อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์รถ เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง

CAR ROBOT SPEED CONTROL USING MICROCONTROLLER UNDER VARIABLE LOAD

นางสาวนุชนาฏ ซื่อสัตย์ รหัส 55364077

นางสาวภิญญาพัชญ์ เปริญกุล รหัส 55364183

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 11 ต.ค. 2560
เลขทะเบียน 1.7196143
เลขเรียกหนังสือ ป
น724ก
2558

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2558

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์รถเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวนุชนาฏ ชื่อสัตย์ รหัส 55364077

นางสาวภิญญาพัชญ์ เปริญกุล รหัส 55364183

ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มุฑิตา สงฆ์จันทร์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2558

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มุฑิตา สงฆ์จันทร์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

.....กรรมการ

(ดร. สราวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์รถเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวนุชนาฏ ซื่อสัตย์ รหัส 55364077
	นางสาวภิญญาพัชญ์ เปริญกุล รหัส 55364183
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มุฑิตา สงฆ์จันทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์รถที่สามารถควบคุมความเร็วให้มีขนาดคงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด ซึ่งหุ่นยนต์รถที่สร้างขึ้นสามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 โวลต์ในการขับเคลื่อน และโหลดที่ใช้ในการเพิ่มน้ำหนักของหุ่นยนต์รถต้องมีขนาดไม่เกิน 5 กิโลกรัม โดยใช้โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจขนาด 5 กิโลกรัมเป็นเครื่องมือในการวัดน้ำหนัก ซึ่งกระบวนการทำงานของหุ่นยนต์รถจะเริ่มต้นการทำงานโดยรับค่าน้ำหนักจากโหลดเซลล์ส่งผ่านไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์รถให้กลับมาคงที่ที่ค่ากำหนด จากการทดลองจะเห็นว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก ความเร็วของหุ่นยนต์รถสามารถกลับมาคงที่ได้

Project title	Car Robot Speed Control using Microcontroller under Variable Load
Name	Miss. Nutchanat Suesat ID. 55364077
	Miss. Phinyapatch Paringul ID. 55364183
Project advisor	Assistant Professor Mutita Songjun, Ph.D.
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic year	2015

.....

Abstract

This thesis is to design and construct a car robot controlled at the desired speed when the load is varied. The robot can be moved by using two 12 V-DC motors. The load obtained to the robot is between 0 – 5 kilograms and it is measured by load cell which the strain gauge type is selected. The process is to control the robot speed by obtaining the signal from load cell when the load is changed. Then the signal is sent to microprocessor to adjust the reduced speed back to the desired speed at the beginning. The results show that the robot can move at the desired speed as the load is varied.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงงานขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตาจารย์ ดร. มุฑิตา สงฆ์จันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ซึ่งเอาใจใส่ในรายละเอียดทุกขั้นตอนของการดำเนินโครงงาน โดยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งโครงงานสำเร็จลุล่วง รวมถึงแนะนำหลักการเขียนปริญญานิพนธ์ และตรวจทานแก้ไขอย่างละเอียดจนได้ปริญญานิพนธ์เป็นรูปเล่มสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย และ ดร. สราวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์ ซึ่งเป็นคณะกรรมการโครงงาน ที่ให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาการทำโครงงาน จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ในท้ายที่สุดนี้ เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งท่านได้ให้การสนับสนุนในทุกด้านเกี่ยวกับการศึกษาของผู้ดำเนินโครงงาน รวมทั้งมอบความรัก ความเมตตา และคอยเป็นกำลังใจให้จนประสบความสำเร็จในวันนี้

นางสาวนุชนาฏ ซื่อสัตย์
นางสาวภิญญาพัชญ์ เปริญกุล

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.6 งบประมาณที่ใช้ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 4
2.1.1 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ 5
2.1.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR 6
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 7
2.2.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 7
2.2.2 การทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 9
2.2.3 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 13
2.2.4 การกลับทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง 14
2.2.5 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 15
2.3 โหลดเซลล์ 16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 20

3.1 การอออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์รถ 20

3.2 การสร้างหุ่นยนต์รถ 22

3.3 วงจรที่ใช้ในหุ่นยนต์รถ 24

3.3.1 วงจรส่วนจ่ายไฟ 24

3.3.2 วงจรส่วนส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ 25

3.3.3 วงจรส่วนควบคุมสัญญาณเป้อนกลับ 25

3.4 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์รถ 26

บทที่ 4 ผลการทดลอง 27

4.1 ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่เมื่อมีการบรรทุกน้ำหนักขนาด 1 - 5 กิโลกรัม 27

4.2 ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่เมื่อความเร็วมีการเปลี่ยนแปลง 29

4.3 ทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของหุ่นยนต์รถ 40

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 43

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 43

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 43

5.3 แนวทางในการพัฒนา 44

เอกสารอ้างอิง 45

ภาคผนวก ก รายละเอียดข้อมูลของ ATmega328P 46

ภาคผนวก ข รายละเอียดข้อมูลของ L298 54

ภาคผนวก ค รายละเอียดข้อมูลของ Hx711 68

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 78

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน 2

4.1 ตารางการทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาทีเมื่อใส่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม 28

4.2 ตารางการทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาทีเมื่อใส่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม 28

4.3 ตารางการทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาทีเมื่อใส่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม 29

4.4 ตารางการทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาทีเมื่อใส่น้ำหนัก 4 กิโลกรัม 29

4.5 ตารางการทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาทีเมื่อใส่น้ำหนัก 5 กิโลกรัม 29

4.6 ตารางการทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ทั้ง 3 ระดับเมื่อใส่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม 30

4.7 ตารางการทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ทั้ง 3 ระดับเมื่อใส่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม 33

4.8 ตารางการทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ทั้ง 3 ระดับเมื่อใส่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม 34

4.9 ตารางการทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ทั้ง 3 ระดับเมื่อใส่น้ำหนัก 4 กิโลกรัม 36

4.10 ตารางการทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ทั้ง 3 ระดับเมื่อใส่น้ำหนัก 5 กิโลกรัม 37

4.11 ตารางการทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ทั้ง 3 ระดับเมื่อบรรทุกน้ำหนัก 38

4.12 ตารางการทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์รถ 40

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATmega328P-PU 6
2.2 ขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P-PU 7
2.3 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 7
2.4 เปลือกหรือโครงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 8
2.5 ขั้วแม่เหล็กที่สร้างจากการพันขดลวด 8
2.6 โรเตอร์ 9
2.7 วงจรภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 10
2.8 สมการไฟฟ้าของมอเตอร์ 13
2.9 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม 15
2.10 การแสดงความกว้างของพัลท์ขนาดต่างๆ และค่าดิวตี้ไซเคิล ของช่วงพัลท์ที่มีความถี่คงที่ 16
2.11 สเตรนเกจ (ก) แบบยึดติด (ข) แบบไม่ยึดติด 16
2.12 การคำนวณหาความเค้น 17
2.13 วงจรบริดจ์เมื่อเชื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 18
3.1 รูปแบบและขนาดส่วนฐานของหุ่นยนต์รถ 20
3.2 รูปแบบชั้นที่ 2 ของหุ่นยนต์รถ 21
3.3 การติดตั้งบอร์ดวงจร 22
3.4 การติดตั้งแผ่นอะคริลิค เพื่อเป็นที่วางโหลดเซลล์และแท่นใส่น้ำหนัก 23
3.5 โครงสร้างหุ่นยนต์รถที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ 24
3.6 วงจรภาคจ่ายไฟ 24
3.7 วงจรขับมอเตอร์โดยวงจรรวมเบอร์ L298N 25
3.8 ภาพแสดงระบบควบคุมแบบป้อนกลับของตัวควบคุม 26
3.9 แผนภาพแสดงการทำงานของหุ่นยนต์รถ 27
4.2 กราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 3 ระดับเมื่อใส่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม 31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.3 กราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 3 ระดับเมื่อใส่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม 33
4.4 กราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 3 ระดับเมื่อใส่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม 35
4.5 กราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 3 ระดับเมื่อใส่น้ำหนัก 4 กิโลกรัม 36
4.6 กราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 3 ระดับเมื่อใส่น้ำหนัก 5 กิโลกรัม 37
4.7 กราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 3 ระดับเมื่อใส่น้ำหนัก 39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

การเคลื่อนย้ายสินค้าในโรงงานหรือคลังสินค้าในปัจจุบัน มีรูปแบบการเคลื่อนย้ายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนย้ายสินค้าระหว่างพื้นที่ที่ทำงาน การเคลื่อนย้ายสินค้าภายในสายการผลิตหรือระหว่างสายการผลิต การเคลื่อนย้ายสินค้าระหว่างฝ่ายในโรงงานหรือระหว่างโรงงาน และการเคลื่อนย้ายสินค้าในระบบการขนส่ง ซึ่งการเคลื่อนย้ายสินค้าในแต่ละรูปแบบนั้นมีความเหมาะสมในการเคลื่อนย้ายแตกต่างกันไป มักขึ้นอยู่กับปริมาณสิ่งของ ระยะทาง เวลาและค่าใช้จ่ายในการเคลื่อนย้ายสินค้า การเคลื่อนย้ายสินค้าโดยใช้เครื่องจักรเป็นรูปแบบการเคลื่อนย้ายที่ได้รับความนิยมใช้เคลื่อนย้ายสินค้าภายในโรงงานหรือคลังสินค้ามากที่สุด คือ การใช้รถเคลื่อนย้ายสินค้าไม่ว่าจะเป็นรถยก รถลากจูง ปั้นจั่น รางเลื่อนและการเคลื่อนย้ายสินค้าแบบอัตโนมัติ ปัจจุบันได้นำการเคลื่อนย้ายสินค้าแบบอัตโนมัติมาเป็นยานพาหนะในการเคลื่อนย้ายสินค้า ซึ่งข้อดีที่สำคัญที่สุดของการเคลื่อนย้ายในรูปแบบนี้ คือ ทำให้ประหยัดเวลา ค่าใช้จ่าย และแรงงานคนในการทำงาน ส่วนข้อเสียของการเคลื่อนย้ายในรูปแบบนี้ คือ การเคลื่อนย้ายสินค้าสามารถเคลื่อนย้ายได้ในปริมาณที่จำกัด โดยถ้าหากเคลื่อนย้ายสินค้าในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ได้ช้าลง ซึ่งเป็นเหตุทำให้สูญเสียพลังงาน เนื่องจากความเร็วของยานพาหนะแปรผกผันกับน้ำหนักสินค้าที่เคลื่อนย้าย คือ เมื่อน้ำหนักสินค้าที่เคลื่อนย้ายเพิ่มมากขึ้นความเร็วของยานพาหนะก็จะช้าลง

ผู้จัดทำโครงงานได้เล็งเห็นถึงปัญหาและความสำคัญนี้ จึงสร้างแบบจำลองหุ่นยนต์รถที่สามารถควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์รถให้มีขนาดคงที่ ไม่ขึ้นกับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์รถ ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนย้ายสินค้าในโรงงานหรือคลังสินค้าในปัจจุบันได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์รถที่สามารถควบคุมความเร็วให้มีขนาดคงที่ เมื่อโหลดของหุ่นยนต์รถมีการเปลี่ยนแปลง

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1) สร้างหุ่นยนต์รถที่มีขนาด กว้าง 23 เซนติเมตร ยาว 28 เซนติเมตร และสูง 20 เซนติเมตร โดยใช้วัสดุที่ทำจากอลูมิเนียม และอะคริลิค

2) ใช้โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATmega328P-PU ด้วยภาษาซี

3) ความเร็วของหุ่นยนต์รถมีขนาดคงที่ไม่เกิน 1 เมตรต่อวินาที

4) โหลดที่ใช้ในการเพิ่มน้ำหนักของหุ่นยนต์รถ คือ ก้อนน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม จำนวน 5 ก้อน โดยใช้โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจเป็นเครื่องมือในการวัดน้ำหนัก

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

การปฏิบัติงาน	พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2559								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ศึกษารูปแบบและโครงสร้างของรถบรรทุกเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างหุ่นยนต์รถ									
2.ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์รถที่มีขนาดกว้าง 23 เซนติเมตร ยาว 28 เซนติเมตร และสูง 20 เซนติเมตร									
3.ศึกษาหลักการทำงานของ โหลดเซลล์ , มอเตอร์กระแสตรง , บอร์ดขับมอเตอร์กระแสตรง , ออดูอิโน่									
4.เขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์รถ โดยใช้โปรแกรมภาษาซี									
5.ทำการทดสอบหุ่นยนต์รถ ปรับปรุงแก้ไขในส่วนของการเคลื่อนที่และโปรแกรมควบคุม									
6.สรุปผลและทำรูปเล่มโครงงาน									

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

ได้หุ่นยนต์รถที่สามารถควบคุมความเร็วด้วยหลักการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนย้ายสินค้าในโรงงานหรือคลังสินค้า เพื่อประหยัดเวลา ค่าใช้จ่าย และแรงงานคนในการทำงาน

1.6 งบประมานในการทำโครงงาน

1) วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างหุ่นยนต์รถ	5,000 บาท
2) จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์	1,000 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (หกพันบาทถ้วน)	6,000 บาท

หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากโครงงานนี้เป็นการสร้างหุ่นยนต์รถที่สามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 5 กิโลกรัมและมีความเร็วคงที่ โดยนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์รถเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง จึงจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงาน รูปแบบการทำงาน ภาษาของแผงวงจร ออดูอิโน่ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบวงจรควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์รถและมอเตอร์กระแสตรงในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์รถ รวมทั้งแผงวงจร ออดูอิโน่ นอกจากนี้ยังเลือกใช้โหลดเซลล์เป็นอุปกรณ์ในการวัดค่าน้ำหนักของโหลด

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นอุปกรณ์ไอซี ที่สามารถทำโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน รับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิตอลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิตอลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในชิพจะมีหน่วยความจำ พอร์ต อยู่ในชิพเพียงตัวเดียวซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม คือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องต่อวงจรภายนอกต่างๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโปรเซสเซอร์ ก็จะทำการรวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ, ส่วนอินพุต/เอาท์พุตบางส่วนเข้าไปในตัวไอซีเดียวกันและเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้ในงานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อคเป็นดิจิตอล เป็นต้น สรุปคือ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ = ไมโครโปรเซสเซอร์ + หน่วยความจำ + อินพุต/เอาท์พุต

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยมักจะเป็นการนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานบางอย่าง เช่น ใช้ในรถยนต์, เตาอบไมโครเวฟ, เครื่องปรับอากาศ, เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ เป็นต้น เพราะว่าไมโครคอนโทรลเลอร์มีข้อดีเหมาะสมต่อการใช้ในงานควบคุมหลายประการ เช่น

1) วงจรที่ได้จะมีความซับซ้อนน้อย ช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร

2) มีคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับงานควบคุมโดยเฉพาะซึ่งใช้งานได้ง่าย

3) ระบบที่ได้มีราคาถูกกว่าการใช้ชิพไมโครโปรเซสเซอร์

4) ช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบได้

5) ชิพไอซีและระบบที่ได้มีขนาดเล็ก

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายยี่ห้อ หลายตระกูล และหลายเบอร์ด้วยกัน ซึ่งแต่ละเบอร์ก็จะมีโครงสร้างภายในและความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกันทำให้เลือกใช้กับงานได้อย่างเหมาะสม

2.1.1 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีส่วนประกอบหลักภายในอยู่ 6 ส่วนด้วยกัน คือ

1) ส่วนประมวลผล

2) ส่วนความจำแรม

3) ส่วนความจำรอม

3.1) พรอม : เป็นหน่วยความจำที่สามารถบันทึกด้วยเครื่องบันทึกพิเศษได้หนึ่งครั้ง และไม่สามารถลบหรือแก้ไขได้

3.2) อีพรอม : เป็นหน่วยความจำที่สามารถบันทึกโดยใช้เครื่องมือพิเศษ และสามารถลบข้อมูลโดยใช้แสงอัลตราไวโอเลต

3.3) อีอีพรอม : เป็นหน่วยความจำที่ผู้ใช้สามารถลบข้อมูลได้ โดยอาศัยการกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าปกติจนทำให้ข้อมูลที่อยู่ภายในสูญหายไปและสามารบันทึกคำสั่งหรือโปรแกรมใหม่ได้

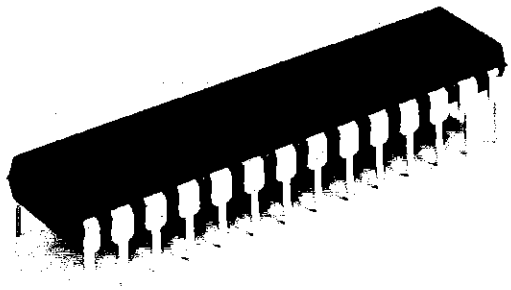
4) ส่วนเชื่อมต่อภายนอก

5) ส่วนจับเวลาและตัวนับ

6) ส่วนควบคุมการขัดจังหวะการทำงาน

จากส่วนประกอบทั้งหมดนั้นจะเห็นว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์มีความเป็นคอมพิวเตอร์ที่สมบูรณ์แบบในตัวเอง เนื่องจากมันสามารถรับค่าเข้าไปคำนวณและแสดงผลลัพธ์ออกมาได้ สิ่งที่ไมโครคอนโทรลเลอร์แตกต่างจากคอมพิวเตอร์ที่เราเห็นอยู่ในท้องตลาด คือ การที่อินพุตและเอาท์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นสัญญาณไฟฟ้าดิจิตอล ไม่ใช่คีย์บอร์ดหรือจอคอมพิวเตอร์อย่างที่เราคุ้นเคยกัน จึงเป็นที่นิยมนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งานเพราะมีขนาดที่เล็ก อุปกรณ์ที่จะนำมาต่อร่วมมีน้อยและเหมาะสำหรับใช้งานในการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนมากนัก

2.1.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR

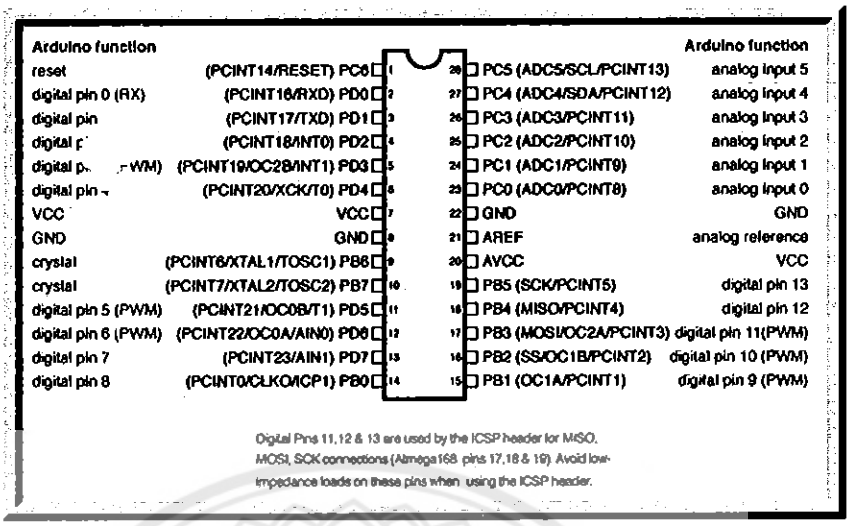


รูปที่ 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATmega328P-PU

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท Atmel มีสถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ RISC โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกในการปฏิบัติงานใน 1 คำสั่ง โดยจะประกอบด้วยหน่วยความจำโปรแกรมภายในที่เป็นแบบแฟลช โปรแกรมข้อมูลได้แบบ In-System programmable และในบางเบอร์ยังสามารถมีการกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำที่สร้างเป็นบูตโหลดเดอร์ (เขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับ PC หรือไอซีตัวอื่นๆ และยังสามารถโปรแกรมให้กับตัวเองได้) มีขนาดของหน่วยความจำตามเบอร์ของไอซีแต่ละตัว ยกตัวอย่างคุณสมบัติเบื้องต้นของไอซีเบอร์ ATmega328P-PU ได้ดังต่อไปนี้

