bit timer modules
- 16-bit Capture input functions
- 16-bit Compare/PWM output functions
- 3-wire SPI™ modules (supports 4 Frame modes)
- I²C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- 2 UART modules with FIFO Buffers
- 2 CAN modules, 2.0B compliant

Motor Control PWM Module Features:

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

Quadrature Encoder Interface Module Features:

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F6010

Analog Features:

- 10-bit Analog-to-Digital Converter (A/D) with 4 S/H Inputs:
 - 500 Ksps conversion rate
 - 16 input channels
 - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Low Voltage Detection (PLVD)
- Programmable Brown-out Detection and Reset generation

Special Microcontroller Features:

- Enhanced Flash program memory:
 - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100K (typical)
- Data EEPROM memory:
 - 100,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 1M (typical)

- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on-chip low power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe clock monitor operation detects clock failure and switches to on-chip low power RC oscillator
- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes
 - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

CMOS Technology:

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

dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family*

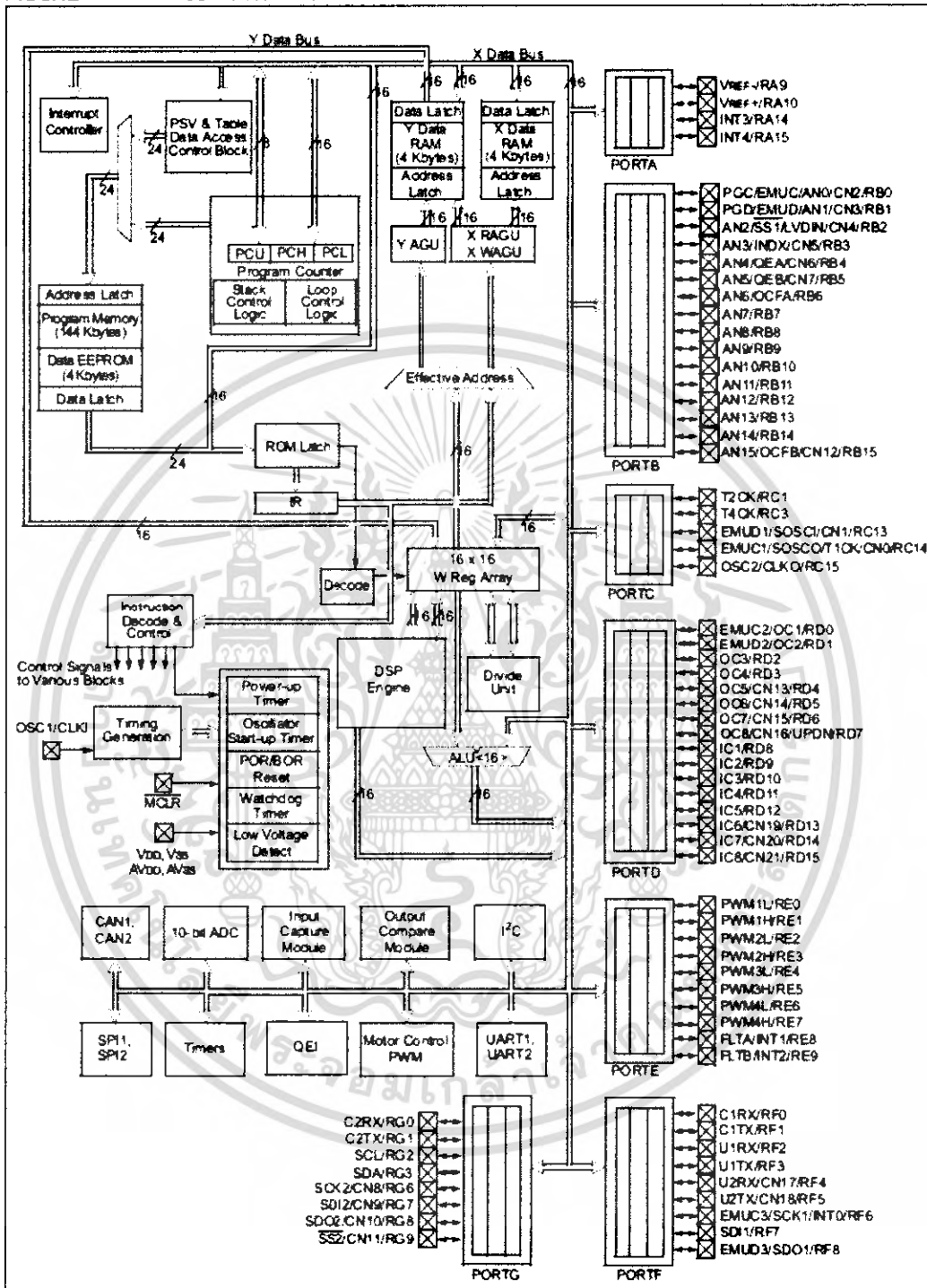
Device	Pins	Program Mem. Bytes/Instructions	SRAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Cap	Output Comp/Std PWM	Moto Control PWM	A/D 10-bit 500 Ksps	Quad Enc	UART	SPI™	I ² C™	CAN
dsPIC30F2010	28	12K/4K	512	1024	3	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F3010	28	24K/8K	1024	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F4012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

