

การลอยตัวของลูกบอลด้วยลมและการควบคุม
PNEUMATIC FLOATING BALL AND CONTROL



ปริญญาโท เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาด้านหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๕

การลอยตัวของลูกบอลด้วยลมและการควบคุม

PNEUMATIC FLOATING BALL AND CONTROL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในชื่อและเครื่องหมายการค้าของบริษัทผู้ผลิตและผู้จำหน่ายซึ่งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2555

PNEUMATIC FLOATING BALL AND CONTROL



PATOMPONG

PANYASAI

PANJAPOL

YOUDEE

PARAMATE

DHARREERAT

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การลอยตัวของลูกบอลด้วยลมและการควบคุม
PNEUMATIC FLOATING BALL AND CONTROL

ผู้จัดทำ นายปฐมพงษ์ ปัญญาใส 52010657
นายปัญญาพล อยู่ดี 52010702
นายปารเมศร ธารีรัชต์ 52010712


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธีรจุฑา)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์เทพจิตร เขยโกคา)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลอยตัวของลูกบอลด้วยลมและการควบคุม

โดย

นายปฐมพงษ์	ปัญญาใส	52010657
นายปัญญาพล	อยู่ดี	52010702
นายปารเมศร	ธารีรัชต์	52010712

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธีรรัฐจา

อาจารย์เทพจิตร เขยโกคา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรณิล้ำค่า

ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอทฤษฎีและการออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งของลูกบอลในอากาศ โดยโครงสร้างของระบบประกอบด้วย ลูกบอลโฟม โบลเวอร์ เซนเซอร์ วัดระยะทางแบบอินฟราเรด วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง และไมโครคอนโทรลเลอร์ ขั้นตอนการดำเนินการเริ่มจากศึกษาทฤษฎีระบบควบคุม วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง ออกแบบและสร้างโครงสร้างของระบบ จากนั้นเขียนโปรแกรมอาร์ดูโนเพื่อควบคุมวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ประมวลผลหาค่าสัญญาณที่เหมาะสม สุดท้ายทำการทดลอง จากการทดลองพบว่าสามารถควบคุมลูกบอลลอยอยู่ในอากาศได้ตามที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PNEUMATIC FL OATING BALL AND CONTROL

By

Mr.Patompong Panyasai 52010657

Mr.Panjapol Youdee 52010702

Mr.Paramate Dharreerat 52010712

Advisors

Assoc.Prof.Dr.Vanchai Riewruja

Mr.Thepjit Cheypoca

Asst.Prof.Dr.Wandee Petchmaneelumka

Academic Year 2012

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to present the theory and design of system for control the position of the ball in the air. The structure consists of foam ball, blower, infrared distance sensor, related electronic circuits and microcontroller. Procedure of this system starts from study the control system and the related electronic circuits. Then structure is designed and constructed. Arduino program is used for control the driving circuit via microcontroller to fine the appropriate valve. Finally, the system is experimental. The results showing that the system can control position of the ball in the air.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก อาจารย์เทพจิตร เขยโสภา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ตีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้นรวมไปถึงเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธีร์รุจา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า ที่คอยถามถึงความคืบหน้าอยู่ตลอดเวลา

ขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้กำลังใจ สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นการทำงาน รวมทั้งคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

คณะผู้จัดทำ

นายปฐมพงษ์ ปัญญาใส
นายปัญญาพล อยู่ดี
นายปารเมศร์ ธารีรัชต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
1.5 ระเบียบวิธีการทำโครงการ	2
1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีการไหลของอากาศ	3
2.2 ทฤษฎีการไหลของของไหล	5
2.3 ทฤษฎี Pulse width modulation (PWM)	7
2.4 การควบคุมแบบป้อนกลับ	8
2.4.1 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional control, P-control)	10
2.4.2 การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control)	11
2.4.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control)	11
2.4.4 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID-controller)	12
บทที่ 3 หลักการออกแบบ	13
3.1 พัดลม DC 12 โวลต์	13
3.2 ET-EASY168 STAMP	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 วงจรที่ใช้ภายในระบบ	17
3.4 ไอซี L298	18
3.5 เซนเซอร์วัดระยะทางแบบinfrared	19
3.6 โครงสร้างทางกายภาพของระบบ	22
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	23
4.1 การทดลองที่ 1	23
4.2 การทดลองที่ 2	24
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	31
5.1 สรุปผลการทดลอง	31
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข	31
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการค้นคว้าวิจัย	31
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก ก เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	34
ภาคผนวก ข ส่วนของโปรแกรม	50
ภาคผนวก ค โพสต์เตอร์	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างสัญญาณแบบ PWM	8
2.2 การควบคุมระบบ	8
2.3 ระบบควบคุมแบบเปิด	9
2.4 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	9
2.5 ระบบควบคุมหลายตัวแปร	10
2.6 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน	10
2.7 ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล	11
2.8 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับตัวควบคุมแบบอนุพันธ์	11
2.9 ตัวควบคุมแบบ Feedback	12
3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงภาพรวมของระบบ	13
3.2 พัดลม DC 12 โวลต์ 3.96 แอมป์	14
3.3 ET-EASY 168 STAMP	14
3.4 การจัดสรรขาสัญญาณของบอร์ด ET-EASY 168 STAMP	16
3.5 วงจรที่ใช้ภายในระบบ	17
3.6 ไอซี L298	18
3.7 การจัดหา รูปแบบการทำงานของเซนเซอร์	20
3.8 กราฟคุณสมบัติการทำงานของเซนเซอร์	20
3.9 วิธีการวัดค่าระยะทางด้วยการสะท้อนแสงอินฟราเรด	21
3.10 โครงสร้างทั้งหมดของโครงงาน	22
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของเซนเซอร์กับระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับลูกบอล	24
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับลูกบอลและเปอร์เซ็นต์ Duty Cycle	25
4.3 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 10%	25
4.4 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 20%	26
4.5 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 30%	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 40%	27
4.7 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 50%	27
4.8 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 60%	28
4.9 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 70%	28
4.10 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 80%	29
4.11 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 90%	29
4.12 ชิ้นงานการลอยตัวของลูกบอลด้วยลมและการควบคุม	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แรงดันจากเซนเซอร์และ code A_0 จาก AVR ที่ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ กับลูกบอลตำแหน่งต่าง ๆ	23
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ Duty Cycle กับ ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ กับลูกบอล	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของการศึกษา

การศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม เป็นการศึกษาและประยุกต์ทฤษฎีต่างๆ เพื่อการออกแบบและควบคุมระบบให้มีเสถียรภาพ และมีสมรรถนะตามความต้องการหรือให้เป็นไปตามข้อกำหนด ดังนั้นเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการนี้จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาการจำลองระบบควบคุมด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ การออกแบบตัวควบคุมหรือตัวชดเชยแบบต่างๆ การศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์และอิเล็กทรอนิกส์กำลังรวมถึงศึกษาการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์การศึกษาและการเลือกอุปกรณ์วัดและแปลงสัญญาณ ตลอดจนการบูรณาการเรื่องที่ศึกษาเหล่านี้ในการประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมทางกายภาพจริงซึ่งนับเป็นสิ่งจำเป็นในการศึกษาในสาขาวิชานี้ ในโครงการนี้จึงเลือกที่จะศึกษาระบบควบคุมการลอยตัวของลูกบอลที่ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งเป็นตัวอย่างหนึ่งของระบบควบคุมที่นิยมและน่าสนใจต่อการศึกษา เพราะเป็นระบบวงเปิดที่ไม่มีเสถียรภาพ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมเพื่อให้เกิดเสถียรภาพ โดยเลือกใช้การควบคุมแบบป้อนกลับอัตโนมัติ ซึ่งมีหลายแบบ เช่น การป้อนกลับสถานะ (State Feedback) ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์และอนุพันธ์ (PID) ตัวควบคุมแบบสัดส่วนกับปริพันธ์ (PI) และตัวควบคุมแบบสัดส่วนกับอนุพันธ์ (PD) และแบบอื่นๆ เป้าหมายของการควบคุมคือการทำให้ลูกบอลหยุดนิ่ง ณ ตำแหน่งที่ต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีระบบมากยิ่งขึ้น
2. สามารถนำความรู้ในสาขาวิชามาประยุกต์ใช้ในโครงการได้
3. สามารถออกแบบและสร้างระบบควบคุมการลอยของลูกบอลในอากาศ
4. สามารถควบคุมการลอยตัวของลูกบอลได้ที่ตำแหน่งความสูงต่าง ๆ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่ได้จากการทำโครงการชิ้นนี้

1. สามารถนำความรู้ที่ได้รับจากการศึกษาทฤษฎีมาปฏิบัติได้จริง
2. มีความเข้าใจในการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

3. มีความเข้าใจในทฤษฎีระบบควบคุมมากขึ้นจากโครงการที่ได้สร้างขึ้น
4. สามารถทำงานเป็นทีมร่วมกับผู้อื่นได้

องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาค้างนี้จะศึกษาในเรื่องการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นสำหรับระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนอากาศ ประกอบด้วยวงจรขับมอเตอร์ แล้วจึงเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษา ซีพลัสพลัส สำหรับอาร์ดูโน เพื่อตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลจากเซนเซอร์วัดระยะทาง ซึ่งส่งมายังคอมพิวเตอร์ผ่านทางบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ประมวลผลหาค่าสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมโดยอาศัยแนวคิดระบบควบคุมพีแบบดิสครีต และส่งสัญญาณควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงเพื่อนำไปลดความเร็วรอบของพัดลม เพื่อปรับให้เหมาะสมตามที่ต้องการ

1.5 ระเบียบวิธีการทำโครงการ

โครงการครั้งนี้ใช้การศึกษาเชิงปฏิบัติการ มีระเบียบการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. การศึกษาถึงข้อมูลจากเอกสารโครงการต่างๆ และจากข้อมูลในอินเทอร์เน็ต
2. การออกแบบ และสร้างโครงสร้างที่ใช้ในระบบและศึกษาหลักการการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้
3. คัดเลือกอุปกรณ์ ให้เหมาะสม
4. ทดลองและวิเคราะห์

1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

- บทที่ 1 ความสำคัญของการศึกษา วัตถุประสงค์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขอบเขตการศึกษา ระเบียบวิธีการทำโครงการ และรายละเอียดของปริญญานิพนธ์
- บทที่ 2 ทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึง ทฤษฎีการไหลของอากาศ ทฤษฎีการไหลของของไหล ทฤษฎี Pulse width modulation (PWM) และทฤษฎีระบบควบคุมป้อนกลับ
- บทที่ 3 หลักการออกแบบ ซึ่งมีพัดลม DC 12โวลต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-EASY168 STAMP วงจรที่ใช้ภายในระบบ ไอซี L298 และโครงสร้างทางกายภาพของระบบ
- บทที่ 4 ผลการทดลอง เป็นส่วนของการทดสอบองค์ประกอบต่างๆ ในระบบ
- บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป จะสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการปรับปรุงพัฒนาโครงการนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

จากที่ได้กล่าวในบทที่ 1 แล้วว่า ก่อนที่จะมีการออกแบบและสร้างระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลนั้นจำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบต่างๆที่เป็นของระบบควบคุมที่สนใจให้เข้าใจเสียก่อน พบว่าระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลนั้นมีส่วนที่สำคัญหลายส่วน ดังนั้นในบทนี้จะศึกษาและอธิบายถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่จะนำไปใช้งานจริงในระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลซึ่งประกอบด้วยการใช้วงจรควบคุมกระแสในวงจร กับระบบควบคุม และตัวควบคุมแบบต่างๆ

2.1 ทฤษฎีการไหลของอากาศ

สาเหตุของการเกิดการไหลของอากาศ อากาศเป็นของไหล (Fluid) ชนิดหนึ่งที่อยู่ในสถานะของก๊าซ อากาศจะไหลจากจุดที่มีความดันของอากาศสูงกว่าไปยังจุดที่มีความดันต่ำกว่าเสมอ ซึ่งความดันของอากาศจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นมีหลายสาเหตุ เช่น

ก. การเปลี่ยนแปลงปริมาตร

Robert Boyles ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับอากาศและสรุปเป็นกฎไว้ตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 17 ว่า “ขณะที่ก๊าซจำนวนหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ ถ้าอุณหภูมิของก๊าซนั้นคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะแปรผกผันกับความดันสัมบูรณ์” ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (2.1)$$

โดยที่ P_1 คือความดันของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

P_2 คือความดันของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

V_1 คือปริมาตรของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

V_2 คือปริมาตรของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

ตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับความดันในกรณีนี้ก็คือ เครื่องสูบลม ซึ่งใช้การลดปริมาตรในกระบอกสูบ ทำให้เกิดแรงดันขับอากาศออกไปนอกกระบอกสูบ

ข. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

หลังจาก Robert Boyles ได้เสนอกฎของก๊าซในอุดมคติขึ้นประมาณ 100 ปี Jacques A.Charles ได้ทำการทดลองและเสนอกฎของก๊าซขึ้นมาอีก 2 ข้อ (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2548) คือ

กฎข้อที่1 “ขณะที่ก๊าซจำนวนหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ ถ้าความดันของก๊าซนั้นคงที่ปริมาตรของก๊าซจะแปรผกผันกับอุณหภูมิสัมบูรณ์” ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (2.2)$$

โดยที่ V_1 คือปริมาตรของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

V_2 คือปริมาตรของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

T_1 คืออุณหภูมิของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

T_2 คืออุณหภูมิของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

ตัวอย่างของกรณีนี้ก็คือ การทำให้อากาศในลูกบอลลูกร้อนขึ้น ทำให้อากาศซึ่งมีมวลคงที่ขยายตัว ซึ่งหมายความว่าความหนาแน่นของอากาศลดลงทำให้บอลลอยขึ้นไปในอากาศ ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าได้กฎข้อที่2 “ขณะที่ก๊าซจำนวนหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ ถ้าปริมาตรของก๊าซนั้นคงที่ความดันของก๊าซจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์” ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (2.3)$$

โดยที่ P_1 คือความดันของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

P_2 คือความดันของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

T_1 คืออุณหภูมิของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

T_2 คืออุณหภูมิของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

ตัวอย่างของกรณีนี้ก็คือ การสูบลมยางรถจักรยาน เมื่อสูบลมมากขึ้นถึงจุดหนึ่งที่ยางรถเริ่มพองเต็มที่แล้ว การออกแรงสูบลมจะยากขึ้น และกระบอกสูบลมจะร้อนขึ้นเมื่อรวมสมการทั้งสามเข้าด้วยกันแล้วเรียกว่า “สมการของสถานะก๊าซในอุดมคติ”(Equation of State of an Ideal Gas) คือ

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (2.4)$$

จากกฎของก๊าซดังกล่าวข้างต้น สามารถอธิบายการเกิดลมพัดในลักษณะและกรณีต่าง ๆ กัน ดังตัวอย่างเช่น การที่มักจะเกิดลมพัดจากภูเขาไปยังตัวเมืองที่อยู่เชิงเขาในตอนเย็นและค่ำ เช่นที่เกิดที่เมืองเชียงใหม่ มีสาเหตุเกิดจาก การที่สิ่งก่อสร้างในตัวเมืองสะสมความร้อนจากดวงอาทิตย์ไว้ทั้งวันแล้วเริ่มคายความร้อนขึ้นสู่อากาศในตอนเย็น ทำให้อากาศเหนือตัวเมืองร้อนขึ้นและขยายตัวลอยขึ้นสูง ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศเหนือป่าไม้บนภูเขาไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้น

อากาศบนเขาซึ่งหนักรกว่า จึงลอยเข้ามาแทนที่อากาศเหนือตัวเมืองที่ร้อนและลอยสูงขึ้นไป กลายเป็นลมพัดจากภูเขาในช่วงเย็น

2.2 ทฤษฎีการไหลของของไหล

ในการศึกษาการไหลของของไหลนั้นส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาเพื่อหาปริมาณการไหลและทิศทาง อันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical - Model) ที่ใช้ในการศึกษาสามารถแบ่งตามลักษณะการไหลได้หลายแบบคือ

แบบที่หนึ่ง เป็นแบบจำลองที่พิจารณาความสม่ำเสมอของปริมาณการไหล ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสองแบบ คือ

- การไหลสม่ำเสมอ (Steady Flow) หมายถึงลักษณะการไหลที่ความเร็ว ณ จุดใด ๆ ก็ตามจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แต่ความเร็วในการไหล ณ จุดนั้นอาจแตกต่างจากจุดอื่น ๆ ได้ ตัวอย่างเช่น การไหลของน้ำประปาในท่อที่มีแรงดันมากเพียงพอ

- การไหลไม่สม่ำเสมอ (Unsteady Flow) หมายถึงลักษณะการไหลที่ความเร็ว ณ จุดใด ๆ ก็ตามมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา หรือ อาจขาดช่วงได้ ตัวอย่างเช่น การไหลของน้ำประปาในท่อที่มีแรงดันไม่มากพอทฤษฎีการไหลแบบสม่ำเสมอเป็นทฤษฎีเบื้องต้นที่ใช้ในการคำนวณออกแบบทางวิศวกรรมเนื่องจากมีความซับซ้อนน้อย

แบบที่สอง เป็นแบบจำลองที่พิจารณาตามความราบรื่นของการไหล เป็นการไหลที่ใช้สมมติฐานว่า อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ตามกันเป็นชั้น ๆ โดยที่ชั้นหนึ่ง ๆ เลื่อนไหลไปแบบเรียบๆ เหนืออีกชั้นถัดไป ซึ่งสมมติฐานแบบนี้อาศัยกฎของนิวตันที่เกี่ยวกับความหนืดของของไหล รวมทั้งแรงหนืดระหว่างของไหลกับผิวของขอบท่อที่ของไหลนั้นไหลผ่าน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสองแบบ คือ

- การไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow) เป็นการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันและมีความเร็วที่แน่นอน

- การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) เป็นการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ในทิศทางและความเร็วที่ไม่แน่นอน ซึ่งการไหลในธรรมชาติเกือบทั้งหมดเป็นการไหลในลักษณะนี้ ทฤษฎีการไหลแบบนี้มีความซับซ้อนมาก เช่นเดียวกับการไหลแบบไม่สม่ำเสมอลักษณะการไหลแบบราบเรียบหรืออลวนสามารถทราบได้จากดัชนีที่เรียกว่า “เรย์โนลด์นัมเบอร์” (Reynold’s Number) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ Re ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างค่าแรงเฉื่อยต่อค่าแรงหนืดของของไหล เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย สำหรับการไหลในท่อ Re สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ $Re = \frac{\rho v L}{\mu}$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.5) การคำนวณ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้ใช้ทั้งห้ามิให้อ้างอิงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

v คือ ความเร็วของของไหลที่ไหลเข้าหาสิ่งกีดขวาง

L คือระยะห่างระหว่างจุดที่พิจารณากับผิวสัมผัสของสิ่งกีดขวาง

μ คือความหนืดของของไหล

เมื่อมีการไหลแบบราบเรียบ $Re < 105$

เมื่อการไหลอยู่ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงจากแบบราบเรียบเป็นแบบอลวน $105 < Re < 2 \times 10^6$ และเมื่อการไหลเป็นแบบอลวน $Re > 2 \times 10^6$