1) หน่วยความจำโปรแกรมแบบ แฟลช ขนาด 32 กิโลบิต
2) หน่วยความจำข้อมูลแบบ เอสแรม ขนาด 2 กิโลบิต
3) หน่วยความจำข้อมูลแบบ อีอีพรอม ขนาด 1 กิโลบิต
4) สนับสนุนการเชื่อมต่อแบบ I2C บัส
5) พอร์ตอินพุตและเอาต์พุตจำนวน 23 บิต
6) วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต ในตัวจำนวน 8 ช่อง
7) ทำงานได้ตั้งแต่ย่านแรงดัน 1.8 - 5.5 โวลต์
8) ความถี่ใช้งานสูงสุด 20 เมกะเฮิรตซ์
9) วงจรสื่อสารอนุกรม
10) ตัวจับเวลาและตัวนับ ขนาด 8 บิต จำนวน 2 ตัว และ U3586 ขนาด 16 บิต 1 ตัว
11) สนับสนุนช่องสัญญาณสำหรับการสร้างสัญญาณพีคับเบิลยูเอ็ม (PWM) จำนวน 6 ช่อง

2.1.3 โครงสร้างภายนอกและตำแหน่งขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR

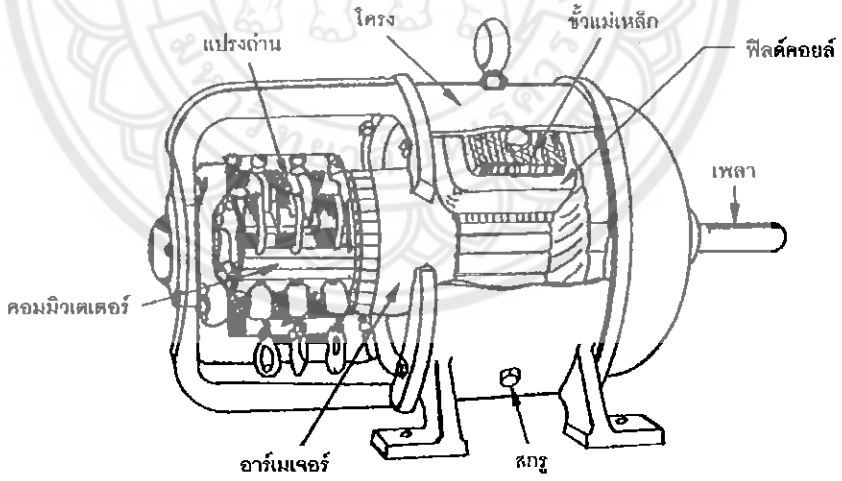


รูปที่ 2.2 ขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P-PU

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

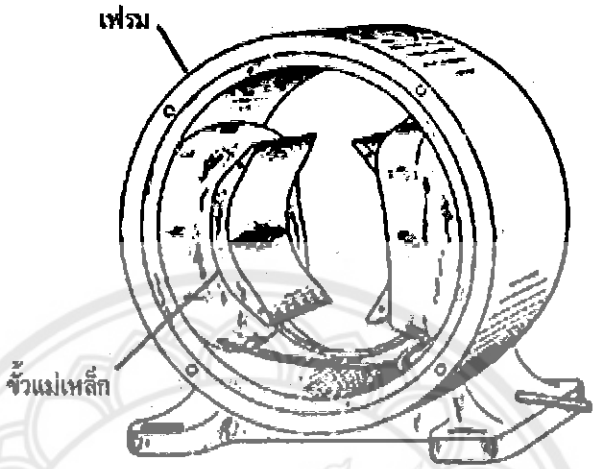
โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 โดยมีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1) สเตเตอร์ เป็นส่วนของมอเตอร์ไฟฟ้าที่อยู่กับที่ ประกอบด้วย

1.1) เปลือกหรือโครง เป็นทางเดินให้กับเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่น ให้มีความแข็งแรง ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาม้วนเป็นรูปทรงกระบอกกลมแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

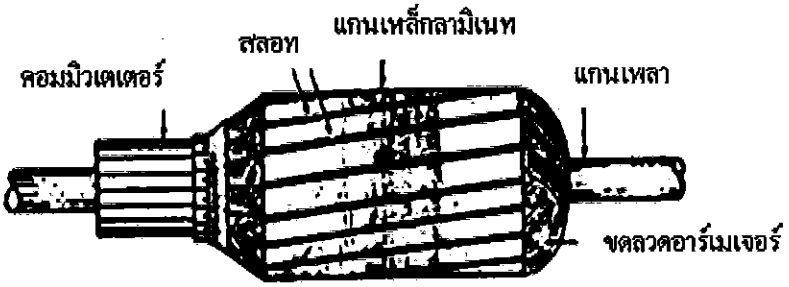


รูปที่ 2.4 เปลือกหรือโครงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1.2) ขั้วสนามแม่เหล็ก เป็นส่วนที่ใช้ในการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กแสดงได้ดัง รูปที่ 2.5 เมื่อตัวนำในขดลวดอาร์เมเจอร์หมุนตัดผ่านฟลักซ์แม่เหล็กนี้จะเกิดการเหนี่ยวนำขึ้น

รูปที่ 2.5 ขั้วแม่เหล็กที่สร้างจากการพันขดลวด

2) โรเตอร์ เป็นส่วนที่ทำให้เกิดกำลังมีลักษณะดังรูปที่ 2.6 ซึ่งมีแกนวางอยู่ในรองลื่นประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้ายของมอเตอร์



รูปที่ 2.6 โรเตอร์

โรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

2.1) แกนเพลา เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ประกอบเป็นตัวโรเตอร์ แกนเพลานี้วางอยู่บนรองลื่นเพื่อบังคับให้หมุนโดยไม่มีการสั่นสะเทือน

2.2) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์เมเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด คอมมิวเตเตอร์ ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่ แต่ละซี่มีฉนวนไมกา คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์มีร่องสำหรับใส่ปลายสาย

2.3) ขดลวดอาร์เมเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลาเป็น ทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน

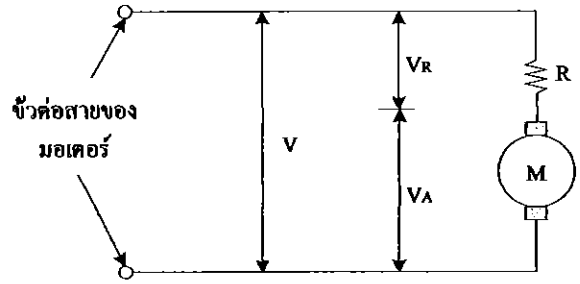
2.4) ขดลวดอาร์เมเจอร์ เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสล็อต ของแกนอาร์เมเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่ และจำนวนรอบจะมากหรือน้อย นั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้น เพื่อให้เหมาะสมกับงานต่าง

3) แปรงถ่าน อาจทำจากส่วนผสมของคาร์บอนกับกราไฟต์หรือคาร์บอนกับทองแดงทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากวงจรภายนอกส่งไปยังคอมมิวเตเตอร์

2.2.2 หลักการเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1) แรงดันมอเตอร์

พิจารณาแรงดันที่ป้อนและความต้านทานของโรเตอร์ด้วย วงจรภายในของมอเตอร์เขียนได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โดยสมมติให้ทุ่นโรเตอร์ไม่มีความต้านทานอยู่เลย อนุกรมกับความต้านทานซึ่งในที่นี้ก็คือความต้านทานของขดลวดนั่นเอง แรงดันที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์ก็คือผลบวกระหว่างแรงดันที่ทุ่นโรเตอร์ (V_A) และ แรงดันตกคร่อมความต้านทานขดลวด (V_R)

แรงดัน V_A ถูกเรียกว่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำป้อนกลับ (BACK EMF) ซึ่งเกิดขึ้นในโรเตอร์ขณะที่หมุนแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตากกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก สัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวนำ แรงดันที่เกิดขึ้นจะมีขั้วตรงกันข้ามกับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และแปรผันตรงกับความเร็วในการหมุน ผลบวกของแรงดันที่ทุ่นโรเตอร์ (V_A) และแรงดันตกคร่อมขดลวด (V_R) ต้องเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ (V)

$$V = V_A + V_R \qquad [\text{โวลต์}] \tag{2.1}$$

2) กระแสมอเตอร์

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

$$I = V_R / R \qquad [\text{แอมแปร์}] \tag{2.2}$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะมีความเร็ว และ V_A เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว V_R ซึ่งมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่าง V_A และ V จะเริ่มลดลงกระแส I ก็จะเริ่มลดลงเช่นกันขณะที่มอเตอร์ยังมีความเร่งอยู่ ความเร็วจะเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลงจนกว่าจะถึงจุดซึ่งแรงบิดของมอเตอร์รับภาระโหลดได้สมดุลพอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด และ หมุนอย่างอิสระจะมีเพียงค่าความฝืดของแบริ่ง และ แรงต้านอากาศทำให้ V_A เกือบเท่ากับค่า V

3) แรงผลักตัวนำในสนามแม่เหล็ก

แรงผลักตัวนำให้เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นย่อมขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ให้ไหลผ่านตัวนำในสนามแม่เหล็ก กับเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้ ดังนี้

$$F = B \cdot \ell \cdot I \qquad \text{[นิวตัน]} \tag{2.3}$$

เมื่อ F = แรงผลักตัวนำ [นิวตัน/ตัวนำ]

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงเหล็กในสนามแม่เหล็ก [เทสลา]

ℓ = ความยาวของตัวนำในสนามแม่เหล็ก [เมตร]

I = กระแสไฟฟ้าที่ให้ไหลผ่านตัวนำในสนามแม่เหล็ก [แอมแปร์]

เมื่อมีหลายตัวนำจะเกิดแรงผลักตัวนำในสนามแม่เหล็ก ดังนี้

$$F = B \cdot \ell \cdot I \cdot Z \qquad \text{[นิวตัน]} \tag{2.4}$$

เมื่อ Z = จำนวนตัวนำทั้งหมดในสนามแม่เหล็ก [ตัวนำ]

4) ทอร์คของตัวนำ

ทอร์ค คือ โมเมนต์หมุนหรือแรงบิด เป็นผลคูณระหว่างแรงกับแขนแรง ดังนี้

$$T = F \cdot R = F_A \cdot r = B \cdot \ell \cdot I \cdot Z \cdot R \qquad \text{[นิวตันเมตร]} \tag{2.5}$$

เมื่อ T = ทอร์ค: แรงบิด : โมเมนต์หมุน [นิวตันเมตร]

F = แรงฉุดหรือแรงผลักตัวนำ [นิวตัน]

R = รัศมีของอาร์เมเจอร์ : แขนแรง [เมตร]

F_A = แรงดึงสายพานสำหรับหมุนขับงาน [นิวตัน]

r = รัศมีของล้อขับสายพาน : แขนแรง [เมตร]

5) ทอร์คของมอเตอร์

$$T = F \cdot R = B \cdot \ell \cdot I \cdot Z \cdot R$$

$$B = \Phi / A \tag{2.6}$$

เมื่อ B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก [เทสลา]

Φ = เส้นแรงแม่เหล็ก/ขั้ว [เวเบอร์]

A = พื้นที่หน้าตัดของแกนขั้วแม่เหล็ก [ตารางเมตร]

$$I = I_A / a \tag{2.7}$$

เมื่อ I = กระแสไฟฟ้าที่ให้ไหลผ่านตัวนำ [แอมแปร์/ตัวนำ]

I_A = กระแสอาร์เมเจอร์ (วัดที่ขั้วอาร์เมเจอร์) [แอมแปร์]

a = จำนวนวงจรไฟฟ้าคู่ขนานบนขดลวดอาร์เมเจอร์ [วงจร]

เมื่อพันขดลวดแบบ "Lap Winding" $a = n_C \cdot P$ และเมื่อพันขดลวดแบบ "Wave Winding" $a = 2 \cdot n_C$

$$F = (\Ø/A) \cdot \ell \cdot (I_A / a) \cdot Z = \Ø \cdot \ell \cdot I_A \cdot Z/A \cdot a \tag{2.8}$$

$$T = \Ø \cdot \ell \cdot I_A \cdot Z \cdot r/A \cdot a \tag{2.9}$$

ให้ K = ค่าคงที่ของมอเตอร์

$$K = \ell \cdot Z \cdot r/A \cdot a \tag{2.10}$$

$$T = K \cdot \Ø \cdot I_A \tag{2.11}$$

จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ทอร์คของมอเตอร์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับเส้นแรงแม่เหล็ก และกระแสของมอเตอร์

$$T \propto \Ø \text{ และ } T \propto I_A \tag{2.12}$$

6) สมการไฟฟ้าของมอเตอร์

$$E_c = \frac{\Ø \cdot P \cdot n \cdot z}{60 \quad a} \tag{2.13}$$

$$E_c = K' \cdot \Ø \cdot n \tag{2.14}$$

$$K' = P \cdot z / 60 \cdot a \tag{2.15}$$

เมื่อ E_C = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำกลับ [โวลต์]

$\Ø$ = เส้นแรงแม่เหล็ก/ขั้ว[เวเบอร์]

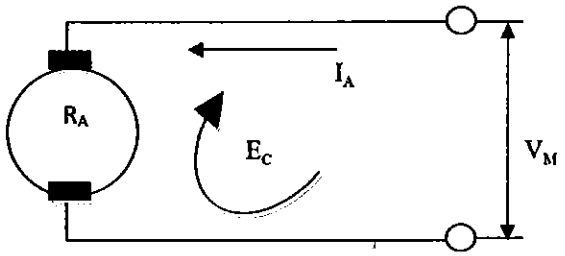
P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก [ขั้ว]

n = จำนวนรอบที่มอเตอร์หมุน [รอบ/นาที]

z = จำนวนตัวนำบนอาร์เมเจอร์ [ตัวนำ]

a = จำนวนวงจรไฟฟ้าคู่ขนานบนอาร์เมเจอร์ [ตัวนำ]

K' = ค่าคงที่ของมอเตอร์(โดยลักษณะสร้าง)



รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลไฟฟ้าของมอเตอร์

จากรูปที่ 2.8 จะได้สมการ ดังนี้

$$V_M = E_C + I_A R_A = E_C + V_A \tag{2.16}$$

$$E_C = V_M - I_A R_A = V_M + V_A \tag{2.17}$$

$$V_A = I_A R_A = V_M - E_C \tag{2.18}$$

$$I_A = (V_M - E_C)/R_A \tag{2.19}$$

$$E_c = K' \varnothing \cdot n$$

จะได้

$$n = \frac{E_C}{K'} \cdot \varnothing = \frac{V_M - V_A}{K' \cdot \varnothing} \tag{2.20}$$

2.2.3 การจำแนกประเภทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงสามารถจำแนกชนิดออกได้ ทั้งตามลักษณะของการต่อขดลวดสนามแม่เหล็ก (หรือการพันขดลวดสนามแม่เหล็ก) และการไหลของกระแสผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก ดังนี้

1) มอเตอร์แบบอนุกรม

คุณสมบัติทั่วไป ประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็กที่มีความต้านทานต่ำ พันด้วยขดลวดทองแดงเส้นใหญ่บนแกนขั้วแม่เหล็กจำนวนน้อยรอบ เช่นเดียวกับขดลวดกระแสของแอมมิเตอร์ ต่อเป็นอนุกรมกับอาร์เมเจอร์และแรงดันเมน ลักษณะงานใช้หมุนขับงานที่ต้องการทอร์คเริ่มหมุนสูง และความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น รถไฟฟ้า รถราง เครน ลิฟท์ คอนเวเยอร์ ฯลฯ

คุณสมบัติทางเทคนิค สมรรถนะในการหมุนขับโหลด เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง กระแสอาร์เมเจอร์ และเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย มีผลทำให้ความเร็วรอบของมอร์เตอร์เปลี่ยนแปลงไปในที่สุด ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมจะเปลี่ยนแปลงไป

ตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด คือ เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบจะลดลง และเมื่อโหลดลดลง ความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้น

2) มอเตอร์แบบขนาน

คุณสมบัติทั่วไป ประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็กที่มีความต้านทานค่อนข้างสูง ซึ่งใช้ลวดทองแดงเส้นเล็กๆ พันบนแกนขั้วแม่เหล็กหลายๆรอบ เช่นเดียวกับขดลวดแรงดันของโวลต์มิเตอร์ ต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ และต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ (รีโอสตาท) แล้วต่อขนานกับสายเมน ลักษณะงานเป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนขับเครื่องจักรกลที่ต้องการความเร็วรอบคงที่

คุณสมบัติทางเทคนิค สมรรถนะในการหมุนขับโหลดความเร็วรอบจะลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบค่อนข้างจะคงที่ตราบเท่าที่มอเตอร์ยังคงต่ออยู่กับแรงดันเมนที่คงที่ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า "มอเตอร์ขนานเป็นมอเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่"

3) มอเตอร์กระแสตรงแบบผสม มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งแบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม มีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง แต่ความเร็วรอบคงที่ตั้งแต่ยังไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่ มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชันท์อยู่ 2 วิธี

3.1) ใช้ต่อขดลวดแบบชันท์ขนานกับอาเมเจอร์เรียกว่า ชอทชันท์ (Short Shunt Compound Motor)

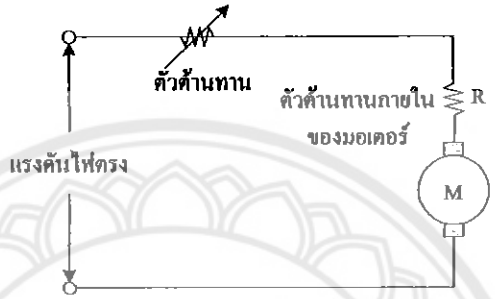
3.2) ต่อขดลวด ขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์เรียกว่าลองชั้นท์คอมเปาวด์มอเตอร์ (Long shunt motor)

2.2.4 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยแม่เหล็กขั้ว 2 ขั้ววางอยู่ระหว่างขดลวดตัวนำเมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนแรงกับกระแสแรง โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกันถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสและสนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้เกิดทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศการหมุนได้ ซึ่งสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดจากแม่เหล็กถาวรซึ่งจะยึดติดกับแผ่นเหล็กหรือเหล็กกล้า โดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดอยู่กับที่และขดลวดเหนี่ยวนำจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนของมอเตอร์

2.2.5 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

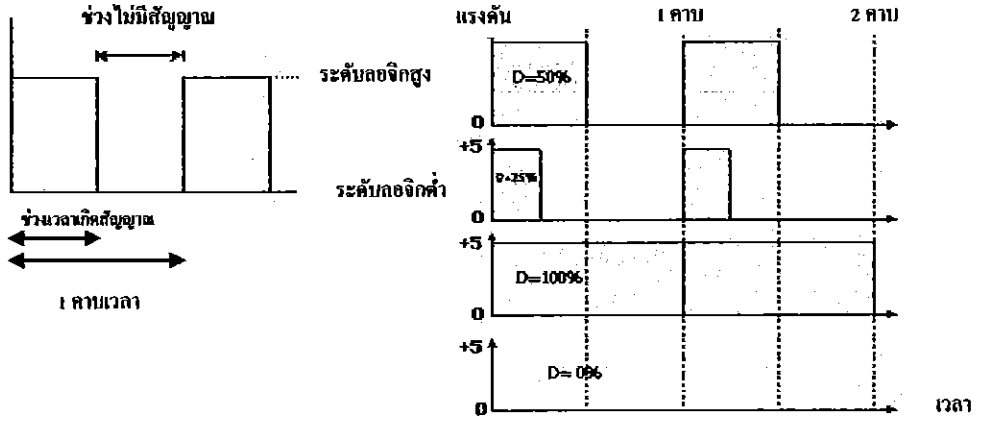
1) การควบคุมแบบปรับค่าได้เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของการควบคุมมอเตอร์คือใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้อนุกรมกับมอเตอร์โดยกำหนดให้ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์การบังคับแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพเพราะกำลังไฟสูญเสียไปในตัวความต้านทานมักนิยมใช้กับมอเตอร์ขนาดตัวเล็กๆการบังคับแบบนี้ให้คุณสมบัติการสตาร์ทที่ดี (ให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ) แต่จะให้ความเร็วที่สูงมากเมื่อมอเตอร์อยู่ในภาวะที่มีโหลดน้อยๆดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะภาวะที่แรงต้านคงที่ เช่น การบังคับความเร็วของเครื่องจักรเย็บผ้า เป็นต้น