* This table provides a summary of the dsPIC30F6010 peripheral features. Other available devices in the dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family are shown for feature comparison.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F6010

FIGURE 1-1: dsPIC30F6010 BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F6010

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

TABLE 1-1: dsPIC30F6010 I/O PIN DESCRIPTIONS

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
AN0-AN15	I	Analog	Analog input channels. AN0 and AN1 are also used for device programming data and clock inputs, respectively.
AVDD	P	P	Positive supply for analog module.
AVSS	P	P	Ground reference for analog module.
CLK1 CLKO	I O	ST/CMOS —	External clock source input. Always associated with OSC1 pin function. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes. Always associated with OSC2 pin function.
CN0-CN23	I	ST	Input change notification inputs. Can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.
COFS	IO	ST	Data Converter Interface frame synchronization pin.
CSCK	IO	ST	Data Converter Interface serial clock input/output pin.
CSDI	I	ST	Data Converter Interface serial data input pin.
CSDO	O	—	Data Converter Interface serial data output pin.
C1RX	I	ST	CAN1 bus receive pin.
C1TX	O	—	CAN1 bus transmit pin.
C2RX	I	ST	CAN2 bus receive pin.
C2TX	O	—	CAN2 bus transmit pin.
EMUD	IO	ST	ICD Primary Communication Channel data input/output pin.
EMUC	IO	ST	ICD Primary Communication Channel clock input/output pin.
EMUD1	IO	ST	ICD Secondary Communication Channel data input/output pin.
EMUC1	IO	ST	ICD Secondary Communication Channel clock input/output pin.
EMUD2	IO	ST	ICD Tertiary Communication Channel data input/output pin.
EMUC2	IO	ST	ICD Tertiary Communication Channel clock input/output pin.
EMUD3	IO	ST	ICD Quaternary Communication Channel data input/output pin.
EMUC3	IO	ST	ICD Quaternary Communication Channel clock input/output pin.
IC1-IC8	I	ST	Capture inputs 1 through 8.
INDX	I	ST	Quadrature Encoder Index Pulse input.
QEA	I	ST	Quadrature Encoder Phase A input in QE1 mode.
QEB	I	ST	Quadrature Encoder Phase A input in QE1 mode.
UPDN	O	CMOS	Position Up/Down Counter Direction State.
INT0	I	ST	External interrupt 0.
INT1	I	ST	External interrupt 1.
INT2	I	ST	External interrupt 2.
INT3	I	ST	External interrupt 3.
INT4	I	ST	External interrupt 4.
LVDIN	I	Analog	Low Voltage Detect Reference Voltage input pin.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F6010

TABLE 1-1: dsPIC30F6010 I/O PIN DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
FLTA	I	ST	PWM Fault A input
FLTB	I	ST	PWM Fault B input
PWM1L	O	---	PWM 1 Low output.
PWM1H	O	---	PWM 1 High output.
PWM2L	O	---	PWM 2 Low output.
PWM2H	O	---	PWM 2 High output.
PWM3L	O	---	PWM 3 Low output.
PWM3H	O	---	PWM 3 High output.
PWM4L	O	---	PWM 4 Low output.
PWM4H	O	---	PWM 4 High output.
MCLR	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low Reset to the device.
OCFA	I	ST	Compare Fault A input (for Compare channels 1, 2, 3 and 4).
OCFB	I	ST	Compare Fault B input (for Compare channels 5, 6, 7 and 8).
OC1-OC8	O	---	Compare outputs 1 through 8.
OSC1	I	ST/CMOS	Oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.
OSC2	I/O	---	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes.
PGD	I/O	ST	In-Circuit Serial Programming data input/output pin.
PGC	I	ST	In-Circuit Serial Programming clock input pin.
RA9-RA10	I/O	ST	PORTA is a bi-directional I/O port.
RA14-RA15	I/O	ST	
RB0-RB15	I/O	ST	PORTB is a bi-directional I/O port.
RC1	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port.
RC3	I/O	ST	
RC13-RC15	I/O	ST	
RD0-RD15	I/O	ST	PORTD is a bi-directional I/O port.
RE0-RE9	I/O	ST	PORTE is a bi-directional I/O port.
RF0-RF8	I/O	ST	PORTF is a bi-directional I/O port.
RG0-RG3	I/O	ST	PORTG is a bi-directional I/O port.
RG6-RG9	I/O	ST	
SCK1	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI™ #1.
SDI1	I	ST	SPI #1 Data In.
SDO1	O	---	SPI #1 Data Out.
SS1	I	ST	SPI #1 Slave Synchronization.
SCK2	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI #2.
SDI2	I	ST	SPI #2 Data In.
SDO2	O	---	SPI #2 Data Out.
SS2	I	ST	SPI #2 Slave Synchronization.
SCL	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for I ² C.
SDA	I/O	ST	Synchronous serial data input/output for I ² C.
SOSCO	O	---	32 kHz low power oscillator crystal output.
SOSCI	I	ST/CMOS	32 kHz low power oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F6010