แบบที่สาม เป็นแบบจำลองที่พิจารณาตามทิศทางของการไหลซึ่งเรียกว่าเส้นการไหล (Streamline) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

- การไหลทิศทางเดียว (One-Dimensional Flow) มีเส้นการไหลเป็นทิศทางเดียว ตัวอย่างเช่น การไหลในท่อตรง เป็นต้น

- การไหลสองทิศทาง (Two-Dimensional Flow) มีเส้นการไหลเป็นสองทิศทาง ตัวอย่างเช่น การไหลของอากาศผ่านปีกเครื่องบินซึ่งถือว่าปีกเครื่องบินมีความยาวมากจนถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงการไหลในทิศทางตามความยาวของปีกเครื่องบิน เป็นต้น

- การไหลสามทิศทาง (Three-Dimensional Flow) มีเส้นการไหลเป็นสามทิศทาง ตัวอย่างเช่น การไหลของอากาศผ่านหรือปะทะวัตถุที่มีความสูงและความกว้างไม่ต่างกันมาก เช่น ลูกปืน จรวด รถ เป็นต้นมีสมการต่าง ๆ มากมายทั้งที่ไม่ซับซ้อน จนถึงซับซ้อนมาก ที่ใช้ประกอบทฤษฎีการไหลของของไหลตามแบบจำลองดังกล่าวข้างต้น ซึ่งในทางสถาปัตยกรรม สมการที่ควรทราบมีดังต่อไปนี้

สมการของการไหลแบบสม่ำเสมอในทิศทางเดียวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการไหล สมการนี้อาศัยหลักการที่ว่า มวลสารย่อมไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือหายไป ซึ่งหมายความว่า ในเส้นทางการไหลที่ต่อเนื่อง ปริมาณการไหลจะคงที่ตลอดเส้นทางนั้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2.6)$$

เมื่อ q คือปริมาณการไหล (ปริมาตร) ต่อหน่วยเวลา

A_1 และ A_2 คือพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการไหลที่จุด 1 และ 2 ตามลำดับ

V_1 และ V_2 คือความเร็วในการไหลที่จุด 1 และ 2 ตามลำดับ

อธิบายได้ว่า เมื่อพื้นที่หน้าตัดของการไหลขยายใหญ่ขึ้น ความเร็วของของไหลจะลดลง แต่ถ้าพื้นที่หน้าตัดของการไหลลดลง ความเร็วของของไหลจะมากขึ้น ซึ่งใช้อธิบายการไหลของน้ำที่ปากแม่น้ำออกสู่ทะเลซึ่งกว้างกว่าจะซำลง หรือการไหลของอากาศผ่านช่องแคบจะเร็วขึ้น ซึ่งสมการนี้เมื่อใช้กับอากาศ จะใช้ได้เมื่อความเร็วลมไม่มากเกินไปเท่านั้น มิฉะนั้นอากาศจะเกิดการอัดตัวและปริมาณการไหลที่คำนวณได้จะไม่ถูกต้อง

สมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation) เป็นสมการที่อาศัยหลักการคงที่ของพลังงานในการไหล ณ จุดต่าง ๆ ซึ่งถือว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานในการไหล สมการนี้คือ

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2.7)$$

เมื่อ p_1 และ p_2 คือ ความดันของของไหล ณ จุด 1 และ 2 ตามลำดับ

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหลซึ่งสมมติว่าคงที่ตลอดการไหล

v_1 และ v_2 คือความเร็วในการไหลที่จุด 1 และ 2 ตามลำดับ

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

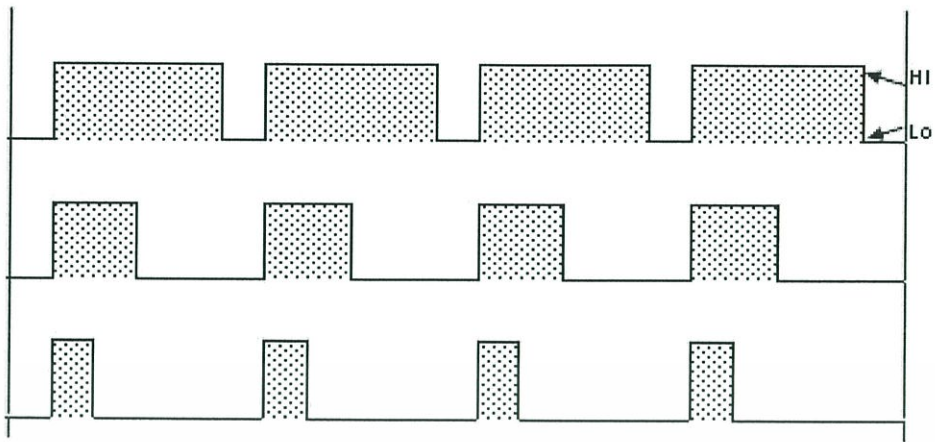
z_1 และ z_2 คือระดับความสูงจากระดับอ้างอิงใด ๆ ของจุด 1 และ 2 ตามลำดับ

ตัวอย่างสถานการณ์ที่สามารถใช้สมการนี้อธิบายได้ก็คือ การเปิดกระจกรถยนต์เล็กน้อยขณะรถวิ่ง อากาศในรถเมื่อเทียบกับความเร็วรถจะเท่ากับศูนย์ แต่อากาศภายนอกจะมีความเร็วสัมพัทธ์เท่ากับความเร็วรถ ดังนั้นความดันของอากาศภายในรถจึงสูงกว่า แผลงเล็ก ๆ ที่บินอยู่ใกล้กับกระจกที่เปิดไว้จึงถูกดูดออกไปนอกรถได้ อย่างไรก็ตามการใช้สมการนี้เพื่อการคำนวณตัวเลขที่ถูกต้องนั้นต้องสมมติว่าอากาศมีความเร็วไม่มากจนเกินไปและไม่มีการอัดตัวเช่นเดียวกับสมการ

2.3 ทฤษฎี Pulse width modulation (PWM)

PWM จะใช้หลักการที่ส่งค่าแบบดิจิทัลคือ 0-1 ด้วยความถี่ค่าหนึ่ง แต่จะส่งค่าให้มีสัญญาณสูง(1) สลับกับสัญญาณต่ำ (0) โดยให้ระยะเวลาของแต่ละชนิดสัญญาณต่างกัน เพื่อให้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณทั้งหมดออกมาเป็นค่าที่ต้องการนั่นเอง เช่นถ้าเราส่งค่าที่มีระยะสัญญาณสูงและต่ำเท่ากัน ได้ค่าเป็น 2.5 โวลต์ ถ้าเราให้ค่าสัญญาณสูงยาวกว่า เราก็จะได้ค่ามากกว่า 2.5 โวลต์ และในทำนองเดียวกันถ้าเราให้ค่าสัญญาณต่ำยาวกว่า เราก็จะได้ค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 2.5 โวลต์ นั่นเอง Arduino สามารถรับค่าอนาล็อกได้ 256 ระดับ ดังนั้นหมายความว่าค่าสัญญาณ 0 โวลต์ ถึง 5 โวลต์ ก็จะแสดงได้เป็น 0 ถึง 255 ในสัญญาณดิจิทัลนั่นเอง โดยเราสามารถใช้อัลกอริทึมไตรยางศ์ เปรียบเทียบค่าได้เลย ในการใช้งาน PWM เราจะต้องเลือกขาที่เขียนว่าเป็น PWM เท่านั้น จะใช้ขาอื่นไม่ได้ เพราะบอร์ดไม่ได้ออก และจำนวนขาที่เป็น PWM ก็จะมีไม่เท่ากัน ขึ้นกับรุ่นของบอร์ดที่เราใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างสัญญาณแบบ PWM

2.4 การควบคุมแบบป้อนกลับ

การศึกษาในเรื่องการควบคุมระบบมีความจำเป็นมากขึ้นเรื่อย ๆ ในโลกปัจจุบัน เนื่องจากความต้องการในการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพทำให้เราสามารถประหยัดพลังงาน เวลา และอื่น ๆ ได้อย่างมากในขณะที่เราได้ผลลัพธ์ออกมาได้ตามที่เราต้องการอย่างถูกต้อง การศึกษาของวิศวกรควบคุม จะมีพื้นฐานอยู่บนทฤษฎีการป้อนกลับ (Feedback Theory) และการวิเคราะห์ระบบเชิงเส้น (Linear System Analysis) และหลายกรณีจะต้องนำเอาทฤษฎีอื่น ๆ เช่น Network Theory และ Communication Theory ดังนั้นวิศวกรควบคุมระบบจึงไม่จำกัดอยู่ในศาสตร์ของวิศวกรสาขาใดสาขาหนึ่งโดยเฉพาะ แต่จะเป็นการนำเอาองค์ความรู้ของวิศวกรในหลายสาขาวิชามาใช้ร่วมกัน ตลอดจนสามารถไปประยุกต์ใช้ในวิศวกรรมสาขาต่าง ๆ เช่น วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมโยธา และอื่น ๆ อีกมากมาย

ระบบควบคุม คือ ส่วนประกอบหลาย ๆ ส่วนต่อเชื่อมกันขึ้นเป็นระบบที่จะให้การตอบสนองตามที่เราต้องการ พื้นฐานของการวิเคราะห์ระบบจะมีพื้นฐานจากทฤษฎีระบบเชิงเส้น ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตหรือการตอบสนอง ดังนั้นส่วนประกอบหรือกระบวนการ (Process) ที่เราต้องการที่จะควบคุมสามารถแทนที่ได้ด้วยบล็อก (Block) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ส่วนอินพุตและเอาต์พุตของระบบมักแทนด้วยสัญญาณโดยสัญญาณอินพุตจะเป็นส่วนสำคัญของผลลัพธ์หรือเอาต์พุต



รูปที่ 2.2 การควบคุมระบบ

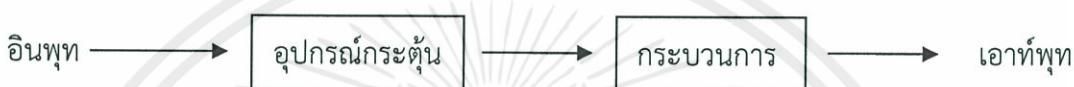
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมสามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System)
2. ระบบควบคุมแบบปิด หรือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Closed Loop or Feedback Control System)

ระบบควบคุมแบบเปิด

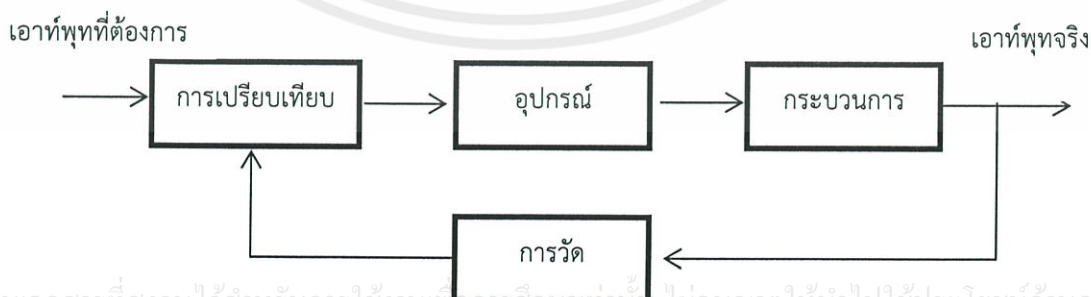
เป็นการใช้อุปกรณ์ Controller หรือ อุปกรณ์กระตุ้น (Control Actuator) เพื่อให้ได้การตอบสนองที่เราต้องการ โดยไม่นำผลการตอบสนองของระบบเข้าสู่การพิจารณา ลักษณะของระบบควบคุมแบบเปิดแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบควบคุมแบบเปิด

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

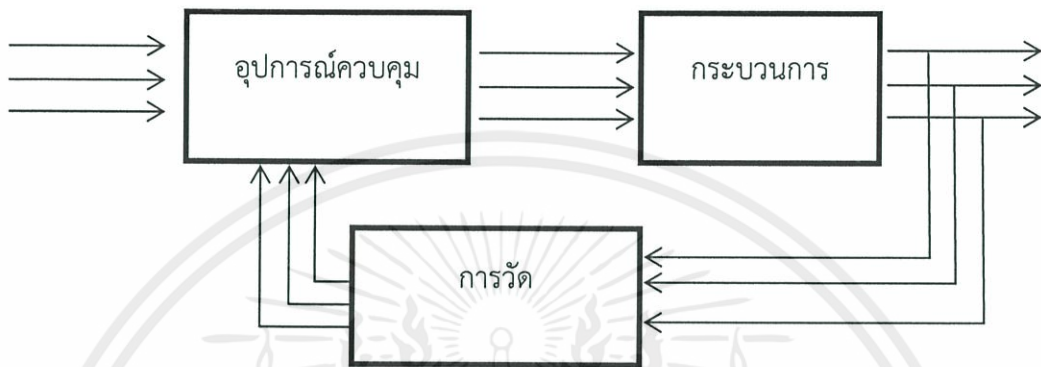
ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ จะแตกต่างจากระบบควบคุมแบบเปิดก็คือ มีการนำเอาผลที่ได้จากกระบวนการป้อนกลับมาเข้าเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลที่จะส่งเข้าไปเป็นอินพุทที่จะให้ระบบ การที่เราจะทราบค่าเอาต์พุทได้เราจะต้องมีการวัดข้อมูลของเอาต์พุท เมื่อเราทราบค่าเอาต์พุทแล้วเรามักจะนำค่าเอาต์พุทที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเอาต์พุทที่เราต้องการจากระบบ จากนั้นความแตกต่างระหว่างเอาต์พุทที่ต้องการและเอาต์พุทที่แท้จริงจะถูกส่งต่อไปสู่อุปกรณ์ควบคุม แล้วส่งต่อเป็นอินพุทเข้าสู่ระบบเพื่อให้ความแตกต่างระหว่างเอาต์พุทที่ต้องการและเอาต์พุทที่แท้จริงลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าทั้งสอง ดังนั้นเราก็ได้ว่าค่าเอาต์พุทของระบบเป็นไปตามต้องการ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับแสดงในรูปที่ 2.4 สำหรับหลักการของการป้อนกลับที่ได้อธิบายไปแล้วนี่ถือว่าเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.4 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

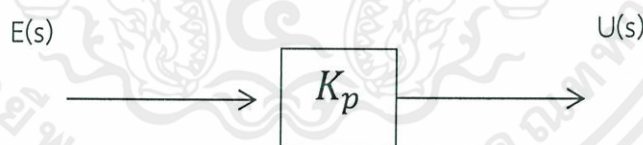
สำหรับระบบควบคุมหนึ่ง ๆ นั้น อาจจะมีพารามิเตอร์หรือตัวแปรที่ต้องการจะควบคุมมากกว่าหนึ่งพารามิเตอร์ ซึ่งระบบควบคุมดังกล่าวเป็นระบบที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น แต่หลักการของระบบควบคุมก็จะเหมือนเดิม คือ ทุกตัวแปรที่เราต้องการควบคุมจะต้องมีการวัดค่าที่ได้จากเอาท์พุท และนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่เราต้องการของตัวแปรนั้น ๆ สำหรับระบบควบคุมหลายตัวแปร (Multivariable Control System) จะมีลักษณะดังในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ระบบควบคุมหลายตัวแปร

2.4.1 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional control, P-control)

การควบคุมระบบแบบป้อนกลับโดยใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนนั้น สัญญาณควบคุม (u) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าสัญญาณความผิดพลาด (e) ที่เกิดจากผลต่างระหว่างค่าสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณเอาท์พุทของระบบที่ต้องการควบคุม แผนภาพบล็อกของตัวควบคุมแบบสัดส่วนแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน

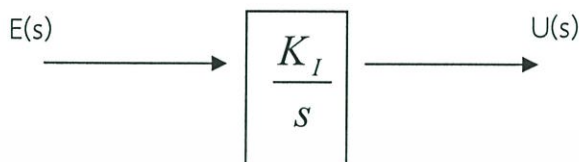
ความสัมพันธ์ระหว่าง u กับ e แสดงได้ดังนี้

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารเมื่อ K_p จะเป็นค่าอัตราขยายของตัวควบคุมนี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ประโยชน์ของตัวควบคุมแบบสัดส่วน คือ ลดค่าความผิดพลาดของระบบ โดยสามารถตอบสนองกับค่าสัญญาณความผิดพลาดอย่างทันทีทันใด

2.4.2 การควบคุมแบบอินทิกรัล(Integral Control)

การควบคุมแบบอินทิกรัล มีรูปแบบสมการ คือ $u(t) = K_I \int e(t)dt$ เมื่อ K_I คือค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล แผนภาพบล็อกของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลแสดงดังรูปที่ 2.7



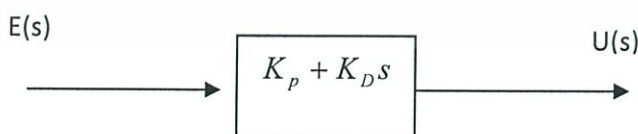
รูปที่ 2.7 ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล

จากรูปแบบการควบคุมแบบอินทิกรัลนี้ จะเห็นว่าสัญญาณควบคุม $u(t)$ จะมีค่ามากโดยที่สัญญาณความผิดพลาด $e(t)$ มีค่าเป็นศูนย์ในภายหลังเมื่อเวลาผ่านไปแล้วก็ตาม ทั้งนี้ก็เพราะว่าสัญญาณการควบคุมในกรณีของการควบคุมแบบอินทิกรัลขึ้นอยู่กับค่าในอดีต (past value) ไม่เหมือนกับตัวควบคุมแบบสัดส่วนซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าปัจจุบัน

ประโยชน์ของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลก็เพื่อต้องการลดค่าความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว ในขณะที่ความถี่ความถี่ของระบบก็จะลดน้อยลงด้วยการควบคุมแบบอินทิกรัลนี้ จะเป็นการเพิ่มอันดับให้กับระบบของเรา เช่น ในกรณีระบบเป็นอันดับหนึ่ง และเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล(Integral Controller) แล้วระบบป้อนกลับจะมีอันดับเป็นสอง

2.4.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control)

การควบคุมแบบอนุพันธ์ มีรูปแบบสมการคือ $u(t) = K_D \frac{de(t)}{dt}$ เมื่อ K_D คือค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ ส่วนมากแล้วจะใช้ร่วมกับตัวควบคุมอื่น เช่น ใช้ร่วมกับตัวควบคุมแบบสัดส่วน ซึ่งเรียกว่าตัว ควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับอนุพันธ์หรือ (PD-controller) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ถ้าตัวควบคุมแบบสัดส่วนใช้ร่วมกับอินทิกรัลก็จะเรียกว่าตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับอินทิกรัลหรือ (PI-controller) และถ้าใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลและตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ เรียกว่า (PID-controller)