รูปที่ 2.9 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม

2) การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดันวิธีการนี้ดีกว่าวิธีการแรกแต่จะซับซ้อนกว่าต้องที่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ที่อัตราขยายแบบกำลังสูง และ มอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ข้อดีของการควบคุมวิธีนี้คือถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิดแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการควบคุมวิธีนี้คือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วต่ำแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน

3) การควบคุมแบบพีดับบิวเอ็ม คือ การมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ จะเป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วน และความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของดิวตี้ไซเกิล (Duty cycle) นั้นเอง ซึ่งค่าของดิวตี้ไซเคิลคือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซตน์จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ก็หมายถึงใน 1 รูปสัญญาณพัลส์จะมีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่งและในทำนองเดียวกันถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่ามาก หมายความว่าความกว้างของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ก็หมายความว่าจะไม่มีสถานะลอจิกต่ำเลย



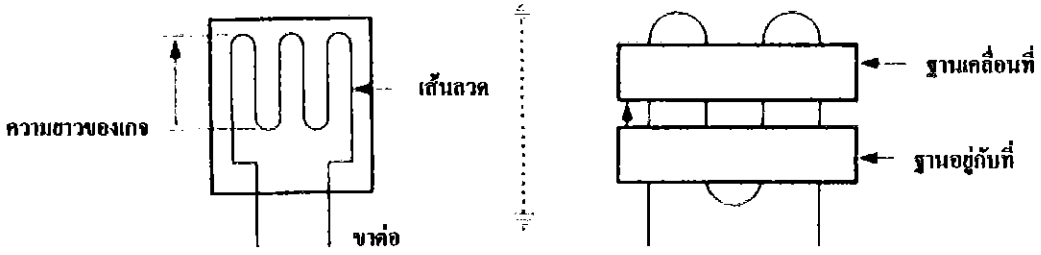
รูปที่ 2.10 การแสดงความกว้างของพัลท์ขนาดต่างๆ และค่าดิวตี้ไซเคิล ของช่วงพัลท์ที่มีความถี่คงที่

2.3 โหลดเซลล์

โหลดเซลล์ คือ เซนเซอร์ที่สามารถแปลงค่าแรงกด หรือแรงดึง เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ เหมาะสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน โหลดเซลล์ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ได้แก่ การชั่งน้ำหนัก การทดสอบแรงกดของชิ้นงาน การทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน การทดสอบการเข้ารูปชิ้นงาน ใช้สำหรับงานทางด้านวัสดุ โลหะ ทดสอบโลหะ ชิ้นส่วนรถยนต์ วิศวกรรมโยธา ทดสอบคอนกรีต ทดสอบไม้ ฯลฯ

2.3.1 *สเตรนเกจ (Strain Gauge)*

สเตรนเกจสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือแบบยึดติด (Bonded Strain Gauge) และแบบไม่ยึดติด (Unbounded Strain Gauge) โดยสเตรนเกจทั้งสองชนิดจะมีลักษณะโครงสร้างและการทางานที่คล้ายกันคือทาด้วยเส้นลวดเล็กๆขดไปขดมาและนำไปติดกับวัตถุที่ต้องการตรวจวัดความเครียด



รูปที่ 2.11 สเตรนเกจ (ก) แบบยึดติด (ข) แบบไม่ยึดติด

เมื่อสเตรนเกจถูกยืดออกความยาวของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้นในขณะที่พื้นที่หน้าตัดจะลดลงทำให้ความต้านทานของเส้นลวดเพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้านทานโลหะตัวนำจะแปรค่าโดยตรงตามความยาวและแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัดโดยเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$R = \rho L / A \tag{2.21}$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานของขดลวดตัวนำมีหน่วยเป็นโอห์ม

ρ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของลวดตัวนำที่ใช้ทำสเตรนเกจมีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร

L คือ ความยาวของขดลวดตัวนำมีหน่วยเป็นตารางเมตร

A คือ พื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำมีหน่วยเป็นตารางเมตร

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของลวดตัวนำเมื่อได้รับแรงกระทำแล้วจะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นสองประการคือความยาวของลวดตัวนำเปลี่ยนไปจากเดิมและความต้านทานของลวดตัวนำก็เปลี่ยนไปจากเดิมเพราะฉะนั้นถ้านำค่าทั้งสองชนิดนี้ไปทำการเทียบสัดส่วนกันก็จะได้ค่าตัวประกอบชนิดหนึ่งซึ่งมีชื่อเรียกว่าค่าตัวประกอบเกจ (Gauge factor) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$K = (\Delta R / R) / (\Delta L / L) \tag{2.22}$$

เมื่อ K คือ ค่าตัวประกอบเกจ

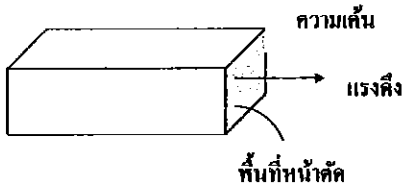
ΔR คือ ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปของลวดตัวนำหลังจากถูกแรงกระทำ

R คือ ค่าความต้านทานของลวดตัวนาเริ่มแรกก่อนถูกแรงกระทำ

ΔL คือ ค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของลวดตัวนำหลังจากถูกแรงกระทำ

L คือ ค่าความยาวของลวดตัวนำก่อนถูกแรงกระทำ

และเนื่องจากค่า $(\Delta L / L)$ ได้รับการกำหนดชื่อทางกลศาสตร์ว่าค่าคงตัวความเครียดแทนด้วยตัวแปร ε จึงสามารถเขียนสมการได้เป็น $K = (\Delta R / R) / \varepsilon$ สมมุติว่าแรงทางกลศาสตร์ที่กระทำต่อ วัสดุโครงสร้างดังกล่าวมีค่าเท่ากับ F ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตรและพื้นที่หน้าตัดของวัสดุดังกล่าวมีค่าเท่ากับ A ตารางเมตร



รูปที่ 2.12 แสดงการคำนวณหาความเค้น

จะสามารถคำนวณหาค่าความเค้นที่กระทำต่อวัสดุนั้นได้จากสมการ

$$\sigma = F / A \tag{2.23}$$

เมื่อ σ คือ ค่าความเค้นของวัสดุ

F คือ แรงที่กระทำต่อวัสดุ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ

โดยเราจะพบว่าความเค้นจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยตรงกับความเครียดในช่วงระยะหนึ่งแต่เมื่อผ่านช่วงนี้ไปแล้วความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นความชันของกราฟในช่วงดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับค่าความเค้น (Stress) หารด้วยค่าความเครียด (Strain) มีชื่อเรียกว่าค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus Of Elasticity) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$E = \sigma / \varepsilon \tag{2.24}$$

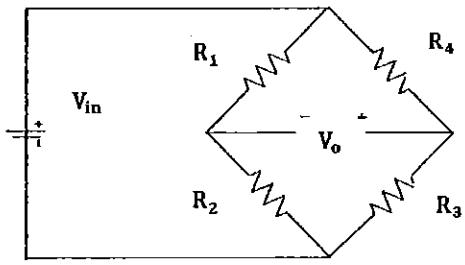
เมื่อ E คือ ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น

σ คือ ความเค้นของวัสดุ

ε คือ ค่าความเครียดของวัสดุ

2.3.2 วงจรวีทสโตนบริดจ์

เนื่องจากค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปมีค่าค่อนข้างต่ำดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมนำสเตรนเกจมาใช้งานโดยต่อวงจรแบบวีตสโตนบริดจ์ดังในรูป



รูปที่ 2.13 วงจรบริดจ์เมื่อเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ

เมื่อเราป้อนแรงดันให้แก่วงจรบริดจ์ระหว่างขั้วอินพุตบวกและอินพุตลบในสภาวะที่ยังไม่มีแรงมากระทำหรือยังไม่มีน้ำหนักมากระทำต่อโหลดเซลล์ค่าความต้านทานของสเตรนเกจภายในจะทีค่าเท่ากันทำให้วงจรบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุลแรงดันเอาท์พุทที่ออกมาระหว่างขั้วเอาท์พุทบวกและเอาท์พุทลบจะมีค่าเป็นศูนย์และเมื่อมีแรงมากระทำหรือมีน้ำหนักมากระทำต่อโหลดเซลล์จะทำให้สเตรนเกจยืดออกหรืองอเข้าจะทำให้ค่าความต้านทานภายในสเตรนเกจของแต่ละตัวนั้นเปลี่ยนค่าไปทำให้วงจรบริดจ์อยู่ในสภาวะที่ไม่สมดุลทำให้สามารถวัดแรงดันที่เอาท์พุทออกมาได้ยิ่งมีน้ำหนักหรือวัตถุที่มากระทำต่อโหลดเซลล์มากเพียงใดก็จะทำให้ค่าความต้านทานของสเตรนเกจนั้นเปลี่ยนค่าไปมากขึ้นและยังทำให้แรงดันเอาท์พุตมีค่ามากขึ้นด้วยอย่างไรก็ตามแรงดันเอาท์พุตที่ได้จากวงจรบริดจ์มีค่าน้อยมากจึงต้องอาศัยวงจรขยายสัญญาณเพื่อให้แรงดันเอาท์พุตนั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นเพื่อที่จะนำแรงดันที่ได้ไประมวลผลในกระบวนการต่อไปโดยแรงดันเอาท์พุตภายในวงจรวีตสโตนบริดจ์จะเป็นไปตามสมการ

$$V=\left[\frac{R_3}{R_3+R_4}-\frac{R_2}{R_1+R_2}\right]V_{in} \qquad (2.25)$$

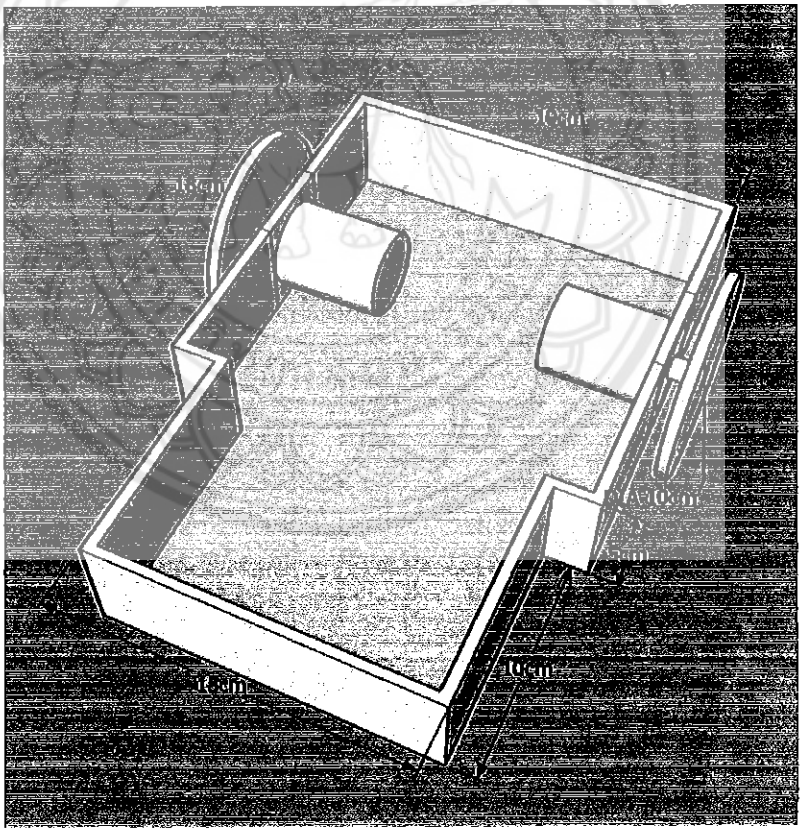
บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงงาน

ในบทนี้จะเป็นการบอกถึงการออกแบบขั้นตอนต่างๆในการสร้างหุ่นยนต์รถ รวมไปถึงบอกอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์รถ

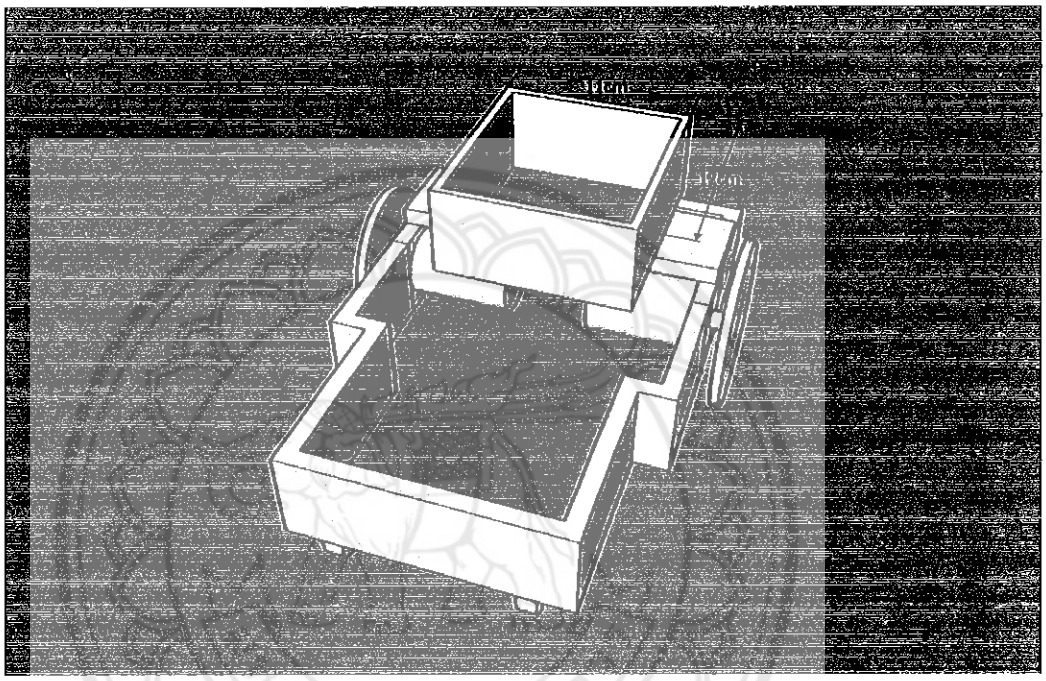
3.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์รถ

การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์รถ ที่ออกแบบนั้นจะเน้นวัสดุที่มีความแข็งแรงและง่ายต่อการขึ้นรูป โดยตัวหุ่นยนต์รถจะมีรูปทรงเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยใช้แผ่นฉากอะลูมิเนียม และไม้อัด เป็นโครงสร้างตัวหุ่นยนต์รถ และวัสดุที่ทำจากไม้ในการขึ้นรูป ส่วนระบบขับเคลื่อนจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ตัว ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์รถ ซึ่งขนาดและรูปแบบที่ออกแบบไว้ในแต่ละส่วนมีดังนี้



รูปที่ 3.1 รูปแบบและขนาดส่วนฐานของหุ่นยนต์รถ

รูปที่ 3.1 รูปแบบและขนาดส่วนฐานของหุ่นยนต์รถ การออกแบบฐานชั้นล่างของหุ่นยนต์รถจะออกแบบเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีลักษณะคล้ายกล่อง ที่มีขนาดความกว้าง 19 เซนติเมตร ความยาว 28 เซนติเมตร และความสูง 5 เซนติเมตร โดยใช้แผ่นฉากอะลูมิเนียม จำนวน 4 แผ่น และใช้ไม้อัดขนาด ความกว้าง 19 เซนติเมตร ความยาว 28 เซนติเมตร และความหนา 3 มิลลิเมตร เป็นพื้นที่สำหรับวางอุปกรณ์ต่างๆคือ มอเตอร์กระแสตรงแบตเตอรี่ บอร์ดขับมอเตอร์ บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ และบอร์ดแอลซีดี



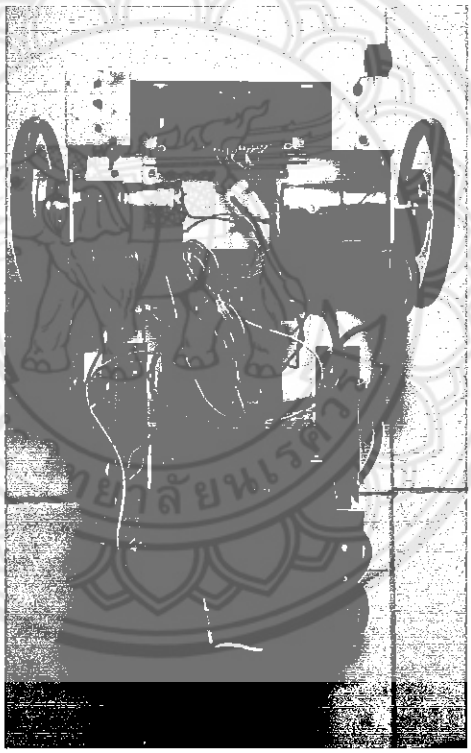
รูปที่ 3.2 รูปแบบชั้นที่ 2 ของหุ่นยนต์รถ

รูปที่ 3.2 รูปแบบชั้นที่ 2 ของหุ่นยนต์รถ จะออกแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด ความกว้าง 6 เซนติเมตร ความยาว 19 เซนติเมตร และความหนา 5 มิลลิเมตร โดยใช้อะคริลิค จำนวน 1 แผ่น เป็นพื้นที่สำหรับวางโหลดเซลล์ และกล่องใส่ก้อนน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม จำนวน 5 ก้อน ส่วนของล้อจะใช้อะคริลิค ความหนา 5 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร จำนวน 2 อัน และใช้ล้อพลาสติกสำเร็จรูป เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ความหนา 1 เซนติเมตร จำนวน 2 ล้อ

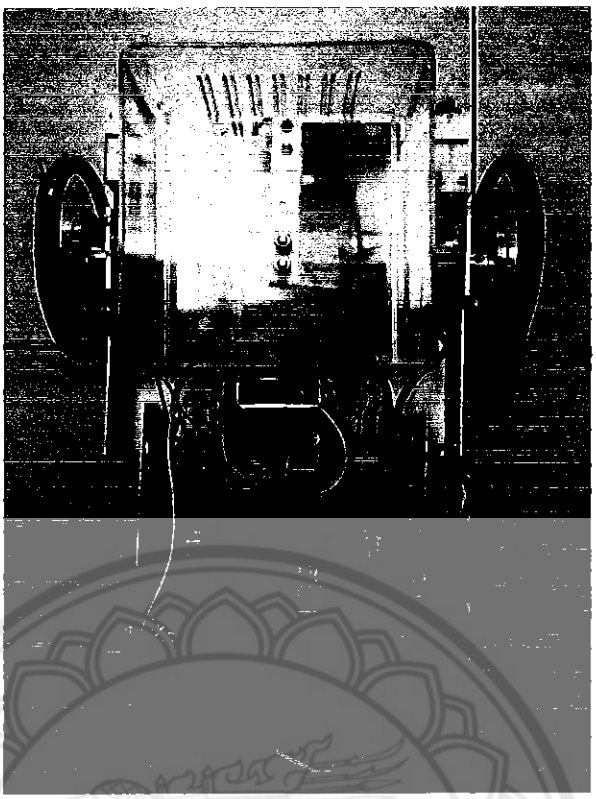
3.2 การสร้างหุ่นยนต์รถ

การสร้างหุ่นยนต์รถจะสร้างให้มีขนาดตามที่ออกแบบไว้ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างคือ แผ่นฉากอะลูมิเนียม ไม้อัด และอะคริลิค ตัดและประกอบให้ได้ตามที่ออกแบบไว้