TABLE 1-1: dsPIC30F6010 I/O PIN DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
T1CK	I	ST	Timer1 external clock input.
T2CK	I	ST	Timer2 external clock input.
T3CK	I	ST	Timer3 external clock input.
T4CK	I	ST	Timer4 external clock input.
T5CK	I	ST	Timer5 external clock input.
U1RX	I	ST	UART1 Receive.
U1TX	O	---	UART1 Transmit.
U1ARX	I	ST	UART1 Alternate Receive.
U1ATX	O	---	UART1 Alternate Transmit.
U2RX	I	ST	UART2 Receive.
U2TX	O	---	UART2 Transmit.
VDD	P	---	Positive supply for logic and I/O pins.
VSS	P	---	Ground reference for logic and I/O pins.
VREF+	I	Analog	Analog Voltage Reference (High) input.
VREF-	I	Analog	Analog Voltage Reference (Low) input.

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

ข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นนี้ที่ได้นำเสนอเป็นเพียงทางด้านคุณสมบัติที่สำคัญเท่านั้นจะไม่กล่าวคุณลักษณะต่าง ๆ เช่น สถาปัตยกรรม โครงสร้างทางโปรแกรม หน่วยประมวลผลสัญญาณดิจิทัล เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ผู้สนใจสามารถค้นคว้าหาข้อมูลได้จากเว็บไซต์ของบริษัท ไมโครชิฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

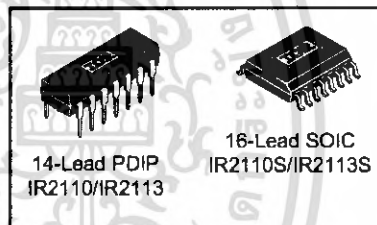
Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{O+/-}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

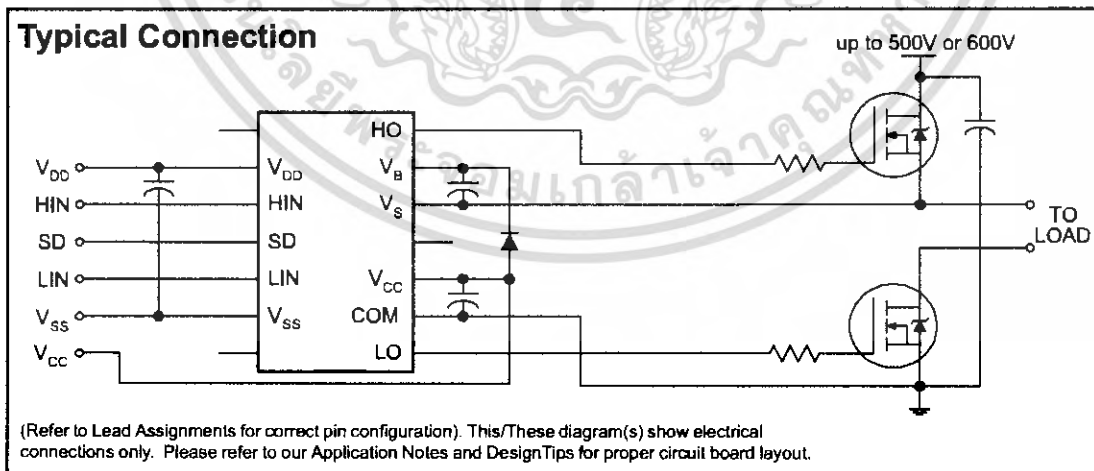
Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Packages



Typical Connection



Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{DD}	Logic supply voltage	-0.3	V _{SS} + 25		
V _{SS}	Logic supply offset voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3		
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3		
dV _S /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P _D	Package power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R _{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T _J	Junction temperature	—	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply absolute voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V _{LO}	Low side output voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic supply voltage	V _{SS} + 3	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to -V_BS. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V_{DD} < 5V, the minimum V_{SS} offset is limited to -V_{DD}.