รูปที่ 2.8 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

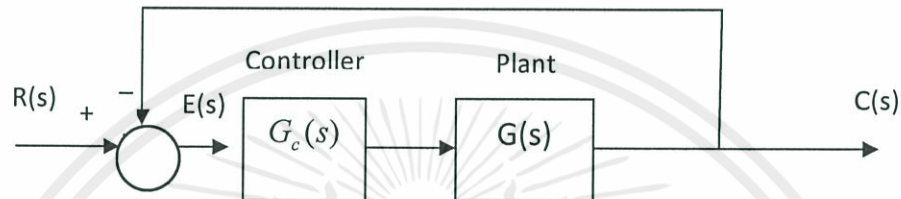
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ ล้วนเป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาของเอกสารฉบับนี้ที่มอบหมายให้
ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะช่วยเพิ่มค่าความหน่วง (damping) ให้กับระบบที่ต้องการจะควบคุม นั่นคือ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจาก

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณความผิดพลาด ดังนั้น ถ้าสัญญาณความผิดพลาดนี้มีสัญญาณรบกวนมาก สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะกระเพื่อม (fluctuate) ค่อนข้างมาก (เนื่องจากค่าความชัน (slope) ของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก) ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมของเราไม่มีเสถียรภาพ

2.4.4 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID-controller)

พิจารณาระบบควบคุมแบบปิด



รูปที่ 2.9 ตัวควบคุมแบบ Feed back

PID controller ประกอบด้วย 3 เทอม คือ Proportion , Integral และ Derivative

จาก
$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_I \cdot \int e(t) dt + K_D \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

$$e(t) = r(t) - c(t) \quad (2.9)$$

เมื่อทำการแปลงลาปลาซจะได้

$$U(s) = \left(K_p + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s \right) \cdot E(s)$$

$$G_C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \left(K_p + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s \right) = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s} \quad (2.10)$$

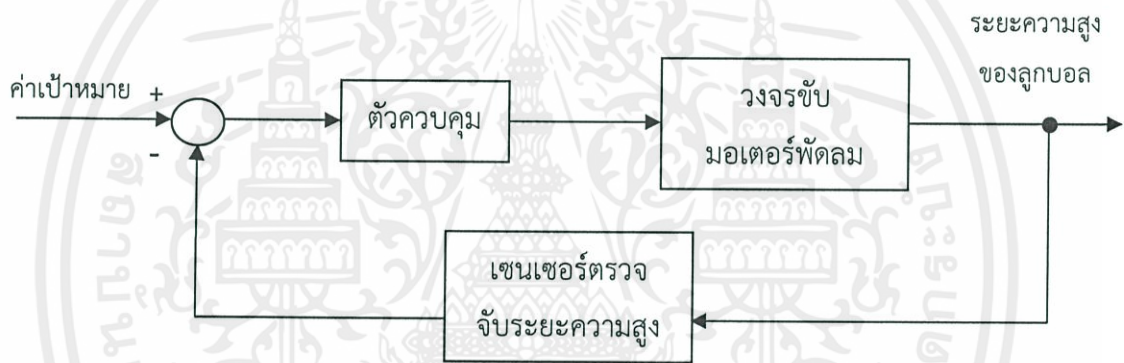
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการออกแบบ

การออกแบบระบบควบคุมลูกบอลให้ลอยนิ่งในอากาศและลอยตามความสูงที่กำหนด ในเบื้องต้นนั้นต้องเข้าใจหลักการทำงานในภาพรวมของระบบควบคุมก่อนว่ามีหลักการทำงานอย่างไร แล้วจึงพิจารณาส่วนย่อยต่างๆ อันประกอบไปด้วย ส่วนที่เป็นโครงสร้าง ส่วนที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์และส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลและควบคุมระบบ

หลักการการทำงานในภาพรวมของระบบในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



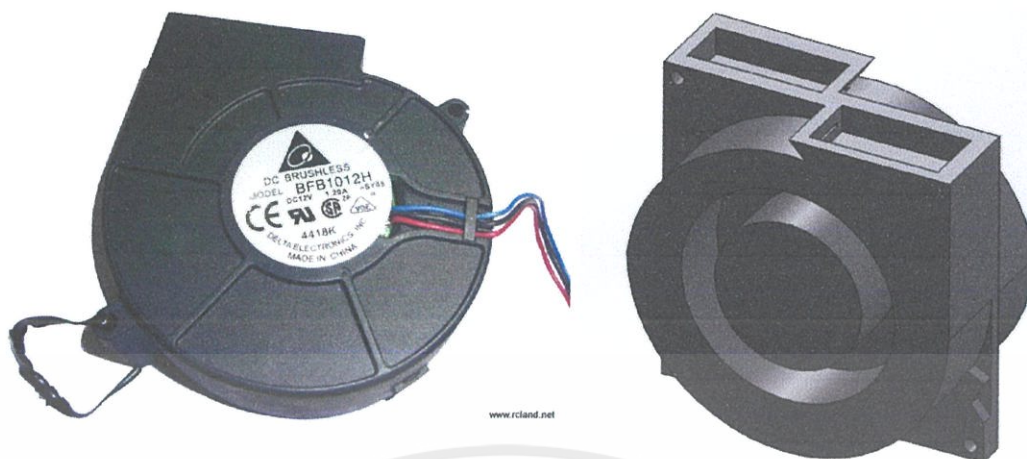
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงภาพรวมของระบบ

3.1 พัดลม DC 12 โวลต์

พัดลมเป็นส่วนสำคัญสำหรับโครงงานนี้ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ปล่อยกระแสลมเพื่อเลี้ยงลูกบอลให้ลอยขึ้นกลางอากาศ โดยมีการใช้ไฟขนาด 12 V เป็นไฟเลี้ยงในวงจรของพัดลม การเลือกใช้พัดลมต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. พัดลมขนาด 12 V กระแส 3.96 แอมป์
2. มีความเร็ว 2400 rpm เป็นอย่างต่ำ

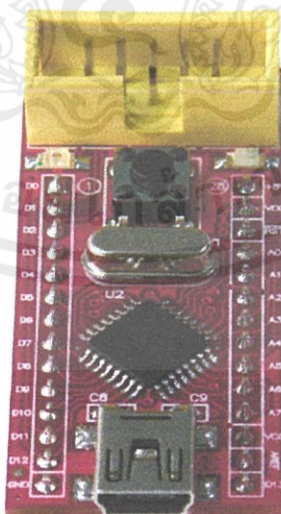
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 พัดลม DC 12 โวลต์ 3.96 แอมป์

3.2 ET-EASY168 STAMP

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR8 ขนาดเล็กจิ๋ว โดยมีขนาดของบอร์ดเพียง 2cm x 5cm เท่านั้น ซึ่งขนาดบอร์ดประมาณเท่ากับตัวถังของไอซี 28 DIP 300 โดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด โดยเลือกใช้ MCU ที่มีรูปร่างตัวถังแบบ 32 TQFP พร้อมวงจรรอบนอกที่จำเป็นอย่าง Oscillator และ Reset รวมไว้ด้วยภายในบอร์ด นอกจากนี้แล้วภายในตัวบอร์ดยังได้รวมเอาไอซี USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232R เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมด้วย RS232 กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB ได้โดยตรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 ET-EASY 168 STAMP

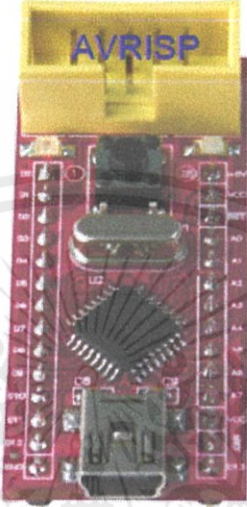
คุณสมบัติของบอร์ด

- เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL Run ความถี่ 16.00 MHz
- มีหน่วยความจำ Flash สำหรับเขียนโปรแกรม 16KByte ถ้าใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบ AVRISP หรือ 14Kbyte เมื่อใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบ Boot Loader RS232
- มี SRAM ใช้งานขนาด 1KByte และ EEPROM ใช้งานขนาด 512 Byte
- มี GPIO ใช้งานจำนวน 22 บิต
- Digital GPIO จำนวน 14 บิต
- Analog Input (ADC) ขนาดความละเอียด 10บิต จำนวน 8 ช่อง
- ใช้งานกับแรงดันไฟตรงขนาด +5VDC โดยใช้ได้ทั้งกับแหล่งจ่าย +5VDC/500mA จากพอร์ต USBและจากแหล่งจ่าย +5VDC จากภายนอกได้ด้วย พร้อม LED Power แสดงสถานะของแหล่งจ่าย
- มีวงจร External Reset แบบ RC Reset และ Switch Reset พร้อมภายในบอร์ด
- ขั้วต่อใช้งานวางตัวบน Pin Header ระยะห่าง 2.54mm(100mil) ขนาด 28 Pin (ด้านละ 14Pin)ระยะห่าง 600mil(1.5cm) ง่ายต่อการนำไปต่อประยุกต์ใช้งาน และ ขยายวงจร I/O สามารถใช้กับProject Board และ PCB เอนกประสงค์ได้โดยง่าย
- มีขั้วต่อ USB สำหรับเชื่อมต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่าน USB Bridge ของ FTDI ในรูปแบบของการสื่อสารอนุกรม RS232 สำหรับใช้งานสื่อสารและ Download Code ให้กับ MCU ในบอร์ด
- มีขั้ว AVRISP แบบ IDE 10PIN สำหรับใช้ Download โปรแกรมให้กับ MCU ภายในบอร์ด ในกรณีไม่ต้องการใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านทาง Boot Loader
- มี LED แสดงสถานะ โดยต่อกับ PB5 ของ AVR (Digital-13 ของ Arduino Project) สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ทดลองการทำงานอย่างง่าย

หน้าที่ของขาสัญญาณในการใช้งานแบบ “Arduino Project”

1. +5V(+Vin) เป็นขาสำหรับใช้เป็นจุดรับแรงดันขนาด +5VDC จากภายนอกเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด
2. +VCC(+5V) เป็นขาแหล่งจ่ายไฟจุดเดียวกันกับที่ป้อนให้กับ +VCC ของ MCU ซึ่งจุดนี้จะรับแรงดันมาจาก 2 แหล่ง ด้วยกันคือ ขารับแรงดัน +5V(+Vin) จากขา 28 ของบอร์ดและจากขา +VUSB(+5V) จากขั้ว USB ของบอร์ด โดยมี Diode ป้องกันการย้อนกลับของแรงดันไว้แล้ว
3. +AREF เป็นขาสำหรับรับสัญญาณแรงดันอ้างอิง (Analog Reference) ให้กับวงจร Analog Inputในกรณีต้องการใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอก
4. RESET# เป็นขาสัญญาณ RESET ของ CPU ทำงานที่ Logic “0”

5. Digital[0..13] เป็นขา I/O แบบ Digital สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับสัญญาณ Logic TTL (5V) ต่างๆ
6. Analog[0..7] เป็นขา Input แบบ Analog สามารถรับ Input แบบ Analog 0..+5V

AVR	Arduino	Pin	ET-EASY168 STAMP	Pin	Arduino	AVR
PD0	Digital-0	1		28	+5V(+Vin)	+5V(+Vin)
PD1	Digital-1	2		27	+VCC(+5V)	+VCC(+5V)
PD2	Digital-2	3		26	RESET#	RESET(PC6)
PD3	Digital-3	4		25	Analog-0	PC0/ADC0
PD4	Digital-4	5		24	Analog-1	PC1/ADC1
PD5	Digital-5	6		23	Analog-2	PC2/ADC2
PD6	Digital-6	7		22	Analog-3	PC3/ADC3
PD7	Digital-7	8		21	Analog-4	PC4/ADC4
PB0	Digital-8	9		20	Analog-5	PC5/ADC5
PB1	Digital-9	10		19	Analog-6	ADC6
PB2	Digital-10	11		18	Analog-7	ADC7
PB3	Digital-11	12		17	+VCC(+5V)	+VCC(+5V)
PB4	Digital-12	13		16	+AREF	+AREF
GND	GND	14		15	Digital-13	PB5

รูปที่ 3.4 การจัดสรรขาสัญญาณของบอร์ด ET-EASY 168 STAMP

หน้าที่ของขาสัญญาณในการใช้งานแบบ “AVR Micro Controller”

- +5V(+Vin) เป็นขาสำหรับใช้เป็นจุดรับแรงดันขนาด +5VDC จากภายนอกเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด
- +VCC(+5V) เป็นขาแหล่งจ่ายไฟจุดเดียวกันกับที่ป้อนให้กับ +VCC ของ MCU ซึ่งจุดนี้จะรับแรงดันมาจาก 2 แหล่ง ด้วยกันคือ ขารับแรงดัน +5V(+Vin) จากขา 28 ของบอร์ดและจากขา+VUSB(+5V) จากขั้ว USB ของบอร์ด โดยมี Diode ป้องกันการย้อนกลับของแรงดันไว้แล้ว
- +AREF เป็นขาสำหรับรับสัญญาณแรงดันอ้างอิง (Analog Reference) ให้กับวงจร Analog Input ในกรณีต้องการใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอก
- RESET# เป็นขาสัญญาณ RESET ของ CPU ทำงานที่ Logic “0”
- PB[0..5] เป็นขา I/O แบบ Digital สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับสัญญาณ Logic TTL (5V) ต่างๆ
- PD[0..7] เป็นขา I/O แบบ Digital สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับสัญญาณ Logic TTL (5V) ต่างๆ
- PC[0..5] เป็นขา I/O ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้ง Digital และ Analog Input

8. ADC6,ADC7 เป็นขา Input แบบ Analog สามารถรับ Input แบบ Analog 0..+5V

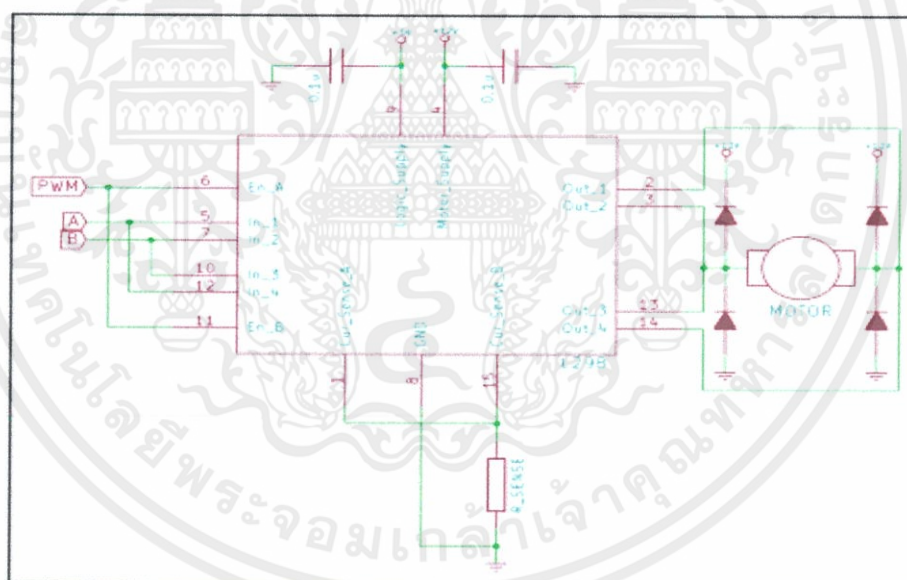
การพัฒนาโปรแกรมของบอร์ด ET-EASY168 STAMP

ในการพัฒนาโปรแกรมของบอร์ด ET-EASY168 STAMP นั้น ผู้ใช้สามารถเลือกใช้วิธีการพัฒนาโปรแกรมได้ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

1. AVR Micro Controller เป็นการพัฒนาโปรแกรมตามรูปแบบของ AVR Micro Controller ปรกติซึ่งสามารถเลือกใช้โปรแกรมภาษาใดก็ได้ที่รองรับการใช้งานร่วมกับ AVR เบอร์ ATmega168ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกใช้โปรแกรมในการพัฒนาได้ตามความถนัด เช่น ภาษาเบสิก BASCOM-AVR หรือ ภาษาซี เช่น Code Vision และ WinAVR เป็นต้น

2. Arduino Project เป็นการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมและชุดคำสั่งในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี (C++) ของ “Arduino Project” ซึ่งเป็นโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR แบบ Open Source

3.3 วงจรที่ใช้ภายในระบบ



รูปที่ 3.5 วงจรที่ใช้ภายในระบบ

เนื่องจากส่วนควบคุมจะส่ง output เพื่อไปควบคุมมอเตอร์ในระบบสัญญาณดิจิทัลซึ่งมีแรงดันและกระแสต่ำ ไม่เพียงพอที่จะขับมอเตอร์ได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องผ่านวงจรขับเพื่อขยายสัญญาณในการขับ ในปัจจุบันมีวงจรขับให้เราเลือกมากมายเหมือนกัน เช่น ไอซีขับมอเตอร์ วงจรขับโดยรีเลย์ วงจรขับโดยทรานซิสเตอร์ หรือวงจรขับโดยใช้การเชื่อมโดยทางแสง แต่ละวงจรมีข้อได้เปรียบเสียเปรียบต่างกัน ก็ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน

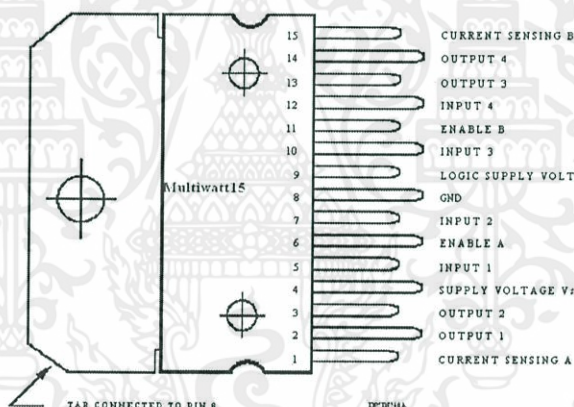
3.4 ไอซี L298

เราใช้ไอซี L298 เป็นวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์และทำหน้าที่ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โดยป้อนแรงดันไฟฟ้าให้ 12 V

ประสิทธิภาพการทำงานของ L298

1. สามารถใช้แรงดันขับเคลื่อนมอเตอร์ได้สูงสุด 50V
2. สัญญาณ Logic สูงสุด 7 Volt
3. สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ 1 ตัวต่อ IC 1ตัว
4. สามารถใช้การควบคุมแบบ Full Speed หรือแบบ Pulse สำหรับปรับ Speed ได้ด้วยเช่นกัน
5. สามารถควบคุมทิศทางมอเตอร์ด้วยการจ่าย Logic

คุณสมบัติของ L298



รูปที่ 3.6 ไอซี L298

- ขา 1 ปกติต่อ Gnd ได้เลย
- ขา 2- 3 ต่อเข้าขั้วมอเตอร์
- ขา 4 เป็นแรงดันสำหรับมอเตอร์ โดยคำนึงถึงการลักษณะมอเตอร์ (Motor Specification)

เป็นหลัก

- ขา 5 , 7 เป็นขาสำหรับรับ Logic 1 (3.3 Volt +) , Logic 0 (0Volt) เพื่อควบคุมมอเตอร์ A (มอเตอร์1)

เอกสารนี้เป็นเอกสาร - ขา 6 Enable A คล้ายๆการเปิด-ปิด มอเตอร์ ถ้าเราจ่ายแก่ Logic เข้า 5, 7 แต่ไม่จ่ายกรค่าไม่ว่ากรณี Enable A มอเตอร์ก็จะไม่ทำงานครับ ปกติจ่ายแรงดัน แค่ 3.3 Volt ก็จะเป็นการ Enable มอเตอร์ตัวนั้น