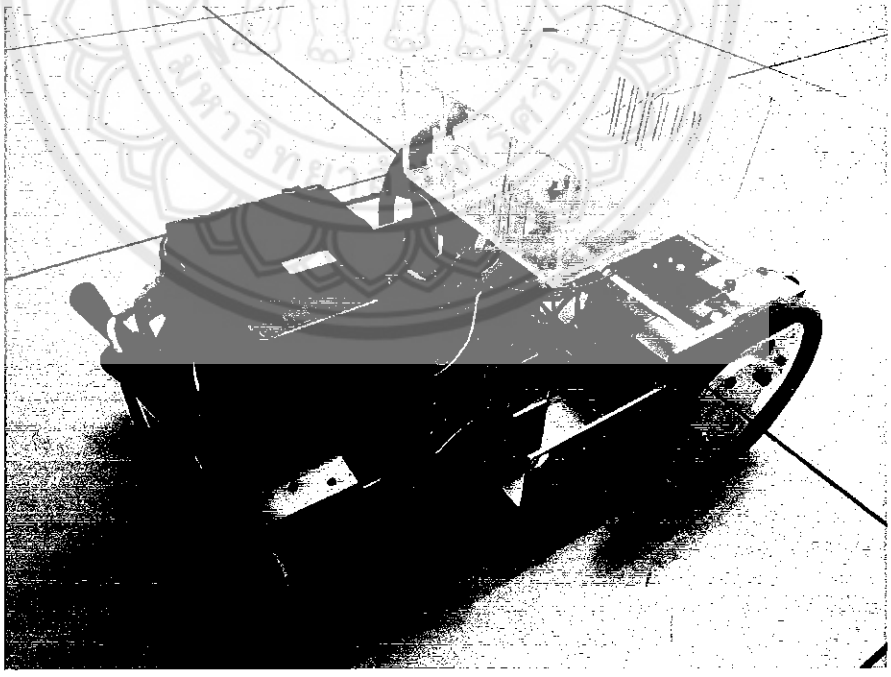
โดยทำการติดตั้งบอร์ดวงจรที่ประกอบด้วยบอร์ดออดูอิโน่ บอร์ดขับมอเตอร์ วางมอเตอร์กระแสตรง จอแอลซีดีและโมดูลขยายสัญญาณโหลดเซลล์ ตามลำดับ รวมทั้งติดตั้งแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ดังรูปที่ 3.3 แล้วติดตั้งแผ่นอะคริลิคเพื่อเป็นที่วางโหลดเซลล์และแท่นใส่ตุ้มน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม จำนวน 5 ก้อน ติดตั้งล้อที่ทำจากอะคริลิค เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความหนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 2 ล้อ พร้อมทั้งติดตั้งล้อพลาสติกสำเร็จรูป จำนวน 2 ล้อ ดังรูปที่ 3.4 และภาพโครงสร้างของหุ่นยนต์รถเมื่อทำการประกอบเสร็จสมบูรณ์ ดังรูป 3.5



รูปที่ 3.3 การติดตั้งบอร์ดวงจร



รูปที่ 3.4 การติดตั้งแผ่นอะคริลิค โหลดเซลล์และกล่องใส่น้ำหนัก



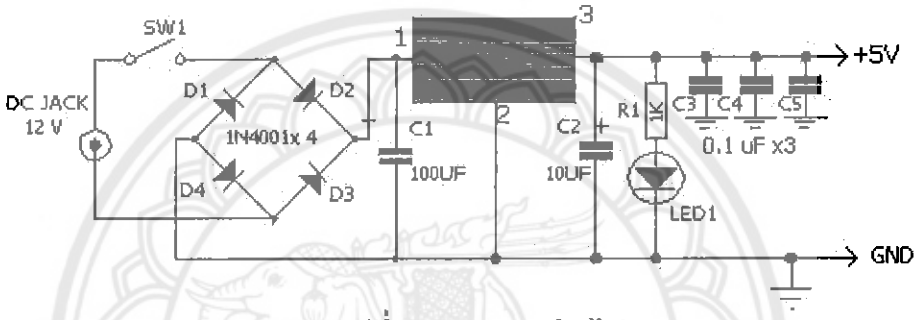
รูปที่ 3.5 โครงสร้างหุ่นยนต์รถที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

3.3 วงจรที่ใช้ในหุ่นยนต์รถ

วงจรที่ใช้ในการทำงานของหุ่นยนต์รถนี้จะแบ่งออกเป็น วงจรส่วนจ่ายไฟ วงจรส่วนควบคุมการเคลื่อนที่และวงจรส่วนควบคุมสัญญาณป้อนกลับ โดยมีหลักการทำงานดังนี้

3.3.1 วงจรส่วนจ่ายไฟ

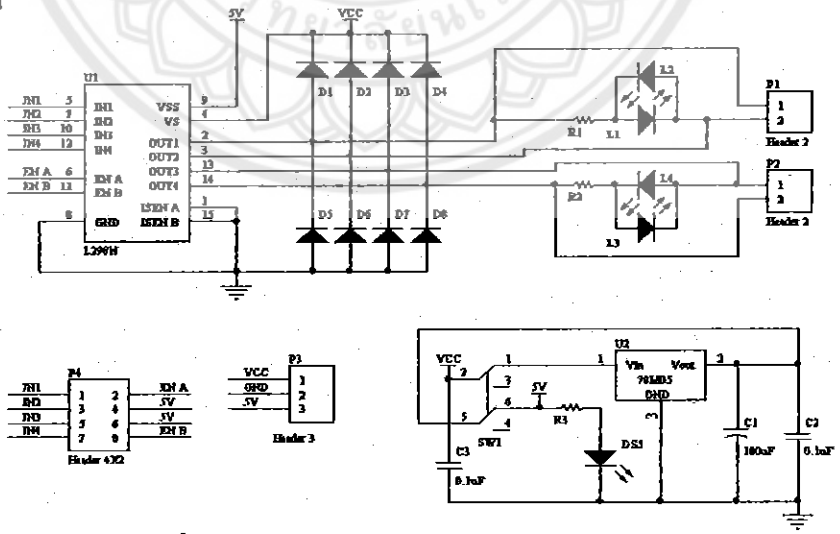
ในส่วนของวงจรภาคจ่ายไฟใช้ IC regulator หมายเลข LM7805 ซึ่งทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าจาก 12 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าคงที่ 5 โวลต์ จากแบตเตอรี่เป็นภาคจ่ายไฟเลี้ยงให้กับแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อจ่ายไฟให้กับส่วนต่างๆของหุ่นยนต์รถ



รูปที่ 3.6 วงจรภาคจ่ายไฟ

3.3.2 วงจรส่วนส่วนควบคุมการเคลื่อนที่

ในส่วนของวงจรขับเคลื่อนจะใช้วงจร L298N ซึ่งในวงจรรวม 1 ตัว สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ 2 ตัว ดังนี้



รูปที่ 3.7 วงจรขับมอเตอร์โดยวงจรรวมเบอร์ L298N

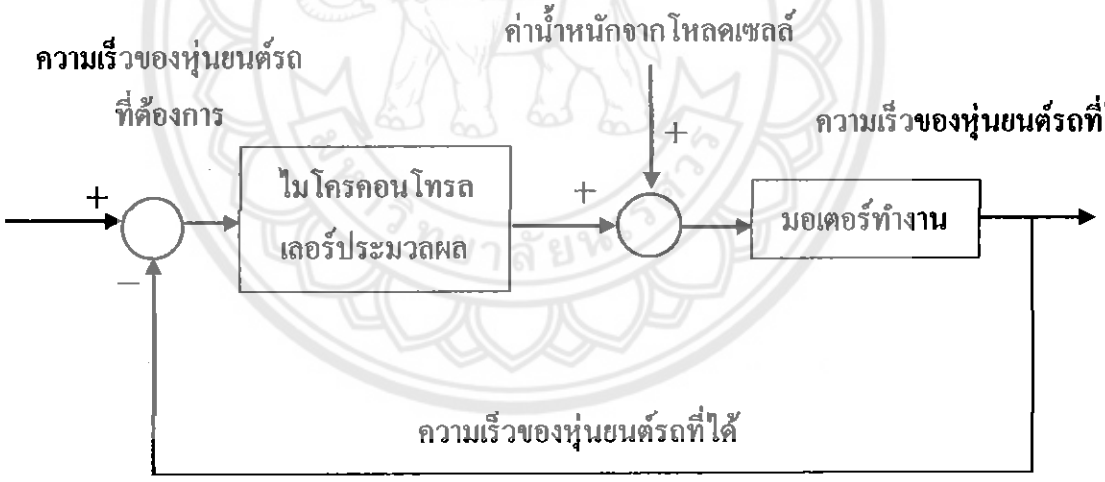
ป
ห 724ก
2558
สำนักหอสมุด
11 ต.ค. 2561

จากรูปที่ 3.7 เป็นรูปแสดงการขับมอเตอร์โดยใช้วงจรรวมเบอร์ L298N ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแรงดัน 12 โวลต์ จ่ายไฟให้กับมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว และใช้วงจรรวมเบอร์ LM78M05 เพื่อรักษาระดับแรงดัน 5 โวลต์ จ่ายเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรรวมขับมอเตอร์เบอร์ L298N โดยป้อนอินพุตที่ IN1,IN2,IN3,IN4 เพื่อกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวและให้ขา En A และ En B เป็นลอจิก "1" เพื่อให้มอเตอร์ทำงาน

i.7196143

3.3.3 วงจรส่วนควบคุมสัญญาณป้อนกลับ

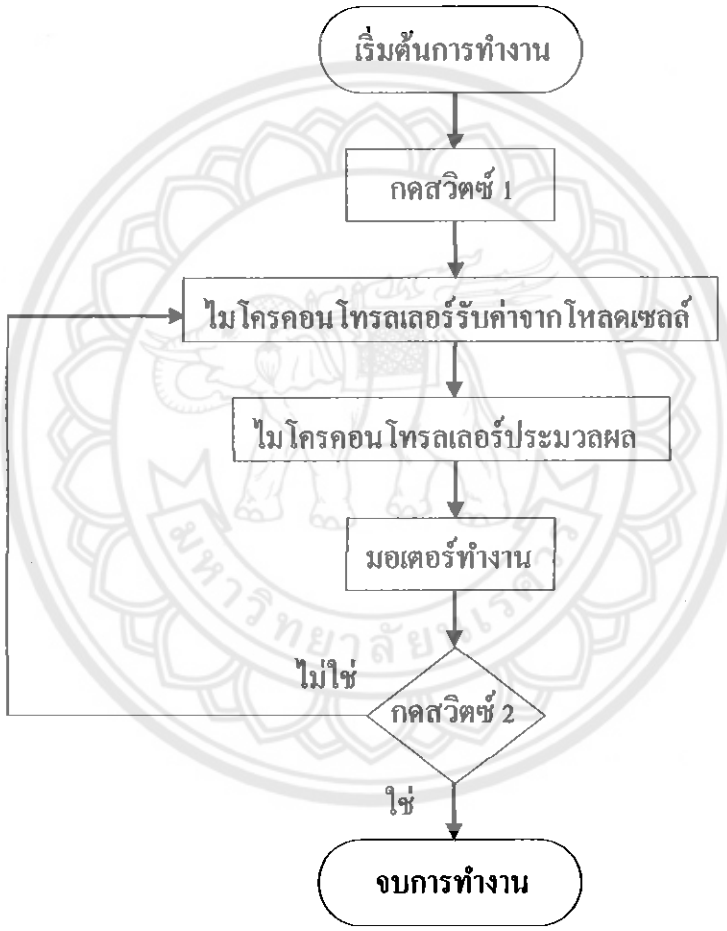
เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับ โดยเริ่มจากการป้อนค่าอินพุต คือ ความเร็วของหุ่นยนต์รถที่ต้องการ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลค่าความเร็วและส่งสัญญาณพัลส์ไปยังชุดขับมอเตอร์ เพื่อให้หุ่นยนต์รถเคลื่อนที่ จะได้เอาท์พุตของระบบเป็นความเร็วของหุ่นยนต์รถที่ได้ แต่ถ้าใส่น้ำหนักระหว่างที่หุ่นยนต์รถกำลังเคลื่อนที่ หุ่นยนต์รถจะมีความเร็วลดลงโดยความเร็วที่ลดลงนั้นจะถูกป้อนกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลความคลาดเคลื่อนของความเร็ว จนกระทั่งความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ นั่นหมายความว่ากระบวนการทำงานสมบูรณ์ ดังรูป 3.8



รูปที่ 3.8 ภาพแสดงระบบควบคุมแบบป้อนกลับของตัวควบคุม

3.4 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์รถ

ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์รถจะมีการทำงานตามแผนภาพที่แสดงดัง รูปที่ 3.9 จากภาพแสดงให้เห็นว่า เมื่อหุ่นยนต์รถเริ่มต้นการทำงานโดยทำการกดสวิตซ์ 1 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าจากโหลดเซลล์ จากนั้นประมวลผลและควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์รถให้มีขนาดคงที่ กดสวิตซ์ 2 จบการทำงาน แต่ถ้ามีน้ำหนักมากระทำกับโหลดเซลล์ ความเร็วของหุ่นยนต์รถจะช้าลง ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์รถอีกครั้งเพื่อให้หุ่นยนต์รถมีความเร็วคงที่เท่าเดิม



รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงการทำงานของหุ่นยนต์รถ

บทที่ 4

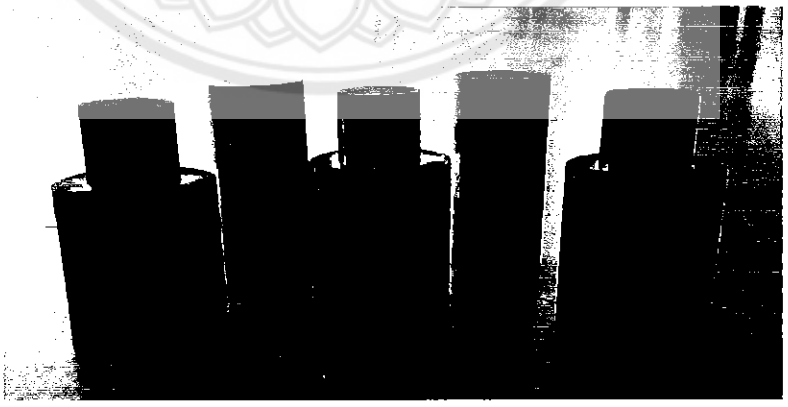
ผลการทดลอง

จากการศึกษาทฤษฎี หลักการทำงาน และสร้างหุ่นยนต์รถ ในบทนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์รถและตรวจสอบความสามารถในการทำงานของหุ่นยนต์รถที่สร้างขึ้น โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

1. ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่เมื่อมีการบรรทุกน้ำหนักขนาด 1 - 5 กิโลกรัม
2. ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่เมื่อความเร็วมีการเปลี่ยนแปลง
3. ทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของหุ่นยนต์รถ

4.1 ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่เมื่อมีการบรรทุกน้ำหนักขนาด 1 – 5 กิโลกรัม

ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ โดยให้หุ่นยนต์รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเป็นทางตรงระยะทาง 5 เมตร จากนั้นใส่ก้อนน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม ถึง 5 กิโลกรัม ดังรูปที่ 4.1 ทำการจับเวลาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์รถหลังจากใส่ก้อนน้ำหนัก เพื่อการวัดความเร็วที่แม่นยำจึงใช้เซนเซอร์จับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยให้แสดงผลผ่านหลอดไฟแอลอีดี คือ ถ้าไฟดับแสดงว่าความเร็วรอบของมอเตอร์ช้าลง (ไม่คงที่) และถ้าไฟติดแสดงว่าความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่ ดั้งนั้นจึงทำการจับเวลาของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์รถ (บรรทุกน้ำหนัก) หลังจากช่วงเวลาที่มอเตอร์กลับมาทำงานคงที่ ดังตารางที่ 4.1 4.2 4.3 4.4 และ 4.5 เป็นระยะทาง 15 เมตร ทำการทดสอบความเร็วทั้งหมด 20 ครั้ง เพื่อหาเวลาเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ย ซึ่งในแต่ครั้งที่ทดสอบจะต้องชาร์ตแบตเตอรี่ให้มีแรงดันคงที่ 12 โวลต์



รูปที่ 4.1 ก้อนน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม จำนวน 5 ก้อน

ตารางที่ 4.1 การทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาที เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 1 กิโลกรัม

น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ (วินาที)					ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เฉลี่ย (วินาที)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0	1	1.86	1.85	1.84	1.86	1.85	1.85
1	2	1.85	1.87	1.85	1.85	1.84	1.85
2	3	1.85	1.88	1.83	1.84	1.86	1.85
3	4	1.87	1.84	1.86	1.85	1.88	1.86
4	5	1.85	1.86	1.85	1.86	1.89	1.86

ตารางที่ 4.2 การทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาที เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 2 กิโลกรัม

น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ (วินาที)					ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เฉลี่ย (วินาที)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0	2	2.19	2.17	2.18	2.20	2.19	2.19
1	3	2.18	2.18	2.16	2.22	2.20	2.19
2	4	2.22	2.20	2.19	2.20	2.17	2.20
3	5	2.18	2.21	2.20	2.22	2.19	2.20

ตารางที่ 4.3 การทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาที เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 3 กิโลกรัม

น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม	ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ (วินาที)					ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เฉลี่ย (วินาที)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0	3	2.90	2.91	2.94	2.95	2.94	2.93
1	4	2.93	2.90	2.92	2.91	2.90	2.91
2	5	2.92	2.93	2.90	2.91	2.92	2.92

ตารางที่ 4.4 การทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาที เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 4 กิโลกรัม

น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ (วินาที)					ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เฉลี่ย (วินาที)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0	4	3.48	3.51	3.50	3.46	3.49	3.49
1	5	3.49	3.48	3.52	3.49	3.48	3.49

ตารางที่ 4.5 การทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาที เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 5 กิโลกรัม

น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ (วินาที)					ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เฉลี่ย (วินาที)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0	5	4.01	3.99	4.03	4.02	4.04	4.02

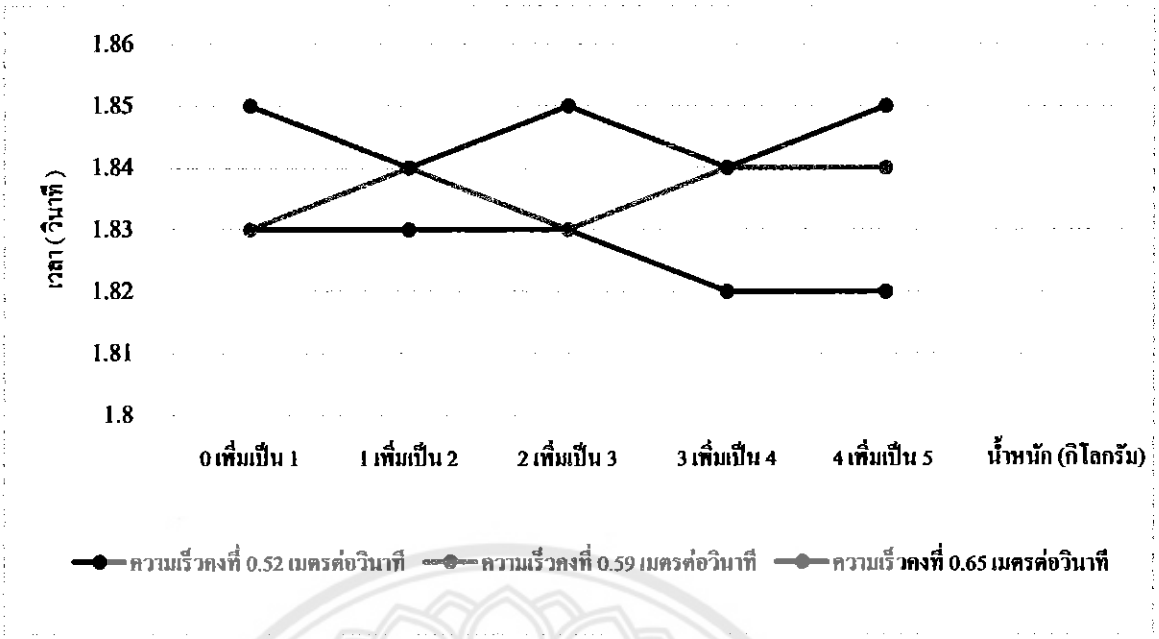
จากตารางที่ 4.1 ถึง 4.5 พบว่า หุ่นยนต์รถมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุดคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาที แม้จะเพิ่มน้ำหนัก 1 2 3 4 และ 5 กิโลกรัม ความเร็วของหุ่นยนต์รถยังคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาที โดยช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ของแต่ละการเพิ่มปริมาณน้ำหนักจะอยู่ในช่วง 1.8 ถึง 4 วินาที

