

หุ่นยนต์เดิน 6 ขา

SIX-LEG WALKING ROBOT



นายวสิน เพ็ญสุภา รหัส 50362214

นายโชติวิทย์ คงสมบุรณ์ รหัส 50364515

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 11 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 1๒๖2๑1๖๖
เลขเรียกหนังสือ..... นร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๖3๕๗๓

๒๕๕๓

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

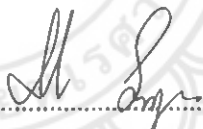
ปีการศึกษา 2553

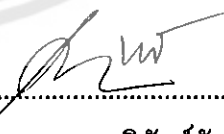


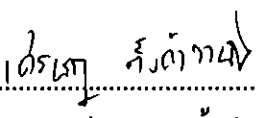
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ รุ่นบัณฑิตเคิน 6 ขา
ผู้ดำเนินโครงการ นายวสิน เพ็ญสุภา รหัส 50362214
 นายโชติวิทย์ กงสมบูรณ์ รหัส 50364515
ที่ปรึกษาโครงการ คร.มุกิตา สงฆ์จันทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(คร.มุกิตา สงฆ์จันทร์)


.....กรรมการ
(ดร.สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)


.....กรรมการ
(อาจารย์เสรฐฐา ตั้งคำวานิช)

ชื่อหัวข้อโครงการ	หุ่นยนต์เดิน 6 ขา
ผู้ดำเนินโครงการ	นายวศิน เพ็ญสุภา รหัส 50362214
	นายโชติวิทย์ กงสมบูรณ์ รหัส 50364515
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.มุกิตา สงฆ์จันทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เดิน 6 ขา ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่คล้ายแมลง ซึ่งหุ่นยนต์เดิน 6 ขาที่สร้างขึ้นนั้นมีลักษณะของขาเป็นครึ่งวงกลมให้สามารถเคลื่อนที่ในสภาพพื้นผิวได้หลายรูปแบบ การทำงานของหุ่นยนต์เดิน 6 ขาถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตั้งงานให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของแต่ละขาทำงานเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ และในการเคลื่อนที่แต่ละก้าวนั้นจะใช้การก้าวครั้งละ 3 ขา เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทรงตัวอยู่ได้ในขณะกำลังเคลื่อนที่ จากการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์พบว่า หุ่นยนต์เดิน 6 ขา นี้สามารถเคลื่อนที่ได้ดีที่สุดในสภาพพื้นผิวแบบพื้นหญ้า

Project title Six-Leg Walking Robot
Name Mr. Wasin Pensupa ID. 50360616
Mr. Chotiwit Kongsomboon ID. 50362993
Project advisor Miss Mutita Songjun, Ph.D.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2010

Abstract

This project is to design and construct the six-leg walking robot. The movement behavior of this robot is like the insect. The figure of each leg of the constructed robot is half-circle which it could make a move in the various surfaces expectedly. This robot is controlled by micro controller via DC motors to move the robot forward. Each step of the robot uses three legs in order to balance while the robot is moving. From the experiment, we found that the six-leg walking robot can move better when it is on the grass surface as the movement is faster.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ ดร.มุกดา สงฆ์จันทร์ และอาจารย์เสรษฐา ตั้งคำวานิช รวมไปถึงรุ่นพี่ที่ชมรมโรบอทที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการวิศวกรรมนี้ในทุกๆด้าน ขอขอบคุณหอสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้ให้ยืมหนังสือเพื่อมาศึกษาข้อมูลดีๆมากมาย ขอขอบคุณทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยทำให้โครงการนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ไปด้วยดี

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้ดำเนินโครงการที่ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

นายวศิน

เพ็ญสุภา

นาย โชติวิทย์

คงสมบูรณ์



สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการดำเนินการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	3
1.6 งบประมาณที่ใช้.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ผลงานวิจัยที่มีมาในอดีต.....	4
2.1.1 งานวิจัยทางการเดินของหุ่นยนต์สองขา.....	4
2.1.2 งานวิจัยทางการเดินของหุ่นยนต์สี่ขา.....	5
2.1.3 งานวิจัยทางการเดินของหุ่นยนต์หกขา.....	8
2.2 ประเภทของหุ่นยนต์.....	10
2.2.1 หุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่.....	10
2.2.2 หุ่นยนต์เคลื่อนที่.....	11
2.3 ส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์.....	11
2.3.1 ส่วนควบคุม.....	11
2.3.2 ส่วนบังคับหรือก้านควบคุม.....	12
2.3.3 กลไกเคลื่อนไหว.....	12
2.3.4 แหล่งพลังงาน.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ทฤษฎีและหลักการงานที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์.....	14
2.4.1 มอเตอร์กระแสตรง.....	14
2.4.2 พอร์ตอนุกรม (RS232)	16
2.4.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	21
2.4.4 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	23
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์.....	26
3.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์.....	26
3.1.1 โครงสร้างและขนาดของส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์.....	26
3.1.2 วงจรที่ใช้ในการทำงานของหุ่นยนต์.....	30
3.2 การสร้างหุ่นยนต์เดิน 6 ขา.....	33
3.3 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา.....	37
บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงการ.....	40
4.1 กระบวนการทำงานของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา.....	40
4.2 ผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา.....	40
4.2.1 การทดลองการหมุนของขาหุ่นยนต์ใน 1 รอบแบบไม่สัมผัสพื้น ทั้งหมด 6 ขา.....	41
4.2.2 การทดลองหาองศาที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกจากแนวเส้นตรง บนพื้นผิวต่างๆ ที่กำหนดในระยะทาง 1 เมตร.....	42
4.2.3 การทดลองวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนพื้นผิวต่างๆ ที่กำหนด ในระยะทาง 1 เมตร.....	43
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	50
5.1 สรุปผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา.....	50
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	50
5.2.1 ปัญหาที่พบจากการดำเนินโครงการ.....	50
5.2.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพ.....	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก ก.....	53
ภาคผนวก ข.....	58
ภาคผนวก ค.....	65
ภาคผนวก ง.....	73
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	79



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการจัดขาของข้าวต้อ อนุกรมแบบ DB9.....	17
3.1 แสดงการทำงานของไอซี L298.....	30
4.1 ผลการทดลองการหมุนของขาหุ่นยนต์ใน 1 รอบแบบไม่สัมผัสพื้นทั้งหมด 6 ขา.....	41
4.2 ผลการทดลองหองศาที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกจากแนวเส้นตรงบนพื้นผิวต่างๆ ที่กำหนด ในระยะทาง 1 เมตร.....	42
4.3 ผลการทดลองวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนพื้นผิวต่างๆ ที่กำหนด ในระยะทาง 1 เมตร.....	43



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หุ่นยนต์ พี 2 ของบริษัทฮอนด้า.....	4
2.2 ตำแหน่งอ้างอิงในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ “กาละแม”.....	5
2.3 หุ่นยนต์สี่ขา กิวเอ็นบี-ไอ.....	6
2.4 ส่วนประกอบและโครงสร้างของหุ่นยนต์ กิวเอ็นบี-ไอ.....	6
2.5 การจับวางขาและบริเวณรองรับน้ำหนักของแบบจำลองหุ่นยนต์.....	7
2.6 ขั้นตอนการเดินแบบคราวรีงเกท.....	7
2.7 โครงสร้างหุ่นยนต์เดิน 6 ขา มองจากด้านบน.....	8
2.8 โครงสร้างหุ่นยนต์เดิน 6 ขา มองจากด้านข้าง.....	8
2.9 โครงสร้างหุ่นยนต์เดิน 6 ขา มองจากด้านหน้า.....	9
2.10 ขั้นตอนต่าง ๆ ในการควบคุมการเดิน.....	9
2.11 จังหวะการก้าวของหุ่นยนต์.....	10
2.12 แสดงแกนกลรุ่นต่างๆ	10
2.13 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้แบบใช้ล้อ.....	11
2.14 วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง.....	14
2.15 วงจรเอช-บริดจ์ ใช้สำหรับควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์.....	15
2.16 คลื่นแสดงอัตราส่วนของรูปคลื่นพัลส์.....	16
2.17 แสดงการเชื่อมต่อวงจรผ่านพอร์ตอนุกรม (RS232)	16
2.18 พอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ DB9 ตัวผู้.....	17
2.19 พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก DB9 ตัวเมีย.....	17
2.20 DB9 ตัวผู้ เมื่อมองจากด้านหลัง.....	17
2.21 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบการต่อแบบไม่ใช้โมเด็ม.....	18
2.22 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น.....	18
2.23 แสดงระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม (RS232) และ TTL.....	19
2.24 แสดงการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส.....	20
2.25 แสดงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส.....	20
2.26 โครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	21
2.27 แสดงตัวเข้ารหัสแบบหมุน (Rotary Encoder).....	23
2.28 แสดงการสร้างสัญญาณพัลส์ (Plus) ของตัวเข้ารหัสแบบหมุน.....	23
2.29 แสดงพัลส์ของ โรตารีแบบสองเฟส.....	24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 แสดงการตรวจเช็คสัญญาณพัลส์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุน.....	24
2.31 ลักษณะสัญญาณพัลส์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุนทั้งสองเฟส.....	25
3.1 ลักษณะขาของหุ่นยนต์.....	26
3.2 ขนาดและลักษณะของขาหุ่นยนต์ ด้าน RIGHT VIEW และ TOP VIEW	26
3.3 ลักษณะตัวของหุ่นยนต์.....	27
3.4 ขนาดและลักษณะตัวของหุ่นยนต์ด้าน TOP VIEW.....	27
3.5 ขนาดและลักษณะตัวของหุ่นยนต์ด้าน FRONT VIEW.....	27
3.6 ลักษณะของขา มอเตอร์ และอุปกรณ์ต่าง ๆ เมื่อนำมาวางที่ตัวของหุ่นยนต์.....	28
3.7 หุ่นยนต์เบื้องต้นในรูปแบบสามมิติ.....	28
3.8 หุ่นยนต์เบื้องต้นด้าน FRONT VIEW.....	28
3.9 หุ่นยนต์เบื้องต้นด้าน RIGHT VIEW.....	29
3.10 หุ่นยนต์เบื้องต้นด้าน TOP VIEW.....	29
3.11 วงจรขับมอเตอร์ไอซีเบอร์ L298.....	30
3.12 วงจรแปลงสัญญาณไฟ 12 โวลต์ เป็น 5 โวลต์.....	31
3.13 วงจรภายในของวงจรรวมเบอร์ 74LS245.....	32
3.14 ลักษณะของขาหุ่นยนต์.....	33
3.15 ดิจิตของหุ่นยนต์เข้ากับข้อต่อ.....	33
3.16 นำมอเตอร์ติดเข้ากับที่ล้อคมอเตอร์.....	34
3.17 นำมอเตอร์ไปประกอบเข้ากับตัวของหุ่นยนต์.....	34
3.18 ติดตั้งชุดตัวเข้ารหัส.....	35
3.19 นำขาของหุ่นยนต์ที่ประกอบเข้ากับข้อต่อแล้ว มาสวมที่แกนเพลลาของมอเตอร์.....	35
3.20 นำอุปกรณ์ต่างๆ มาประกอบเข้ากับตัวหุ่นยนต์.....	35
3.21 ด้านต่างๆ ของหุ่นยนต์เมื่อสร้างเสร็จ.....	36
3.22 ขั้นตอนการทำงาน โปรแกรม.....	37
3.23 รูปแบบการเดินของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา.....	38
3.24 การทำงาน โดยรวมของหุ่นยนต์.....	39
4.1 กำหนดตำแหน่งของขาแต่ละขา.....	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ในสภาพพื้นผิวกระเบื้อง..... 44
4.3	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับแรกของการเคลื่อนที่ ในสภาพพื้นผิวกระเบื้อง..... 44
4.4	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะหยุดเพื่อเตรียมเคลื่อนที่ในลำดับต่อไป ของการเคลื่อนที่ในสภาพพื้นผิวกระเบื้อง..... 44
4.5	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับที่สองของการเคลื่อนที่ ในสภาพพื้นผิวกระเบื้อง..... 45
4.6	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ในสภาพพื้นผิวหินเกล็ด..... 45
4.7	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับแรกของการเคลื่อนที่ ในสภาพพื้นผิวหินเกล็ด..... 45
4.8	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะหยุดเพื่อเตรียมเคลื่อนที่ในลำดับต่อไป ของการเคลื่อนที่ในสภาพพื้นผิวหินเกล็ด..... 46
4.9	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับที่สองของการเคลื่อนที่ ในสภาพพื้นผิวหินเกล็ด..... 46
4.10	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ในสภาพพื้นผิวอิฐตัวนอน..... 46
4.11	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับแรกของการเคลื่อนที่ ในสภาพพื้นผิวอิฐตัวนอน..... 47
4.12	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะหยุดเพื่อเตรียมเคลื่อนที่ในลำดับต่อไป ของการเคลื่อนที่ในสภาพพื้นผิวอิฐตัวนอน..... 47
4.13	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับที่สองของการเคลื่อนที่ ในสภาพพื้นผิวอิฐตัวนอน..... 47
4.14	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ในสภาพพื้นหญ้า..... 48
4.15	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับแรกของการเคลื่อนที่ ในสภาพพื้นหญ้า..... 48
4.16	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะหยุดเพื่อเตรียมเคลื่อนที่ในลำดับต่อไป ของการเคลื่อนที่ในสภาพพื้นหญ้า..... 48
4.17	หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับที่สองของการเคลื่อนที่ ในสภาพพื้นหญ้า..... 49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ปัจจุบันความสามารถทางด้านเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์มีการพัฒนาขึ้นอย่างมาก และยังสามารถเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อชีวิตประจำวันของเรา เพราะเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีส่วนช่วยให้ชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์ดีขึ้น ตลอดจนยังช่วยอำนวยความสะดวก ประหยัดเวลาและเพิ่มรายได้ทางเศรษฐกิจอีกด้วย

การแข่งขันในโลกปัจจุบันได้นำเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในการวัดความเจริญก้าวหน้าของแต่ละประเทศ ยิ่งประเทศไหนได้คิดค้นสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆ ขึ้นมาหรือพัฒนาของเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นกว่าที่ประเทศอื่นไม่สามารถเทียบได้ ประเทศนั้นก็จะมีชื่อเสียงทางด้านความเป็นเจ้าของเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์นั้น สิ่งเหล่านี้จึงไม่เป็นที่ไกลตัวเราต่อไปอีกแล้ว เนื่องจากในปีที่ผ่านมา ได้มีเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ด้านหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจจากนักประดิษฐ์ทั่วโลก ไม่ว่าจะเป็นนักประดิษฐ์ที่เป็นเยาวชนและผู้ใหญ่ และแต่ละประเทศก็เริ่มมีการจัดแข่งขันกันเพื่อสนับสนุนให้เยาวชนนั้นมีการพัฒนา และต่อยอดเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ภายใน ประเทศของตัวเองให้สูงขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ที่กำลังพูดถึงก็คือ เทคโนโลยีในการผลิตหุ่นยนต์