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

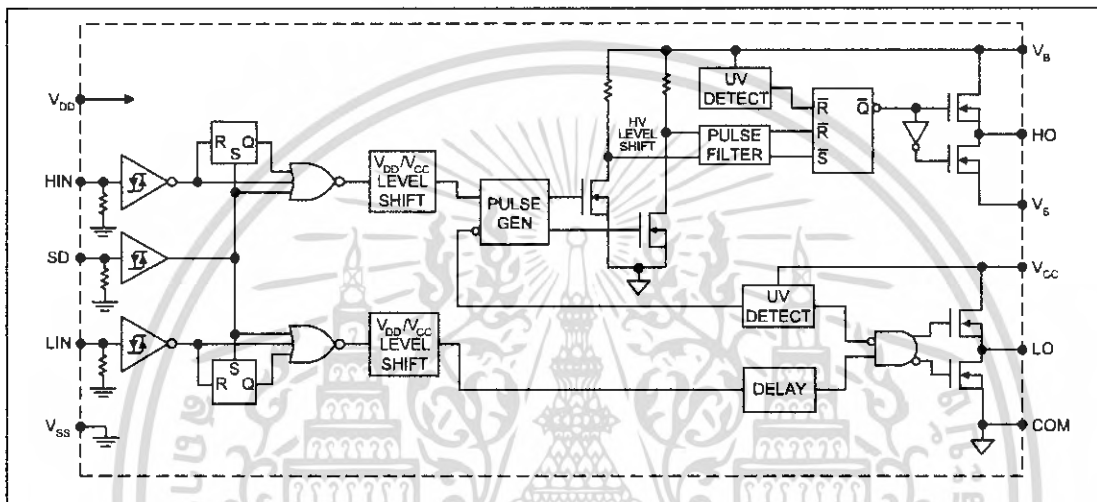
Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	—		10 20

Static Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40	V	$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