4.2 ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่เมื่อความเร็วมีการเปลี่ยนแปลง

ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ โดยเลือกความเร็วของหุ่นยนต์รถมาใช้งาน 3 ระดับ คือ 0.52 0.59 และ 0.65 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ทำการทดลองซ้ำเหมือนในหัวข้อ 4.1 เริ่มจับเวลาของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์รถ (บรรทุกน้ำหนัก) หลังจากช่วงเวลาที่มอเตอร์กลับมาทำงานคงที่ ดังตารางที่ 4.6 4.7 4.8 4.9 และ 4.10 เป็นระยะทาง 15 เมตร ทำการทดสอบความเร็วทั้งหมด 20 ครั้ง เพื่อหาเวลาเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ย ซึ่งในแต่ครั้งที่ทดสอบจะต้องชาร์ตแบตเตอรี่ให้มีแรงดันคงที่ 12 โวลต์

ตารางที่ 4.6 การทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 1 กิโลกรัมของความเร็วทั้ง 3 ระดับ

น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ (วินาที)					ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เฉลี่ย (วินาที)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
ความเร็วคงที่ 0.52 เมตรต่อวินาที							
0	1	1.82	1.81	1.83	1.83	1.84	1.83
1	2	1.84	1.82	1.80	1.84	1.83	1.83
2	3	1.81	1.83	1.84	1.84	1.82	1.83
3	4	1.82	1.83	1.80	1.82	1.81	1.82
4	5	1.83	1.82	1.82	1.80	1.81	1.82
ความเร็วคงที่ 0.59 เมตรต่อวินาที							
0	1	1.82	1.85	1.86	1.80	1.81	1.83
1	2	1.85	1.84	1.83	1.86	1.82	1.84
2	3	1.79	1.78	1.83	1.85	1.83	1.83
3	4	1.85	1.82	1.86	1.83	1.86	1.84
4	5	1.83	1.86	1.84	1.85	1.84	1.84
ความเร็วคงที่ 0.65 เมตรต่อวินาที							
0	1	1.83	1.85	1.84	1.86	1.85	1.85
1	2	1.85	1.84	1.85	1.83	1.84	1.84
2	3	1.85	1.86	1.83	1.84	1.86	1.85
3	4	1.84	1.83	1.86	1.85	1.84	1.84
4	5	1.83	1.84	1.85	1.86	1.86	1.85

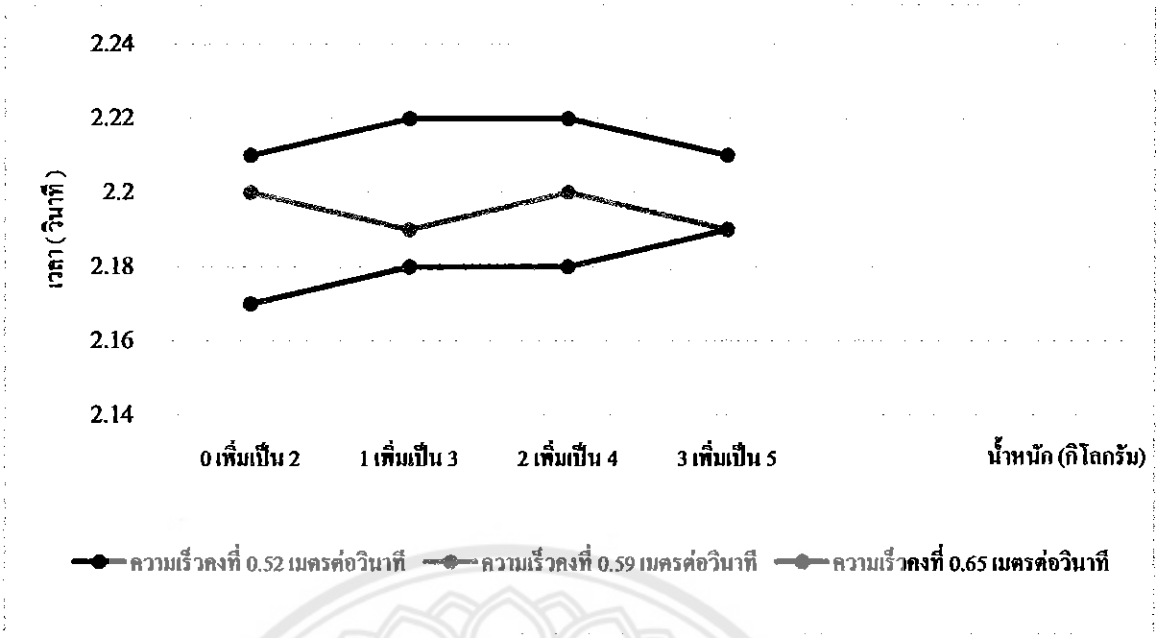


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 1 กิโลกรัม ของความเร็วทั้ง 3 ระดับ

จากกราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักทีละ 1 กิโลกรัมของความเร็วทั้ง 3 ระดับ สามารถสรุปได้ว่า หุ่นยนต์รถสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 0.52 0.59 และ 0.65 เมตรต่อวินาที แม้จะเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ความเร็วของหุ่นยนต์รถยังคงที่ 0.52 0.59 และ 0.65 เมตรต่อวินาทีโดยช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ของการเพิ่มปริมาณน้ำหนักจะอยู่ในช่วง 1.82 ถึง 1.85 วินาที

ตารางที่ 4.7 การทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 2 กิโลกรัมของความเร็วทั้ง 3 ระดับ

น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ (วินาที)					ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เฉลี่ย (วินาที)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
ความเร็วคงที่ 0.52 เมตรต่อวินาที							
0	2	2.22	2.19	2.21	2.22	2.23	2.21
1	3	2.23	2.21	2.23	2.29	2.22	2.22
2	4	2.22	2.21	2.22	2.23	2.22	2.22
3	5	2.23	2.22	2.20	2.19	2.21	2.21
ความเร็วคงที่ 0.59 เมตรต่อวินาที							
0	2	2.18	2.21	2.22	2.18	2.23	2.20
1	3	2.21	2.20	2.19	2.19	2.18	2.19
2	4	2.20	2.19	2.19	2.21	2.22	2.20
3	5	2.21	2.17	2.22	2.19	2.18	2.19
ความเร็วคงที่ 0.65 เมตรต่อวินาที							
0	2	2.15	2.17	2.16	2.18	2.19	2.17
1	3	2.19	2.17	2.16	2.19	2.2	2.18
2	4	2.18	2.19	2.17	2.20	2.18	2.18
3	5	2.17	2.21	2.20	2.18	2.19	2.19

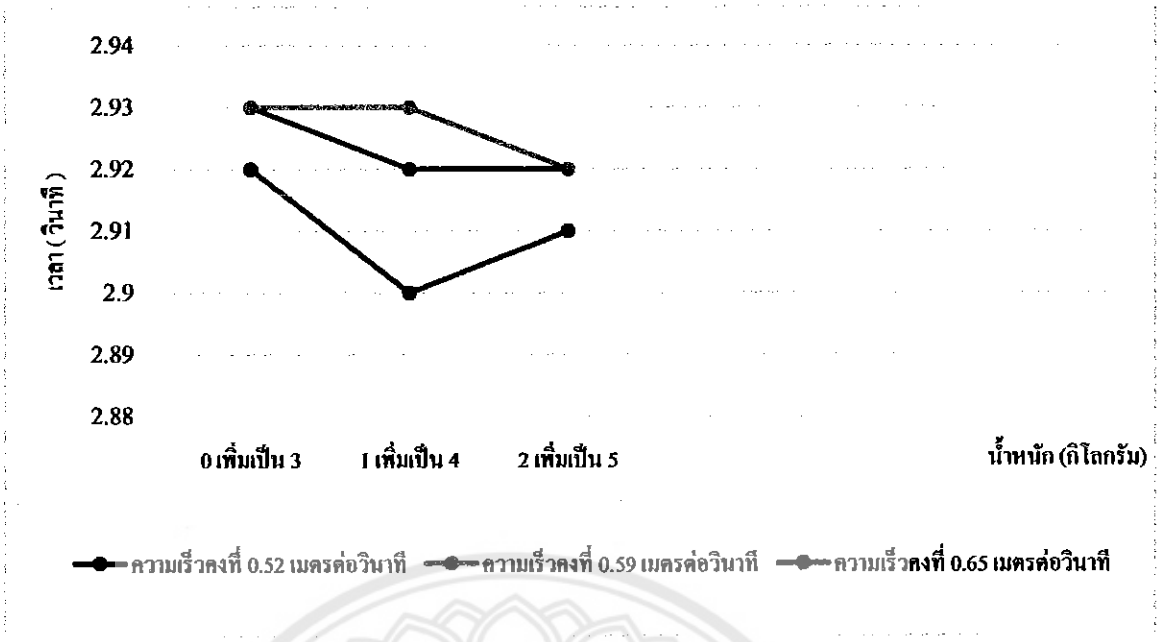


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 2 กิโลกรัม ของความเร็วทั้ง 3 ระดับ

จากกราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักทีละ 2 กิโลกรัมของความเร็วทั้ง 3 ระดับ สามารถสรุปได้ว่า หุ่นยนต์รถสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 0.52 0.59 และ 0.65 เมตรต่อวินาทีแม้จะเพิ่มน้ำหนัก 2 กิโลกรัม ความเร็วของหุ่นยนต์รถยังคงที่ 0.52 0.59 และ 0.65 เมตรต่อวินาทีโดยช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ของการเพิ่มปริมาณน้ำหนักจะอยู่ในช่วง 2.17 ถึง 2.20 วินาที

ตารางที่ 4.8 การทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 3 กิโลกรัมของความเร็วทั้ง 3 ระดับ

น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ (วินาที)					ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เฉลี่ย (วินาที)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
ความเร็วคงที่ 0.52 เมตรต่อวินาที							
0	3	2.95	2.93	2.92	2.93	2.94	2.93
1	4	2.91	2.93	2.94	2.92	2.90	2.92
2	5	2.89	2.91	2.95	2.93	2.94	2.92
ความเร็วคงที่ 0.59 เมตรต่อวินาที							
0	3	2.91	2.93	2.95	2.92	2.93	2.93
1	4	2.95	2.94	2.91	2.92	2.92	2.93
2	5	2.92	2.93	2.89	2.92	2.93	2.92
ความเร็วคงที่ 0.65 เมตรต่อวินาที							
0	3	2.89	2.93	2.94	2.92	2.94	2.92
1	4	2.89	2.90	2.92	2.91	2.90	2.90
2	5	2.90	2.93	2.92	2.89	2.92	2.91

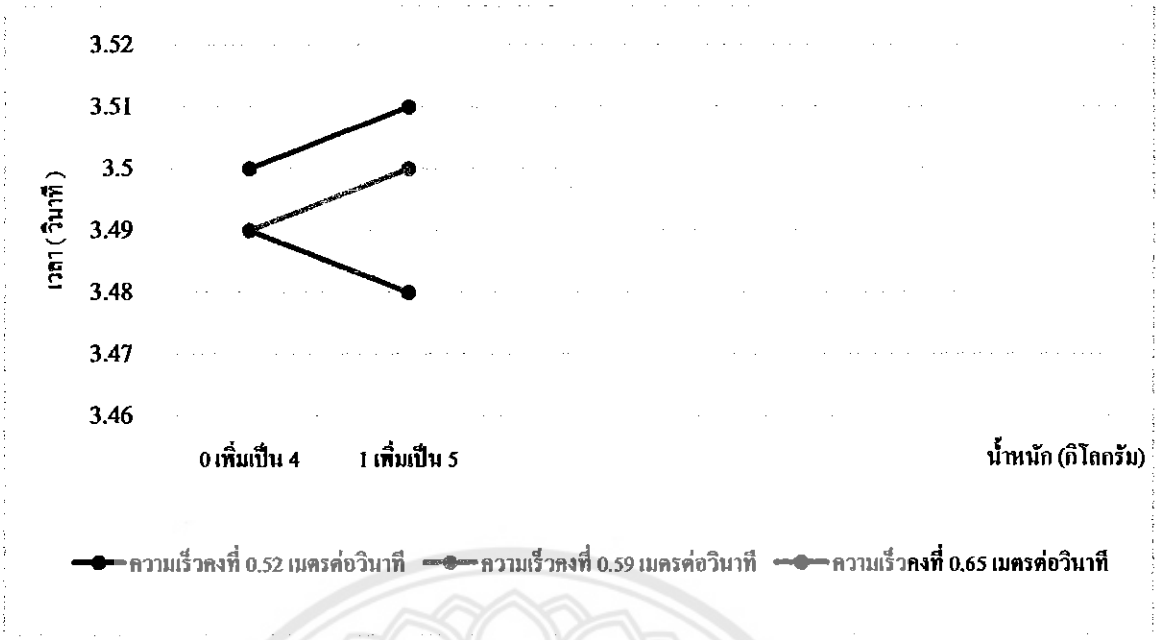


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 3 กิโลกรัม ของความเร็วทั้ง 3 ระดับ

จากกราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักทีละ 3 กิโลกรัมของความเร็วทั้ง 3 ระดับ สามารถสรุปได้ว่า หุ่นยนต์รถสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 0.52 0.59 และ 0.65 เมตรต่อวินาทีแม้จะเพิ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัม ความเร็วของหุ่นยนต์รถยังคงที่ 0.52 0.59 และ 0.65 เมตรต่อวินาทีโดยช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ของการเพิ่มปริมาณน้ำหนักจะอยู่ในช่วง 2.90 ถึง 2.93 วินาที

ตารางที่ 4.9 การทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 4 กิโลกรัมของความเร็วทั้ง 3 ระดับ

น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ (วินาที)					ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เฉลี่ย (วินาที)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
ความเร็วคงที่ 0.52 เมตรต่อวินาที							
0	4	3.49	3.48	3.53	3.52	3.50	3.50
1	5	3.53	3.51	3.49	3.50	3.52	3.51
ความเร็วคงที่ 0.59 เมตรต่อวินาที							
0	4	3.48	3.47	3.49	3.52	3.51	3.49
1	5	3.52	3.50	3.47	3.47	3.48	3.50
ความเร็วคงที่ 0.65 เมตรต่อวินาที							
0	4	3.50	3.50	3.48	3.46	3.49	3.49
1	5	3.49	3.47	3.46	3.49	3.48	3.48

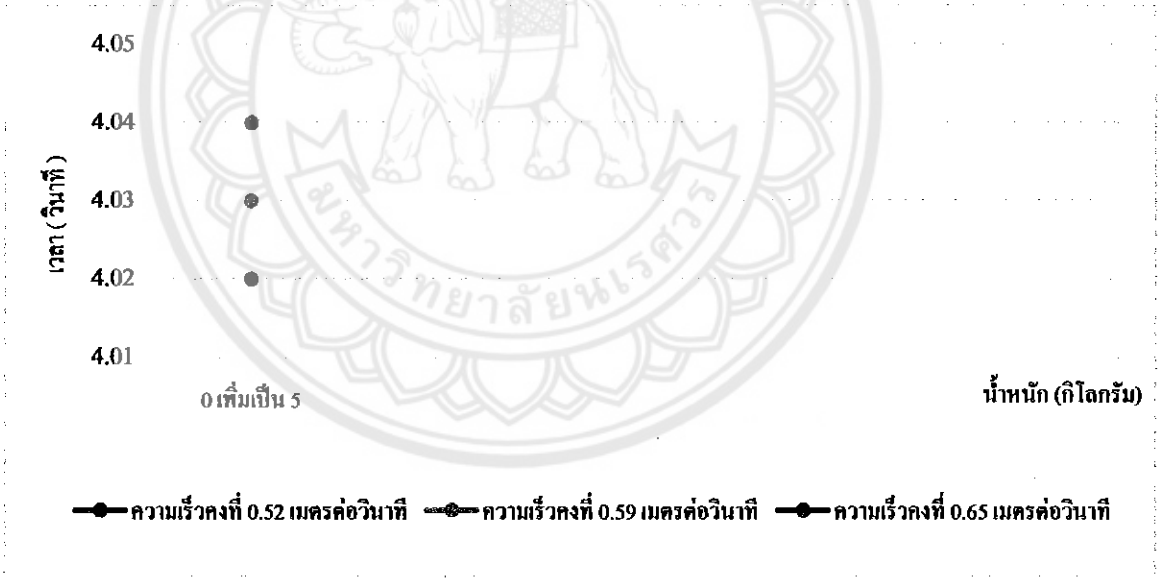


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 4 กิโลกรัม ของความเร็วทั้ง 3 ระดับ

จากกราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักทีละ 4 กิโลกรัมของความเร็วทั้ง 3 ระดับ พบว่า สามารถสรุปได้ว่า หุ่นยนต์รถสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 0.52 0.59 และ 0.65 เมตรต่อวินาที แม้จะเพิ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัม ความเร็วของหุ่นยนต์รถยังคงที่ 0.52 0.59 และ 0.65 เมตรต่อวินาที โดยช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ของการเพิ่มปริมาณน้ำหนักจะอยู่ในช่วง 3.48 ถึง 3.51 วินาที

ตารางที่ 4.10 การทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 5 กิโลกรัม ของความเร็วทั้ง 3 ระดับ

น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ (วินาที)					ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เฉลี่ย (วินาที)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
ความเร็วคงที่ 0.52 เมตรต่อวินาที							
0	5	4.02	4.03	3.99	4.03	4.01	4.02
ความเร็วคงที่ 0.59 เมตรต่อวินาที							
0	5	4.04	4.03	4.02	4.05	4.04	4.03
ความเร็วคงที่ 0.65 เมตรต่อวินาที							
0	5	4.04	4.04	4.03	4.06	4.05	4.04