ปัจจุบันได้มีบริษัทต่างๆ หันมาพัฒนาเทคโนโลยีของหุ่นยนต์กันมากขึ้นอย่างแพร่หลาย คำว่าหุ่นยนต์ได้ถูกจำกัดความไว้ว่า “หุ่นยนต์ คือ เครื่องจักรกลที่สามารถตั้งโปรแกรมการทำงานได้ตามความต้องการของมนุษย์” หุ่นยนต์มีอยู่หลายประเภทเช่น หุ่นยนต์ที่สร้างเลียนแบบมนุษย์ที่มีท่าทางหรือส่วนข้อต่อที่ทำงานคล้ายอวัยวะของร่างกายมนุษย์ หุ่นยนต์ที่สร้างคล้ายกับสัตว์ต่างๆ เช่น สัตว์เลื้อยคลาน แมลง สัตว์น้ำ และสัตว์สี่เท้า แต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเจตนาารมณ์ของผู้ผลิตว่ามีจุดประสงค์ใด ไม่ว่าจะเป็นสร้างขึ้นมาเพื่อสำรวจสถานที่ เพื่อหยิบจับสิ่งของที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปถึงหรือเป็นอันตรายสำหรับมนุษย์ได้

ดังนั้นปริญญาโทฉบับนี้จึงได้มีความคิดที่จะศึกษาเกี่ยวกับและสร้างเป็นหุ่นยนต์ค้นแบบขึ้นมา โดยจะเป็นการเดินที่มีลักษณะแบบ 6 ขา เลียนแบบการเดินของแมลง เพื่อที่จะสามารถนำไปพัฒนาให้ควบคู่กับงานทางด้านอุตสาหกรรมการสำรวจต่างๆ หรือนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

ผู้พัฒนาโครงการ

1. เป็นการสร้างองค์ความรู้พื้นฐาน เพื่อที่จะพัฒนาไปสู่ความรู้ทางวิชาการ และวิศวกรรมที่สูงขึ้น
2. ได้รู้จักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง
3. ได้รู้จักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และ โปรแกรมควบคุม
4. เป็นแนวทางในการศึกษา เพื่อที่จะนำหุ่นยนต์ไปประยุกต์ใช้งานจริง หรือประยุกต์สร้างอุปกรณ์อื่นที่มีหลักการทำงานใกล้เคียงกันในเชิงพาณิชย์ได้

ผู้ใช้งานอุปกรณ์

1. สามารถศึกษาถึงลักษณะการเดินของหุ่นยนต์
2. สามารถเกิดทักษะในการควบคุมอุปกรณ์
3. สามารถเกิดความเข้าใจในการควบคุมอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อจากคอมพิวเตอร์
4. สามารถเรียนรู้การเขียน โปรแกรมเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเอง ได้

1.6 งบประมาณที่ใช้

ค่าวัสดุไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	3,500 บาท
ค่าโครงสร้างตัวของหุ่นยนต์	1,500 บาท
ค่าจัดทำรูปเล่มรายงาน	700 บาท
รวมเป็นเงิน	5,700 บาท

หมายเหตุ : ราชจ่ายนั้นจะถัวเฉลี่ยในทุกราชการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

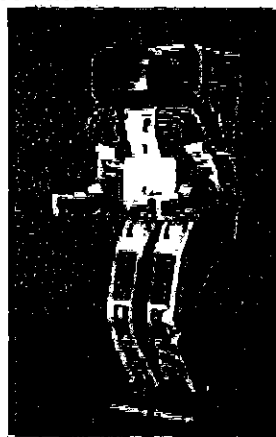
หุ่นยนต์เดิน 6 ขา เป็นการเลียนแบบการเคลื่อนที่สิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติชนิดหนึ่ง ได้มีการออกแบบให้เข้ากับลักษณะการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วหุ่นยนต์จะมีส่วนที่เป็นลำตัว และส่วนที่เป็นขาใช้สำหรับเคลื่อนที่ แม้หุ่นยนต์บางชนิดมีรูปแบบการจำลองการทำงานเฉพาะบางส่วนหรือทั้งตัวนั้น หุ่นยนต์จำเป็นต้องมีการควบคุมการเคลื่อนที่หรือการตัดสินใจการทำงานโดยอัตโนมัติเพื่อการทำงานให้บรรลุเป้าหมายหรือตามสภาพแวดล้อมการทำงาน ซึ่งหุ่นยนต์ที่ใช้ในการสำรวจนั้นจะแตกต่างกับหุ่นยนต์ในอุตสาหกรรม โดยการทำงานที่มีสภาพแวดล้อมที่ทำงานเป็นลำดับขั้นตอนตลอดการทำงาน ส่วนหุ่นยนต์ที่ใช้สำรวจนั้น จะมีการตัดสินใจในการทำงานอยู่ตลอดเวลา โดยการทำงานนั้นจำเป็นต้องมีการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ตามที่ต้องการใช้งาน และส่วนของ การควบคุมประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีการใช้จอยสติคสั่งการให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ

2.1 ผลงานวิจัยที่มีมาในอดีต

2.1.1 งานวิจัยทางการเดินของหุ่นยนต์สองขา

2.1.1.1 หุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ บริษัท เอเชียนฮอนด้า มอเตอร์ จำกัด รุ่น พี2

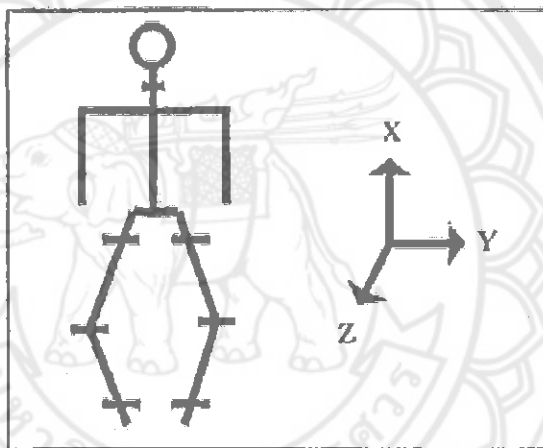
ได้ทำการพัฒนาหุ่นยนต์ฮอนด้า พี2 ซึ่งเป็นหุ่นยนต์ได้รับการออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทาง โดยได้ออกแบบจำนวนข้อหมุนของขาข้างละหกข้อหมุนดังแสดงในรูปที่ 2.1 การออกแบบระบบต้นกำเนิดมีการจัดวางมอเตอร์ได้ดีเนื่องจากได้ออกแบบให้มอเตอร์ต่าง ๆ ติดตั้งอย่างมิดชิด ฮอนด้าได้พัฒนาทฤษฎีด้านการเดินของหุ่นยนต์โดยให้หลัก ซีโรโมเมนตัมฟ้อยท์ (ZMP) เป็นพื้นฐานการออกแบบอุปกรณ์วัดแรงม้าที่เท้า ฮอนด้าได้ออกแบบขึ้นมา โดยเฉพาะและอุปกรณ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของเท้า



รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์ พี2 ของบริษัทฮอนด้า

2.1.1.2 หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแห่งสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม (FIBO)

สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม (FIBO) ได้มีการสร้างหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ขนาดเล็กขึ้นมาครั้งแรกเมื่อปี 2005 เพื่อใช้ในการทำงานวิจัยและส่งเสริมการแข่งขันโรโบคัพ ในส่วนของหุ่นยนต์สองขาเตะฟุตบอล โดยหุ่นยนต์ตัวแรกที่สร้างขึ้นมีชื่อว่า “ใจดี” คุณสมบัติของหุ่นยนต์นี้ คือ ประกอบด้วยมอเตอร์อาร์ซีซีเซอร์โว 23 ตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือ โมโตโรล่า บนบอร์ดเซอร์โวพอร์ต ทำทางการเดินเป็นแบบสตาร์ติก ทำให้หุ่นยนต์เดินได้ช้า จากนั้นในปี 2006 ได้สร้างหุ่นยนต์เพิ่มขึ้นอีกได้ตั้งชื่อว่า “กาละแม” คุณสมบัติต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ กาละแม คือ สูง 45 เซนติเมตร น้ำหนัก 2.7 กิโลกรัม เดินได้เร็ว 0.2 เมตรต่อวินาที องศาอิสระ 22 ทิศทาง ตำแหน่งอ้างอิงในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กาละแมในสามมิติประกอบด้วยแกน X คือ แกนที่หุ่นยนต์ย่อตัวลงหรือยืดตัวขึ้น แกน Y คือแกนที่หุ่นยนต์เอียงตัวทางซ้ายหรือทางขวา ส่วน แกน Z คือแกนที่หุ่นยนต์ก้าวไปข้างหน้าหรือถอยหลัง ดังรูปที่ 2.2



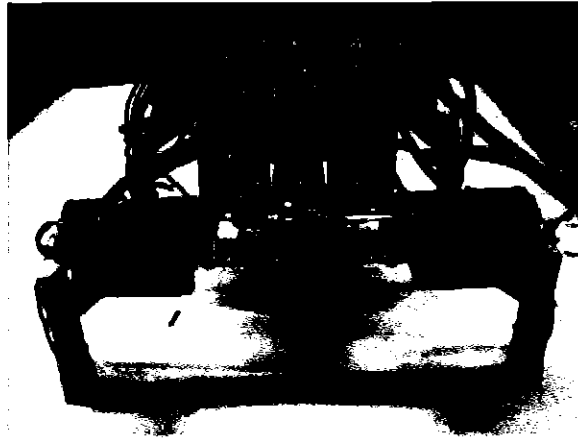
รูปที่ 2.2 ตำแหน่งอ้างอิงในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ “กาละแม”

2.1.2 งานวิจัยทางการเดินของหุ่นยนต์สี่ขา

2.1.2.1 การควบคุมแบบจำลองหุ่นยนต์สี่ขาโดยใช้ข่ายงานระบบประสาทแบบ

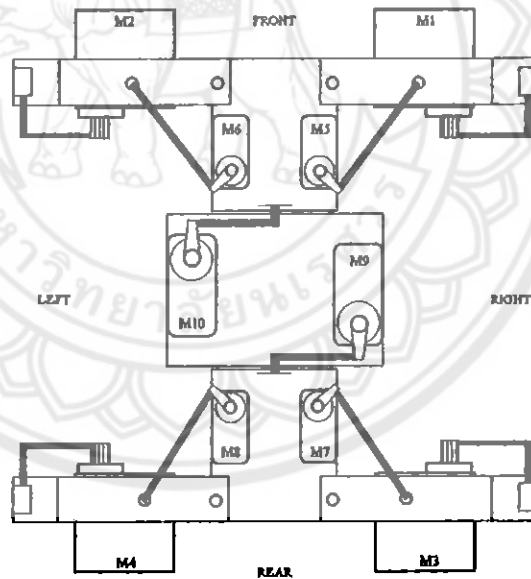
ย้อนกลับ

กฤษณะ สีพนมวัน และคณะ ได้ทำการนำแบบจำลองหุ่นยนต์สี่ขาที่ใช้ในการทดลอง จำลองแบบในด้านรูปร่างและกลไกการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สี่ขา คิวเอ็นบี-ไอ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นหุ่นยนต์สี่ขาที่มีลักษณะการเคลื่อนที่คล้ายสัตว์เลื้อยคลาน โครงสร้างของหุ่นยนต์ทำจากอลูมิเนียมและพลาสติก ขับเคลื่อนโดยออสซีเลเตอร์จำนวน 10 ตัว มีขนาดกว้าง 27.5 เซนติเมตร ยาว 24.5 เซนติเมตร และสูง 12 เซนติเมตร



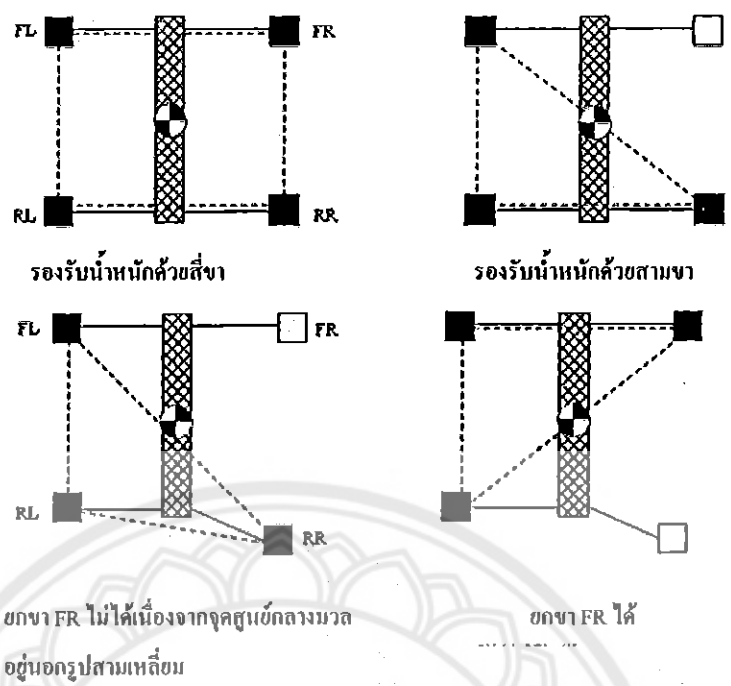
รูปที่ 2.3 หุ่นยนต์สี่ขา คิวเอ็นบี-ไอ

เซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 10 ตัว ถูกใช้ในกลไกการทำงานหลัก 3 ส่วนคือ กลไกการยกขา ใช้เซอร์โวมอเตอร์ 4 ตัวเพื่อควบคุมการยกขาแต่ละข้าง กลไกการก้าวขา ใช้เซอร์โวมอเตอร์ 4 ตัว เพื่อควบคุมการก้าวขาแต่ละข้าง และกลไกการบิดตัว ใช้เซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว เพื่อควบคุมการบิดลำตัวส่วนหน้าและลำตัวส่วนหลัง โดยเมื่อเซอร์โวมอเตอร์ทำงานแกนของเซอร์โวมอเตอร์จะทำหน้าที่ขับเคลื่อนประกอบของหุ่นยนต์ที่มันเชื่อมต่ออยู่ ตำแหน่งการติดตั้งเซอร์โวมอเตอร์และส่วนประกอบของหุ่นยนต์แสดงดังรูปที่ 2.4