- ขา 8 Ground ต้องเป็น Ground ร่วมนะครับ ขา 1 และ 15 ต้องต่อร่วมด้วย
- ขา 9 แรงดัน สำหรับ Logic
- ขา 10 , 12 เป็นขาสำหรับรับ Logic 1(3.3 Volt +) , Logic 0(0Volt) เพื่อควบคุมมอเตอร์ B (มอเตอร์ 2)
- ขา 13 , 14 ต่อเข้าขั้วมอเตอร์
- ขา 15 ปกติต่อ Gnd

3.5 เซนเซอร์วัดระยะทาง infrared

ใช้เซนเซอร์รุ่น GP2Y0A21 โมดูลตรวจจับระยะทางของลูกบอลว่า ตำแหน่งของลูกบอลนั้น ลอยอยู่ ณ ตำแหน่งใด

ประสิทธิภาพการทำงานของเซนเซอร์รุ่น GP2Y0A21

- ใช้การตรวจจับระยะทางด้วยการสะท้อนแสงอินฟราเรด
- วัดระยะทางได้ 10 ถึง 80 เซนติเมตร
- ไฟเลี้ยงที่เหมาะสมคือ 4.5V ถึง 5V ต้องการกระแสไฟฟ้าที่การวัดระยะทางสูงสุด 80mA
- ให้เอาต์พุตเป็นแรงดันย่าน 0.4V ถึง 2.4V ที่มีไฟเลี้ยง +5V
- ใช้งานได้โดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติม

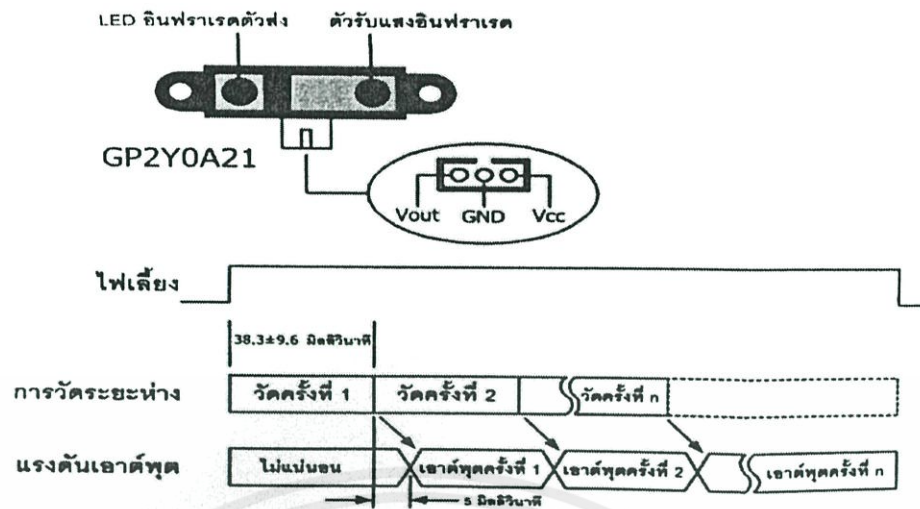
GP2Y0A21 เป็นโมดูลตรวจจับระยะทางแบบอินฟราเรดมีขาต่อใช้งาน 3 ขาคือ ขาต่อไฟเลี้ยง(Vcc),ขากราวด์(GND) และขาแรงดันเอาต์พุต(Vout) การอ่านค่าแรงดันจาก GP2Y0A21 จะต้องรอให้พ้นช่วงเตรียมความพร้อมของโมดูลก่อน ซึ่งใช้เวลา 32.7 ถึง 52.9 มิลลิวินาที ดังนั้นในการอ่านค่าแรงดันจึงควรรอให้พ้นช่วงเวลาดังกล่าวไปก่อน

หลักการทำงานของโมดูลวัดระยะทางด้วยแสงอินฟราเรด

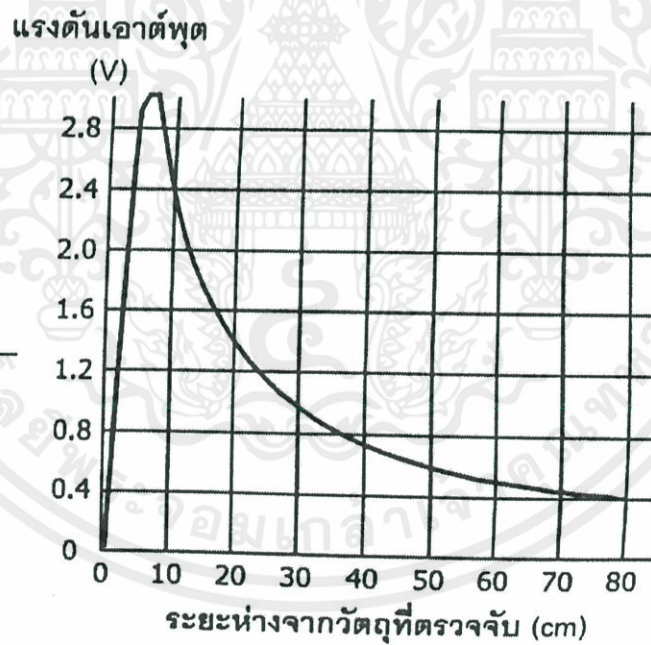
โมดูลวัดระยะทางจะส่งแสงอินฟราเรดจากตัวส่งไปกระทบวัตถุผ่านเลนส์นูนเพื่อโฟกัสแสงให้มีความเข้มแสงไปยังจุดใดจุดหนึ่ง เมื่อแสงไปกระทบวัตถุจะเกิดการกระเจิงของแสงไปในทิศทางต่างๆ แสงส่วนหนึ่งจะกระเจิงไปยังภาครับ โดยมีเลนส์ภาครับทำหน้าที่รวมแสงและกำหนดจุดตกกระทบแสงจะถูกส่งผ่านไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์จำนวนมากที่ต่อเรียงตัวกันเป็นอาร์เรย์

โดยค่าที่วัดระยะได้จากโฟโตทรานซิสเตอร์จะถูกส่งไปยังวงจรประมวลผลสัญญาณก่อนจะเปลี่ยนค่าเป็นระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

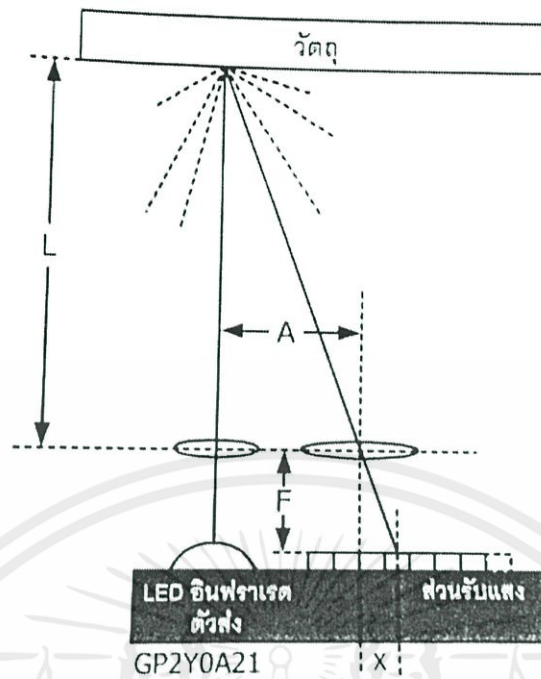


รูปที่ 3.7 การจัดขา รูปแบบการทำงานของเซนเซอร์



รูปที่ 3.8 กราฟคุณสมบัติการทำงานของเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 วิธีการวัดค่าระยะทางด้วยการสะท้อนแสงอินฟราเรด

การอ่านค่าข้อมูลจาก GP2Y0A21

ผลลัพธ์ที่ได้จาก GP2Y0A21 เป็นแรงดัน จะต้องนำค่าที่ได้มาแสดงผลในรูปของระยะทาง เพื่อความสะดวกจึงมีผู้สร้างสมการเชิงเส้นออกมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนี้

$$R = \frac{6787}{V-3} - 4 \quad (\text{กรณี 10 บิต})$$

โดยที่ R หมายถึง ระยะทางเป็นหน่วยเซนติเมตร

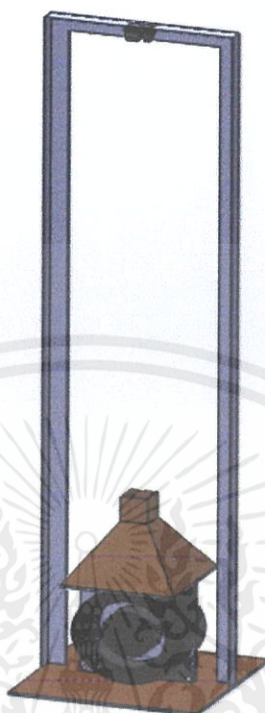
V หมายถึง ข้อมูลจากวงจร A/D ความละเอียด 10 บิต

$$R = \frac{1707}{V-3} - 4 \quad (\text{กรณี 8 บิต})$$

V หมายถึง ข้อมูลจากวงจร A/D ความละเอียด 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 โครงสร้างทางกายภาพของระบบ



รูปที่ 3.10 รูปร่างโครงสร้างทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง วงจรและภาคขับมอเตอร์ และการทำงานของเซนเซอร์โดยจะวัดระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับลูกบอล มีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

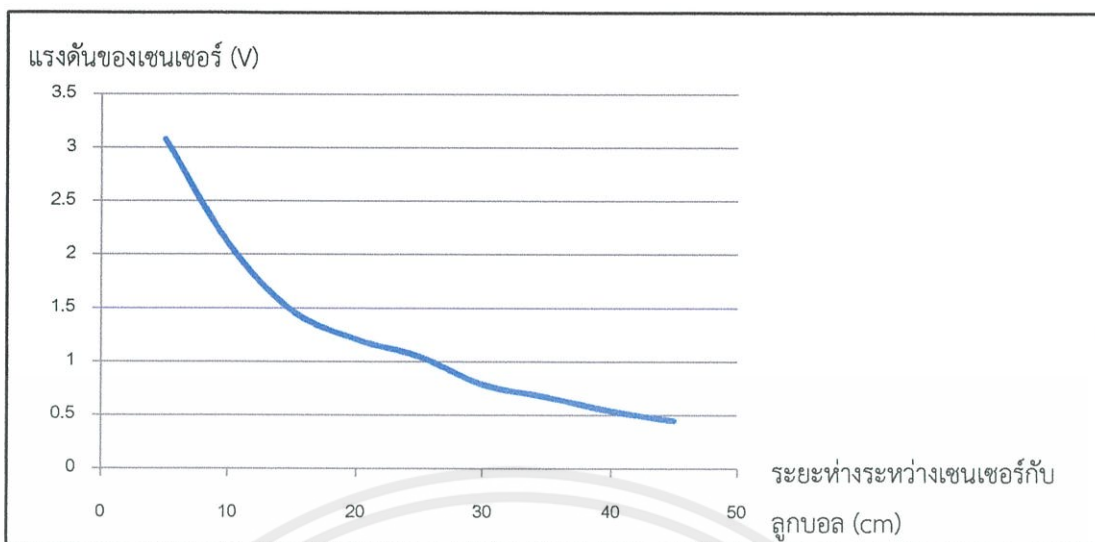
4.1 การทดลองที่ 1

เป็นการวัดแรงดันที่เซนเซอร์สามารถตรวจจับได้ที่ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับลูกบอล และนำค่าแรงดันที่วัดได้นั้นเข้าที่ตัว Micro controller

ตารางที่ 4.1 แรงดันจากเซนเซอร์และ code A₀ จาก AVR ที่ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับลูกบอล ตำแหน่งต่าง ๆ

ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับลูกบอล (cm)	แรงดันจากเซนเซอร์ (V)	code A ₀
5	3.08	163
10	2.11	111
15	1.48	79
20	1.21	63
25	1.05	50
30	0.79	42
35	0.67	36
40	0.54	27
45	0.45	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



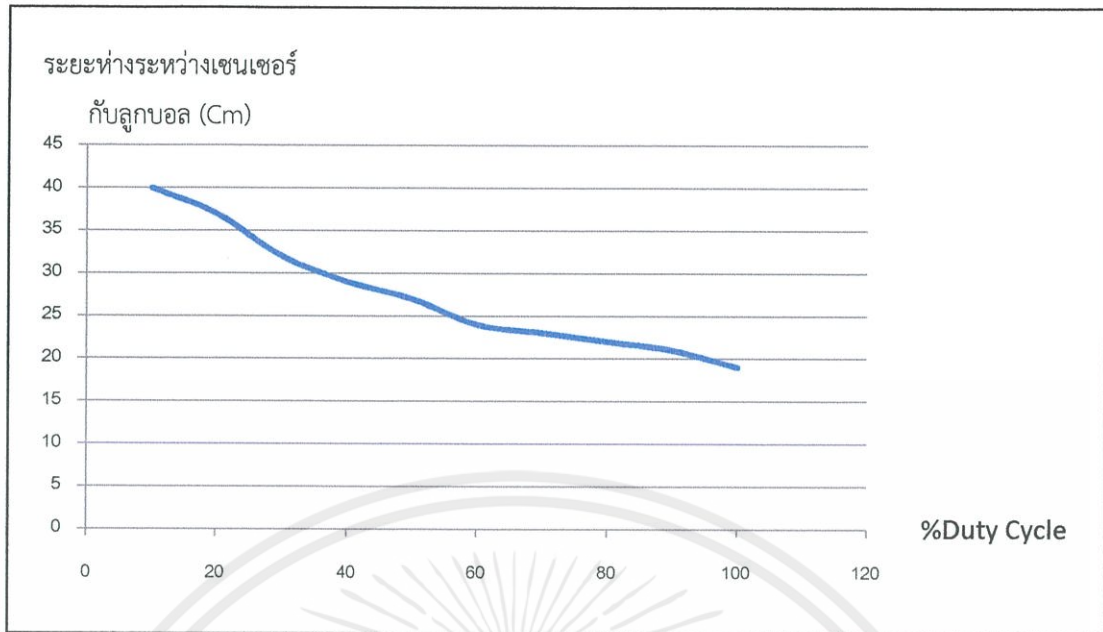
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของเซนเซอร์กับระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับลูกบอล

4.2 การทดลองที่ 2

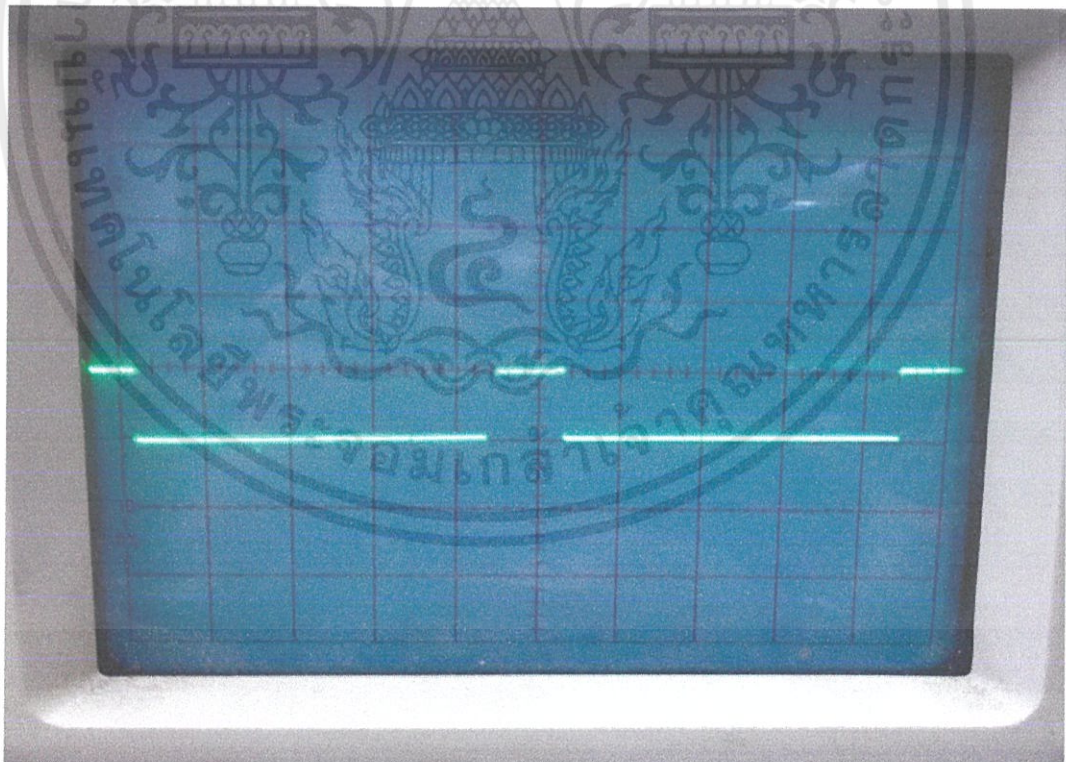
เป็นการทดลองเพื่อหาระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับลูกบอลตามเปอร์เซ็นต์ Duty Cycle จาก 10% - 100% โดยอ่านค่าเปอร์เซ็นต์ Duty Cycle จากเครื่อง Oscilloscope

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ Duty Cycle กับ ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับลูกบอล

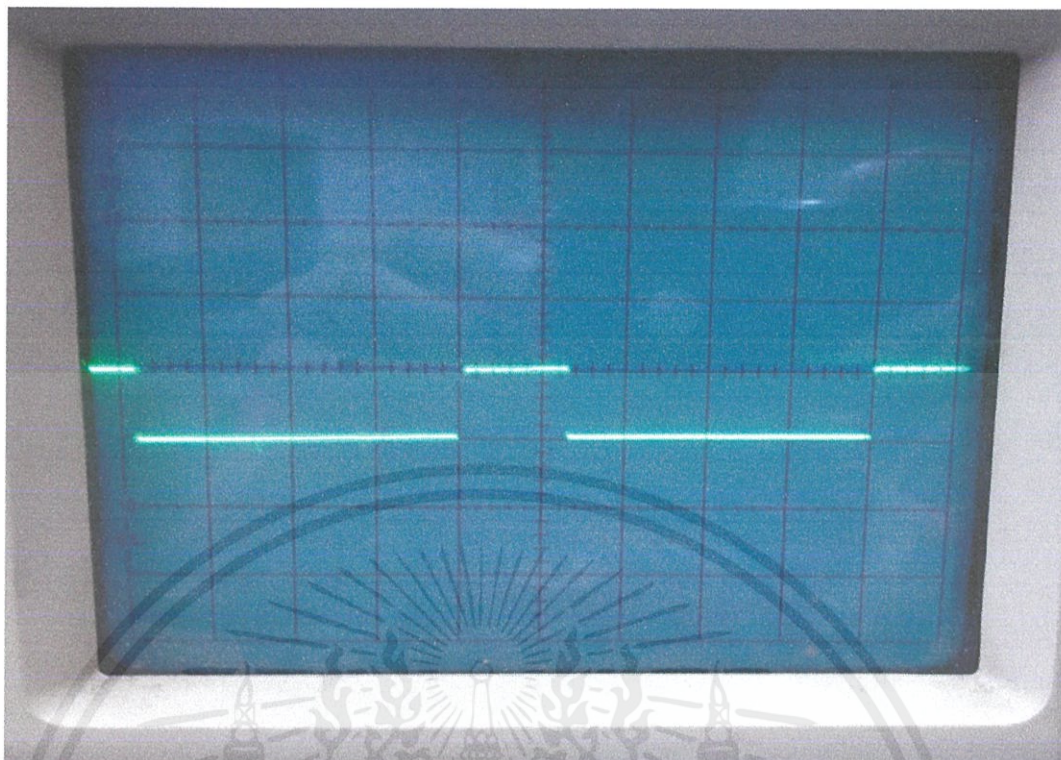
เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle ของสัญญาณ Pulse	ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับลูกบอล (cm)
100 %	19
90 %	21
80 %	22
70 %	23
60 %	24
50 %	27
40 %	29
30 %	32
20 %	37
10 %	40