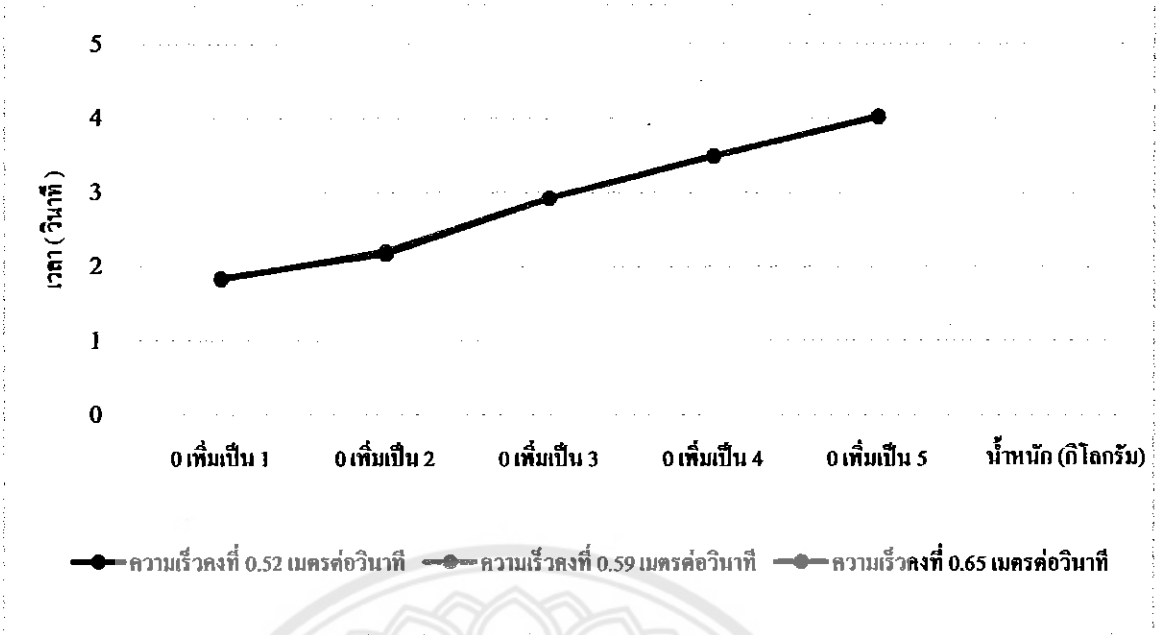
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่ม 5 กิโลกรัม ของความเร็วทั้ง 3 ระดับ

จากกราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักทีละ 5 กิโลกรัมของความเร็วทั้ง 3 ระดับ สามารถสรุปได้ว่า หุ่นยนต์รถสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 0.52 0.59 และ

0.65 เมตรต่อวินาทีแม้จะเพิ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม ความเร็วของหุ่นยนต์รถยังคงที่ 0.52 0.59 และ0.65 เมตรต่อวินาที โดยช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ของการเพิ่มปริมาณน้ำหนักจะอยู่ในช่วง 4.02 ถึง 4.04 วินาที

ตารางที่ 4.11 การทดสอบช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักของความเร็วทั้ง 3 ระดับ

น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ (วินาที)					ช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เฉลี่ย (วินาที)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
ความเร็วคงที่ 0.52 เมตรต่อวินาที							
0	1	1.82	1.81	1.83	1.83	1.84	1.83
0	2	2.22	2.19	2.21	2.22	2.23	2.21
0	3	2.95	2.93	2.92	2.93	2.94	2.93
0	4	3.49	3.48	3.53	3.52	3.50	3.50
0	5	4.02	4.03	3.99	4.03	4.01	4.02
ความเร็วคงที่ 0.59 เมตรต่อวินาที							
0	1	1.82	1.85	1.86	1.80	1.81	1.83
0	2	2.18	2.21	2.22	2.18	2.23	2.20
0	3	2.91	2.93	2.95	2.92	2.93	2.93
0	4	3.48	3.47	3.49	3.52	3.51	3.49
0	5	4.04	4.03	4.02	4.05	4.04	4.03
ความเร็วคงที่ 0.65 เมตรต่อวินาที							
0	1	1.83	1.85	1.84	1.86	1.85	1.85
0	2	2.15	2.17	2.16	2.18	2.19	2.17
0	3	2.89	2.93	2.94	2.92	2.94	2.92
0	4	3.50	3.50	3.48	3.46	3.49	3.49
0	5	4.01	3.99	4.03	4.02	4.04	4.02



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนัก ของความเร็วทั้ง 3 ระดับ

จากกราฟแสดงช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่เมื่อบรรทุกน้ำหนักของความเร็วทั้ง 3 ระดับ พบว่า สามารถสรุปได้ว่า หุ่นยนต์รถสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 0.52 0.59 และ 0.65 เมตรต่อวินาที แม้จะเพิ่มน้ำหนักความเร็วของหุ่นยนต์รถยังคงที่ 0.52 0.59 และ 0.65 เมตรต่อวินาที โดยช่วงเวลาที่ความเร็วกลับมาคงที่ของการเพิ่มปริมาณน้ำหนักจะอยู่ในช่วง 1.9 ถึง 4 วินาที

4.3 ทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของหุ่นยนต์รถ

ทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์รถ โดยให้หุ่นยนต์รถบรรทุกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ถึง 7 กิโลกรัม เคลื่อนที่ไปข้างหน้าเป็นทางตรง ซึ่งในแต่ครั้งที่ทดสอบจะต้องชาร์ตแบตเตอรี่ให้มีแรงดัน 12 โวลต์ เพื่อที่จะทดสอบว่าหุ่นยนต์รถสามารถรับน้ำหนักและเคลื่อนที่ได้

ตารางที่ 4.12 การทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์รถเมื่อบรรทุกน้ำหนัก

ขนาดน้ำหนักที่บรรทุก (กิโลกรัม)	การทดสอบประสิทธิภาพ				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
1	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓
7	✗	✗	✗	✗	✗

หมายเหตุ: เครื่องหมาย ✓ หมายถึง รับน้ำหนักได้และเคลื่อนที่ได้ ✗ หมายถึง **รับน้ำหนักไม่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้**

จากตารางการทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์รถเมื่อบรรทุกน้ำหนัก จะพบว่า เมื่อใส่น้ำหนักตั้งแต่ 1 กิโลกรัม ถึง 6 กิโลกรัม หุ่นยนต์รถสามารถรับน้ำหนักและเคลื่อนที่ได้ แต่เมื่อใส่น้ำหนัก 7 กิโลกรัม หุ่นยนต์รถไม่สามารถรับน้ำหนักและเคลื่อนที่ได้

ดั้งนั้น สรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของหุ่นยนต์รถ จะรับน้ำหนักได้สูงสุด 6 กิโลกรัม

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทฤษฎี ออกแบบ สร้างหุ่นยนต์รถ และทำการทดสอบหุ่นยนต์รถ โดยใช้ระยะเวลาดำเนินโครงงาน 2 ภาคการศึกษา ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการทดลองในโครงงาน ปัญหา และแนวทางการแก้ไขปัญหา พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางในการทำโครงงานนี้เพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างหุ่นยนต์รถที่สามารถควบคุมความเร็วให้มีขนาดคงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนย้ายสินค้าในโรงงานหรือคลังสินค้า เพื่อประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายและแรงงานคนในการทำงาน

เมื่อทำการทดสอบความสามารถของหุ่นยนต์รถแบ่งเป็น ความเร็วของหุ่นยนต์รถเมื่อบรรทุกน้ำหนัก 1 – 5 กิโลกรัม ความเร็วของหุ่นยนต์รถเมื่อความเร็วเปลี่ยนแปลง และประสิทธิภาพของหุ่นยนต์รถเมื่อบรรทุกน้ำหนัก ทำให้สรุปได้ว่า หุ่นยนต์รถที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมความเร็วให้มีขนาดคงที่ 0.91 เมตรต่อวินาที ซึ่งถ้าบรรทุกน้ำหนักตั้งแต่ 1 กิโลกรัม ไปจนถึง 5 กิโลกรัม หุ่นยนต์รถก็ยังสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วคงที่ประมาณ 0.91 เมตรต่อวินาที ซึ่งการทดสอบยังพบข้อผิดพลาดในการทำงาน ดังนั้นจึงมีการศึกษาแนวทางการพัฒนาเพื่อให้ได้หุ่นยนต์รถที่สามารถควบคุมความเร็วให้มีขนาดคงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด ให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานจริงต่อไป

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบ สร้าง และทำการทดสอบความสามารถของหุ่นยนต์รถ ทำให้พบปัญหาดังต่อไปนี้

1. วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างของหุ่นยนต์ไม่สามารถหาวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและแข็งแรงได้ จึงจำเป็นต้องใช้อะคริลิคและแผ่นอะลูมิเนียมมาประยุกต์ใช้งานทำให้โครงสร้างของหุ่นยนต์มีน้ำหนักพอสมควร

2. เนื่องจากล้อของหุ่นยนต์รถมีข้อจำกัดในการวิ่ง คือ ต้องวิ่งบนพื้นเรียบเพื่อประสิทธิภาพในการวิ่ง จึงต้องทำการเปลี่ยนล้อให้เหมาะสมกับทุกสภาพพื้นผิว

3. เนื่องจากหุ่นยนต์รถสามารถรับน้ำหนักได้ไม่มาก จึงต้องทำการเปลี่ยนกล่องที่บรรทุกน้ำหนัก รวมทั้งโครงสร้างของหุ่นยนต์รถและมอเตอร์กระแสตรง เพื่อให้เหมาะสมกับน้ำหนักที่บรรทุก

4. เนื่องจากหุ่นยนต์รถใช้สวิตซ์เปิด-ปิด ทำให้หุ่นยนต์รถหยุดเคลื่อนที่ได้ลำบาก จึงต้องทำการปรับเปลี่ยนสวิตซ์ให้เป็นแบบหยุดอัตโนมัติหรือใช้รีโมทแทนการกดหยุดที่สวิตซ์โดยตรง

5.3 แนวทางในการพัฒนา

จากปัญหาที่พบในการสร้างหุ่นยนต์รถ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของหุ่นยนต์รถลดน้อยลง จึงต้องศึกษาแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาหุ่นยนต์รถให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

หุ่นยนต์รถที่สร้างขึ้นมีน้ำหนักค่อนข้างมาก รวมถึงแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ที่นำมาใช้ก็มีน้ำหนักมาก ดังนั้นจึงควรปรับปรุงขนาดให้เล็กลงโดยเลือกใช้วัสดุที่แข็งแรง น้ำหนักเบา และเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักเบา ทนทาน อายุการใช้งานสูง เพื่อประสิทธิภาพที่ดีของหุ่นยนต์รถ ทั้งนี้อาจจะพัฒนาให้หุ่นยนต์รถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น นั่นคือ การเพิ่มมอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 โวลต์และปรับเปลี่ยนล้อหน้าของหุ่นยนต์รถให้เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ ซ้าย-ขวา เพื่อประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Arduino UnoBoard "Overview arduinouno R3", สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2558 จาก http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno.

[2] บริษัท วีนัสซัพพลาย จำกัด, "การใช้งาน Character LCD Display กับ Arduino", สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2558 จาก http://thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article

[3] http://www.thaieasyelec.com/, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2558

[4] ไชชาญ หินเกิด "เครื่องกลไฟฟ้า 1", บริษัทประชาชน, กรุงเทพฯ, 2558

[5] http://www.ps-thai.org, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2558.

[6] http://www.patscale.com, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2558.

[7] ซ่อมมอเตอร์.com/การทำงานของมอเตอร์, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2558.

[8] Muhammad H. Rashid "Power Electronics Circuits, Devices and Applications", Pearson Education, Inc., Third Edition, 2004.

[9] http://www.lpc.rmutl.ac.th/elcen/elearning/motorcontrol/module2/symbole.html, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2558

[10] http://fonengineering.com/our-products/19-limit-switch.html, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2558

[11] http://epautomation.blogspot.com/2011/11/blog-post.html, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2558

ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลของ ATmega328P

Features

- **High Performance, Low Power AVR® 8-Bit Microcontroller**
- **Advanced RISC Architecture**
  - **131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution**
  - **32 x 8 General Purpose Working Registers**
  - **Fully Static Operation**
  - **Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz**
  - **On-chip 2-cycle Multiplier**
- **High Endurance Non-volatile Memory Segments**
  - **4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash progam memory (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)**
  - **256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)**
  - **512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)**
  - **Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM**
  - **Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C[1]**
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
- **Peripheral Features**
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Six PWM Channels
  - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
    - Temperature Measurement
  - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
    - Temperature Measurement
  - Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- **Special Microcontroller Features**
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- **I/O and Packages**
  - 23 Programmable I/O Lines
  - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- **Operating Voltage:**
  - 1.8 - 5.5V for ATmega48PA/88PA/168PA/328P
- **Temperature Range:**
  - -40°C to 85°C
- **Speed Grade:**
  - 0 - 20 MHz @ 1.8 - 5.5V
- **Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48PA/88PA/168PA/328P:**
  - Active Mode: 0.2 mA
  - Power-down Mode: 0.1 µA
  - Power-save Mode: 0.75 µA (including 32 kHz RTC)

8-bit AVR® Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash

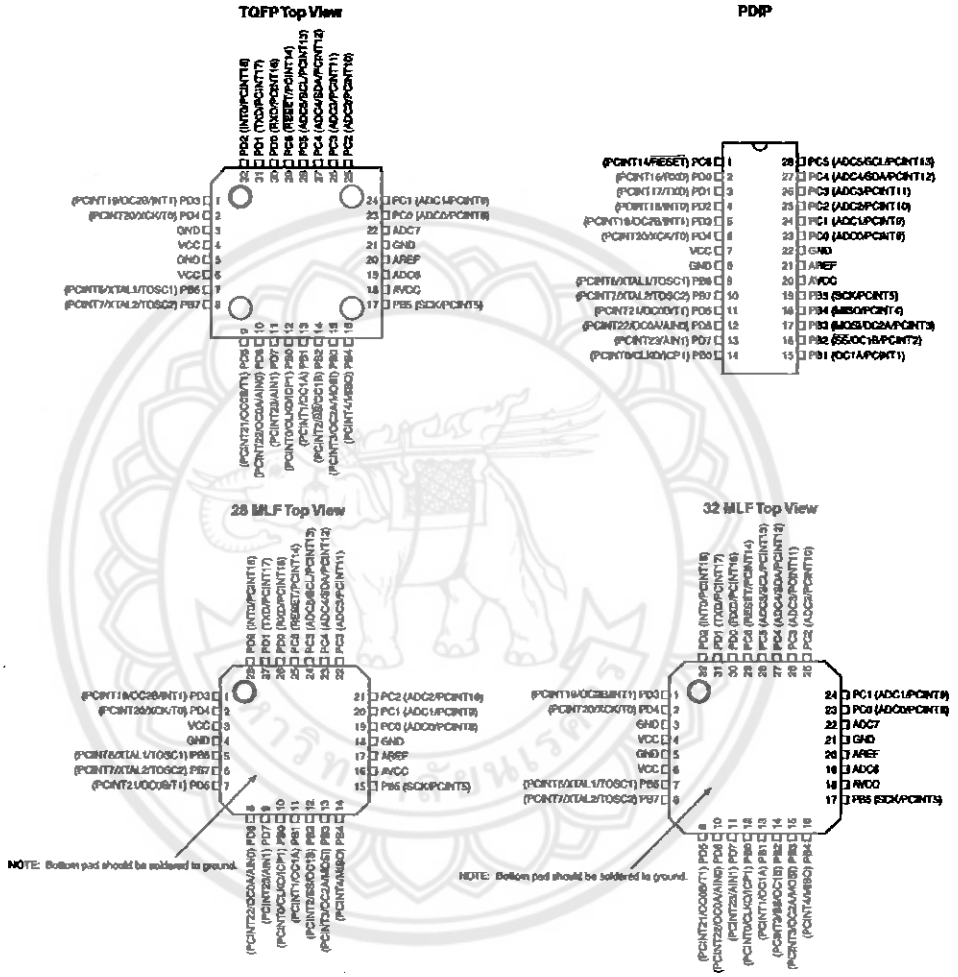
ATmega48PA
ATmega88PA
ATmega168PA
ATmega328P

Summary

Rev. 8161CS–AVR–05/09

1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48PA/88PA/168PA/328P



1.1 Pin Descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 Port B (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.

If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7..6 is used as TOSC2..1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.

The various special features of Port B are elaborated in "Alternate Functions of Port B" on page 76 and "System Clock and Clock Options" on page 26.

1.1.4 Port C (PC5:0)

Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC5..0 output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

1.1.5 PC6/$\overline{\text{RESET}}$

If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 28-3 on page 308. Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in "Alternate Functions of Port C" on page 79.

1.1.6 Port D (PD7:0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

The various special features of Port D are elaborated in "Alternate Functions of Port D" on page 82.

1.1.7 AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC3:0, and ADC7:6. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC6..4 use digital supply voltage, V_{CC}.

1.1.8 AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

1.1.9 ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)

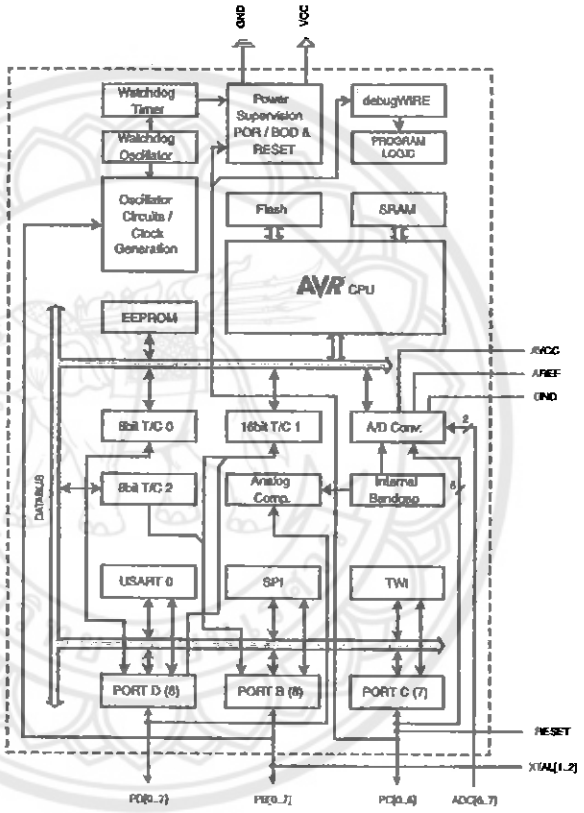
In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

2. Overview

The ATmega48PA/88PA/168PA/328P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega48PA/88PA/168PA/328P achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting

architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega48PA/88PA/168PA/328P provides the following features: 4/8/16/32K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 256/512/512/1K bytes EEPROM, 512/1K/1K/2K bytes SRAM, 23 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, three flexible Timer/Counters with compare modes, internal and external interrupts, a serial programmable USART, a byte-oriented 2-wire Serial Interface, an SPI serial port, a 6-channel 10-bit ADC (8 channels in TQFP and QFN/MLF packages), a programmable Watchdog Timer with internal Oscillator, and five software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, USART, 2-wire Serial Interface, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset. In Power-save mode, the asynchronous timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except asynchronous timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low power consumption.

The device is manufactured using Atmel's high density non-volatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed In-System through an SPI serial interface, by a conventional non-volatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The Boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega48PA/88PA/168PA/328P is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega48PA/88PA/168PA/328P AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C Compilers, Macro Assemblers, Program Debugger/Simulators, In-Circuit Emulators, and Evaluation kits.

2.2 Comparison Between ATmega48PA, ATmega88PA, ATmega168PA and ATmega328P

The ATmega48PA, ATmega88PA, ATmega168PA and ATmega328P differ only in memory sizes, boot loader support, and interrupt vector sizes. Table 2-1 summarizes the different memory and interrupt vector sizes for the three devices.

Table 2-1. Memory Size Summary

Device	Flash	EEPROM	RAM	Interrupt Vector Size
ATmega48PA	4K Bytes	256 Bytes	512 Bytes	1 instruction word/vector
ATmega88PA	8K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	1 instruction word/vector
ATmega168PA	16K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	2 instruction words/vector
ATmega328P	32K Bytes	1K Bytes	2K Bytes	2 instruction words/vector

ATmega88PA, ATmega168PA and ATmega328P support a real Read-While-Write Self-Programming mechanism. There is a separate Boot Loader Section, and the SPM instruction can only execute from there. In ATmega48PA, there is no Read-While-Write support and no separate Boot Loader Section. The SPM instruction can execute from the entire Flash.

3. Resources

A comprehensive set of development tools, application notes and datasheets are available for download on http://www.atmel.com/avr.

4. Data Retention

Reliability Qualification results show that the projected data retention failure rate is much less than 1 PPM over 20 years at 85°C or 100 years at 25°C.