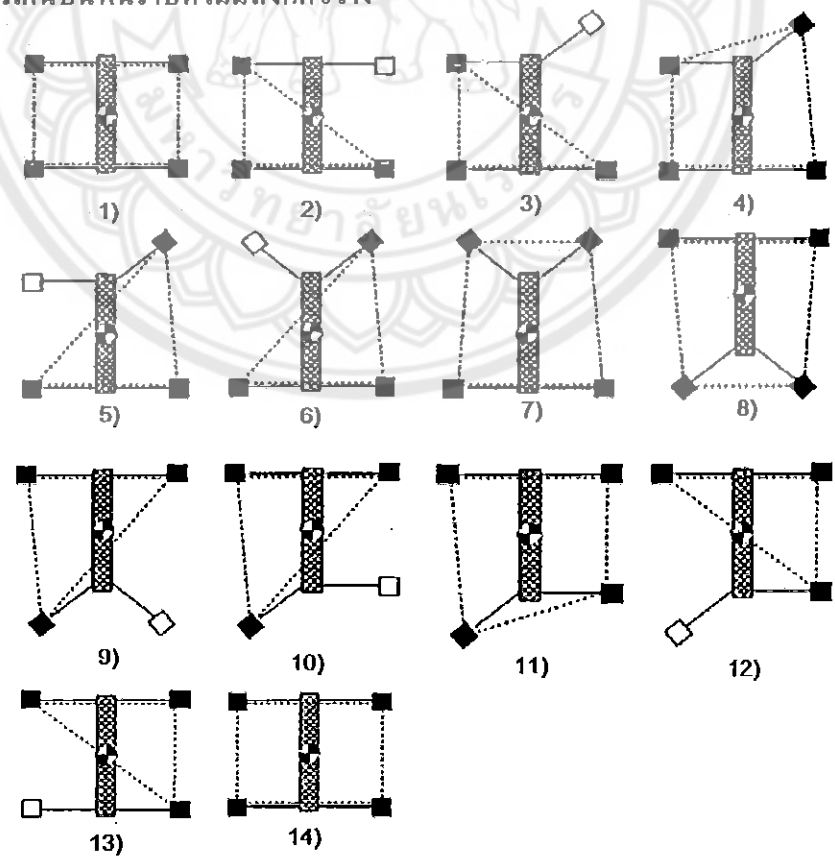


รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบและโครงสร้างของหุ่นยนต์ คิวเอ็นบี-ไอ

ได้ใช้การเดินแบบคราวรีงเกท ที่ใช้ในการทดลองใช้สามขาสำหรับรองรับน้ำหนัก และใช้หนึ่งขาในการก้าวเพื่อไปอยู่ในตำแหน่งใหม่ การรองรับน้ำหนักด้วยสามขาอาจส่งผลให้หุ่นยนต์เสียการทรงตัวได้ ถ้าจุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์ไม่อยู่ในบริเวณรองรับ ดังนั้นในการยกขาเพื่อก้าวจำเป็นต้องคำนึงถึงตำแหน่งของสามขาที่ใช้รองรับน้ำหนักด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การจัดวางขาและบริเวณรองรับน้ำหนักของแบบจำลองหุ่นยนต์
 เมื่อพิจารณาเรื่องบริเวณรองรับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเมื่อต้องทรงตัวโดยใช้ 3 ขา สามารถ
 สร้างรูปแบบการเดินแบบคราวริงเกต สำหรับแบบจำลองหุ่นยนต์สี่ขา โดยในรูปที่ 2.6 แสดง
 ขั้นตอนการเดินบนพื้นราบที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง

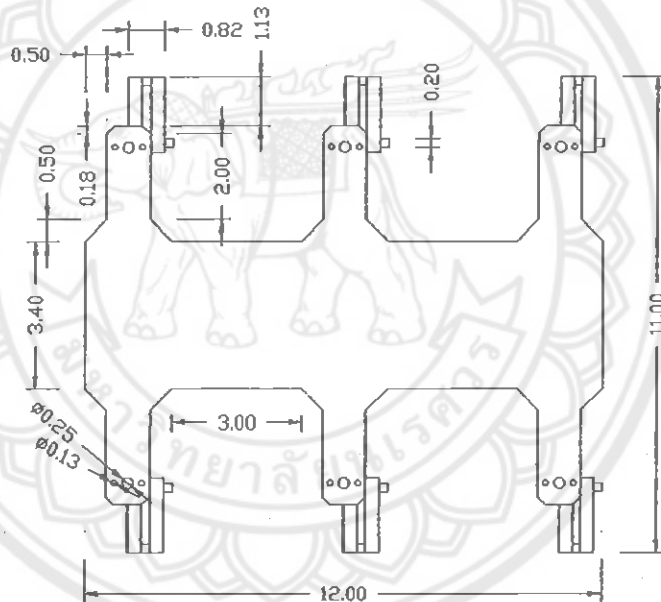


รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเดินแบบคราวริงเกต

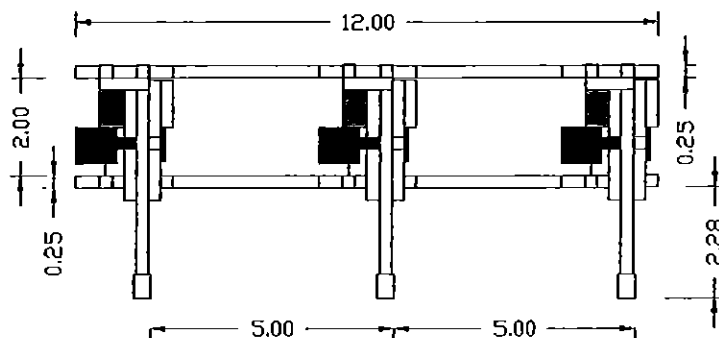
2.1.3 งานวิจัยทางการเดินของหุ่นยนต์หกขา

2.1.3.1 การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เดิน 6 ขาด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ เซลลูลาร์

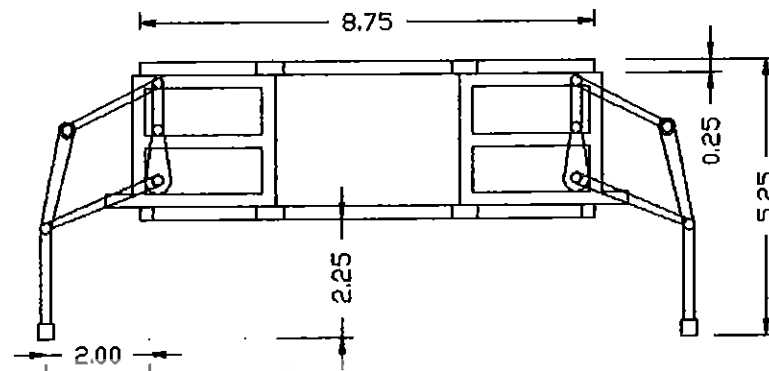
ไกรมน มณีศิลป์ ได้ทำการวิจัยและออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบ เซลลูลาร์เพื่อนำมาใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา โดยทำให้โครงข่ายเซลล์ประสาทเทียมแบบเซลลูลาร์เกิดปรากฏการณ์ฮอปได้เวฟขึ้น เนื่องจากการควบคุมในลักษณะนี้จะทำให้การเคลื่อนที่คล้ายกระบวนการเดินของแมลงอย่างเป็นธรรมชาติ การออกแบบขาของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา มีด้วยกันหลายแบบ สำหรับหุ่นยนต์เดิน 6 ขาที่นำมาใช้ในการทดสอบครั้งนี้มีโครงสร้างขาแบบ เพนโทกราฟ ซึ่งเป็น โครงสร้างขาที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน หุ่นยนต์จะอาศัยมอเตอร์จำนวน 2 ตัว ในการเคลื่อนที่ของขา 1 ขา ดังนั้นจึงต้องอาศัยมอเตอร์ทั้งหมด 12 ตัวเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของ หุ่นยนต์ทั้งหมด หุ่นยนต์สร้างขึ้นจากแผ่นพีวีซี และอลูมิเนียม โดยมี โครงสร้างดังรูป 2.7 , 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 โครงสร้างหุ่นยนต์เดิน 6 ขา มองจากด้านบน



รูปที่ 2.8 โครงสร้างหุ่นยนต์เดิน 6 ขา มองจากด้านข้าง

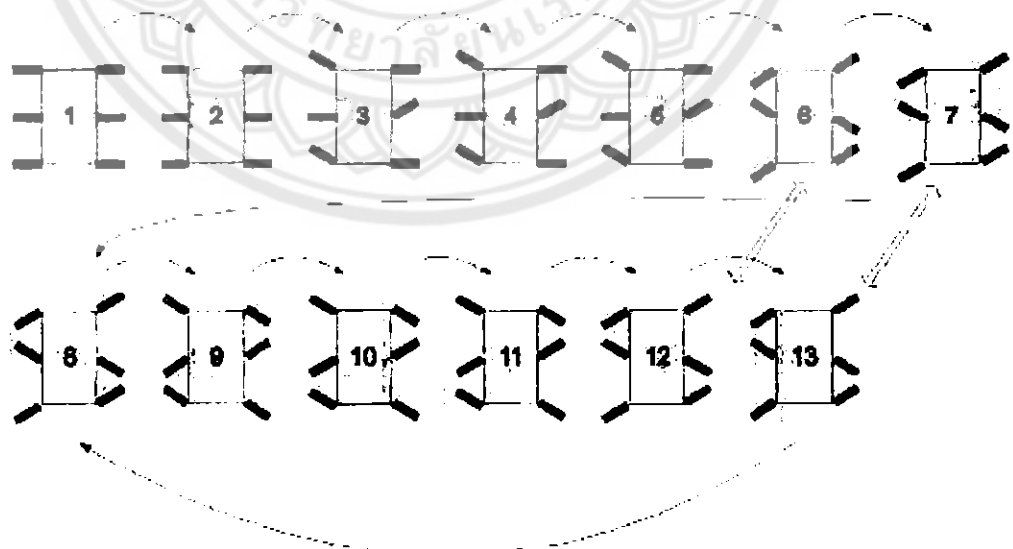


รูปที่ 2.9 โครงสร้างหุ่นยนต์เดิน 6 ขา มองจากด้านหน้า

จากรูป จะเห็นถึงโครงสร้างของขาแบบเพนโทกราฟ ซึ่งมีโครงสร้างเป็นคานสี่ท่อนขนานกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เมื่อยกขาขึ้นก็คือจุดที่เส้นทแยงมุมทั้ง 2 เส้นมีขนาดเท่ากัน ขาของหุ่นยนต์นี้จะยกขาได้ไม่มากนัก

การหมุนขาไปด้านหน้าและหลังนั้น กรณีขาที่อยู่ทีมนุมของหุ่นยนต์ จะสามารถหมุนออกมาได้นอกตัวหุ่นยนต์ได้ประมาณ 90 องศา และหมุนเข้าไปในตัวหุ่นยนต์ได้ประมาณ 45 องศา ส่วนขากลางหุ่นยนต์ จะหมุนได้ด้านละ 45 องศา เพื่อป้องกันไม่ให้ขาชนกัน

การบังคับกระทำโดยเซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัวต่อขา โดยเป็นมอเตอร์ควบคุมการหมุนขา 1 ตัว และมอเตอร์ควบคุมการยกขาอีก 1 ตัว รวมมอเตอร์ทั้งหมด 12 ตัว สำหรับรูปแบบการเคลื่อนที่จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.10

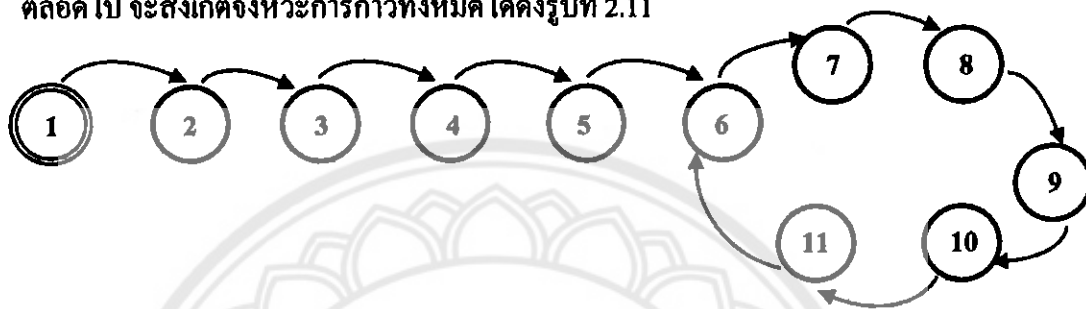


รูปที่ 2.10 ขั้นตอนต่าง ๆ ในการควบคุมการเดิน

จากรูปที่ 2.10 กำหนดให้การเดินเริ่มต้นตั้งแต่หุ่นยนต์หยุดนิ่ง อยู่ในสภาวะพร้อม ขาที่แสดงเป็นสีแดงหมายถึงขาที่วางอยู่กับพื้น ส่วนขาที่เป็นสีเขียวคือขาที่ถูกสั่งให้ยกขึ้น จะเห็นว่าการ

เคลื่อนที่จะตั้งงานเป็นแนวทแยง คือ 2 ขาหน้าหลัง และขากลางของด้านตรงข้ามจะเคลื่อนที่พร้อมกัน การเคลื่อนที่จะไล่จากจังหวะที่ 1 ไปตามลำดับจนกระทั่งถึงจังหวะที่ 12 จะเห็นว่ามึลักษณะการวางขาเหมือนกับจังหวะที่ 6 และเมื่อเคลื่อนที่ต่อไป จังหวะที่ 13 ก็จะไปซ้ำกับจังหวะที่ 7 เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ

ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า จังหวะการก้าวเดินของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา จะมีจังหวะเริ่มต้นอยู่รวมทั้งสิ้น 5 จังหวะ จากนั้นจังหวะการเคลื่อนที่ก็จะวนเป็นวงรอบทั้งหมด 6 จังหวะ เป็นเช่นนี้ตลอดไป จะสังเกตจังหวะการก้าวทั้งหมด ได้ดังรูปที่ 2.11



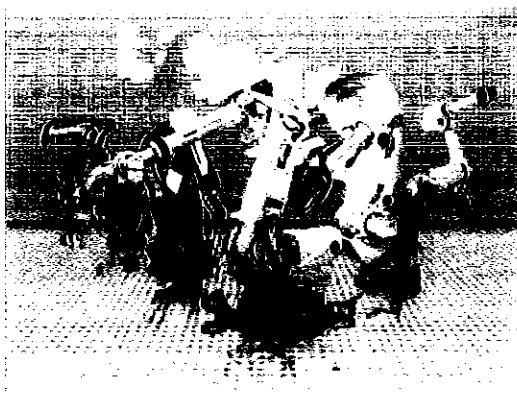
รูปที่ 2.11 จังหวะการก้าวของหุ่นยนต์

2.2 ประเภทของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์สามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ