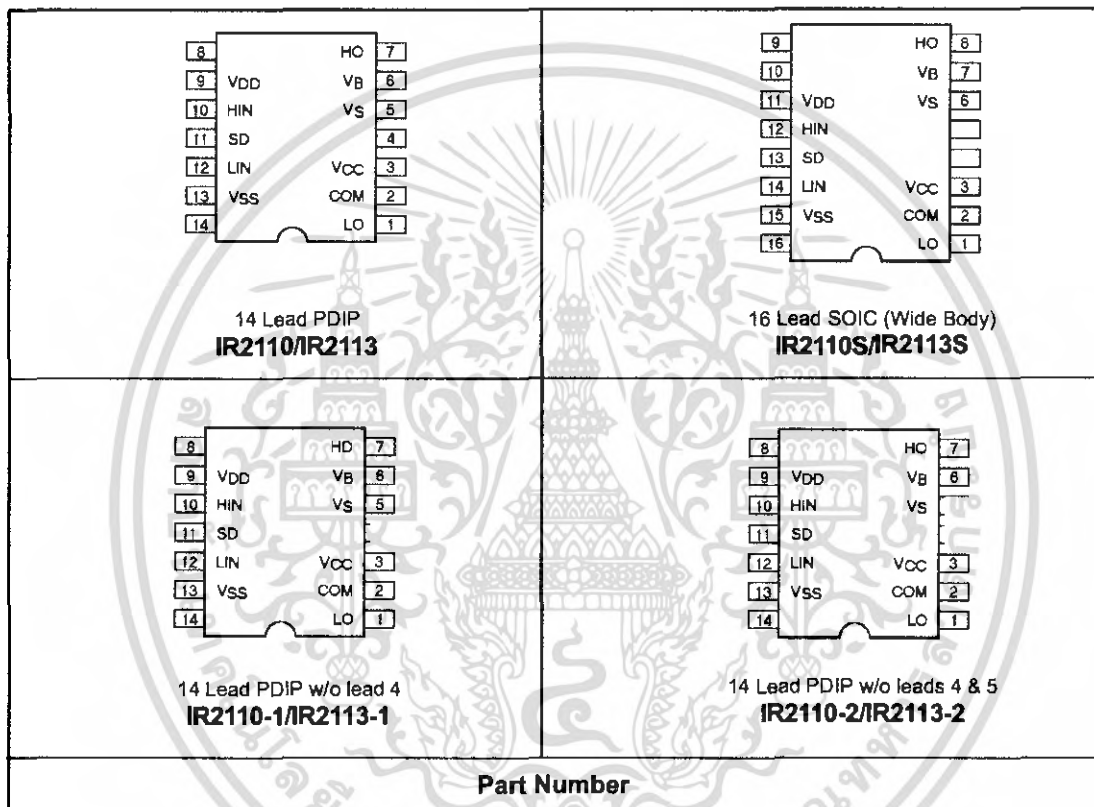
Functional Block Diagram



Lead Definitions

Symbol	Description
VDD	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
VSS	Logic ground
VB	High side floating supply
HO	High side gate drive output
VS	High side floating supply return
VCC	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

Lead Assignments



IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

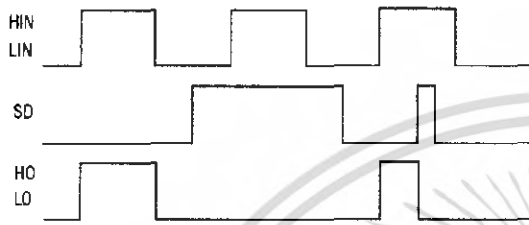


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

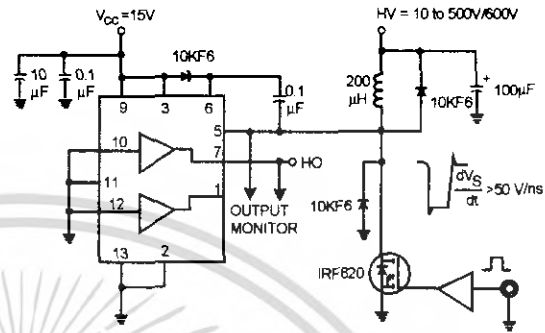


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

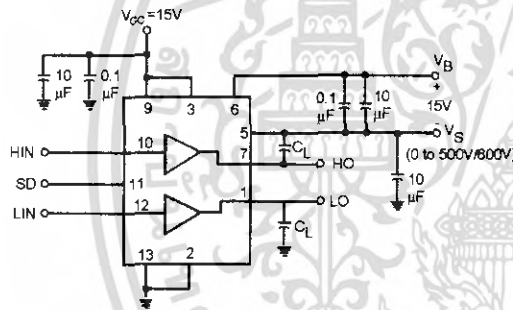


Figure 3. Switching Time Test Circuit

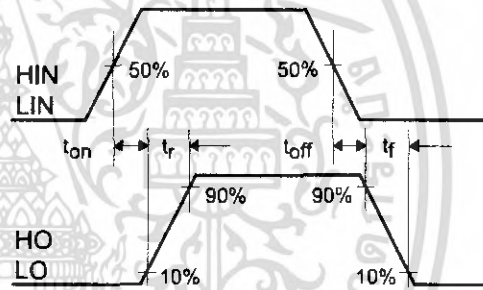


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

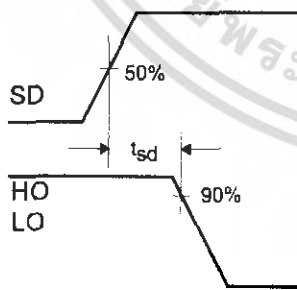


Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

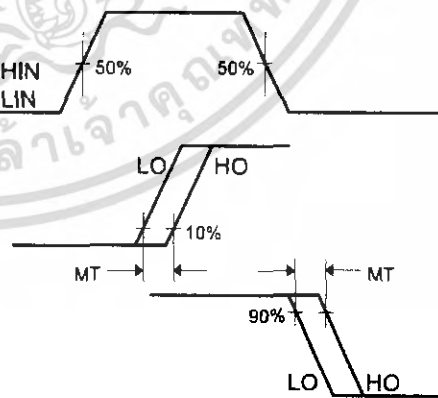


Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL DESCRIPTION

The ADIS16080/PCB is a simple evaluation board that provides convenient access to the ADIS16080 using a standard 2mm, 2x6, connector interface. These connectors can be accessed using a variety of cable options, including standard 1mm ribbon cables. The ADIS16080/PCB is designed to be evaluated in an existing digital platform (MCU, DSP, FPGA, PLD, etc) or as part of the ADISEVAL system. Four mounting holes (sized for 2-56 or 2mm screws) have been provided to secure the board during evaluation.

CIRCUIT DESCRIPTION

The schematic, layout and parts list for the ADIS16080/PCB can be found in Figure 1, Figure 2, and Table 1.