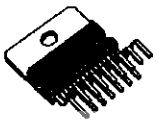
ภาคผนวก ข

รายละเอียดข้อมูลของ 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)



Multiwatt15

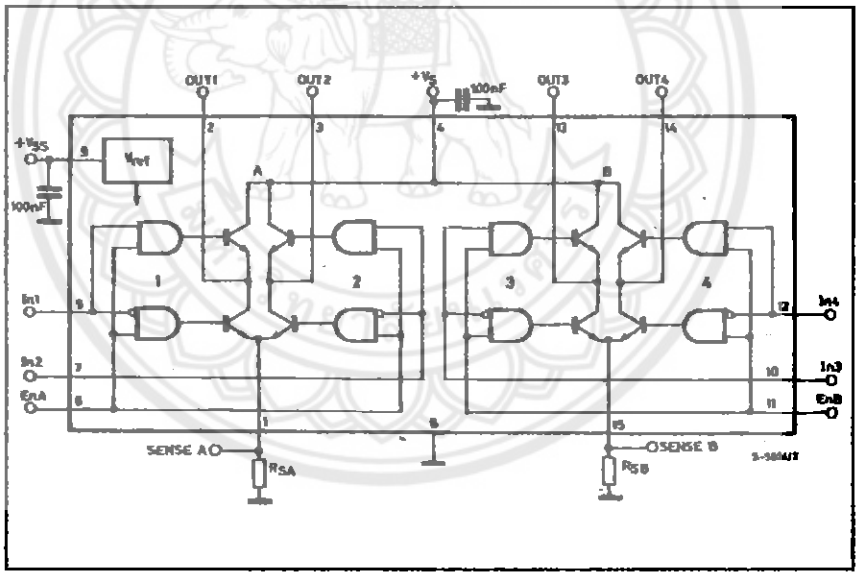
PowerSO20

ORDERING NUMBERS : L298N (Multiwatt Vert.)
L298HN (Multiwatt Horiz.)
L298P (PowerSO20)

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

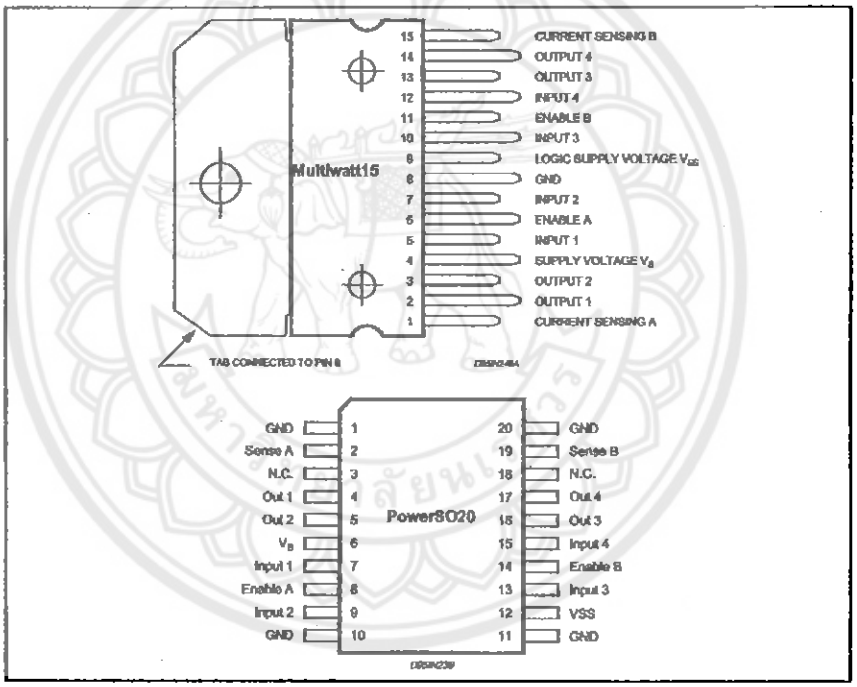
BLOCK DIAGRAM



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 = 100µs) –Repetitive (80% on –20% off; t_{on} = 10ms) –DC Operation	 3 2.5 2	 A A A
V_{sens}	Sensing Voltage	–1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation (T_{case} = 75°C)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	–25 to 130	°C
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	–40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

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

(*) Mounted on aluminum substrate

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	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF 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		VSS	V
I_{IL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V_i = L				–10	µA
I_{IH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V_i = H ≤ V_{SS} –0.6V			30	100	µA
V_{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)			–0.3		1.5	V
V_{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)			2.3		V_{SS}	V
I_{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = L				–10	µA
I_{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = H ≤ V_{SS} –0.6V			30	100	µA
$V_{CEsat\ (H)}$	Source Saturation Voltage	I_L = 1A I_L = 2A		0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
$V_{CEsat\ (L)}$	Sink Saturation Voltage	I_L = 1A (5) I_L = 2A (5)		0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V_{CEsat}	Total Drop	I_L = 1A (5) I_L = 2A (5)		1.80		3.2 4.9	V V
V_{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)			–1 (1)		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$T_1 (V_i)$	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (2); (4)		1.5		µs
$T_2 (V_i)$	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		0.2		µs
$T_3 (V_i)$	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.1 I_L (2); (4)		2		µs
$T_4 (V_i)$	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.7		µs
$T_5 (V_i)$	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		0.7		µs
$T_6 (V_i)$	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.25		µs
$T_7 (V_i)$	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		1.6		µs
$T_8 (V_i)$	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.2		µs
fc (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) 1)Sensing voltage can be –1 V for t ≤ 50 µsec; in steady state V_{sens} min ≥ –0.5 V.
2) See fig. 2.
3) See fig. 4.
4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

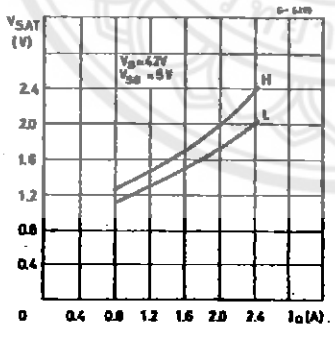
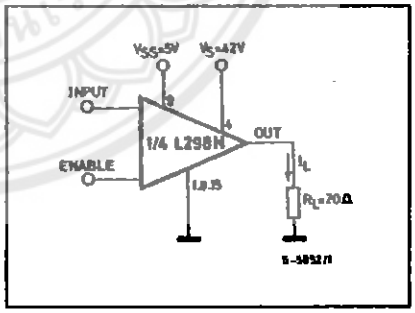


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



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

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

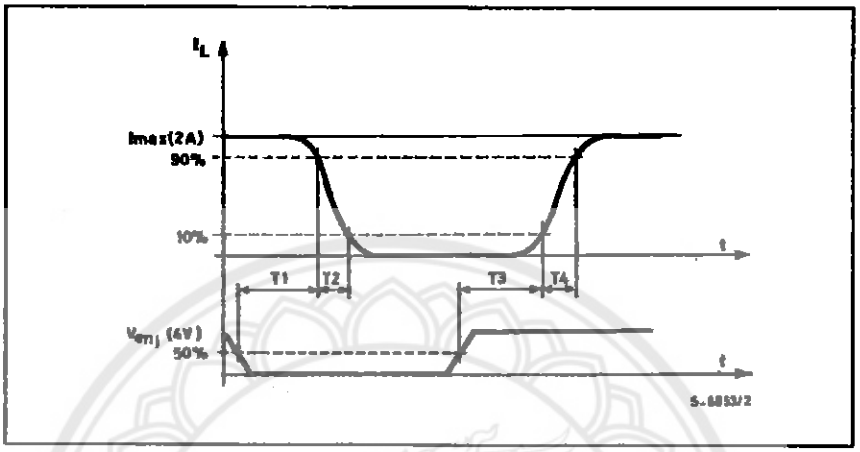
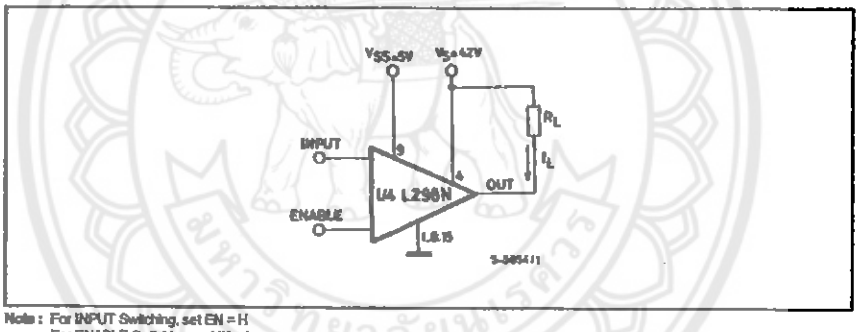


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



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

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

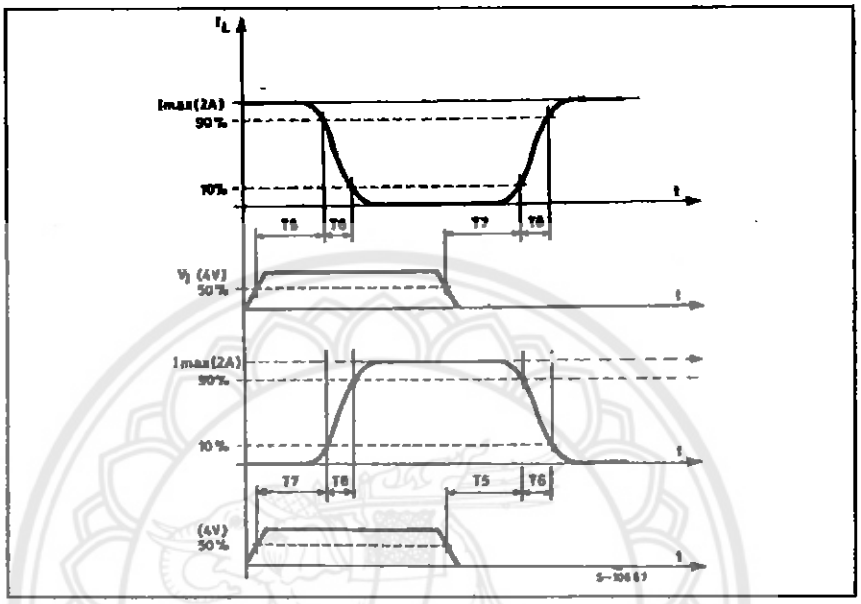
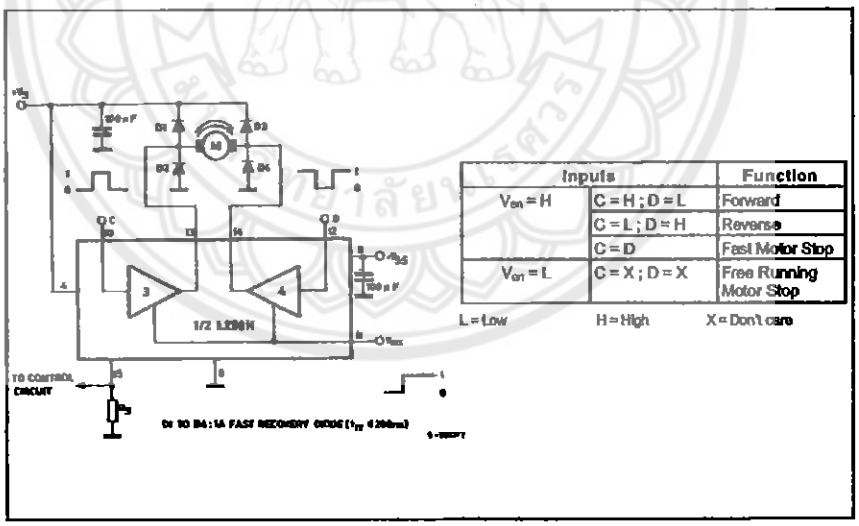


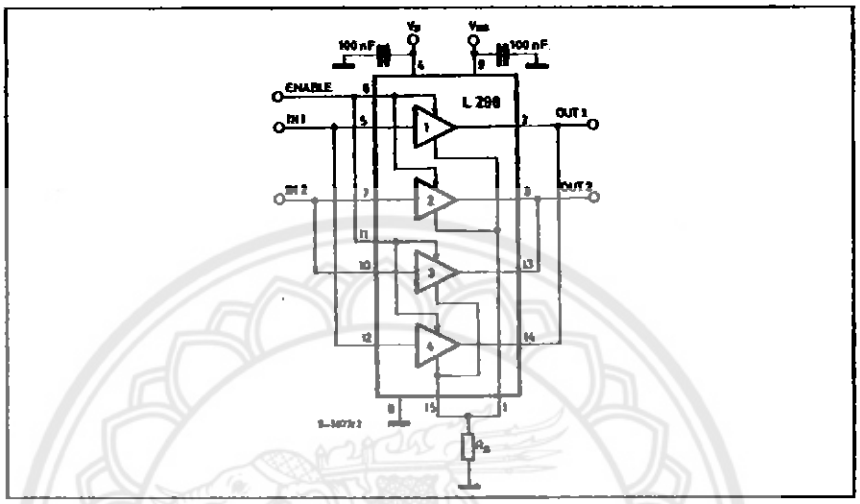
Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.



Inputs		Function
V_{en} = H	C = H ; D = L	Forward
	C = L ; D = H	Reverse
	C = D	Fast Motor Stop
V_{en} = L	C = X ; D = X	Free Running Motor Stop

L = Low H = High X = Don't care

Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A ; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differenzial mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output ; an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}.) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In1 ; In2 ; EnA and In3 ; In4 ; EnB. The In inputs set the bridge state when The En input is high ; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both Vs and Vss, to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of Vs that must be near the GND pin of the I.C.

Each Input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($t_{rr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a VF as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped ; Shottky diodes would be preferred.

This solution can drive until 3 Amps in DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

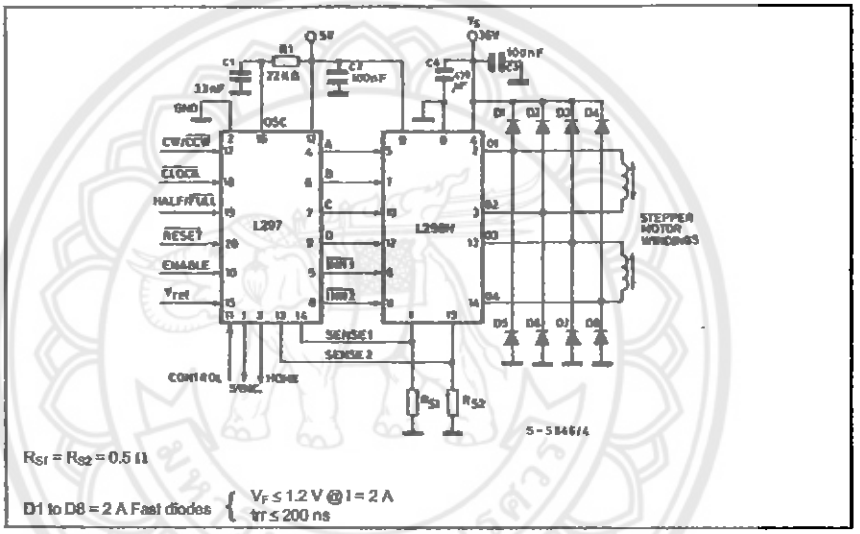


Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

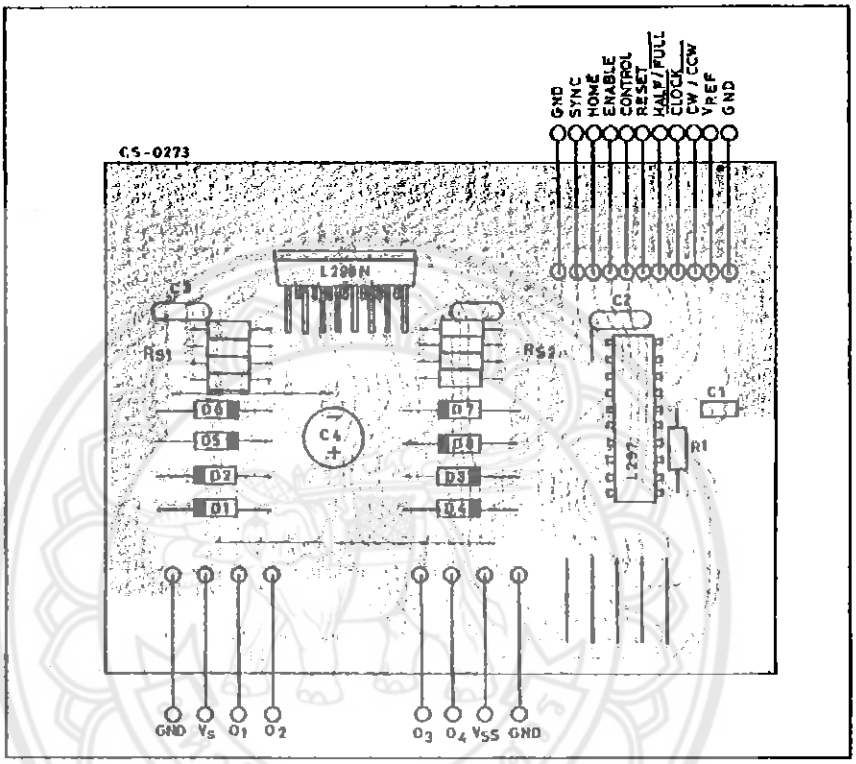
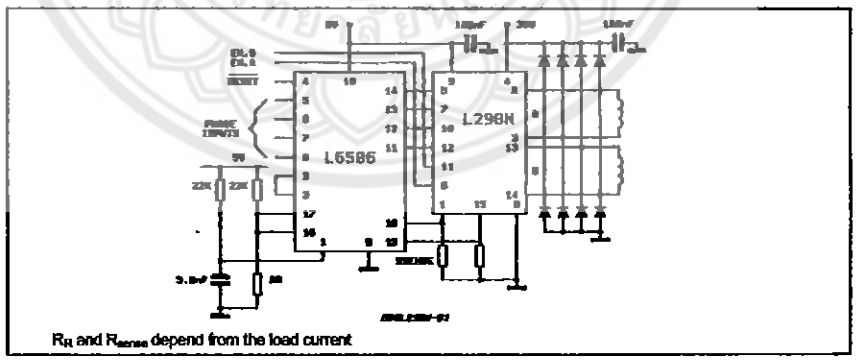


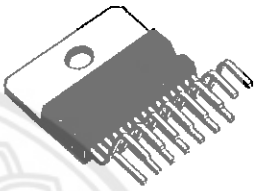
Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.