2.2.1 หุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่

สามารถเคลื่อนไหวไปมาแต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ หุ่นยนต์ในประเภทนี้ได้แก่ แขนกลของหุ่นยนต์ที่ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่นงานด้านอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ แขนกลของหุ่นยนต์ที่ใช้งานในด้านการแพทย์ เช่นแขนกลที่ใช้ในการผ่าตัด หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีลักษณะโครงสร้างที่ใหญ่โต เทอะทะและมีน้ำหนักมาก ใช้พลังงานให้สามารถเคลื่อนไหวได้จากแหล่งจ่ายพลังงานภายนอก และจะมีการกำหนดขอบเขตการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์เอาไว้ ทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนไหวไปมาได้เฉพาะที่ที่กำหนดเอาไว้เท่านั้น



รูปที่ 2.12 แสดงแขนกลรุ่นต่าง ๆ

2.2.2 หุ่นยนต์เคลื่อนที่

หุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนย้ายตัวเองจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้อย่างอิสระ หรือมีการเคลื่อนที่ไปมาในสถานที่ต่าง ๆ เช่น หุ่นยนต์ที่ใช้ในการสำรวจดวงจันทร์ขององค์การนาซ่า หุ่นยนต์สำรวจใต้พิภพหรือหุ่นยนต์ที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้า ซึ่งหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนไหวได้นี้ ถูกออกแบบลักษณะของโครงสร้างให้มีขนาดเล็กและมีระบบเคลื่อนที่ไปมารวมทั้งมีแหล่งจ่ายพลังสำรองภายในร่างกายของตนเอง แตกต่างจากหุ่นยนต์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ ซึ่งจะต้องมีแหล่งจ่ายพลังอยู่ภายนอก



รูปที่ 2.13 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้แบบใช้ล้อ

2.3 ส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์

ในหุ่นยนต์ขนาดเล็กทั่ว ๆ ไปจะประกอบด้วย 4 ส่วนหลักคือ 1.ส่วนควบคุม 2.ส่วนบังคับหรือก้านควบคุม 3.ส่วนกลไกการเคลื่อนไหว 4.แหล่งพลังงาน

2.3.1 ส่วนควบคุม

หุ่นยนต์ในปัจจุบันจะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า “ไมโครคอนโทรลเลอร์” เป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุมและประมวลผล โดยในส่วนควบคุมนี้จะบรรจุโปรแกรมควบคุมที่ผู้ใช้งานเขียนขึ้น ลงในหน่วยความจำ และสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ โดยส่วนควบคุมนี้จะมีส่วนต่ออุปกรณ์ภายนอก 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต และพอร์ตเอาต์พุต สำหรับพอร์ตอินพุตยังแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ พอร์ตอินพุตดิจิทัล และพอร์ตอินพุตอนาลอก โดยพอร์ตอินพุตดิจิทัลจะรับสัญญาณที่เป็นลอจิก "0" หรือ "1" แล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล ส่วนพอร์ตอินพุตอนาลอกจะรับแรงดันไฟฟ้าเข้ามาแล้วผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลเพื่อให้เป็นข้อมูลดิจิทัลก่อนส่งเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยปกติพอร์ตอินพุตอนาลอกจะสามารถรับแรงดันได้ไม่เกิน 5 โวลต์ ส่วนความละเอียดในการแปลงสัญญาณอยู่ระหว่าง 8-16 บิต แต่ในหุ่นยนต์ที่มีประสิทธิภาพดี ควรใช้ตั้งแต่ 10 บิตขึ้นไป

2.3.2 ส่วนบังคับหรือก้านควบคุม

ก้านควบคุม เป็นอุปกรณ์อินพุตของคอมพิวเตอร์ โดยมีจุดเริ่มต้นจากบริษัท ไอบีเอ็ม โดยในสมัยนั้นยังเป็นก้านควบคุม แบบ 2 ปุ่ม และมีการต่อเข้ากับอินเตอร์เฟซแบบเอาต์พุตเดียว แต่ในปัจจุบันนั้น ได้มีผู้ผลิตก้านควบคุม แบบหลายอินพุต ออกมาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานออกมาโดยทั่วไปนั้นก้านควบคุมเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวชี้ตำแหน่ง เช่นเดียวกับเมาส์ แต่ก้านควบคุมจะมีปุ่มกดหรือแกนบังคับเพิ่มเติมเพื่อสั่งงานเฉพาะอย่าง ขึ้นอยู่กับชนิด โปรแกรมที่ใช้ ก้านควบคุมนิยมใช้สำหรับเล่นเกมคอมพิวเตอร์ และควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

2.3.3 กลไกเคลื่อนไหว

เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับหุ่นยนต์ เพราะเป็นส่วนที่ทำให้หุ่นยนต์ดูเหมือนมีชีวิต และชี้ให้เห็นว่าส่วนควบคุมกำลังดำเนินงานโดยอยู่ กลไกการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์มีส่วนประกอบปลีกย่อย 2 ส่วนคือ ส่วนกลไกเคลื่อนไหว และส่วนกำเนิดแรงขับเคลื่อน ส่วนกำเนิดแรงขับเคลื่อนที่รู้จักกันทั่วไปว่า “มอเตอร์” นั้นมีหลายชนิดที่นิยมใช้ให้เหมาะสมกับงาน มอเตอร์กระแสตรงธรรมดาจะราคาถูก ใช้งานง่ายเพราะเพียงแค่จ่ายไฟเข้ามอเตอร์ก็สามารถหมุนทำงานได้ ปัจจุบันมีการผลิตมอเตอร์ที่มีชุดเฟืองทดภายในตัวมอเตอร์ด้วยเพื่อให้ได้แรงบิดและลดจำนวนรอบให้หมุนช้าลง เพื่อควบคุมการทำงานได้ง่ายขึ้น เซอร์โวมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ออกแบบมาให้หมุนได้ไม่ครบรอบ นิยมนำมาทำเป็นส่วนกำเนิดแรงขับเคลื่อนสำหรับหุ่นยนต์ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่สามารถควบคุมการหมุนเป็นองศาได้ นิยมนำมาใช้กับหุ่นยนต์ที่ต้องการกลไกเคลื่อนไหวที่เที่ยงตรงแม่นยำ เช่นแขนกล เป็นต้น

มอเตอร์ แบบต่างๆ ที่กล่าวถึงจะต้องมีวงจรในกรับขับเคลื่อนเฉพาะของตัวเอง ความต้องการพลังงานไฟฟ้าก็จะต่างกันออกไปแล้วแต่นขนาดของมอเตอร์ และแรงที่เกิดจากมอเตอร์ ดังนั้นมอเตอร์ที่หมุนเร็วมากหรือมอเตอร์ที่มีแรงบิดสูงจะกินไฟมาก ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษเพราะจะมีผลต่อแหล่งจ่ายไฟของหุ่นยนต์ด้วย เนื่องจากหุ่นยนต์ส่วนมากจะทำงานเป็นอิสระจึงไม่มีการใช้สายไฟต่อเข้าแหล่งจ่ายไฟภายนอก แต่จะใช้แหล่งจ่ายไฟที่พกพาไปกับหุ่นได้นั้น คือใช้ แบตเตอรี่นั่นเอง ดังนั้นถ้าจะใช้มอเตอร์ที่ต้องการกำลังไฟมากๆ เราจึงนิยมแยกแหล่งจ่ายไฟที่สูงกว่าเป็นการเฉพาะให้กับมอเตอร์และใช้ไฟเอาต์พุตจากส่วนควบคุมเป็นตัวกำหนดการทำงาน ผลที่ได้คือมอเตอร์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพเพราะได้ไฟเลี้ยงจากแหล่งพลังงานโดยตรง และเป็นการตัดสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างมอเตอร์ทำงานด้วย

ในทางปฏิบัติ เราสามารถนำมอเตอร์มาขับเคลื่อนหุ่นยนต์โดยตรงได้ หากมอเตอร์นั้นมีกำลังและแรงบิดที่มากพอ เช่น สเต็ปเปอร์มอเตอร์ หรือพวกเซอร์โวมอเตอร์ ที่มีการดัดแปลงให้หมุนได้ครบรอบ แต่สำหรับมอเตอร์ไฟตรงธรรมดาแล้ว โดยส่วนมากจะมีความเร็วรอบสูงมากๆ

แต่มีแรงบิดน้อย ทำให้ควบคุมได้ยาก นำไปใช้ขับเคลื่อนกลไกหุ่นยนต์ได้ไม่ดีนัก เนื่องจากแรงบิดน้อยจึงไม่สามารถเอาชนะความเสียดของพื้นผิวหรือตัวน้ำหนักของหุ่นยนต์เองได้ จึงทำให้หุ่นยนต์ไม่เคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ได้ไม่ดี ใต้เนินลาดเอียงไม่ได้ เป็นต้น ดังนั้นส่วนประกอบที่สองซึ่งก็คือตัวกลไกขับเคลื่อนไหว จึงเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่ง ที่จะเข้ามาแก้ปัญหาต่างๆ เหล่านี้

กลไกที่เข้ามาช่วยมอเตอร์ไฟตรงให้มีแรงบิดมากขึ้น และสามารถลดความเร็วลงเพื่อให้สามารถควบคุมได้ง่ายขึ้น คือ ชุดเฟือง ด้วยหลักการประกบเฟืองต่างขนาดเข้าด้วยกันเป็นผลให้เกิดการหมุนที่เร็วขึ้นหรือช้าลง พร้อมทั้งให้แรงบิดที่มากขึ้นหรือลดลงด้วย นอกจากนี้ยังมีกลไกอื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกันในการปรับอัตราความเร็วรอบของมอเตอร์ เช่น การใช้ล้อและเพลลา การใช้ชุดสายพาน เป็นต้น

ในการเลือกกลไกเคลื่อนไหวจึงจำเป็นต้องออกแบบให้เหมาะสมกับงานที่หุ่นยนต์ต้องทำ ต้องปฏิบัติ เพราะชิ้นส่วนกลไกทุกชิ้นล้วนแล้วแต่มีน้ำหนัก ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการขับเคลื่อน และกำลังไฟที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์

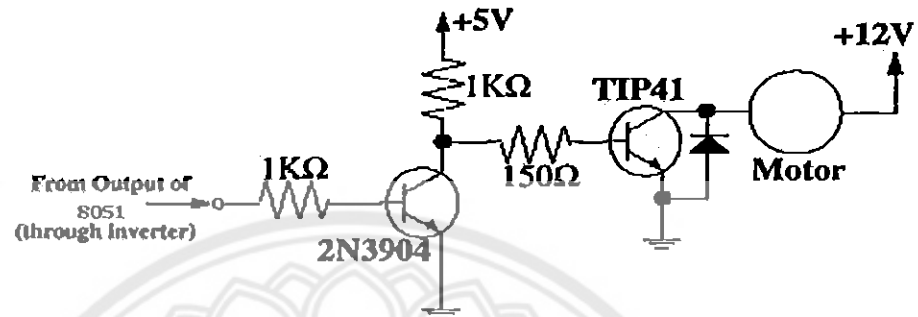
2.3.4 แหล่งพลังงาน

เป็นส่วนที่สำคัญที่สุด และเป็นตัวสร้างปัญหาให้กับหุ่นยนต์มากที่สุดด้วย ที่ว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดก็เพราะเป็นส่วนที่เป็นพลังงานใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ ทำให้หุ่นยนต์สามารถทำกิจกรรมที่เราสั่งให้ทำได้ แหล่งพลังงานสำหรับหุ่นยนต์ขนาดเล็กส่วนใหญ่จะใช้แบตเตอรี่ที่เราสามารถหาได้ทั่วไปเช่น ขนาด สามเอ หรือ สองเอ ที่จ่ายแรงดัน 1.5 โวลต์ แต่เนื่องจากกว่าที่เราจะสั่งให้หุ่นยนต์ทำงานได้ตรงตามที่ต้องการก็จะมีทดลองแล้ว ทดลองอีกอยู่หลายครั้งซึ่งแม้ว่าเราจะใช้ชนิดธรรมดาที่ยังค่อนข้างเปลืองอย่างมาก ดังนั้นจึงนิยมนำแบตเตอรี่ชนิดที่สามารถประจุไฟใหม่ได้มาใช้ เช่น ถ่านชาร์ตแบบนิเกิล-แคดเมียม เป็นต้น ซึ่งสามารถให้แรงดันไฟที่ 1.2 โวลต์ต่อก้อน นอกจากแหล่งพลังงานที่จำเป็นต้องพิจารณาคัดเลือกอย่างดีแล้ว วงจรที่ใช้ควบคุมกระแสไฟและแรงดันก็จำเป็นอย่างยิ่ง เพราะแผงวงจรที่ใช้เป็นส่วนควบคุมหุ่นยนต์นั้น โดยมากแล้วใช้กระแสไฟที่มีแรงดันเพียง 5 โวลต์ เท่านั้น ดังนั้นถ้าเราจะใช้ถ่านชนิดแรงดัน 9 โวลต์ ก็จำเป็นต้องต่อพ่วงวงจรควบคุมแรงดันไฟ ไว้ด้วย สำหรับปัญหาสำคัญของแหล่งพลังงานของหุ่นยนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้แบตเตอรี่ ก็คือน้ำหนักของแบตเตอรี่ ที่มากเอการอยู่ และก็เป็นภาระสำคัญอย่างยิ่งต่อกลไกการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์

2.4 ทฤษฎีและหลักการงานที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์

2.4.1 มอเตอร์กระแสตรง

ในการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าคงที่มาขับมอเตอร์ ภาพข้างล่างเป็นวงจรที่ใช้ควบคุมมอเตอร์