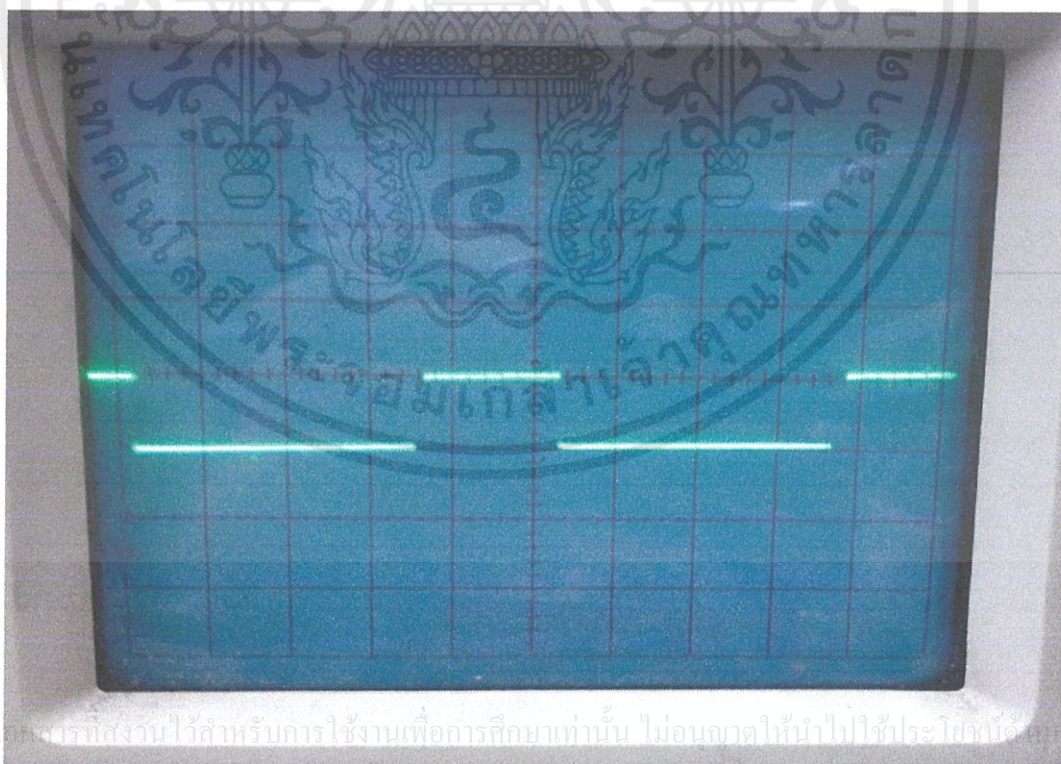
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับลูกบอล
และเปอร์เซ็นต์ Duty Cycle



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.3 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 10% โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

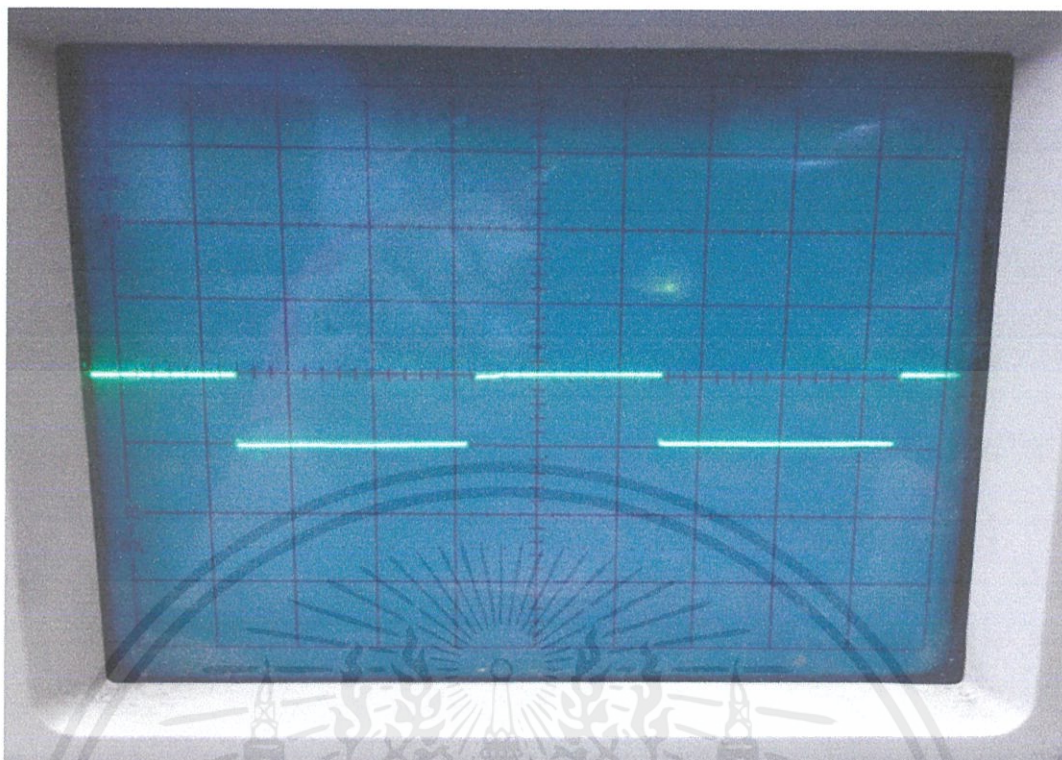


รูปที่ 4.4 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 20%

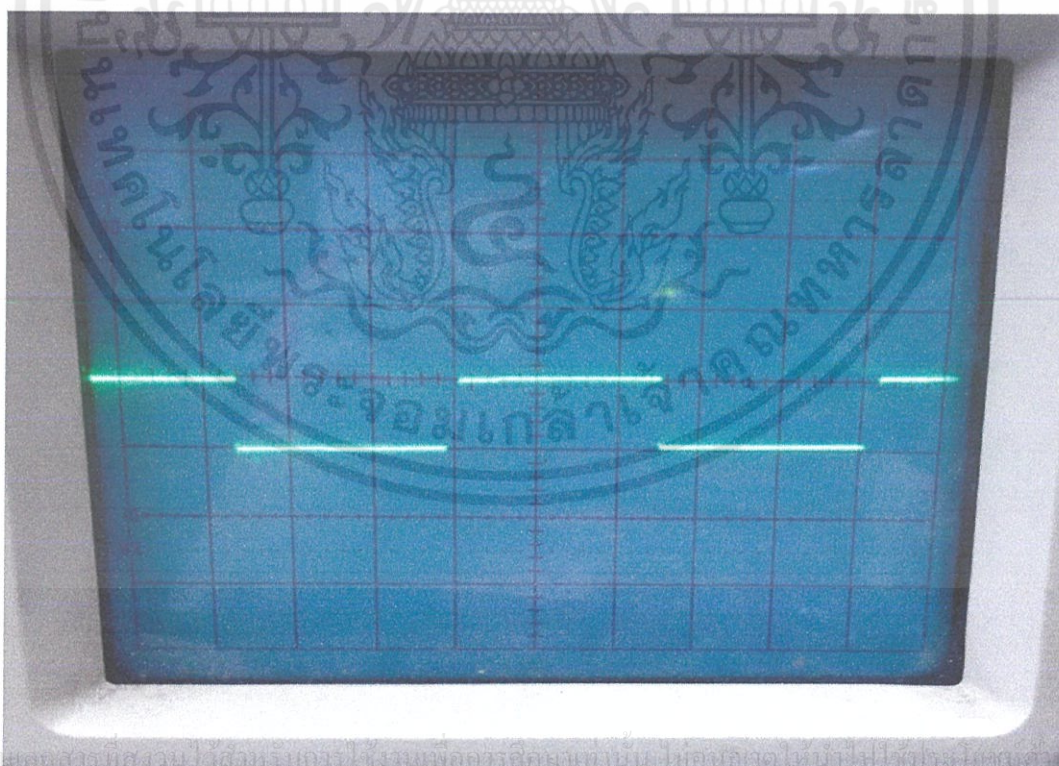


รูปที่ 4.5 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



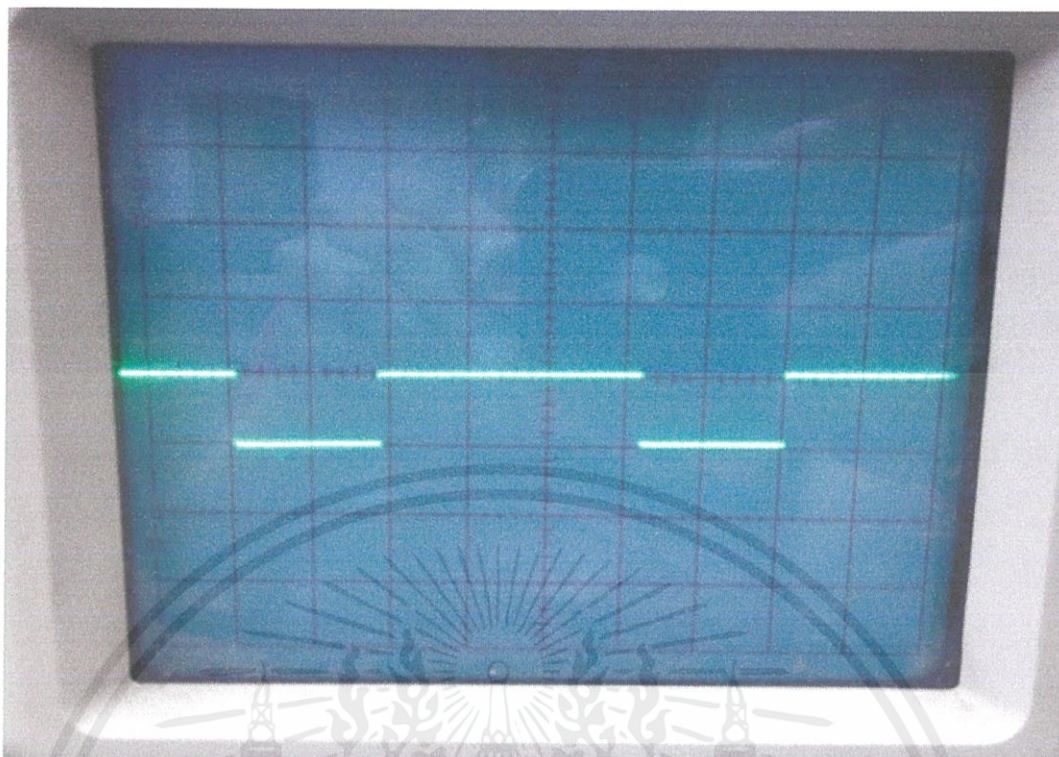
รูปที่ 4.6 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 40%



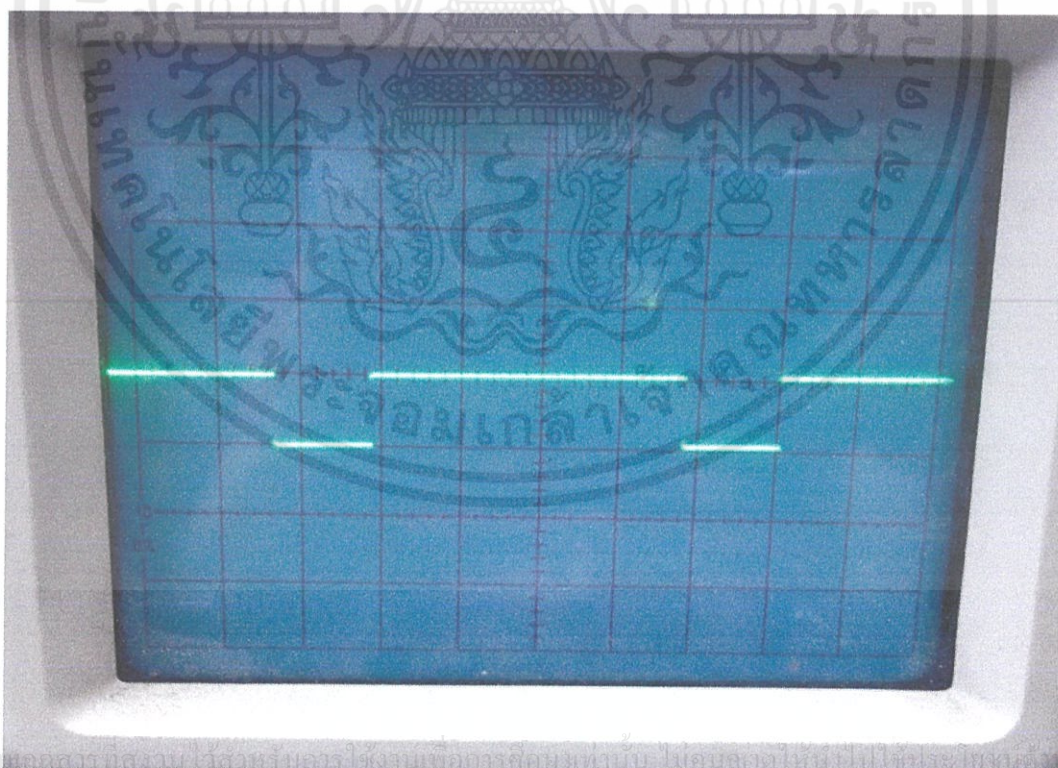
รูปที่ 4.7 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



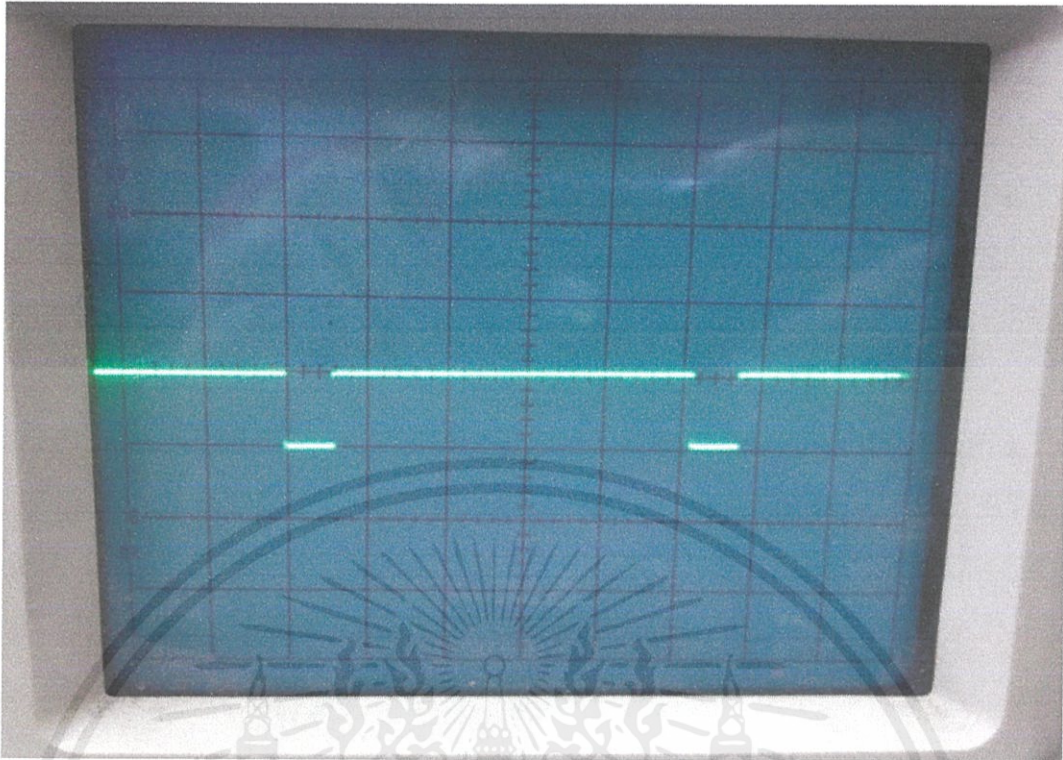
รูปที่ 4.8 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 60%



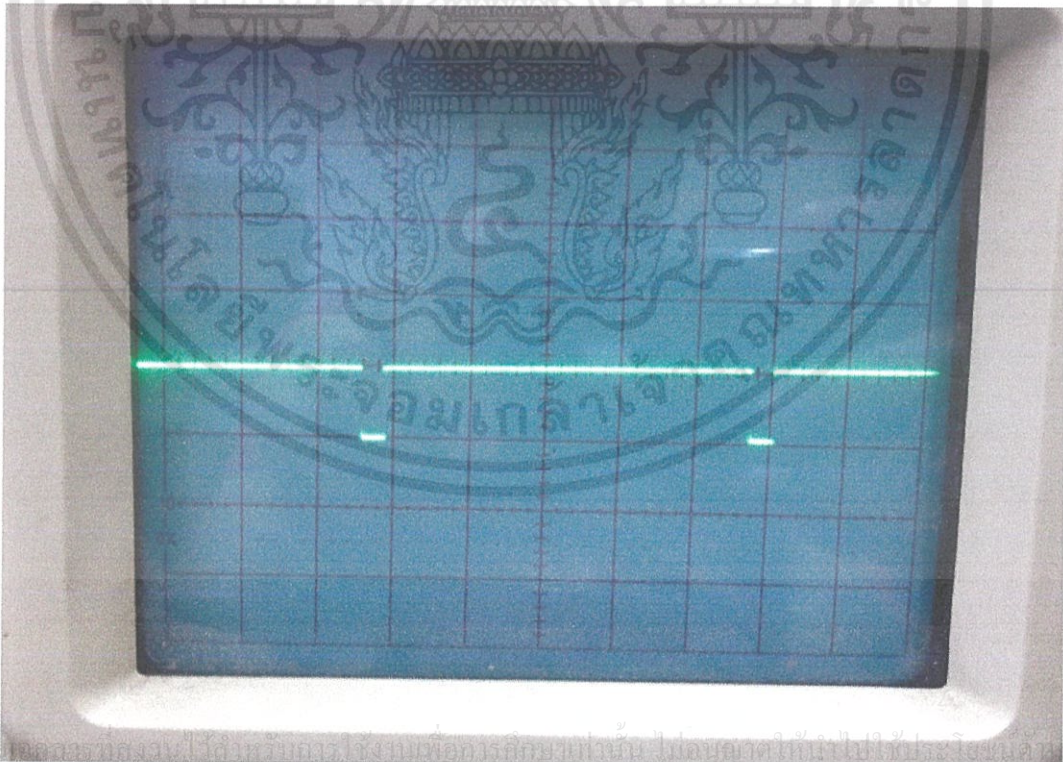
รูปที่ 4.9 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์งานเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