The ADIS16080's digitized outputs can be accessed using the 4-wire serial port interface (SPI) signals on J1: SCLK, CS, DOUT and DIN. For specific information on using the ADIS16080's SPI interface, refer to the ADIS16080 datasheet. Auxiliary functions, such as the two 12-bit ADC inputs, can be accessed using J2. C1 and C4 provide additional filtering for the two different power supply inputs (Vdrive and Vcc). The ADIS16080's reference voltage is filtered by C2.

Table 1 – ADIS16080/PCB Parts List

Reference Designator	Part Description
U1	ADIS16080ACCZ
J1,J2	Connector, 12-pin, dual row, 2mm
C1, C4	Power supply filtering, not installed
C2	Vref filtering, not installed
C3	Bandwidth reduction, not installed

SPECIAL NOTES ON HANDLING

Note that the ADIS16080/PCB is not reverse polarity protected. Reversing the power supply or applying inappropriate voltages to any pin (outside the Absolute Maximum Ratings in the ADIS16080 data sheet) may damage the ADIS16080/PCB.

Table 2 – Power Supply Levels

Vcc	+4.75V to +5.25V
Vdrive	+2.7V to +5.25V

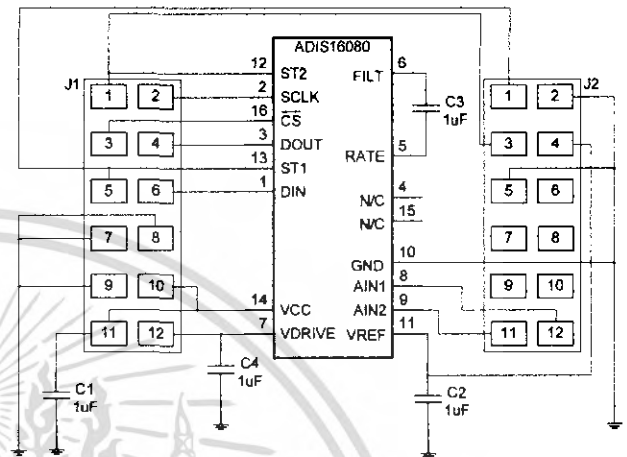


Figure 1 - ADIS16080/PCB Schematic

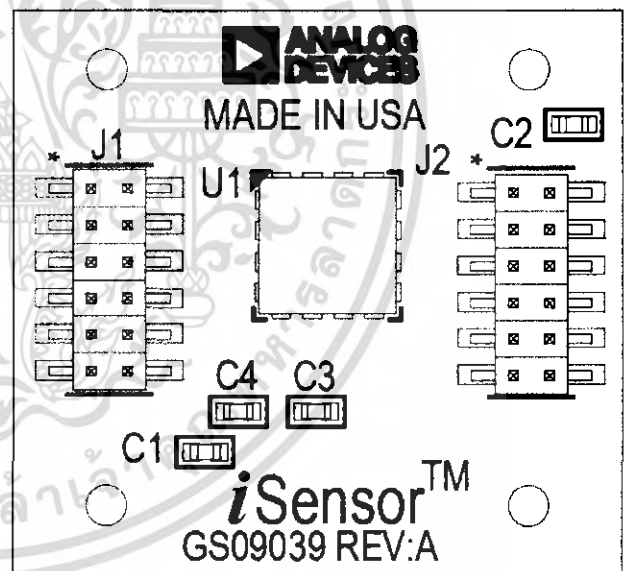


Figure 2 - ADIS16080/PCB Layout (Top View)

ORDERING GUIDE

Model	Package Description
ADIS16080/PCBZ	Evaluation Board, RoHS Compliant
ADISEVAL	iSensor™ PC Evaluation System

Rev. PrC

8/14/2006

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.326.8703 © 2006 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL DESCRIPTION

The ADIS1620x/PCBs are simple evaluation boards that provide convenient access to the ADIS1620x family of products, using a standard 2 mm, 2 × 6, connector interface. These connectors can be accessed using a variety of cable options, including standard 1 mm ribbon cables. The ADIS1620x/PCB is designed to be evaluated in an existing digital platform (such as MCU, DSP, FPGA, PLD) or as part of the ADISEVAL system. Four mounting holes (sized for 2-56 or 2 mm screws) have been provided to secure the board during evaluation.

CIRCUIT DESCRIPTION

The schematic, layout, and parts list for the ADIS1620x/PCB can be found in

Figure 1,

Figure 2, and Table 1.