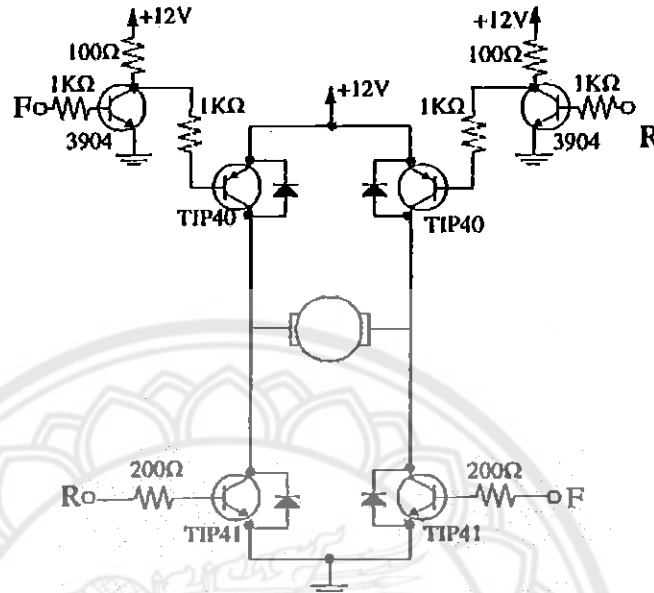
รูปที่ 2.14 วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

หลักการการทำงานของวงจรมอเตอร์กระแสตรง

- ระหว่าง 8051 และมอเตอร์กระแสตรงจะมีภาคของวงจรรขยายกระแสสองภาคด้วยกัน
- วงจรรขยายภาคแรกจะขยายสัญญาณที่ออกจาก 8051 เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของ พาวเวอร์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งในที่นี้ คือ TIP41 ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นภาควขยายคือ ทรานซิสเตอร์ 2N3904 ซึ่งจะถูควบคุมโดย 8051 เพื่อให้ทำงานในช่วงคัตออฟหรือจุดอิ่มตัว อย่างใดอย่างหนึ่ง
- วงจรรขยายภาคที่สองคือวงจรในส่วนของ TIP41 ซึ่งสัญญาณที่ได้รับการขยายแล้วจะถูกนำไปขับมอเตอร์กระแสตรงต่อไป
- TIP41 มีการทำงานในสองโหมด คือ โหมดคัตออฟ ซึ่งมอเตอร์จะหยุดทำงาน และ โหมดจุดอิ่มตัว ซึ่งมอเตอร์จะทำงานที่ความเร็วเต็มพิกัด
- ไดโอดทำหน้าที่ป้องกันมอเตอร์จากภาวะชั้วขณะเมื่อมีการสวิตซ์เกิดขึ้น
- สำหรับวงจรมอเตอร์จะมีการหมุนในทิศทางเดียวเท่านั้น

การควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

เราสามารถควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้โดยการใช้วงจรที่เรียกว่า เฮช-บริดจ์ ซึ่งวงจรจะมีลักษณะดังภาพข้างล่าง



รูปที่ 2.15 วงจรเฮช-บริดจ์ ใช้สำหรับควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

หลักทำงานของวงจรเฮช-บริดจ์

- ทรานซิสเตอร์สองตัวจะทำงาน ส่วนอีกสองตัวจะหยุดทำงาน เพื่อควบคุมให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

- เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา สามารถทำได้โดยการสลับการทำงานของทรานซิสเตอร์ให้มีสถานะตรงข้ามกับกรณีการหมุนตามเข็มนาฬิกา

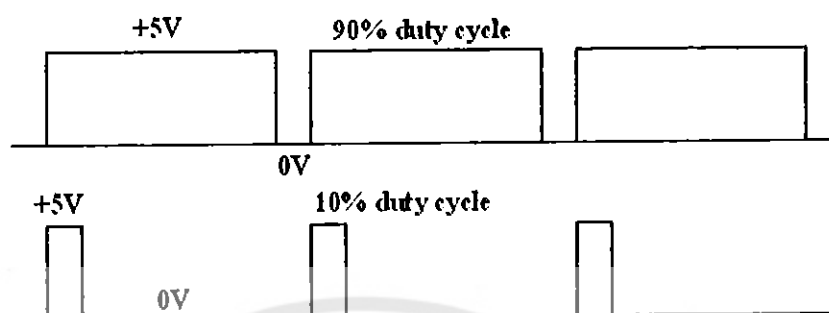
อย่างไรก็ตาม ได้มีการออกแบบวงจรเฮช-บริดจ์ ให้รวมอยู่ในชิปเพียงตัวเดียว เช่น SN754410 ซึ่งเราสามารถนำ 8051 มาควบคุมได้โดยตรง เนื่องจากใน SN754410 จะมีส่วนของวงจรขยายสองภาครวมอยู่ในชิปอยู่แล้ว

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์

วงจรที่ได้กล่าวมาข้างต้น ไม่สามารถควบคุมให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วต่างกันได้ ดังนั้นเมื่อต้องการให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วต่างๆ กันจึงต้องมีการเพิ่มวงจรควบคุมเข้าไป เช่น มอดูลเส้นทางความกว้างของพัลส์ ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

หลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์

- มอเตอร์เช่นทางความกว้างของพัลส์จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณที่เหลื่อมออกมา ซึ่งจะมีอัตราส่วนของรูปคลื่นพัลส์ต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเร็วที่ต้องการควบคุม ดังตัวอย่างในภาพข้างล่าง

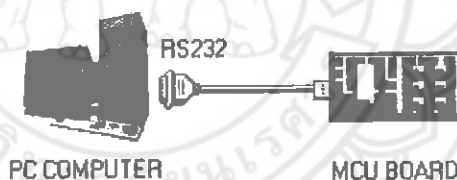


รูปที่ 2.16 คลื่นแสดงอัตราส่วนของรูปคลื่นพัลส์

- คาบเวลาของสัญญาณควรอยู่ในระดับมิลลิวินาที หรือความถี่อยู่ในระดับกิโลเฮิรต์

อีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงคือ การควบคุมโดยใช้โปรแกรมผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.2 พอร์ตอนุกรม (RS232)

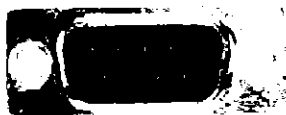


รูปที่ 2.17 แสดงการเชื่อมต่อวงจรผ่านพอร์ตอนุกรม (RS232)

การสื่อสารแบบอนุกรม นับว่ามีความสำคัญ ต่อการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์มาก เพราะสามารถใช้เป็นพิมพ์ และจอภาพของคอมพิวเตอร์เป็น อินพุตและเอาต์พุต ในการติดต่อหรือควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยสัญญาณอย่างน้อยเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ

- สายส่งสัญญาณ TX
- สายรับสัญญาณ RX
- และสายกราวด์

โดยปกติพอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ ขึ้นอยู่กับชนิดของ สายสัญญาณ, ระยะทาง, และ ปริมาณ สัญญาณ รบกวน



รูปที่ 2.18 พอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ DB9 ตัวผู้



รูปที่ 2.19 พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก DB9 ตัวเมีย

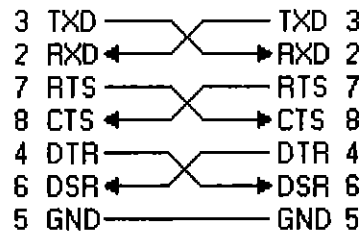
- พอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์จะเป็นขั้วต่อ แบบ DB9 ตัวผู้
- พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอกเป็นขั้วต่อ แบบ DB9 ตัวเมีย



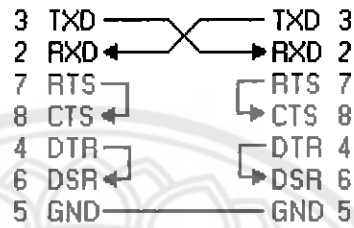
รูปที่ 2.20 DB9 ตัวผู้ เมื่อมองจากด้านหลัง

ตารางที่ 2.1 แสดงการจัดขาของขั้วต่อ อนุกรมแบบ DB9

ขา (Pin)	ชื่อขา (Description)	ประเภท (Type)
1	Data Carrier Detect (DCD)	อินพุต
2	Received Data (RXD)	อินพุต
3	Transmitted Data (TXD)	เอาต์พุต
4	Data Terminal Ready (DTR)	เอาต์พุต
5	Signal Ground (GND)	อินพุต
6	Data Set Ready (DSR)	อินพุต
7	Request To Send (RTS)	เอาต์พุต
8	Clear to Send (CTS)	อินพุต
9	Ring Indicator (RI)	อินพุต



รูปที่ 2.21 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบการต่อแบบไม่ใช่โมเด็ม



รูปที่ 2.22 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น

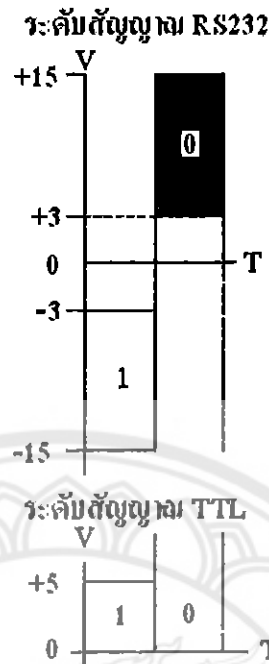
2.4.2.1 การทำงานของมาตรฐาน DB9

TXD เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูล

RXD เป็นขาที่ใช้รับข้อมูล

DTR แสดงสถานะพอร์ตว่าเปิดใช้งาน, DSR ตรวจสอบว่าพอร์ต ที่ติดต่อด้วย เปิดอยู่หรือไม่ เมื่อเปิดพอร์ตอนุกรมขา DTR จะเป็นลอจิก 1 เพื่อให้อุปกรณ์ได้รับทราบว่าการติดต่อด้วยในขณะที่เดียวกันก็จะตรวจสอบขา DSR ว่าอุปกรณ์พร้อมหรือไม่ RTS แสดงสถานะพอร์ตว่าการส่งข้อมูล ขา CTS ตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่อด้วย ต้องการส่งข้อมูลหรือไม่ เมื่อต้องการส่งข้อมูลขา RTS จะเป็นลอจิก 1 และจะส่งข้อมูลออกที่ขาTXD เมื่อส่งเสร็จก็จะเป็นลอจิก 0 ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบขา CTS ว่าอุปกรณ์ต้องการที่จะส่งข้อมูลหรือไม่

2.4.2.2 ระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม (RS232)



รูปที่ 2.23 แสดงระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม (RS232) และ TTL

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ในสายนำสัญญาณมักจะมีแรงดันเป็นบวกเมื่อเทียบกับกราวด์ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนนี้ จึงออกแบบแรงดันของลอจิก 1 เป็นลบ คืออยู่ในช่วง -3 โวลต์ ถึง -15 โวลต์ ส่วนแรงดันของลอจิก 0 อยู่ในช่วง +3 โวลต์ ถึง +15 โวลต์ และเหตุที่ระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม (RS232) อยู่ในช่วง +15 โวลต์ ถึง -15 โวลต์ ก็เพื่อให้ต่อสายสัญญาณไปได้ไกลขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรเปลี่ยนระดับแรงดันของพอร์ตอนุกรม (RS232) มาเป็นระดับแรงดันของ TTL

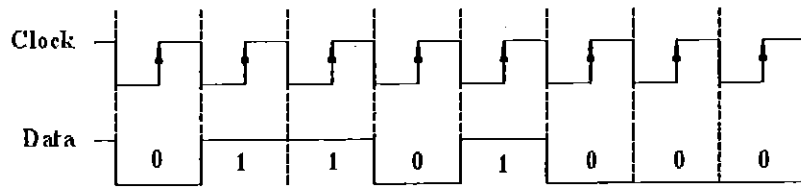
อัตราการส่งข้อมูล คือความเร็วของการรับ - ส่งข้อมูลเป็นจำนวนบิตต่อวินาที เช่น 300 1,200 2,400 4,800 9,600 14,400 19,200 38,400 56,000 เป็นต้น การเลือกอัตราการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับชนิดของสายสัญญาณ ระยะทาง และปริมาณสัญญาณรบกวน

2.4.2.3 รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม

มีด้วยกันอยู่ 2 แบบ คือ แบบซิงโครนัส และแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารแบบซิงโครนัส

การรับส่งข้อมูลจะมีสัญญาณนาฬิกา ซึ่งเป็นตัวกำหนดจังหวะเวลาการส่งข้อมูล รวมอยู่ด้วยอีกเส้นหนึ่งใช้คู่กับสัญญาณข้อมูล ตัวอย่างเช่น การส่งสัญญาณจากคีย์บอร์ด

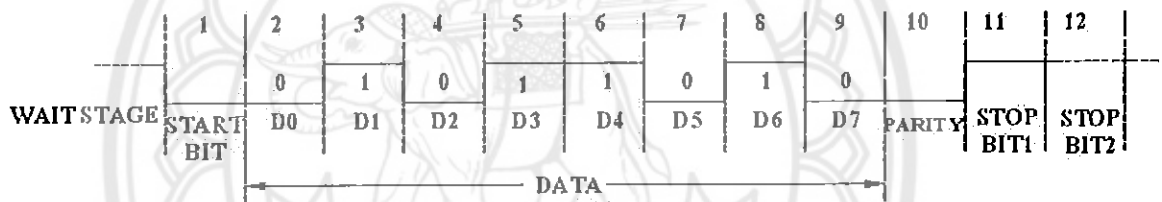


รูปที่ 2.24 แสดงการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

การรับส่งข้อมูลโดยที่ไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาช่วย แต่จะใช้ให้ตัวส่งและตัวรับ มีอัตราส่งข้อมูลที่เท่ากัน รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1. บิตเริ่มต้น มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูล มีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตหยุด มีขนาด 1, 1.5, 2 บิต



รูปที่ 2.25 แสดงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

- เมื่อไม่มีการส่งข้อมูลขาค่าจะมีสถานะเป็นลอจิก 1 หรือสถานะหยุดรอ
- เมื่อเริ่มต้นส่งข้อมูลจะให้ขาค่า เป็นลอจิก 0 เป็นจำนวน 1 บิต เรียกว่าบิตเริ่มต้น
- จากนั้นก็จะเริ่มต้นส่งข้อมูล โดยส่งบิตค่าไปก่อน
- แล้วตามด้วยพาริตีบิต (จะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับการติดตั้งค่า ของทั้งสองฝ่าย)
- สุดท้ายตามด้วยลอจิก 1 อย่างน้อย 1 บิต (มีขนาด 1, 1.5, หรือ 2 บิต) เพื่อแสดงว่าสิ้นสุด

ข้อมูล

การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมยังแบ่งออกเป็นลักษณะการใช้งานได้ 3 แบบคือ