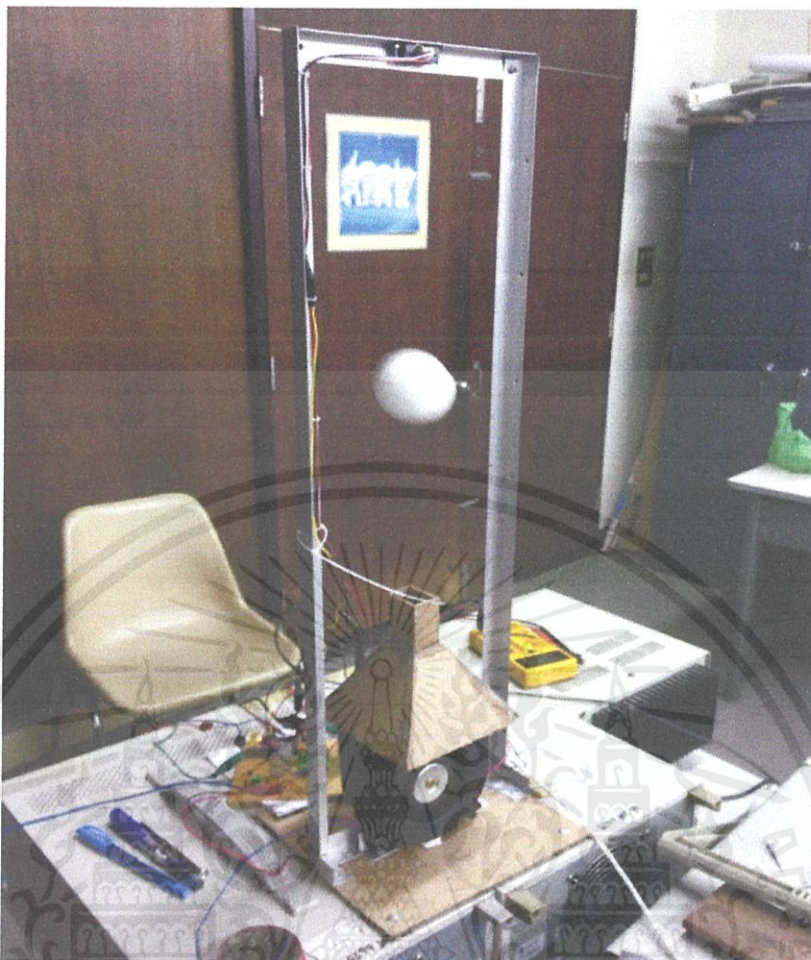
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 80%



รูปที่ 4.11 สัญญาณของระบบจาก PWM ที่เปอร์เซ็นต์ Duty Cycle 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ชิ้นงานการลอยตัวของลูกบอลด้วยลมและการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองระบบควบคุมการลดยตัวของลูกบอล เมื่อป้อนโค้ดให้กับตัว AVR พบว่า ลูกบอลจะลอยได้ตามระยะเปอร์เซ็นต์ Duty Cycle ตั้งแต่ 10% - 100% แต่ลูกบอลไม่สามารถลอยอยู่นิ่งๆได้ อาจเกิดความผิดพลาดเนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ลมภายนอกที่พัดแรงจนทำให้ลูกบอลขยับไปมา หรืออาจเกิดจากลมในตัวโบลเวอร์ที่ไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

จากการวัดและทดลองจะพบว่าปัญหาในเรื่องการทรงตัวของลูกบอล มีปัจจัยทั้งภายนอกและภายใน ปัจจัยภายในได้แก่ ปริมาณของพลังงานไฟฟ้าที่ปล่อยจาก Supply ยังมีการแกว่งไม่คงที่ ทำให้ลูกบอลลอยไม่นิ่ง ความสูงไม่คงที่ จึงต้องนำสัญญาณ Pulse Width Modulation เข้ามาทำการแก้ปัญหาโดยการปรับความกว้างของสัญญาณ Pulse และจะได้สัญญาณที่ดีที่สุด โดยกำหนดสัญญาณจากระยะของ Duty Cycle ที่ทำให้การลดยตัวของลูกบอลนิ่งที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการค้นคว้าวิจัย

พัฒนาโปรแกรมเพิ่มเติมโดยเปลี่ยนจากการควบคุมตัวพัลลมโบลเวอร์อย่างเดียวมาเป็นควบคุมทั้งพัลลมโบลเวอร์กับตัวเซนเซอร์ โดยจะใช้ตัวเซนเซอร์เป็นตัวควบคุมความสูงของลูกบอล และให้พัลลมโบลเวอร์พัลลลูกบอลให้ได้ตามระยะความสูงที่เซนเซอร์กำหนด จะทำให้ระยะของลูกบอลมีความแม่นยำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] “ทฤษฎีการไหลของอากาศและทฤษฎีการไหลของของไหล”.เข้าถึงได้จาก: [http:// archive.lib.cmuac.th/full/T/2551/arc1051pp_ch2.pdf](http://archive.lib.cmuac.th/full/T/2551/arc1051pp_ch2.pdf) (วันที่ค้นข้อมูล 19 กุมภาพันธ์ 2556).
- [2] บริษัททีทีที จำกัด. “คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY168 STAMP”. เข้าถึงได้จาก : http://www.etteam.com/product2009/ET-AVR/ET-EASY168_STAMP_man.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล19 กุมภาพันธ์ 2556).
- [3] บริษัทเดลต้าอิเล็กทรอนิกส์. “คู่มือการใช้งานพัลลวม”. เข้าถึงได้จาก: [http://www.delta-americas.com/Products/FANUploads/Specification/BFB1212GH-AF00\(REV0\).pdf](http://www.delta-americas.com/Products/FANUploads/Specification/BFB1212GH-AF00(REV0).pdf). (วันที่ค้นข้อมูล24 กุมภาพันธ์ 2556).
- [4] “คู่มือการใช้งานเซนเซอร์รุ่นGP2Y0A21”.เข้าถึงได้จาก:<http://www.alldatasheet.com.view.jsp?Searchword=GP2Y0A21/GP2Y0A21YK/GP2Y0D21YK>. (วันที่ค้นข้อมูล24 กุมภาพันธ์ 2556).
- [5] “คู่มือโปรแกรม Arduino”. 2551,เข้าถึงได้จาก: <http://www.logicthai.net/node/13>. (วันที่ค้นข้อมูล 24 กุมภาพันธ์ 2556).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

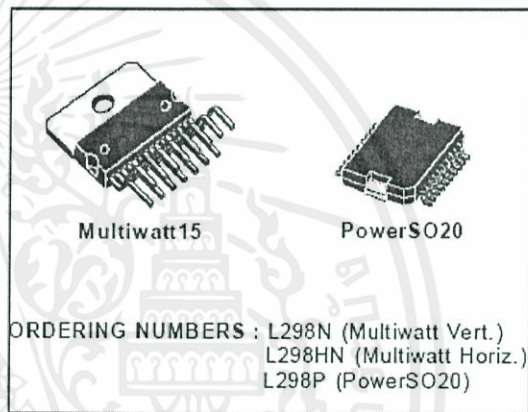
ก1.คู่มือการใช้งาน L298



L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

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

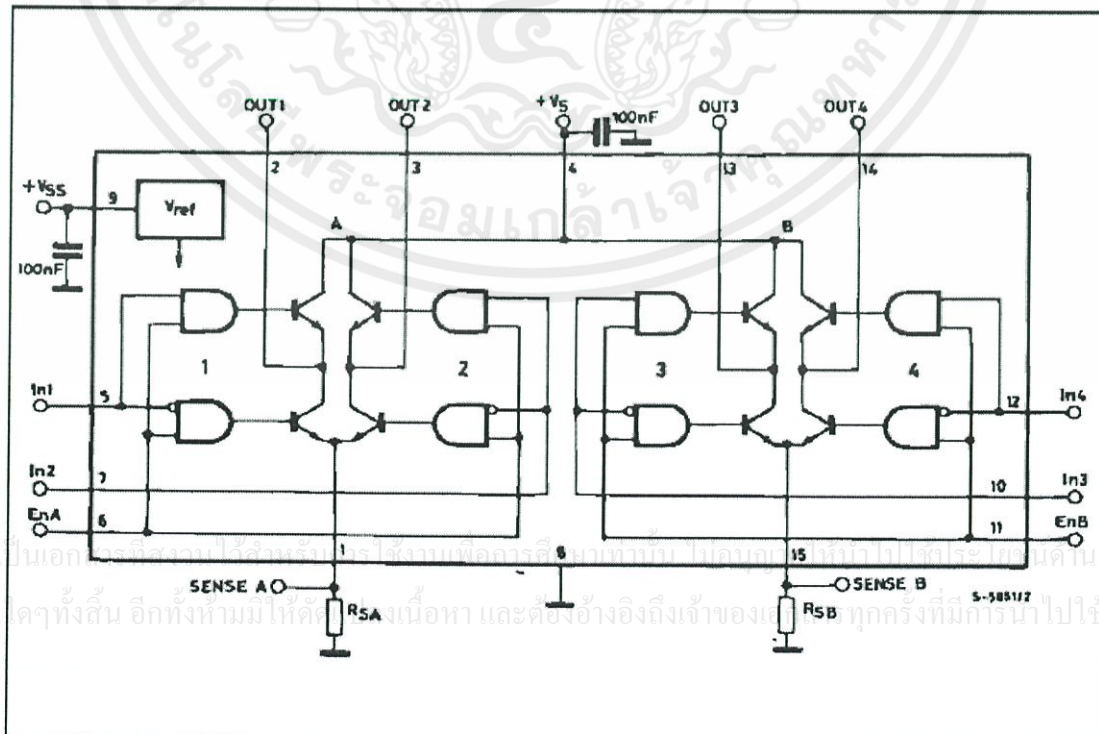


DESCRIPTION

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

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

BLOCK DIAGRAM

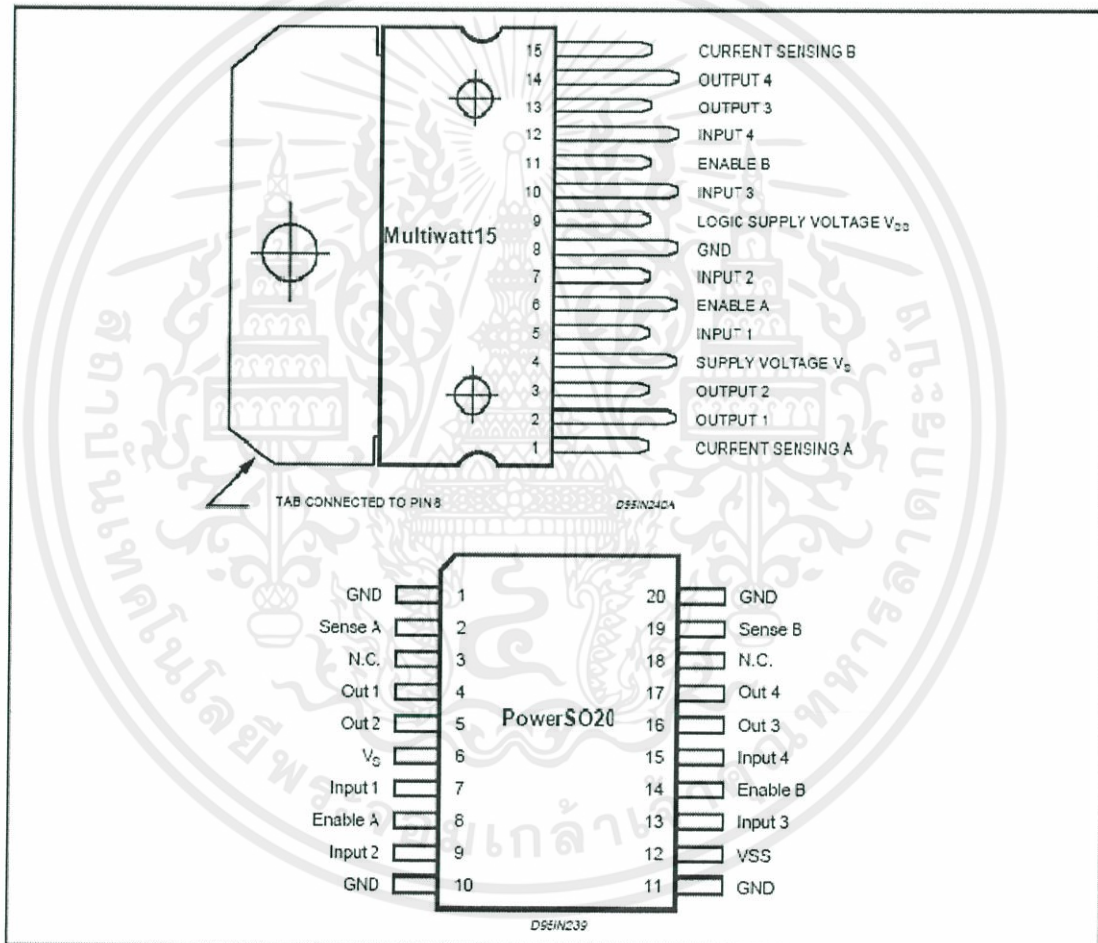


เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท STMicroelectronics จำกัด ใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้มีการนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำปรึกษา และตัวอย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

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

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$T_1 (V_i)$	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		1.5		μs
$T_2 (V_i)$	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.2		μs
$T_3 (V_i)$	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_i$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		2		μs
$T_4 (V_i)$	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.7		μs
$T_5 (V_i)$	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.7		μs
$T_6 (V_i)$	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.25		μs
$T_7 (V_i)$	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		1.6		μs
$T_8 (V_i)$	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.2		μs
$f_c (V_i)$	Commutation Frequency	$I_L = 2A$		25	40	KHz
$T_1 (V_{en})$	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		3		μs
$T_2 (V_{en})$	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		1		μs
$T_3 (V_{en})$	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.3		μs
$T_4 (V_{en})$	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.4		μs
$T_5 (V_{en})$	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		2.2		μs
$T_6 (V_{en})$	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.35		μs
$T_7 (V_{en})$	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.25		μs
$T_8 (V_{en})$	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.1		μs

- 1) Sensing voltage can be $-1V$ for $t \leq 50 \mu s$; in steady state $V_{sens \min} \geq -0.5V$.
 2) See fig. 2.
 3) See fig. 4.
 4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

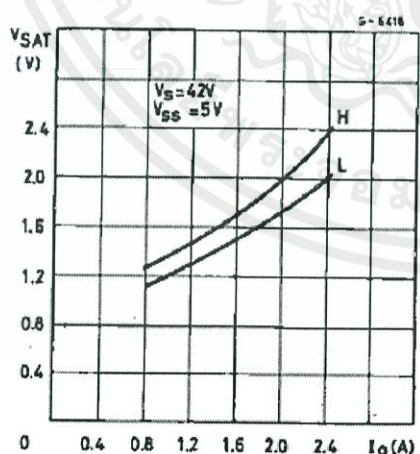
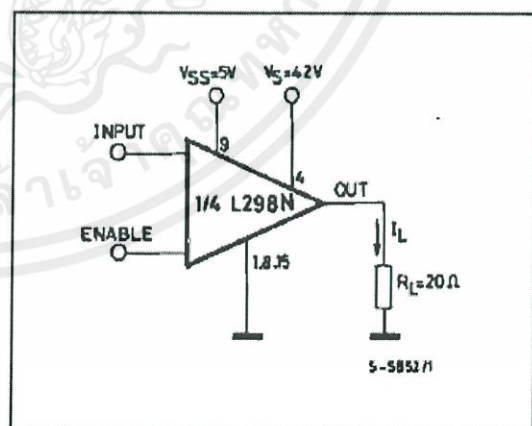


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



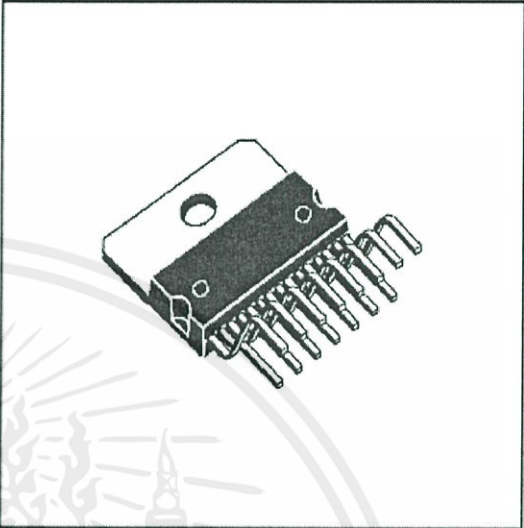
Note : For INPUT Switching, set EN = H
 For ENABLE Switching, set IN = H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