The ADIS1620x's digitized outputs can be accessed using the 4-wire serial port interface (SPI) signals on J1: SCLK, CS, DOUT, and DIN. For specific information on using the ADIS1620x SPI interface, refer to the ADIS16201 data sheet. Auxiliary functions, such as the 12-bit ADC input, can be accessed using J2. C1 provides additional power supply filtering but is generally not required.

Table 1. Parts List

Reference Designator	Part Description
U1	ADIS1620xyCCZ ¹
J1, J2	12-pin, dual row, 2 mm connector
C1	Power supply filtering, not installed

¹ x = 0, 1, 2, 3, 4 or 9, y = B or C

SPECIAL NOTES ON HANDLING

Note that the ADIS1620x/PCB is not reverse-polarity protected. Reversing the power supply or applying inappropriate voltages (that is, voltages outside the Absolute Maximum Ratings in the ADIS1620x data sheets) to any pin may damage the ADIS1620x/PCB.

Table 2. Power Supply Levels

Parameter	Range
V _{CC}	3.0 V to 3.6 V

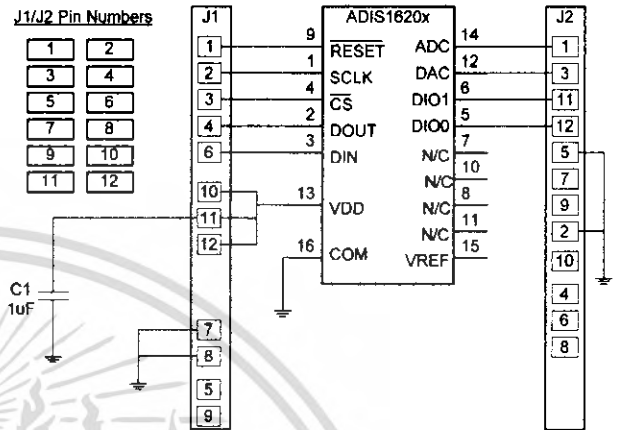


Figure 1. ADIS1620x/PCB Schematic

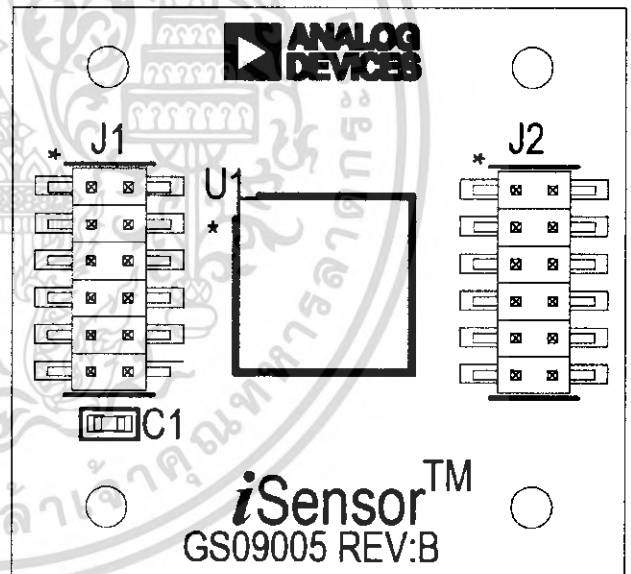


Figure 2. ADIS1620x/PCB Layout (Top View)

Rev. PrA

Evaluation boards are only intended for device evaluation and not for production purposes. Evaluation boards are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability or fitness for a particular purpose. No license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of evaluation boards. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Analog Devices reserves the right to change devices or specifications at any time without notice. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Evaluation boards are not authorized to be used in life support devices or systems.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781.329.4700
 Fax: 781.461.3113
 www.analog.com
 ©2007 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