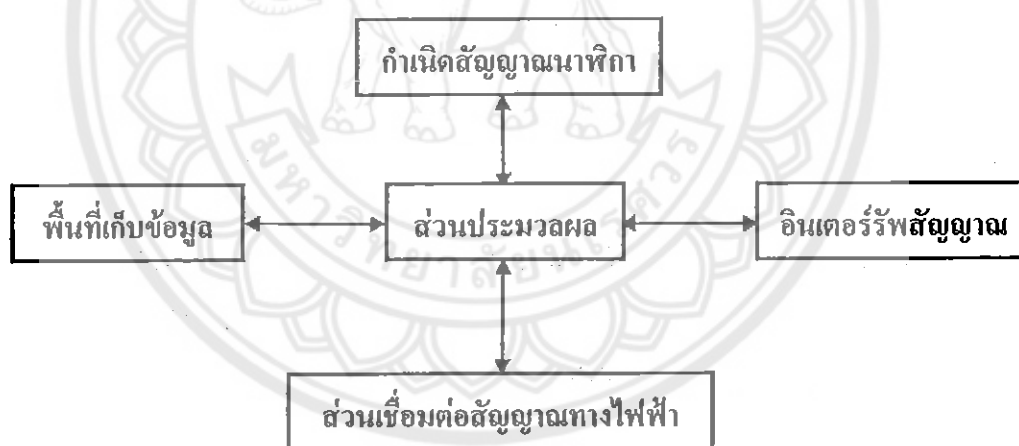
1. แบบซิมเพลกซ์ เป็นการส่งหรือรับข้อมูลแบบทิศทางเดียวเท่านั้น
2. แบบฮาล์ฟดูเพลกซ์ เป็นการส่งและรับข้อมูลแบบสลับกันคือเมื่อด้านหนึ่งส่ง อีกด้านหนึ่งเป็นฝ่ายรับ สลับกัน ไม่สามารถรับ-ส่งในเวลาเดียวกันได้
3. แบบฟูลดูเพลกซ์ สามารถรับ-ส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้

2.4.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เสมือนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือระบบควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความสามารถในการทำงานมากขึ้น โดยเราสามารถเปลี่ยนแปลงลำดับการทำงานได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขโปรแกรมในหน่วยความจำ ทำให้เราสามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้ารอบตัว เช่น ระบบอัตโนมัติของเครื่องซักผ้า หรือระบบสมองกลของรถยนต์เป็นต้นซึ่งภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีโครงสร้างหลักอยู่ 5 ส่วนใหญ่ ดังนี้

- ส่วนประมวลผล
- ส่วนพื้นที่เก็บข้อมูล
- ส่วนเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้า
- ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา
- ส่วนอินเตอร์รัพท์สัญญาณ

โครงสร้างหลักภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 5 ส่วนจะทำงานสัมพันธ์กัน ซึ่งแต่ละส่วนจะมีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกัน ดังนี้



รูปที่ 2.26 โครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.3.1 ส่วนประมวลผล

ส่วนประมวลผล คือ ส่วนที่ทำหน้าที่คำนวณทางคณิตศาสตร์ หรือการตัดสินใจแบบมีเงื่อนไข ซึ่งจะมีการทำงานที่ซับซ้อนโดยลำดับในการทำงานของส่วนประมวลผลจะขึ้นอยู่กับการจัดลำดับคำสั่งในการทำงาน ซึ่งจะบรรจุอยู่ภายในส่วนพื้นที่ที่เก็บข้อมูล

2.4.3.2 ส่วนพื้นที่เก็บข้อมูล

ส่วนพื้นที่เก็บข้อมูล คือ ส่วนที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูล โดยจะแบ่งชนิดของพื้นที่เก็บข้อมูลเป็น 2 แบบคือ แบบชั่วคราว หรือแบบกึ่งถาวร ซึ่งพื้นที่เก็บข้อมูลแบบชั่วคราวนี้จะเป็นข้อมูลที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อยู่ตลอดและถูกใช้เป็นข้อมูลในการเก็บค่าตัวแปรในการคำนวณ โดยข้อมูลประเภทนี้จะสูญหายเมื่อหยุดจ่ายไฟให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนพื้นที่แบบกึ่งถาวรจะเป็นข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลที่ใช้เก็บโปรแกรมคำสั่งการทำงาน ซึ่งข้อมูลประเภทนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้แต่ต้องใช้กรรมวิธีพิเศษ แต่ข้อมูลจะไม่สูญหายแม้ว่าจะหยุดจ่ายไฟเลี้ยงให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.3.3 ส่วนเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้า

ส่วนเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้า จะทำหน้าที่ติดต่อสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบอินพุตเอาต์พุตแบบดิจิทัล โดยจะรับข้อมูลและส่งข้อมูลด้วยสัญญาณทางดิจิทัล และแบบอินพุตเอาต์พุตแบบอนาล็อก จะรับและส่งสัญญาณแบบอนาล็อก ซึ่งในการรับส่งสัญญาณของอนาล็อกจะมีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์บางรุ่นเท่านั้น

2.4.3.4 ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยใช้วงจรที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เรียกว่าวงจรถอดสซิลเลเตอร์ ซึ่งมีอุปกรณ์หลักคือ คริสตัลมา กำหนดช่วงเวลาในการประมวลผล ของส่วนประมวลผล โดยจะมีผลต่อความเร็วในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้สัญญาณนาฬิกาจะยังไม่กำหนดความเร็วในการรับส่งข้อมูลดิจิทัลแบบอนุกรมและกำหนดความถี่ในตัวของตัวเองในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย

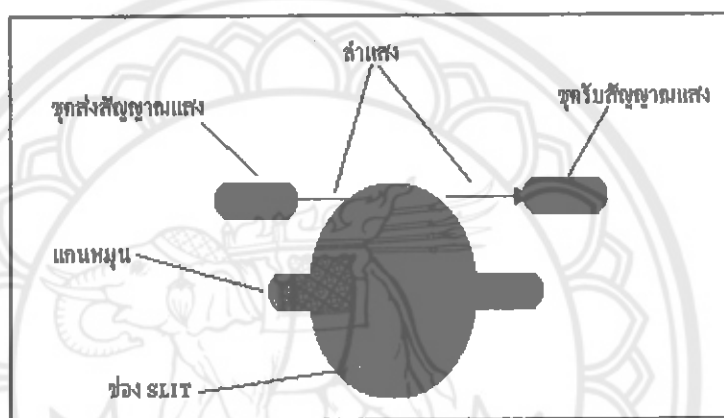
2.4.3.5 ส่วนอินเตอร์รัพต์สัญญาณ

ส่วนอินเตอร์รัพต์สัญญาณจะทำหน้าที่จัดลำดับความสำคัญในการทำงาน ในกรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในลักษณะหลายงานพร้อมกัน ซึ่งจะอำนวยความสะดวกอย่างมากในการเขียนโปรแกรมเพื่อรองรับการทำงานลักษณะนี้

2.4.4 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

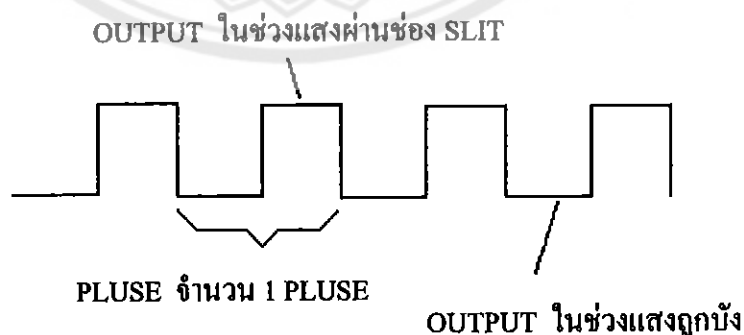
ในการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์นั้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนดังนั้นเราจึงนำเอาตัวเข้ารหัสแบบหมุน (Rotary Encoder) เข้ามาใช้และอ่านค่าออกมาเพื่อตรวจสอบทิศทางและตำแหน่งของการเคลื่อนที่ เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบตำแหน่งการเคลื่อนที่กับค่าอินพุตโดยหลักการการทำงานของตัวเข้ารหัส (Encoder) มีดังนี้

ตัวเข้ารหัสแบบหมุน มีลักษณะเป็นแผ่นกลมมีแกนอยู่ตรงกลางและที่แผ่นกลมจะมีช่องเล็ก ที่แสงสามารถส่องผ่านได้เป็นจำนวนมากเราเรียกช่องนี้ว่า ช่องสลิต (Slit) ซึ่งที่ด้านหนึ่งของแผ่นกลมนี้จะมีตัวส่งแสงอินฟราเรด (Infrared) ไปยังตัวรับสัญญาณแสงอินฟราเรด ซึ่งจะอยู่ในด้านตรงกันข้าม ดังรูปที่ 2.27



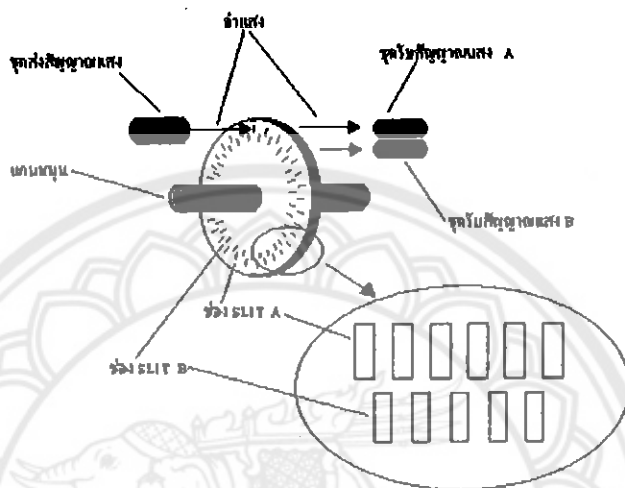
รูปที่ 2.27 แสดงตัวเข้ารหัสแบบหมุน (Rotary Encoder)

เมื่อหมุนแกนหมุนทำให้แผ่นกลมหมุนไปตัดลำแสงอินฟราเรด ดังนั้นตัวรับแสงอินฟราเรด จึงมีแสงมากระทบเป็นช่วงๆ ตามจังหวะที่แสงผ่านช่องสลิต จึงทำให้ สัญญาณเอาท์พุทของตัวรับแสงอินฟราเรดมีลักษณะเป็นพัลส์ ดังรูปที่ 2.28



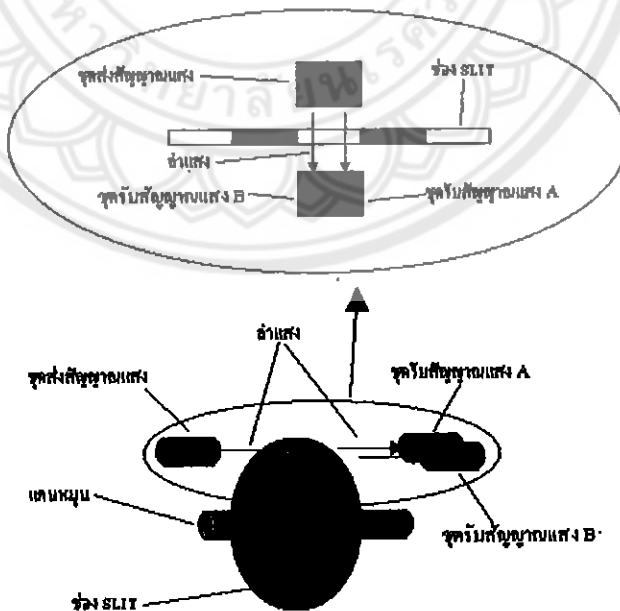
รูปที่ 2.28 แสดงการสร้างสัญญาณพัลส์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุน

จำนวนพัลส์ที่ได้ออกมา นี้จะเป็นตัวที่ชี้บ่งว่ามอเตอร์หมุนไปที่องศาหรือที่รอบซึ่งเราสามารถคำนวณได้จากสูตรจำนวนรอบที่มอเตอร์หมุนไปเท่ากับจำนวนพัลส์ โดยที่ค่าความละเอียดของตัวเข้ารหัสแบบหมุนนั้นนิยมใช้หน่วยเป็นพัลส์ต่อรอบ (Pulse /round หรือ ppr) เช่น 1000 ppr ก็หมายความว่าเมื่อมอเตอร์หมุนไป 1 รอบจะมีสัญญาณพัลส์ออกมา 1000 พัลส์ เป็นต้น ส่วนในเรื่องที่ว่าเราจะทราบได้อย่างไรว่ามอเตอร์หมุนไปที่ทิศทางใดนั้น ส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีสร้างช่องสลิต เป็น 2 ชุดเหลื่อมกัน 90 องศา ดังรูปที่ 2.29



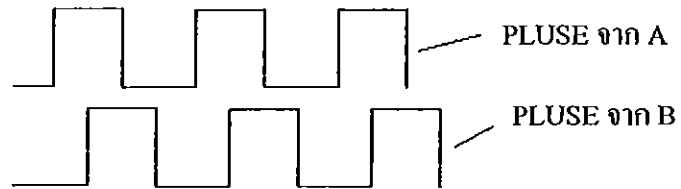
รูปที่ 2.29 แสดงพัลส์ของ โรตารีแบบสองเฟส

หรืออาจจะใช้ช่องสลิตเพียง 1 ชุดแต่มีการจัดวางชุดรับสัญญาณแสงดังรูปที่ 2.30 แต่ข้อสำคัญคือจะต้องมีมุมเฟส (Phase) ต่างกัน 90 องศา



รูปที่ 2.30 แสดงการตรวจเช็คสัญญาณพัลส์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุน

ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตจากมอเตอร์จึงมี 2 ชุด คือ A และ B โดยที่สัญญาณพัลส์จาก A และ B ก็จะเลื่อนกัน 90 องศาด้วย อาจกล่าวได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตจากมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 2 บิต คือหนึ่งบิตมาจาก A และอีกหนึ่งบิตมาจาก B ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 ลักษณะสัญญาณพัลส์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุนทั้งสองเฟส

ถ้าเราให้พัลส์ในช่วงขาขึ้น (High) มีค่าเป็น "1" และพัลส์ในช่วงขาลง (Low) มีค่าเป็น "0" เราสามารถใช้ค่าดังกล่าวมาคำนวณหาทิศทางที่มอเตอร์หมุนได้ด้วยใช้วิธีการทางดิจิทัลคือการนำค่าที่อ่านได้มาทำการเอ็กซคลูซีฟอออร์ (Exclusive OR; XOR) กัน โดยการนำบิตทางขวาของค่าเก่ามาเอ็กซคลูซีฟอออร์กับบิตทางซ้ายของค่าใหม่ที่อ่านได้



1072 9166

นร.