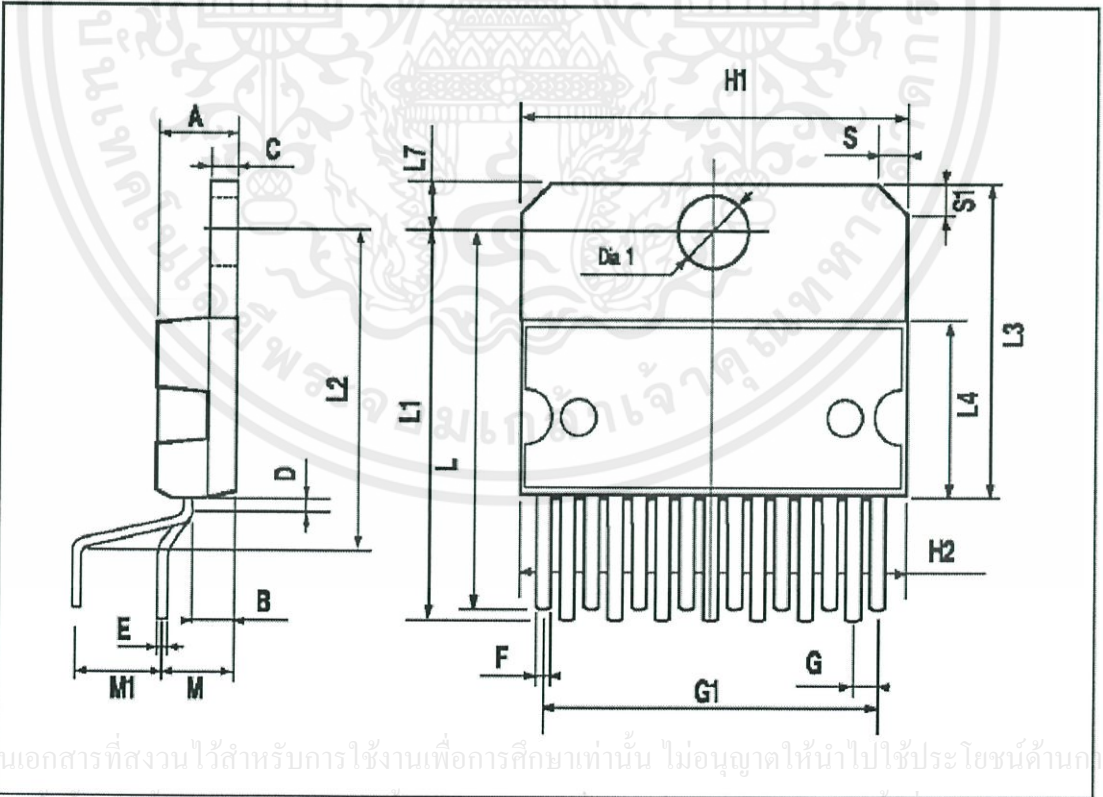
L298

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

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



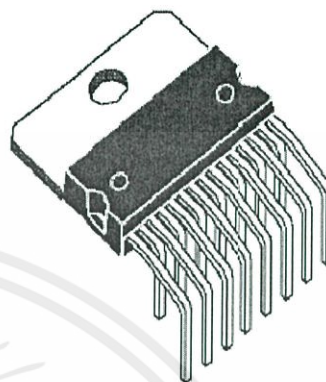
Multiwatt15 V



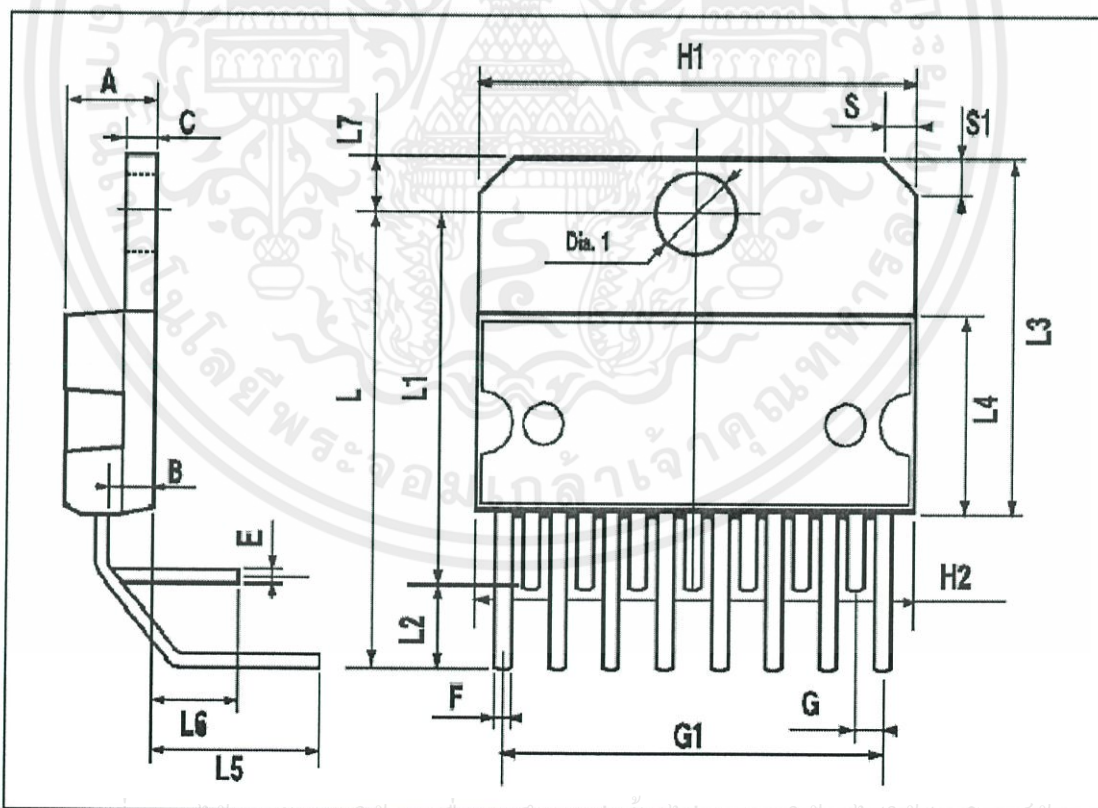
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

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

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



Multiwatt15 H

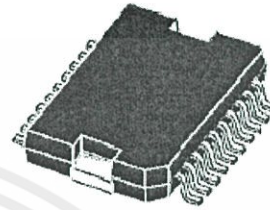


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

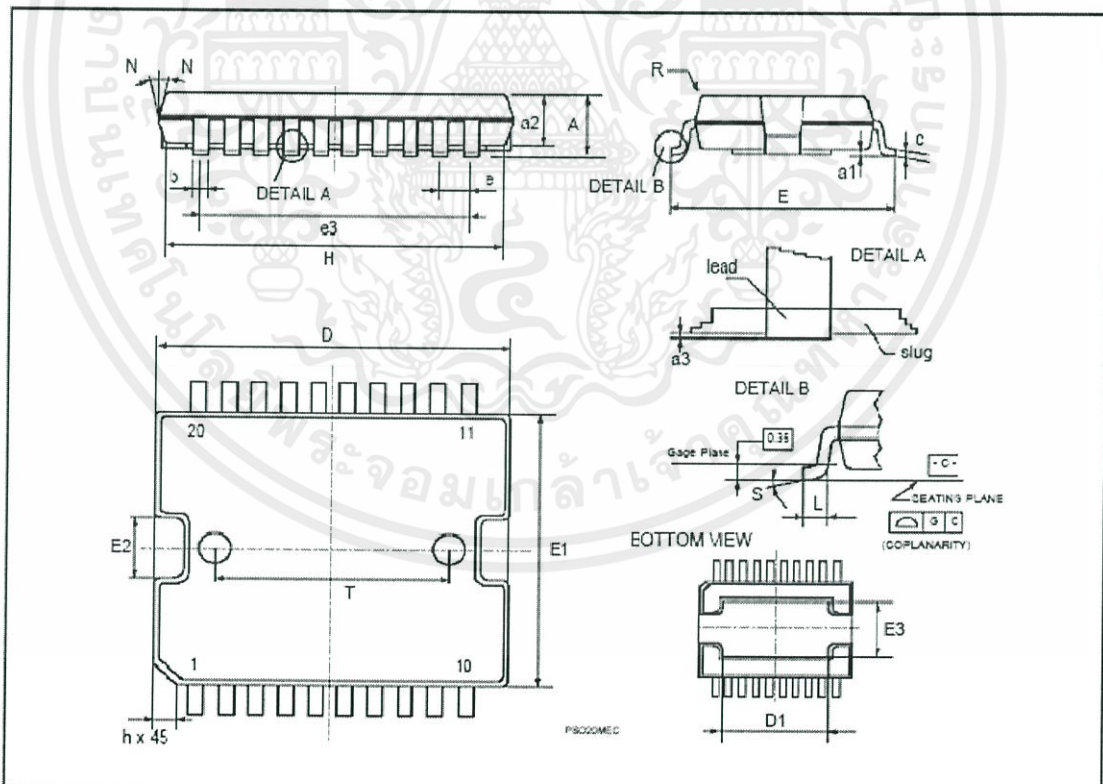
(1) "D and "E" do not include mold flash or protrusions.
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
 - Critical dimensions: "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20

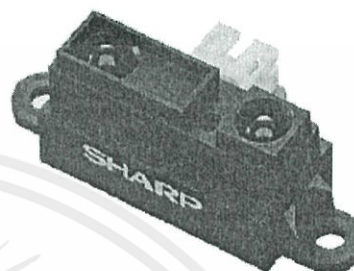


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก2.คู่มือการใช้งานเซนเซอร์ GP2Y0A21

GP2Y0A21YK0F

Distance Measuring Sensor Unit
Measuring distance: 10 to 80 cm
Analog output type



■ Description

GP2Y0A21YK0F is a distance measuring sensor unit, composed of an integrated combination of PSD (position sensitive detector), IRED (infrared emitting diode) and signal processing circuit.

The variety of the reflectivity of the object, the environmental temperature and the operating duration are not influenced easily to the distance detection because of adopting the triangulation method.

This device outputs the voltage corresponding to the detection distance. So this sensor can also be used as a proximity sensor.

■ Features

1. Distance measuring range : 10 to 80 cm
2. Analog output type
3. Package size : 29.5×13×13.5 mm
4. Consumption current : Typ. 30 mA
5. Supply voltage : 4.5 to 5.5 V

■ Agency approvals/Compliance

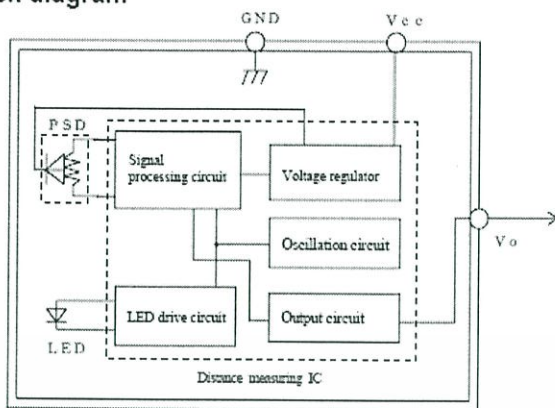
1. Compliant with RoHS directive (2002/95/EC)

■ Applications

1. Touch-less switch
(Sanitary equipment, Control of illumination, etc.)
2. Robot cleaner
3. Sensor for energy saving
(ATM, Copier, Vending machine)
4. Amusement equipment
(Robot, Arcade game machine)

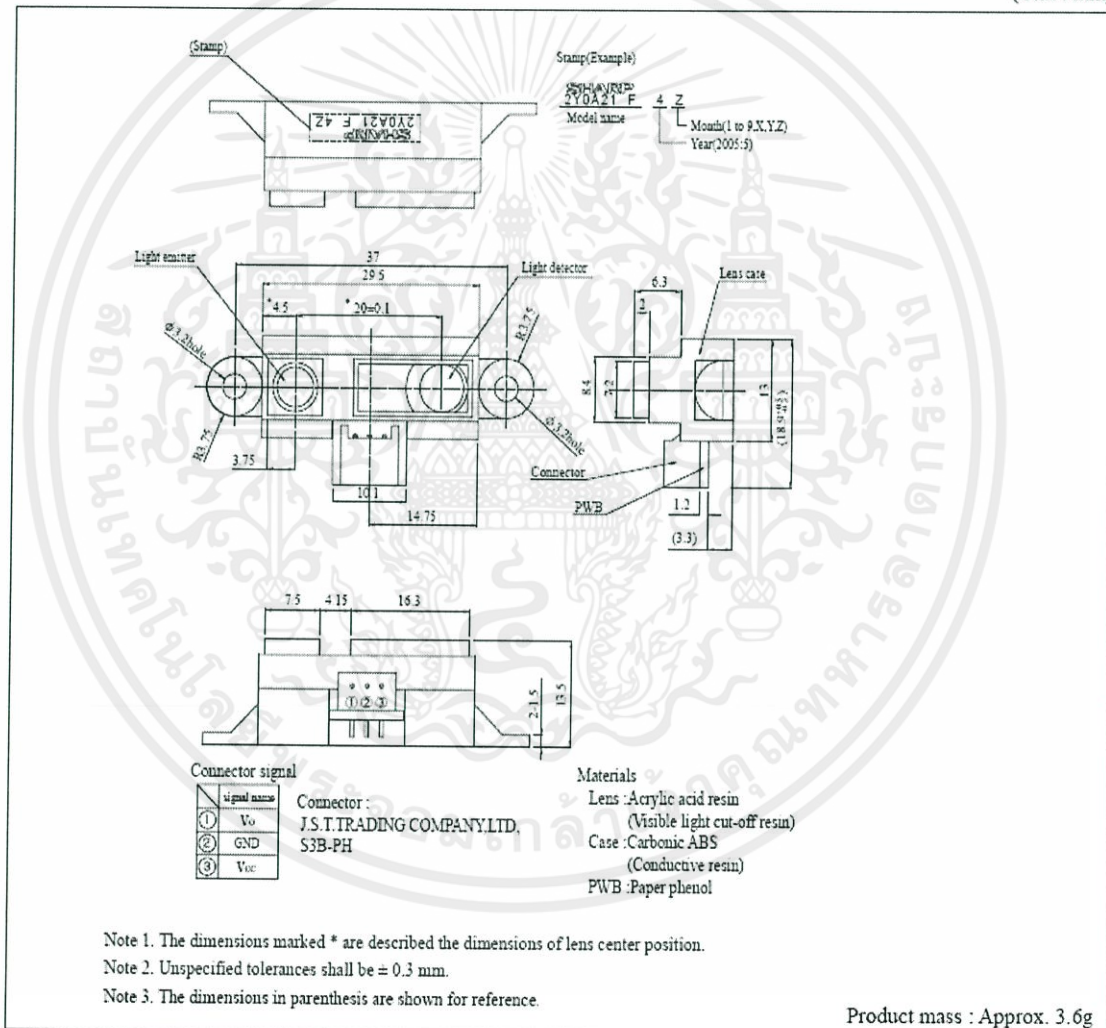
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Block diagram



■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Absolute Maximum Ratings ($T_a=25^\circ\text{C}, V_{CC}=5\text{V}$)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V_{CC}	-0.3 to +7	V
Output terminal voltage	V_O	-0.3 to $V_{CC}+0.3$	V
Operating temperature	T_{opr}	-10 to +60	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-40 to +70	$^\circ\text{C}$

■ Electro-optical Characteristics ($T_s=25^\circ\text{C}, V_{CC}=5\text{V}$)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Average supply current	I_{CC}	$L=80\text{cm}$ (Note 1)	—	30	40	mA
Distance measuring	ΔL	(Note 1)	10	—	80	cm
Output voltage	V_O	$L=80\text{cm}$ (Note 1)	0.25	0.4	0.55	V
Output voltage differential	ΔV_O	Output voltage difference between $L=10\text{cm}$ and $L=80\text{cm}$ (Note 1)	1.65	1.9	2.15	V

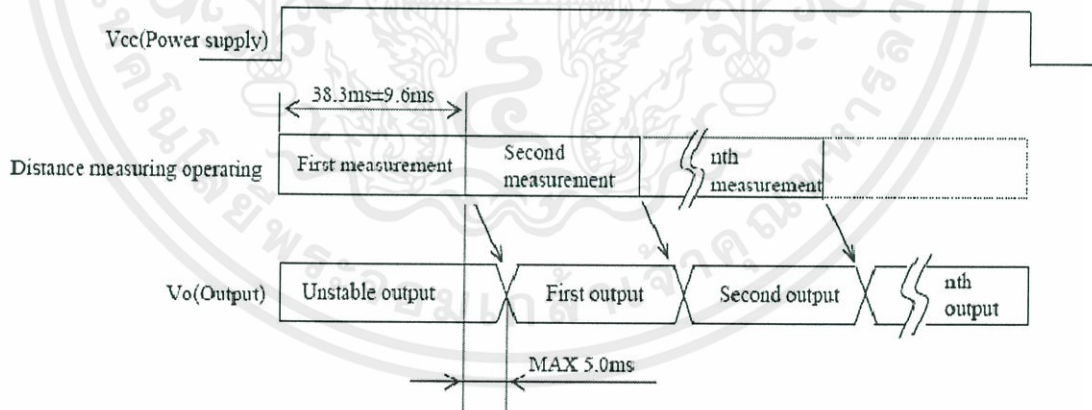
* L : Distance to reflective object

Note 1 : Using reflective object : White paper (Made by Kodak Co., Ltd. gray cards R-27·white face, reflectance: 90%)

■ Recommended operating conditions

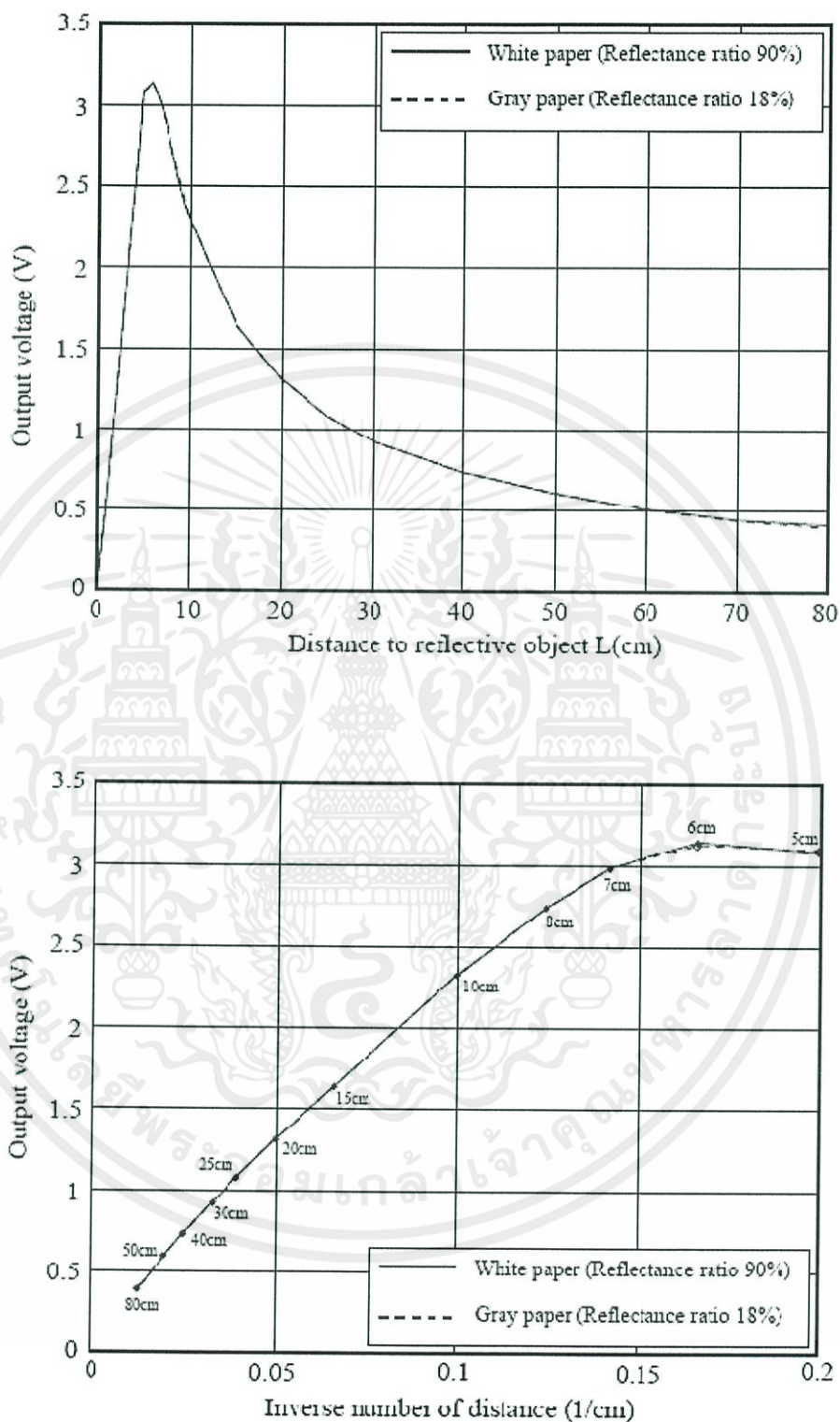
Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V_{CC}	4.5 to 5.5	V

Fig. 1 Timing chart



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 2 Example of distance measuring characteristics(output)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 คู่มือการใช้งานพัดลม

DELTA ELECTRONICS, INC.