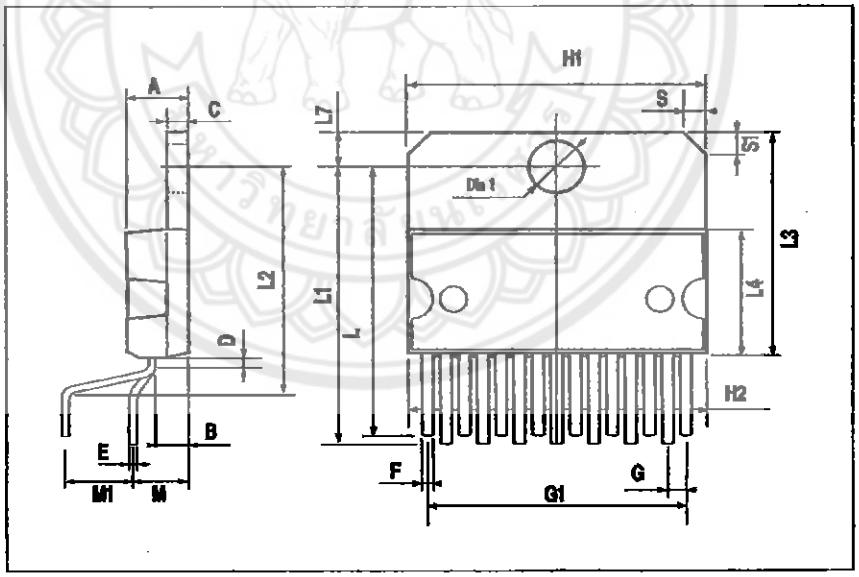
R_R and R_{sense} depend from the load current

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

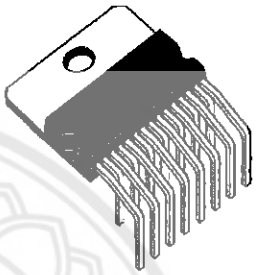


Multiwatt15 V

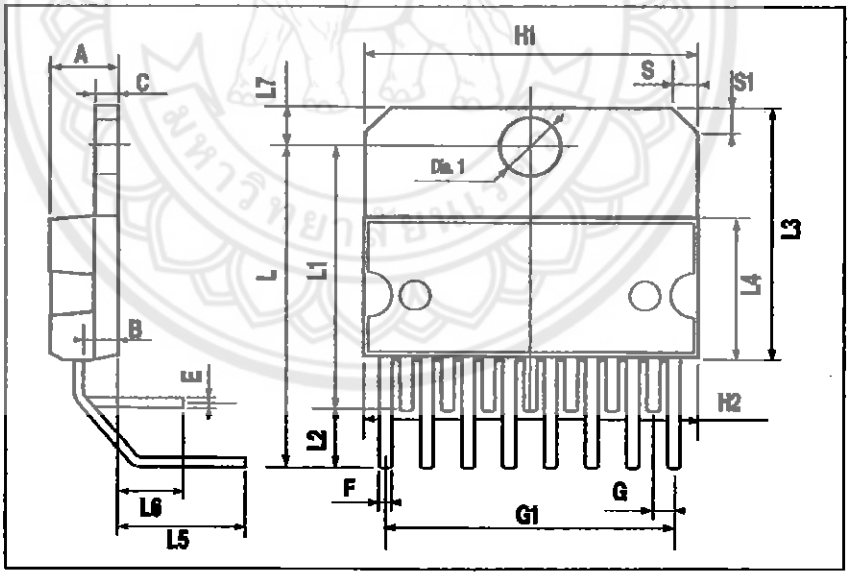


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.64			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



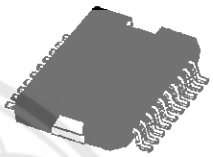
Multiwatt15 H



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	

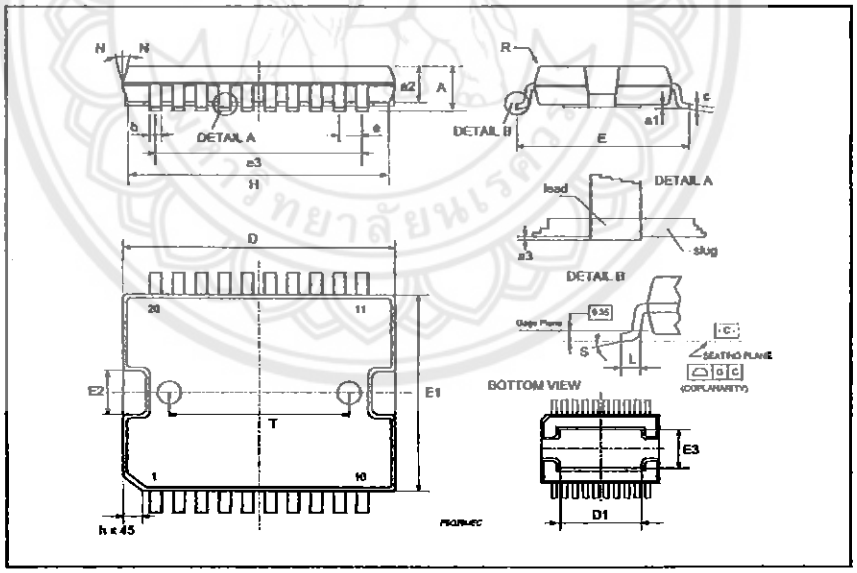
(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.
- Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
- Critical dimensions: "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

http://www.st.com

ภาคผนวก ค

รายละเอียดข้อมูลของ Hx711

海芯科技 AVIA Semiconductor

HX711

24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales

DESCRIPTION

Based on Avia Semiconductor's patented technology, HX711 is a precision 24-bit analog-to-digital converter (ADC) designed for weigh scales and industrial control applications to interface directly with a bridge sensor.

The input multiplexer selects either Channel A or B differential input to the low-noise programmable gain amplifier (PGA). Channel A can be programmed with a gain of 128 or 64, corresponding to a full-scale differential input voltage of ±20mV or ±40mV respectively, when a 5V supply is connected to AVDD analog power supply pin. Channel B has a fixed gain of 32. On-chip power supply regulator eliminates the need for an external supply regulator to provide analog power for the ADC and the sensor. Clock input is flexible. It can be from an external clock source, a crystal, or the on-chip oscillator that does not require any external component. On-chip power-on-reset circuitry simplifies digital interface initialization.

There is no programming needed for the internal registers. All controls to the HX711 are through the pins.

FEATURES

- Two selectable differential input channels
- On-chip active low noise PGA with selectable gain of 32, 64 and 128
- On-chip power supply regulator for load-cell and ADC analog power supply
- On-chip oscillator requiring no external component with optional external crystal
- On-chip power-on-reset
- Simple digital control and serial interface: pin-driven controls, no programming needed
- Selectable 10SPS or 80SPS output data rate
- Simultaneous 50 and 60Hz supply rejection
- Current consumption including on-chip analog power supply regulator: normal operation < 1.5mA, power down < 1uA
- Operation supply voltage range: 2.6 ~ 5.5V
- Operation temperature range: -40 ~ +85℃
- 16 pin SOP-16 package

APPLICATIONS

- Weigh Scales
- Industrial Process Control

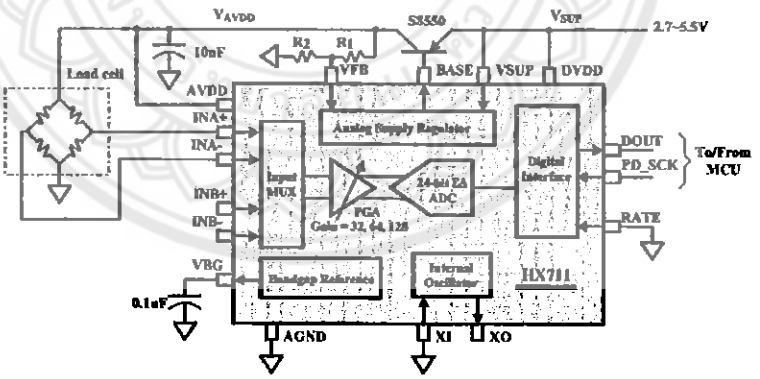
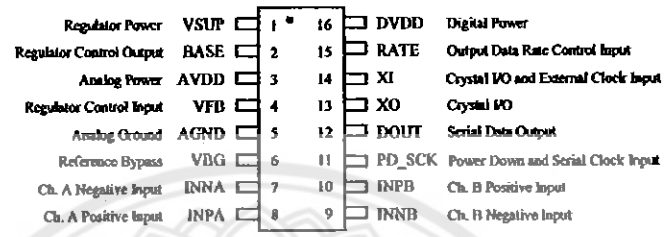


Fig. 1 Typical weigh scale application block diagram

Pin Description



SOP-16L Package

Pin #	Name	Function	Description
1	VSUP	Power	Regulator supply: 2.7 ~ 5.5V
2	BASE	Analog Output	Regulator control output（NC when not used）
3	AVDD	Power	Analog supply: 2.6 ~ 5.5V
4	VFB	Analog Input	Regulator control input（connect to AGND when not used）
5	AGND	Ground	Analog Ground
6	VBG	Analog Output	Reference bypass output
7	INA-	Analog Input	Channel A negative input
8	INA+	Analog Input	Channel A positive input
9	INB-	Analog Input	Channel B negative input
10	INB+	Analog Input	Channel B positive input
11	PD_SCK	Digital Input	Power down control (high active) and serial clock input
12	DOUT	Digital Output	Serial data output
13	XO	Digital I/O	Crystal I/O (NC when not used）
14	XI	Digital Input	Crystal I/O or external clock input, 0: use on-chip oscillator
15	RATE	Digital Input	Output data rate control, 0: 10Hz; 1: 80Hz
16	DVDD	Power	Digital supply: 2.6 ~ 5.5V

Table 1 Pin Description

KEY ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Parameter	Notes	MIN	TYP	MAX	UNIT
Full scale differential input range	V(inp)-V(inn)		±0.5(AVDD/GAIN)		V
Common mode input		AGND+1.2		AVDD-1.3	V
Output data rate	Internal Oscillator, RATE = 0		10		Hz
	Internal Oscillator, RATE = DVDD		80		
	Crystal or external clock, RATE = 0		f_{clk}/1,105,920		
	Crystal or external clock, RATE = DVDD		f_{clk}/138,240		
Output data coding	2's complement	800000		7FFFFF	HEX
Output settling time(1)	RATE = 0		400		ms
	RATE = DVDD		50		
Input offset drift	Gain = 128		0.2		mV
	Gain = 64		0.4		
Input noise	Gain = 128, RATE = 0		50		nV(rms)
	Gain = 128, RATE = DVDD		90		
Temperature drift	Input offset (Gain = 128)		±6		nV/℃
	Gain (Gain = 128)		±5		ppm/℃
Input common mode rejection	Gain = 128, RATE = 0		100		dB
Power supply rejection	Gain = 128, RATE = 0		100		dB
Reference bypass (V_{BG})			1.25		V
Crystal or external clock frequency		1	11.0592	20	MHz
Power supply voltage	DVDD	2.6		5.5	V
	AVDD, VSUP	2.6		5.5	
Analog supply current (including regulator)	Normal		1400		μA
	Power down		0.3		
Digital supply current	Normal		100		μA
	Power down		0.2		

(1) Settling time refers to the time from power up, reset, input channel change and gain change to valid stable output data.

Table 2 Key Electrical Characteristics

Analog Inputs

Channel A differential input is designed to interface directly with a bridge sensor's differential output. It can be programmed with a gain of 128 or 64. The large gains are needed to accommodate the small output signal from the sensor. When 5V supply is used at the AVDD pin, these gains correspond to a full-scale differential input voltage of ±20mV or ±40mV respectively.

Channel B differential input has a fixed gain of 32. The full-scale input voltage range is ±80mV, when 5V supply is used at the AVDD pin.

Power Supply Options

Digital power supply (DVDD) should be the same power supply as the MCU power supply.

When using internal analog supply regulator, the dropout voltage of the regulator depends on the external transistor used. The output voltage is equal to $V_{AVDD}=V_{BG}*(R1+R2)/R1$ (Fig. 1). This voltage should be designed with a minimum of 100mV below VSUP voltage.

If the on-chip analog supply regulator is not used, the VSUP pin should be connected to either AVDD or DVDD, depending on which voltage is higher. Pin VFB should be connected to Ground and pin BASE becomes NC. The external 0.1uF bypass capacitor shown on Fig. 1 at the VBG output pin is then not needed.

Clock Source Options

By connecting pin XI to Ground, the on-chip oscillator is activated. The nominal output data rate when using the internal oscillator is 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1).

If accurate output data rate is needed, crystal or external reference clock can be used. A crystal can be directly connected across XI and XO pins. An external clock can be connected to XI pin, through a 20pF ac coupled capacitor. This external clock is not required to be a square wave. It can come directly from the crystal output pin of the MCU chip, with amplitude as low as 150 mV.

When using a crystal or an external clock, the internal oscillator is automatically powered down.

Output Data Rate and Format

When using the on-chip oscillator, output data rate is typically 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1).

When using external clock or crystal, output data rate is directly proportional to the clock or crystal frequency. Using 11.0592MHz clock or crystal results in an accurate 10 (RTE=0) or 80SPS (RATE=1) output data rate.

The output 24 bits of data is in 2's complement format. When input differential signal goes out of the 24 bit range, the output data will be saturated at 800000h (MIN) or 7FFFFFh (MAX), until the input signal comes back to the input range.

Serial Interface

Pin PD_SCK and DOUT are used for data retrieval, input selection, gain selection and power down controls.

When output data is not ready for retrieval, digital output pin DOUT is high. Serial clock input PD_SCK should be low. When DOUT goes to low, it indicates data is ready for retrieval. By applying 25~27 positive clock pulses at the PD_SCK pin, data is shifted out from the DOUT output pin. Each PD_SCK pulse shifts out one bit, starting with the MSB bit first, until all 24 bits are shifted out. The 25th pulse at PD_SCK input will pull DOUT pin back to high (Fig.2).

Input and gain selection is controlled by the number of the input PD_SCK pulses (Table 3). PD_SCK clock pulses should not be less than 25 or more than 27 within one conversion period, to avoid causing serial communication error.

PD_SCK Pulses	Input channel	Gain
25	A	128
26	B	32
27	A	64

Table 3 Input Channel and Gain Selection

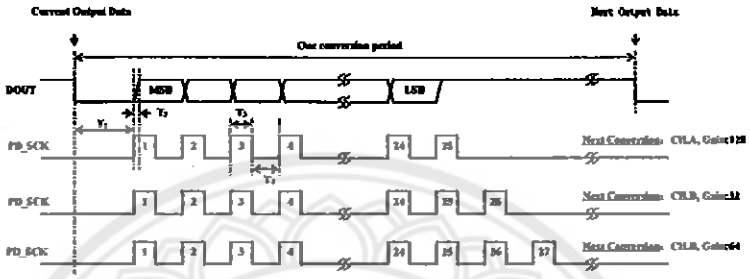


Fig.2 Data output, input and gain selection timing and control

Symbol	Note	MIN	TYP	MAX	Unit
T_1	DOUT falling edge to PD_SCK rising edge	0.1			μs
T_2	PD_SCK rising edge to DOUT data ready			0.1	μs
T_3	PD_SCK high time	0.2	1	50	μs
T_4	PD_SCK low time	0.2	1		μs

Reset and Power-Down

When chip is powered up, on-chip power on rest circuitry will reset the chip.

Pin PD_SCK input is used to power down the HX711. When PD_SCK Input is low, chip is in normal working mode.

Fig.3 Power down control

When PD_SCK pin changes from low to high and stays at high for longer than 60μs, HX711 enters power down mode (Fig.3). When internal regulator is used for HX711 and the external transducer, both HX711 and the transducer will be powered down. When PD_SCK returns to low, chip will reset and enter normal operation mode.

After a reset or power-down event, input selection is default to Channel A with a gain of 128.

Application Example

Fig.1 is a typical weigh scale application using HX711. It uses on-chip oscillator (XI=0), 10Hz output data rate (RATE=0). A Single power supply (2.7~5.5V) comes directly from MCU power supply. Channel B can be used for battery level detection. The related circuitry is not shown on Fig. 1.

Reference PCB Board (Single Layer)

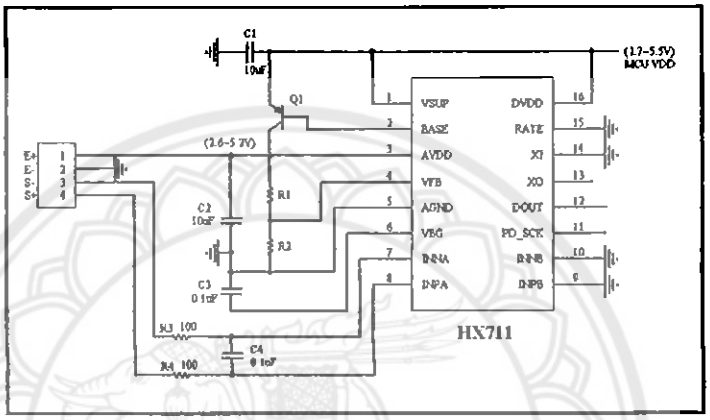


Fig.4 Reference PCB board schematic

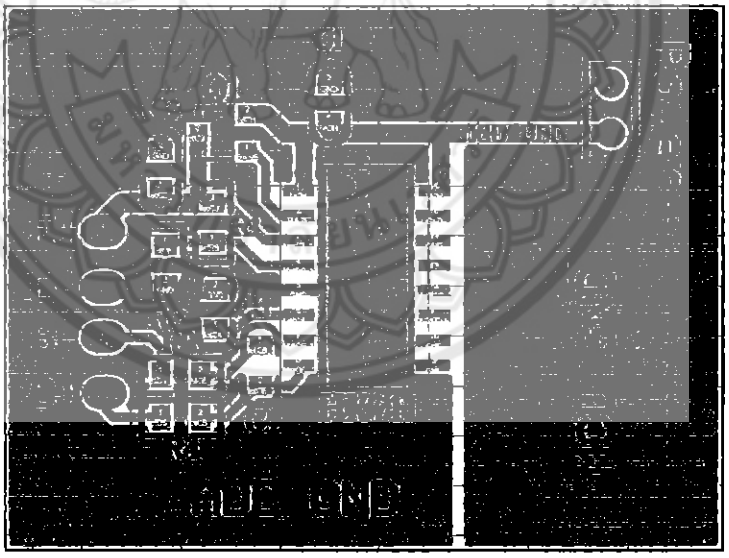


Fig.5 Reference PCB board layout

Reference Driver (Assembly)

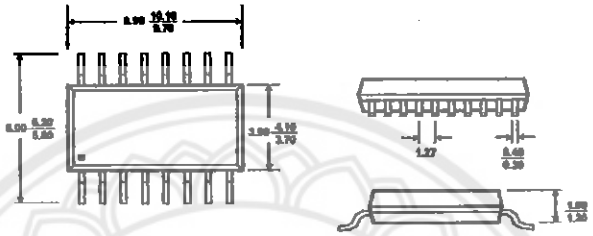
```
/*------------------------------------------------------------------
Call from ASM:      LCALL   ReaAD
Call from C:    extern unsigned long ReadAD(void);
                  .
                  .
                 unsigned long data;
                 data=ReadAD();
                  .
                  .
------------------------------------------------------------------*/
PUBLIC      ReadAD
HX711ROM    segment  code
rseg        HX711ROM

sbit        ADDO = P1.5;
sbit        ADSK = P0.0;
/*------------------------------------------------------------------
 OUT:   R4, R5, R6, R7   R7=>LSB
------------------------------------------------------------------*/
ReadAD:
    CLR     ADSK                //AD Enable (PD_SCK set low)
    SETB    ADDO                //Enable 51CPU I/O
    JB      ADDO,$              //AD conversion completed?
    MOV     R4,#24
ShiftOut:
    SETB    ADSK                //PD_SCK set high (positive pulse)
    NOP
    CLR     ADSK                //PD_SCK set low
    MOV     C,ADDO              //read on bit
    XCH     A,R7                //move data
    RLC     A
    XCH     A,R7
    XCH     A,R6
    RLC     A
    XCH     A,R6
    XCH     A,R5
    RLC     A
    XCH     A,R5
    DJNZ    R4,ShiftOut         //moved 24BIT?
    SETB    ADSK
    NOP
    CLR     ADSK
    RET
    END
```

Reference Driver（C）

```
//-----------------------------------------------------
sbit   ADDO = P1^5;
sbit   ADSK = P0^0;
unsigned long ReadCount(void){
  unsigned long Count;
  unsigned char i;
  ADDO=1;
  ADSK=0;
  Count=0;
  while(ADDO);
  for (i=0;i<24;i++){
    ADSK=1;
    Count=Count<<1;
    ADSK=0;
    if(ADDO) Count++;
  }
  ADSK=1;
  Count=Count^0x800000;
  ADSK=0;
  return(Count);
}
```

Package Dimensions



Typ MAX MIN Unit: mm

SOP-16L Package

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวนุชนาฏ ซื่อสัตย์

ภูมิลำเนา 76/4 หมู่ 5 ต.โกสัมพี อ.โกสัมพีนคร จ.กำแพงเพชร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนผดุงปัญญา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: **nutchanat223@gmail.com**

ชื่อ นางสาวภิญญาพัชญ์ เปริญกุล

ภูมิลำเนา 41 หมู่ 6 ต.หนองควายโซ อ.หนองแซง จ.สระบุรี

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ลพบุรี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: **peeznopphamaz@gmail.com**