235792

2553

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์

การออกแบบหุ่นยนต์เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานนั้น ส่วนใหญ่จะมีการออกแบบที่อาศัยรูปร่าง ลักษณะของสิ่งรอบตัวที่สามารถทำงานได้ใกล้เคียงกัน โดยรูปแบบการออกแบบนั้น จะไม่ตายตัวโดยจะคำนึงถึงการใช้งานและการทำงานที่มีเสถียรภาพ เป็นต้น โดยวัสดุที่ใช้ นั้น ควรจะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมกับการทำงานในสภาพแวดล้อมที่หุ่นยนต์ต้องทำงาน และการออกแบบส่วนที่ใช้ควบคุมการเปิดปิดการทำงาน และพลังงานนั้น ควรจะมีการออกแบบที่ปลอดภัย และสะดวกต่อการซ่อมบำรุงรักษา

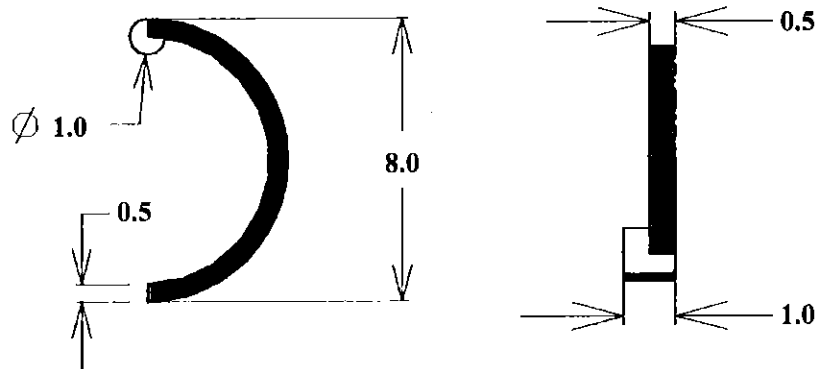
3.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์

3.1.1 โครงสร้างและขนาดของส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์

ในการออกแบบเริ่มต้นจากการออกแบบชิ้นส่วนที่สำคัญก่อนคือในส่วนของขา โดยขา 1 ขาประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรง 1 ตัว โดยจะถูกยึดติดกับหุ่นยนต์เพื่อเป็นจุดหมุน ซึ่งขาของหุ่นยนต์จะมีลักษณะดังรูป



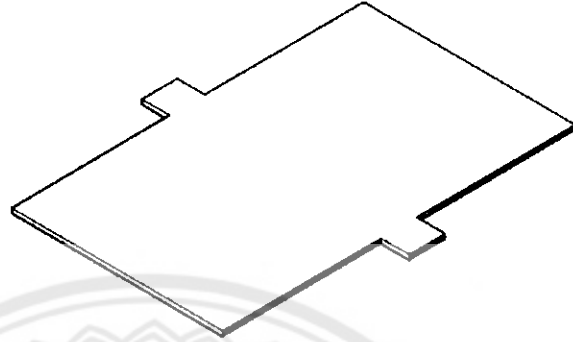
รูปที่ 3.1 ลักษณะขาของหุ่นยนต์



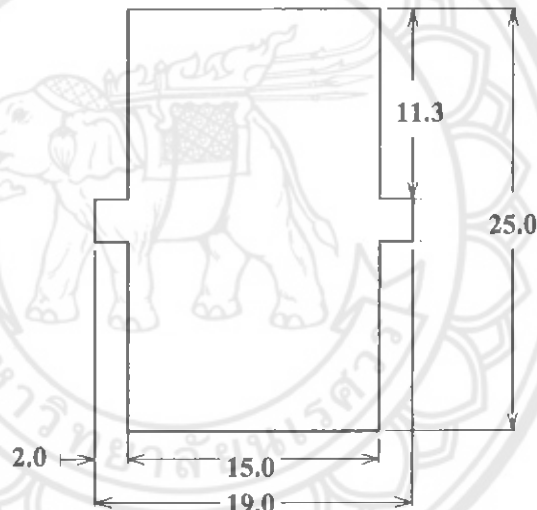
รูปที่ 3.2 ขนาดและลักษณะของขาหุ่นยนต์ ด้าน RIGHT VIEW และ TOP VIEW

(หน่วยเป็นเซนติเมตร)

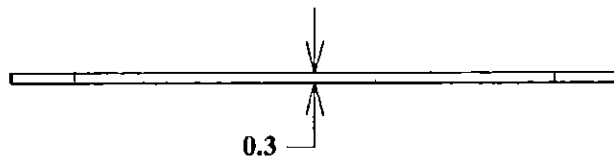
เมื่อได้ส่วนขาแล้วขั้นต่อไปคือจัดทำตัวของหุ่นยนต์โดยจะออกแบบให้สามารถประกอบขาของหุ่นยนต์ทั้งหมดได้ โดยการออกแบบและสามารถวางอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ได้ ซึ่งจะมีขนาดดังนี้



รูปที่ 3.3 ลักษณะตัวของหุ่นยนต์

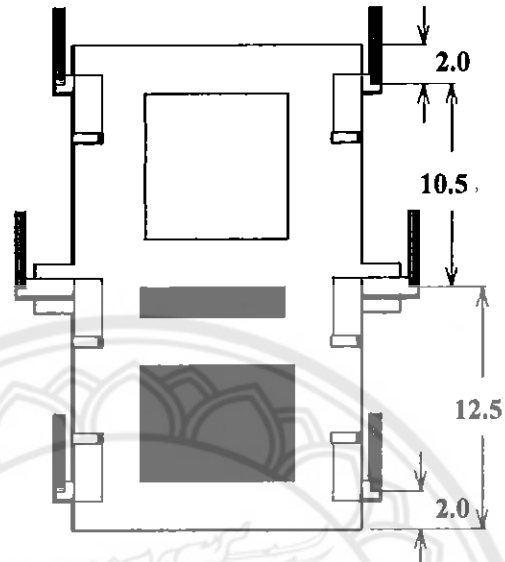


รูปที่ 3.4 ขนาดและลักษณะตัวของหุ่นยนต์ด้าน TOP VIEW (หน่วยเป็นเซนติเมตร)

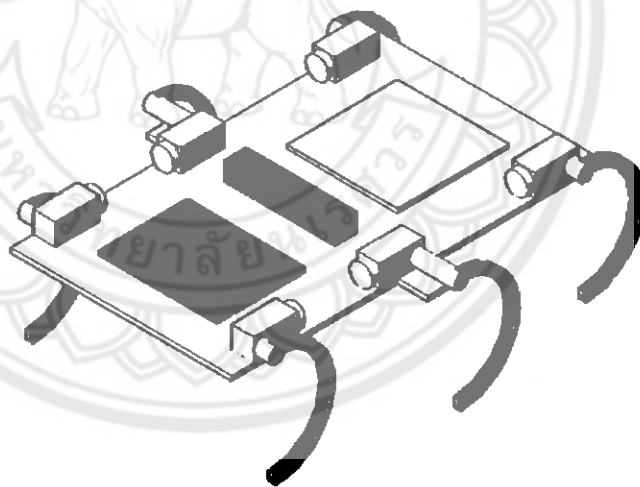


รูปที่ 3.5 ขนาดและลักษณะตัวของหุ่นยนต์ด้าน FRONT VIEW (หน่วยเป็นเซนติเมตร)

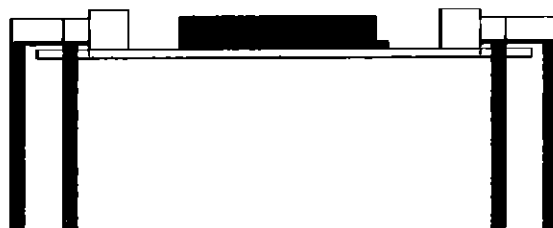
เมื่อทำการประกอบจะได้รูปแบบหุ่นยนต์เบื้องต้น ที่ประกอบไปด้วยมอเตอร์กระแสตรง ทั้งหมด 6 ตัว วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรขับมอเตอร์ วงจรแปลงกระแส และอื่นๆ เพื่อที่จะนำไปจัดทำโครงสร้างจริง ซึ่งอาจมีการปรับปรุงแก้ไขตามข้อบกพร่องที่พบเจอ



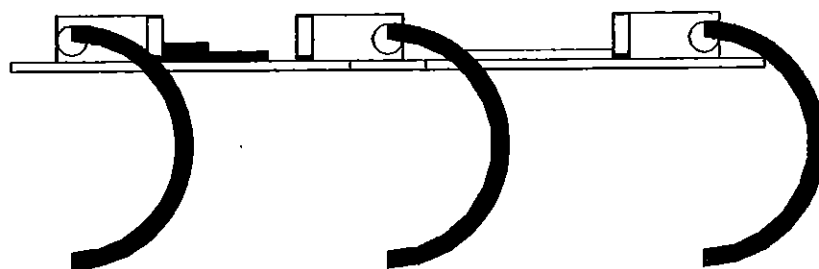
รูปที่ 3.6 ลักษณะของขา มอเตอร์ และอุปกรณ์ต่างๆ เมื่อนำมาวางที่ตัวของหุ่นยนต์ (หน่วยเป็นเซนติเมตร)



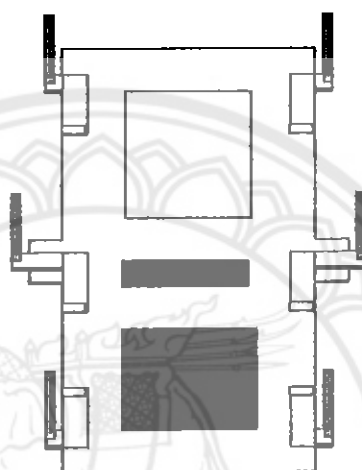
รูปที่ 3.7 หุ่นยนต์เบื้องต้นในรูปแบบสามมิติ



รูปที่ 3.8 หุ่นยนต์เบื้องต้นด้าน FRONT VIEW



รูปที่ 3.9 หุ่นยนต์เบื้องต้น RIGHT VIEW

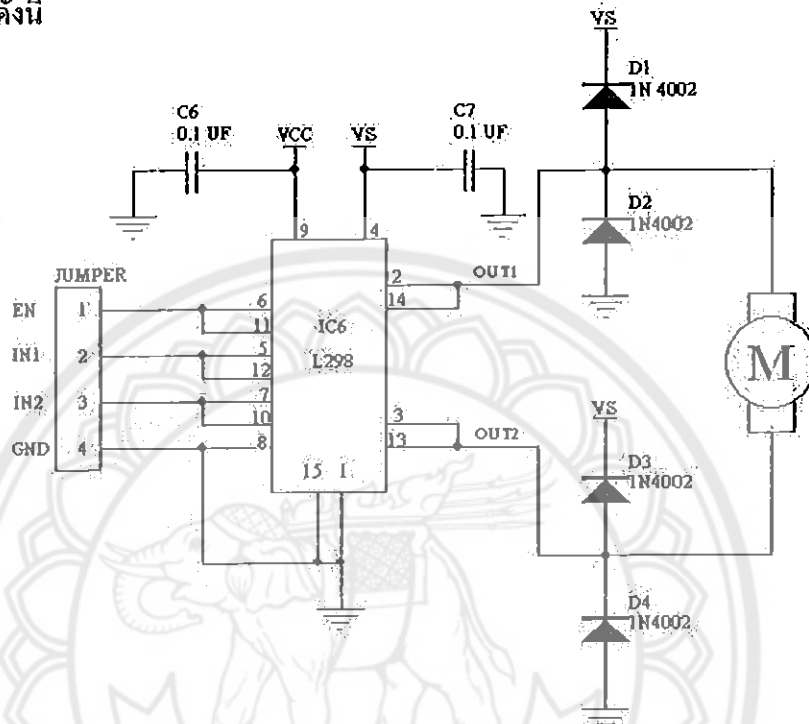


รูปที่ 3.10 หุ่นยนต์เบื้องต้น TOP VIEW

3.1.2 วงจรที่ใช้ในการทำงานของหุ่นยนต์

3.1.2.1 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

วงจรที่ใช้ในการทำให้หุ่นยนต์เดินนั้น ต่างต้องมีการควบคุมหรือแปลงสัญญาณ จากวงจรควบคุมอาทิ เช่น วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ มีหน้าที่จ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ตามที่ต้องการ วงจรมี การทำงานดังนี้



รูปที่ 3.11 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไอซีเบอร์ L298

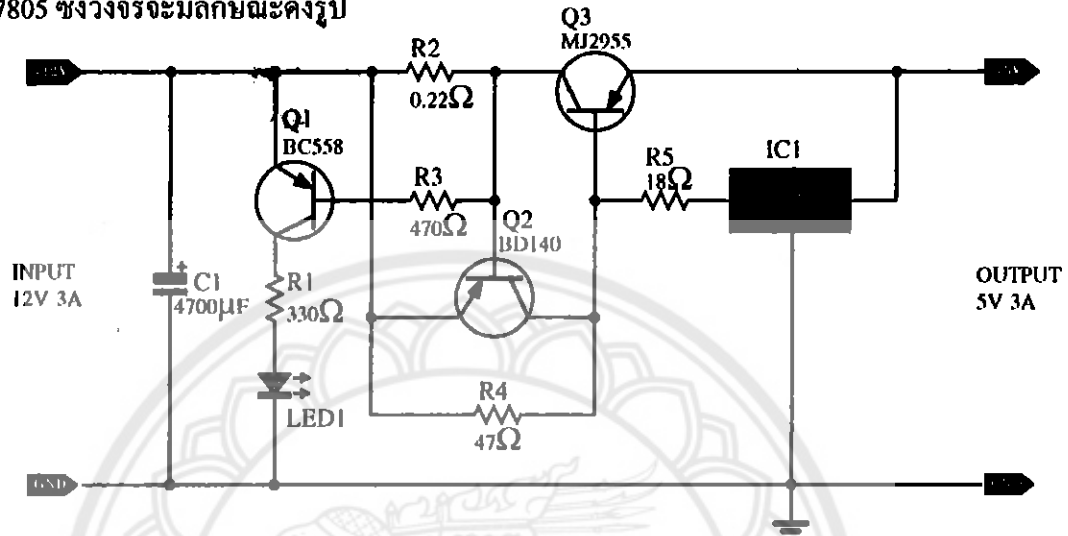
หลักการทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ คือ เมื่อป้อนสัญญาณเข้าไปที่ขา ENABLE ให้เป็น ลอจิก 1 และให้ขา IN1 และ IN2 เป็นลอจิก 0 มอเตอร์จะไม่หมุนหรือจะหยุดหมุนและมีแรงเฉื่อย อยู่ แต่ถ้าป้อนสัญญาณให้ขา IN1 เป็นลอจิก 1 และขา IN2 เป็นลอจิก 0 มอเตอร์จะหมุนไปทิศทาง เจริญนาฬิกา ส่วนถ้าป้อนสัญญาณให้ขา IN1 เป็นลอจิก 0 และให้ขา IN2 เป็นลอจิก 1 มอเตอร์จะ หมุนไปทิศตามเข็มนาฬิกา และถ้าป้อนให้ขา IN1 กับ IN2 เป็นลอจิก 1 มอเตอร์จะหยุดหมุนทันที หรือศึกษาได้จากตารางการทำงานของ L298 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงการทำงานของไอซี L298