252, SHANG YING ROAD, KUEI SAN

TAOYUAN HSIEN 333, TAIWAN, R. O. C.

TEL : 886-(0)3-3591968

FAX : 886-(0)3-3591991

SPECIFICATION FOR APPROVAL

Customer:

Description: DC BLOWER

Customer P/N: REV:

Delta Model NO.: BFB1212GH-AF00

Sample Rev: 00 Issue NO:

Sample Issue Date: JAN.14.2005. Quantity:

1. SCOPE:

THIS SPECIFICATION DEFINES THE ELECTRICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE DC BRUSHLESS BLOWER.

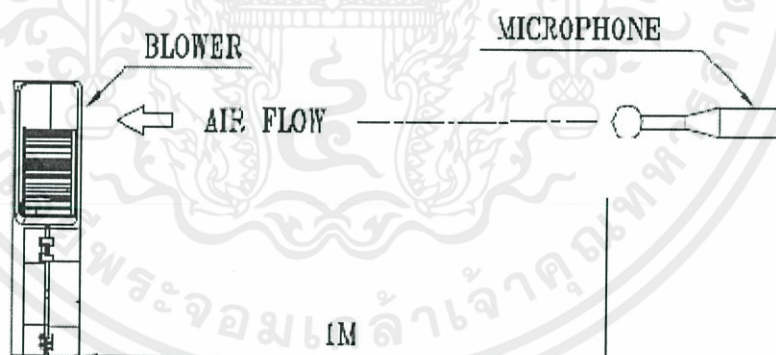
2. CHARACTERS:

ITEM	DESCRIPTION
RATED VOLTAGE	12 VDC
OPERATION VOLTAGE	5.5 - 13.2 VDC
INPUT CURRENT	3.30 (MAX. 3.96) A
INPUT POWER	39.6 (MAX. 47.52) W
SPEED	4400 R.P.M. (REF.)
MAX. AIR FLOW (AT ZERO STATIC PRESSURE)	1.710 (MIN. 1.539) M ³ /MIN. 60.39 (MIN. 54.35) CFM
MAX. AIR PRESSURE (AT ZERO AIRFLOW)	104.00 (MIN. 84.24) mmH ₂ O 4.094 (MIN. 3.317) inchH ₂ O
ACOUSTICAL NOISE (AVG.)	65 (MAX.69) dB-A
INSULATION TYPE	UL: CLASS A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSULATION STRENGTH	10 MEG OHM MIN. AT 500 VDC (BETWEEN FRAME AND (+) TERMINAL)
DIELECTRIC STRENGTH	5 mA MAX. AT 500 VAC 60 Hz ONE MINUTE, (BETWEEN FRAME AND (+) TERMINAL)
EXTERNAL COVER	OPEN TYPE
LIFE EXPECTANCE	50,000 HOURS CONTINUOUS OPERATION AT 40 °C WITH 15 ~ 65 %RH.
ROTATION	CLOCKWISE VIEW FROM NAME PLATE SIDE
OVER CURRENT SHUT DOWN	THE CURRENT WILL SHUT DOWN WHEN LOCKING ROTOR
INSULATION TYPE	UL: CLASS A
LEAD WIRE	UL 1430 -F- AWG #22 BLACK WIRE NEGATIVE(-) RED WIRE POSITIVE(+) UL 1061 -F- AWG #24 BLUE WIRE FREQUENCY (-F00)

- NOTES: 1. ALL READINGS ARE MEASURED AFTER STABLY WARMING UP THROUGH 10 MINUTES.
2. THE VALUES WRITTEN IN PARENS , (), ARE LIMITED SPEC.
3. ACOUSTICAL NOISE MEASURING CONDITION:



NOISE IS MEASURED AT RATED VOLTAGE IN FREE AIR IN ANECHOIC CHAMBER WITH B & K SOUND LEVEL METER WITH MICROPHONE AT A DISTANCE OF ONE METER FROM THE FAN INTAKE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. MECHANICAL:

- 3-1. DIMENSIONS ----- SEE DIMENSIONS DRAWING
 3-2. FRAME ----- PLASTIC UL: 94V-0
 3-3. IMPELLER ----- PLASTIC UL: 94V-0
 3-4. BEARING SYSTEM ----- TWO BALL BEARINGS
 3-5. WEIGHT ----- 295 ±10 GRAMS

4. ENVIRONMENTAL:

- 4-1. OPERATING TEMPERATURE ----- -10 TO +60 DEGREE C
 4-2. STORAGE TEMPERATURE ----- -40 TO +75 DEGREE C
 4-3. OPERATING HUMIDITY ----- 5 TO 90 % RH
 4-4. STORAGE HUMIDITY ----- 5 TO 95 % RH

5. PROTECTION:

5-1. LOCKED ROTOR PROTECTION

IMPEDANCE OF MOTOR WINDING PROTECTS MOTOR FROM FIRE IN 96 HOURS OF LOCKED ROTOR CONDITION AT THE RATED VOLTAGE.

5-2. POLARITY PROTECTION

BE CAPABLE OF WITHSTANDING IF REVERSE CONNECTION FOR POSITIVE AND NEGATIVE LEADS.

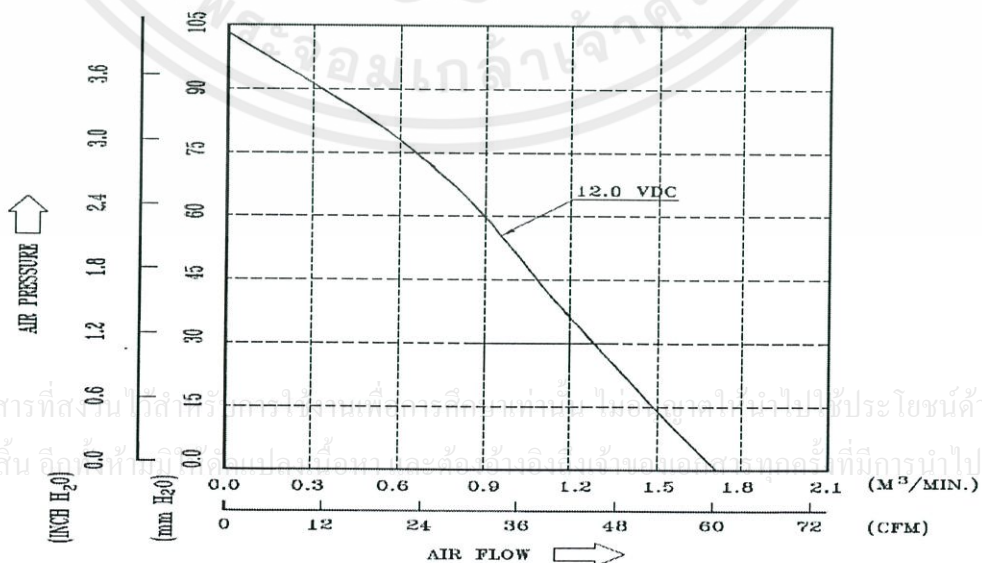
6. RE OZONE DEPLETING SUBSTANCES:

- 6-1. NO CONTAINING PBBs, PBBOs, CFCs, PBBEs, PBDPEs AND HCFCs.

7. PRODUCTION LOCATION

- 7-1. PRODUCTS WILL BE PRODUCED IN CHINA OR THAILAND OR TAIWAN.

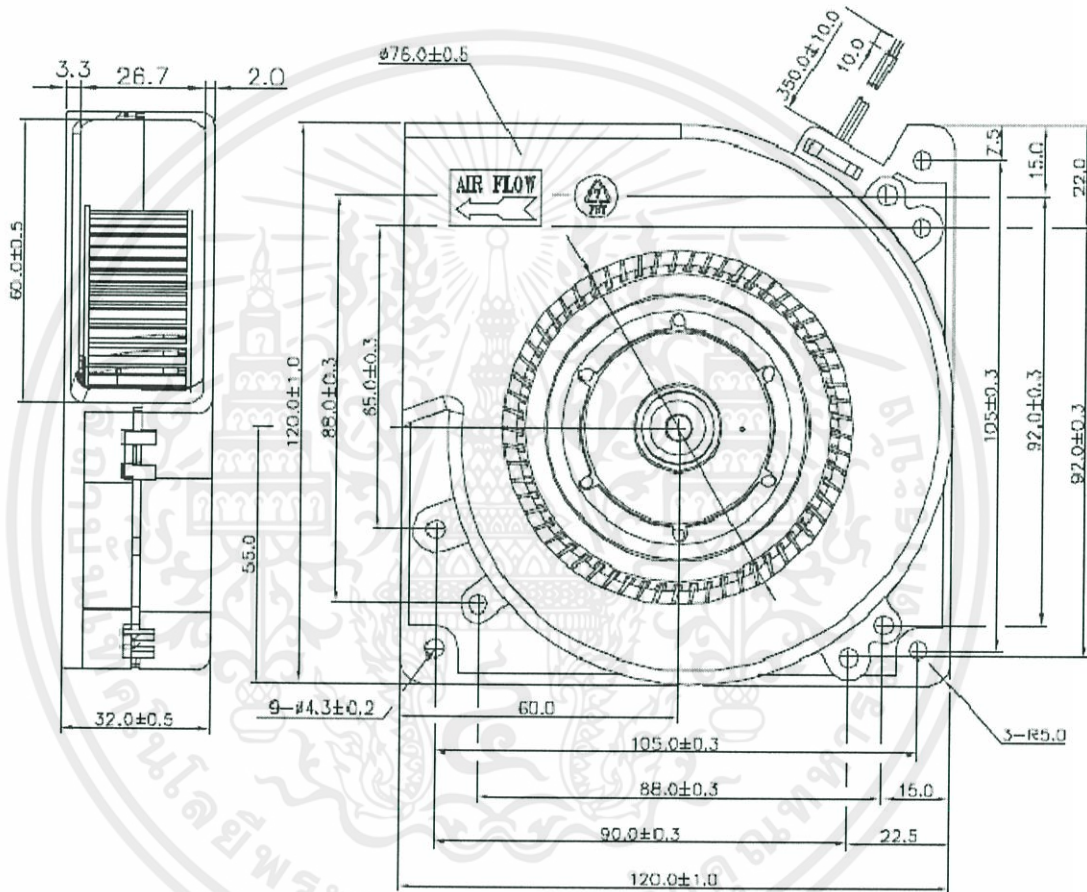
B. P & Q CURVE:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏและขอสงวนไว้ว่าข้อมูลและรายละเอียดที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้เป็นการนำไปใช้

9. DIMENSION DRAWING:

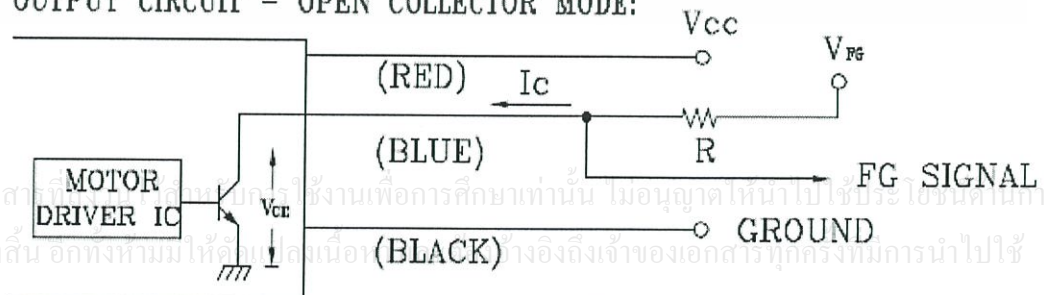
LABEL:



UNIT: mm

10. FREQUENCY GENERATOR (FG) SIGNAL:

1. OUTPUT CIRCUIT - OPEN COLLECTOR MODE:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ออกทั้งหมดนี้ให้ดูเป็นเนื้อที่ของเอกสารนี้ทุกครั้งในการนำไปใช้

CAUTION: THE FG SINGAL LEAD WIRE MUST BE KEPT AWAY FROM
 "+ " LEAD WIRE & "- " LEAD WIRE.

2. SPECIFICATION:

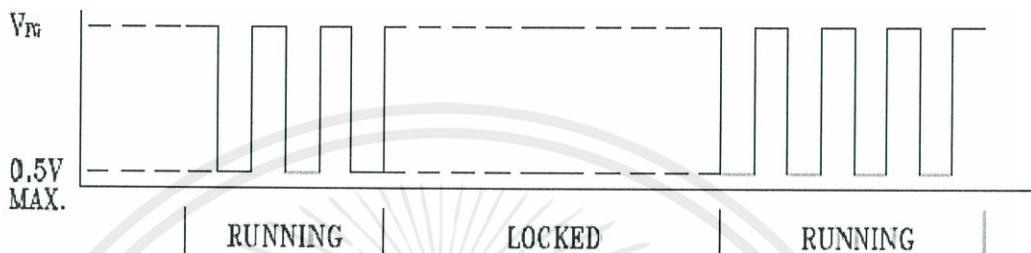
$V_{cs}(sat)=0.5V \text{ MAX}$

$V_{rc}=13.2V \text{ MAX}$

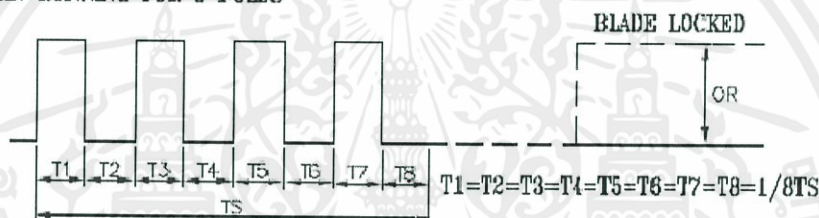
$I_c =5mA \text{ MAX.}$

$R \geq V_{rc}/I_c$

3. FREQUENCY GENERATOR WAVEFORM:



FAN RUNNING FOR 8 POLES



$N=R.P.M$

$T_S=60/N(\text{SEC})$

*VOLTAGE LEVEL AFTER BLADE LOCKED

*8 POLES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ส่วนของโปรแกรม

ข.1 โค้ดที่เขียนในโปรแกรม Arduino สำหรับทดสอบเซนเซอร์ ในระยะต่างๆ

```
int IN2 = 5;
int EN1 = 3;
int EN2 = 6;
int IN3 = 7;
int IN4 = 8;
int Inputsensor;
int sensorPin = A0;
int sensorValue = 0;

void setup()
{
  pinMode(IN1,OUTPUT);
  pinMode(IN2,OUTPUT);
  pinMode(IN3,OUTPUT);
  pinMode(IN4,OUTPUT);
  pinMode(EN1,OUTPUT);
  pinMode(EN2,OUTPUT);

  Serial.begin(19200);
}

void loop()
{
  digitalWrite ( IN1 ,HIGH );
  digitalWrite ( IN2 ,LOW );
  digitalWrite ( IN3 ,HIGH );
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดโดยไม่ได้รับอนุญาตล่วงหน้าจากผู้จัดทำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
digitalWrite ( IN4 ,LOW );  
sensorValue = analogRead(sensorPin);  
int Inputsensor = map(sensorValue,0,1024,0,255);  
analogWrite ( EN1, 200 );  
analogWrite ( EN2, 200 );  
  
Serial.println(Inputsensor,DEC);  
delay (10);  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 โค้ดที่ใช้เขียนในโปรแกรม Arduino สำหรับขับเคลื่อนให้มอเตอร์ทำงานตามคำสั่งที่ต้องการ

```

int sensorX = A0;
int IN1 = 4;
int IN2 = 5;
int EN1 = 3;
int EN2 = 6;
int IN3 = 7;
int IN4 = 8;
int Inputsensor;
int Inputserial;
int OutputDrive;
int sensorXValue = 0;
int ReadByte =0;
int note;

void setup()
{
  pinMode(IN1,OUTPUT);
  pinMode(IN2,OUTPUT);
  pinMode(IN3,OUTPUT);
  pinMode(IN4,OUTPUT);
  pinMode(EN1,OUTPUT);
  pinMode(EN2,OUTPUT);

```

```

  Serial.begin(19200);

```

```

  Serial.println("=====");

```

```

  Serial.println("Press Anykey in Centimate.....");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

```

```

void loop()
{
  if(Serial.available()>0)
  {
    ReadByte = Serial.read();
    Serial.println(ReadByte);
    int Inputserial = map(ReadByte,48,57,255,120);

    sensorXValue = analogRead(sensorX);

    digitalWrite ( IN1 ,HIGH );
    digitalWrite ( IN2 ,LOW );
    digitalWrite ( IN3 ,HIGH );
    digitalWrite ( IN4 ,LOW );

    int Inputsensor = map(sensorXValue,0,1024,0,255);
    for ( note = 0; note < 10000; note ++ ) {
      if( Inputsensor < Inputserial )
      {
        Inputsensor++;
        analogWrite ( EN1, Inputsensor );
        analogWrite ( EN2, Inputsensor );
        Serial.println("InPuTSenSor");
        Serial.println(Inputsensor);
        Serial.println("InPut");
        Serial.println(Inputserial);
        note++;
        delay (10);
      }
      if(Inputsensor > Inputserial)
      {
        Inputsensor--;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    analogWrite ( EN1, Inputsensor );  
    analogWrite ( EN2, Inputsensor );  
    note++;  
    delay (10);  
    Serial.println(Inputsensor,DEC);  
  }  
}  
Serial.println(Inputserial,DEC);  
}  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

โปสเตอร์



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
Control Engineering

การลอยตัวของลูกบอลด้วยลมและการควบคุม
PNEUMATIC FLOATING BALL AND CONTROL

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้จะศึกษาในเรื่องการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นสำหรับระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนอากาศ ประกอบด้วยวงจรซีมมอเตอร์ แล้วจึงเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษา ซีพลัสพลัส สำหรับอาร์ดูโน เพื่อตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลจากเซนเซอร์วัดระยะทาง ซึ่งส่งมายังคอมพิวเตอร์ผ่านทางบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ประมวลผลหาค่าสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม โดยอาศัยแนวคิดระบบควบคุมที่แบบเวลาติดคริต และส่งสัญญาณควบคุมผ่านทางพอร์ตขนานสำหรับควบคุมมอเตอร์ให้ทำการแสดงเพื่อนำไปลงความเร็วมอเตอร์ของพัดลม เพื่อปรับให้เหมาะสมตามที่ต้องการ



วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีระบบมากยิ่งขึ้น
2. สามารถนำความรู้ในสาขาวิชาประยุกต์ใช้ในโครงงานได้
3. สามารถออกแบบและสร้างระบบควบคุมการลอยของลูกบอลในอากาศ
4. สามารถควบคุมการลอยตัวของลูกบอลได้ที่ตำแหน่งความสูงต่าง ๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่ได้จากการทำโครงงานชิ้นนี้

1. สามารถนำความรู้ที่ได้รับจากการศึกษาทฤษฎีมาปฏิบัติได้จริง
2. มีความเข้าใจในการทำงานของวงจรีเล็กทรอนิกส์มากขึ้น
3. มีความเข้าใจในทฤษฎีระบบควบคุมมากขึ้นจากโครงงานที่ได้สร้างขึ้น
4. สามารถทำงานเป็นทีมร่วมกับผู้อื่นได้

หลักการทำงาน