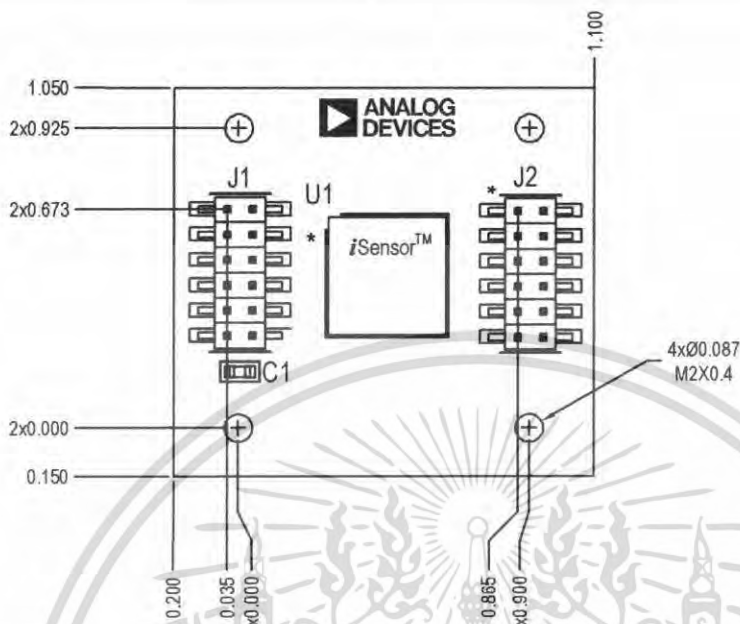


Figure 3. ADIS1620x/PCB Mechanical Drawing

ORDERING GUIDE

Model	Description
ADIS16201/PCBZ	Evaluation Board
ADIS16202/PCBZ	Evaluation Board
ADIS16203/PCBZ	Evaluation Board
ADIS16204/PCBZ	Evaluation Board
ADIS16209/PCBZ	Evaluation Board

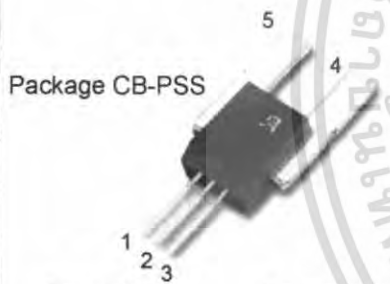
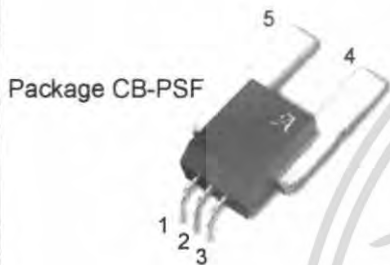
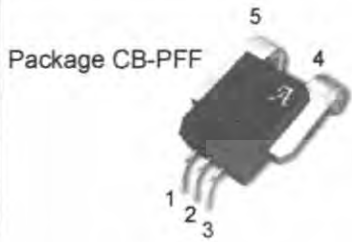
ESD CAUTION



ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.

¹ Z = RoHS Compliant Part.

Current Sensor: ACS754xCB-050



Pin 1: VCC
Pin 2: GND
Pin 3: VOUT
Terminal 4: IP+
Terminal 5: IP-

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage, V_{CC}	16 V
Reverse Supply Voltage, V_{RCC}	-16 V
Output Voltage, V_{OUT}	16 V
Reverse Output Voltage, V_{ROUT}	-0.1 V
Output Current Source, $I_{OUT(SOURCE)}$	3 mA
Output Current Sink, $I_{OUT(SINK)}$	10 mA
Operating Temperature,	
Ambient, T_A , L range	-40 to 150°C
Ambient, T_A , S range	-20 to 85°C
Maximum Junction, $T_{J(max)}$	165°C
Maximum Storage Temperature, T_S	-65 to 170°C



TÜV America
Certificate Number:
U8V 04 11 54214 001



The Allegro ACS75x family of current sensors provides economical and precise solutions for current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precision, low-offset linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy at the factory.

The output of the device has a positive slope ($>V_{CC}/2$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from terminal 4 to terminal 5), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is typically 100 $\mu\Omega$, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5 \times overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 1 through 3). This allows the ACS75x family of sensors to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The device is fully calibrated prior to shipment from the factory. The ACS75x family is lead-free. All leads are coated with 100% matte tin, and there is no lead inside the package. The heavy gauge leadframe is made of oxygen-free copper.

Features and Benefits

- Monolithic Hall IC for high reliability
- Single +5 V supply
- 3 kV_{RMS} isolation voltage between terminals 4/5 and pins 1/2/3
- 35 kHz bandwidth
- Automotive temperature range
- End-of-line factory-trimmed for gain and offset
- Ultra-low power loss: 100 $\mu\Omega$ internal conductor resistance
- Ratiometric output from supply voltage
- Extremely stable output offset voltage
- Small package size, with easy mounting capability
- Output proportional to ac and dc currents

Applications

- Automotive systems
- Industrial systems
- Motor control
- Servo systems
- Power conversion
- Battery monitors

Use the following complete part numbers when ordering:

Part Number	Signal Pins	Terminals	Ambient
ACS754LCB-050-PFF	Formed	Formed	-40 to 150°C
ACS754LCB-050-PSF	Formed	Straight	
ACS754LCB-050-PSS	Straight	Straight	
ACS754SCB-050-PFF	Formed	Formed	-20 to 85°C
ACS754SCB-050-PSF	Formed	Straight	
ACS754SCB-050-PSS	Straight	Straight	