		Input		Function
EN = 1		IN1 = 0	IN2 = 0	Fast Motor Stop
		IN1 = 0	IN2 = 1	Reverse
		IN1 = 1	IN2 = 0	Forward
		IN1 = 1	IN2 = 1	Fast Motor Stop
EN = 0		IN1 = X	IN2 = X	Free Running Motor Stop

3.1.2.2 วงจรแปลงสัญญาณไฟ 12 โวลต์ เป็น 5 โวลต์

วงจรแปลงสัญญาณไฟนั้นจำเป็นอย่างมากในการที่แปลงสัญญาณไฟสูงกว่าที่มอเตอร์รองรับได้ให้เหลือเท่าที่มอเตอร์ต้องการ ดังนั้นไฟจากแบตเตอรี่ปกติจะมีขนาดเท่ากับ 12 โวลต์ เราจำเป็นต้องลดลงให้เหลือเพียง 5 โวลต์ โดยวงจรแปลงสัญญาณไฟนี้เราจะใช้ ไอซีเบอร์ 7805 ซึ่งวงจรจะมีลักษณะดังรูป



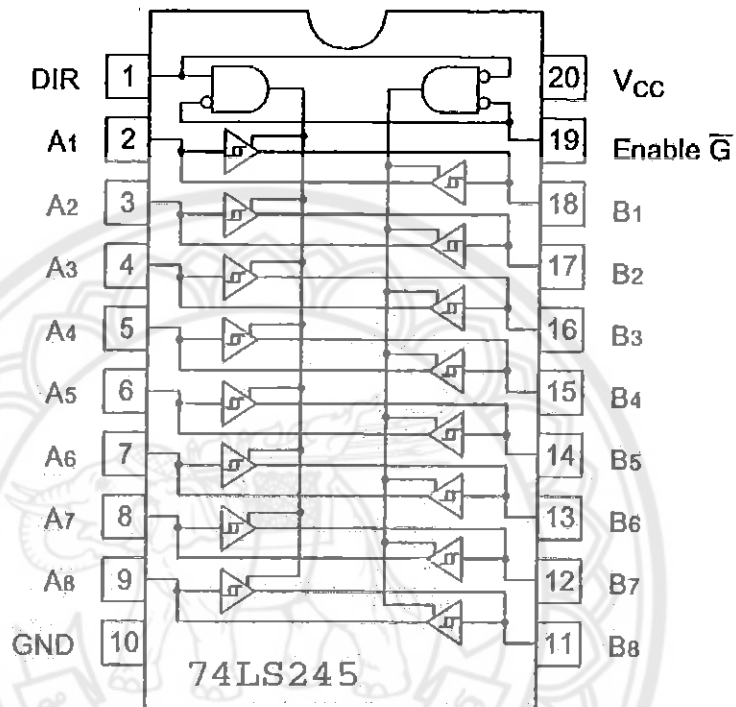
รูปที่ 3.12 วงจรแปลงสัญญาณไฟ 12 โวลต์ เป็น 5 โวลต์

ไอซีเบอร์ 7805 จ่ายกระแสสูงสุดได้ไม่เกิน 1 แอมป์ แต่สามารถเพิ่มให้สูงขึ้นโดยใช้ทรานซิสเตอร์ ทีเอ็นที 2955 จากวงจรหากมีกระแสไหลผ่านตัวด้านทาน 47 โอห์ม เกิน 15 มิลลิแอมป์ จะมีผลทำให้ MJ2955 ทำงานจ่ายกระแสออกทางเอาต์พุต เมื่อใดที่เอาต์พุตไหลคดถึงกระแสมากกว่า 3 แอมป์ จะเกิดแรงดันตกคร่อมผ่านตัวด้านทาน 0.22 โอห์มมากพอที่จะเป็นไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ BD140 ทำงาน ทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกิน ก็จะเกิดแรงดันตกคร่อมตัวด้านทาน 47 โอห์ม ทำให้กระแสลดลง ส่วน BC558 เป็นตัวขับหลอดไฟแอลอีดีให้ติดสว่างเมื่อเอาต์พุตจ่ายกระแสเกิน ส่วนตัวด้านทาน 18 โอห์ม เป็นตัวจำกัดกระแสไหลผ่าน ไอซีเบอร์ 7805 โดยกระแสหลักจะผ่าน ไอซีเบอร์ 7805 หน้าของ ไอซีเบอร์ 7805 คือควมคุมไฟเอาต์พุตให้คงที่ที่ 5 โวลต์ หากต้องการกระแสเอาต์พุตได้ 3 แอมป์ เต็มจะต้องป้อนแรงดันอินพุตสูงกว่า 10 โวลต์ หากป้อนต่ำกว่ากระแสจะจ่ายได้เพียง 1 แอมป์

3.1.2.3 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)

วงจรบัฟเฟอร์เป็นวงจรที่ใช้เชื่อมสองวงจรเข้าด้วยกัน วงจรที่จำเป็นต้องใช้บัฟเฟอร์นั้นส่วนใหญ่มีคุณสมบัติของออปแอมป์ทางเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ เมื่อเชื่อมต่อกับวงจรอื่นแล้วจะไม่ทำให้วงจรอื่นมีผลแตกต่างไปจากเดิม วงจรบัฟเฟอร์นั้นจะมีอัตราขยายเท่ากับ 1 หรือเอาต์พุตเท่ากับอินพุต เราจึงนำวงจรบัฟเฟอร์มาเชื่อมต่อระหว่างพอร์ตของบอร์ดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์กับวงจรที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณไปให้ เช่น วงจรขับมอเตอร์ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และยังช่วยเพิ่มกระแสของ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านเอาต์พุต เนื่องจากถ้าใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณออกโดยตรงนั้นจะมีกระแสต่ำและถ้าส่งสัญญาณออกมาหลายๆ จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานหนักจนเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วงจรรับฟเฟอร์เพื่อช่วยขยายสัญญาณขาออกของไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรรับฟเฟอร์ที่ใช้จะเป็นวงจรรสำเร็จรูปเบอร์ 74LS245 ซึ่งมีลักษณะภายในวงจรมีดังรูป



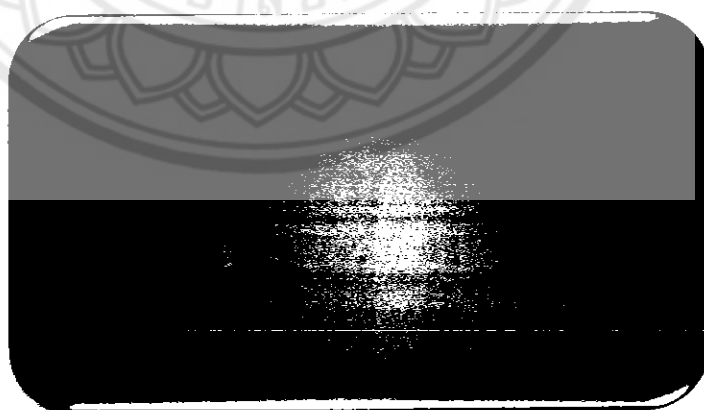
รูปที่ 3.13 วงจรภายในของวงจรรวมเบอร์ 74LS245

3.2 การสร้างหุ่นยนต์เดิน 6 ขา

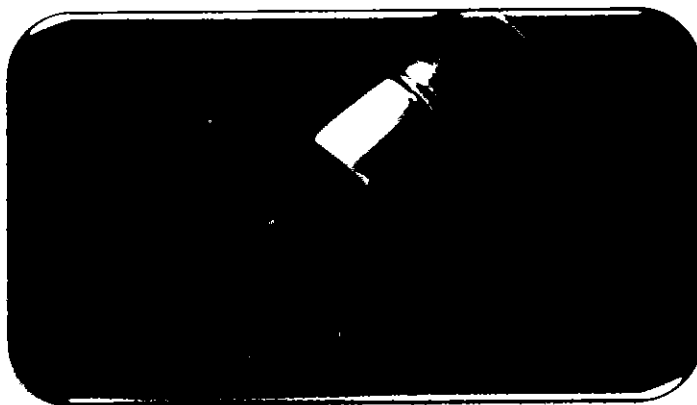
การสร้างหุ่นยนต์เดิน 6 ขา สร้างตามขนาดที่ออกแบบไว้หรือมีการเพิ่ม ลดขนาดบางส่วนเล็กน้อย อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างส่วนขาจะใช้ท่อพีวีซีตัดให้ได้ตามขนาดและผ่าครึ่งให้ได้เป็นลักษณะครึ่งวงกลมดังรูปที่ 3.14 ส่วนโครงสร้างตัวของหุ่นยนต์จะใช้แผ่นอะคริลิกขนาดหนา 3 มิลลิเมตร ตัดให้ได้ตามรูปแบบที่ออกแบบไว้ นำขาของหุ่นยนต์มาติดกับข้อต่อให้มีลักษณะดังรูปที่ 3.15 และนำมอเตอร์ติดกับที่ล้อคอมอเตอร์ดังรูปที่ 3.16 นำมอเตอร์ไปประกอบเข้ากับตัวของหุ่นยนต์ดังรูปที่ 3.17



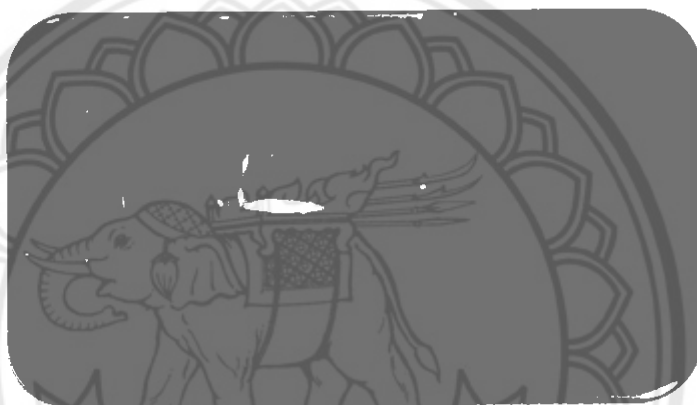
รูปที่ 3.14 ลักษณะของขาหุ่นยนต์



รูปที่ 3.15 ติดขาของหุ่นยนต์เข้ากับข้อต่อ

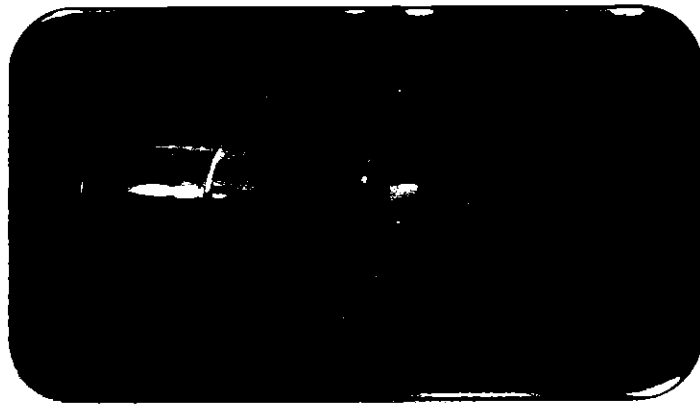


รูปที่ 3.16 นำมอเตอร์ติดเข้ากับที่ล้อมอเตอร์

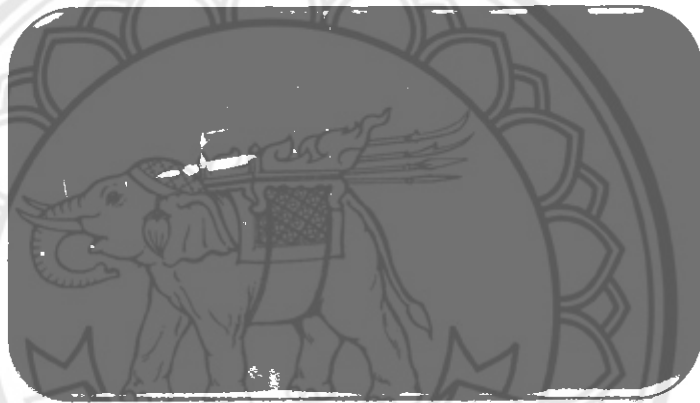


รูปที่ 3.17 นำมอเตอร์ไปประกอบเข้ากับตัวของหุ่นยนต์

เมื่อทำการประกอบมอเตอร์แล้ว นำชุดตัวเข้ารหัสมาประกอบเข้ากับที่ล้อมอเตอร์และแกนเพลามอเตอร์ โดยงานของตัวเข้ารหัสจะใช้กระดาษแข็ง เนื่องจากไม่ต้องการความละเอียดมาก ในการตรวจสอบและเพื่อประหยัดต้นทุน ซึ่งติดตั้งเสร็จแล้วจะได้ดังรูปที่ 3.18 จากนั้นนำขาของหุ่นยนต์ที่ประกอบเข้ากับข้อต่อแล้วมาสวมที่แกนเพลามอเตอร์ดังรูปที่ 3.19 ขั้นตอนสุดท้ายนำวงจรที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.1.2 และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มาประกอบเพื่อควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นส่วนหลักที่ทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ เมื่อประกอบทุกชิ้นส่วนครบจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.20



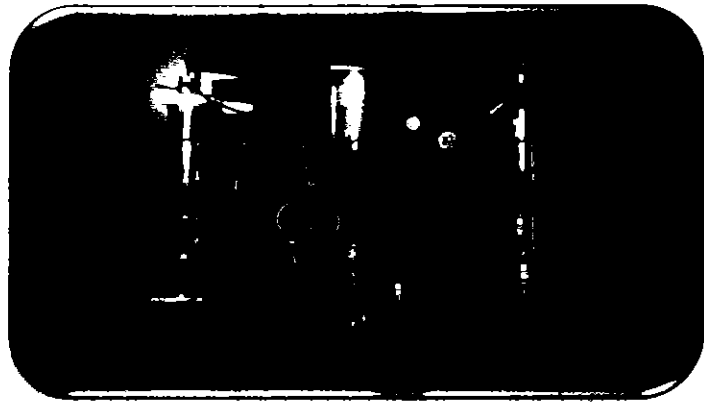
รูปที่ 3.18 คัดตั้งชุดตัวเข้ารหัส



รูปที่ 3.19 นำขาของหุ่นยนต์ที่ประกอบเข้ากับข้อต่อแล้วมาสวมที่แกนเพลลาของมอเตอร์



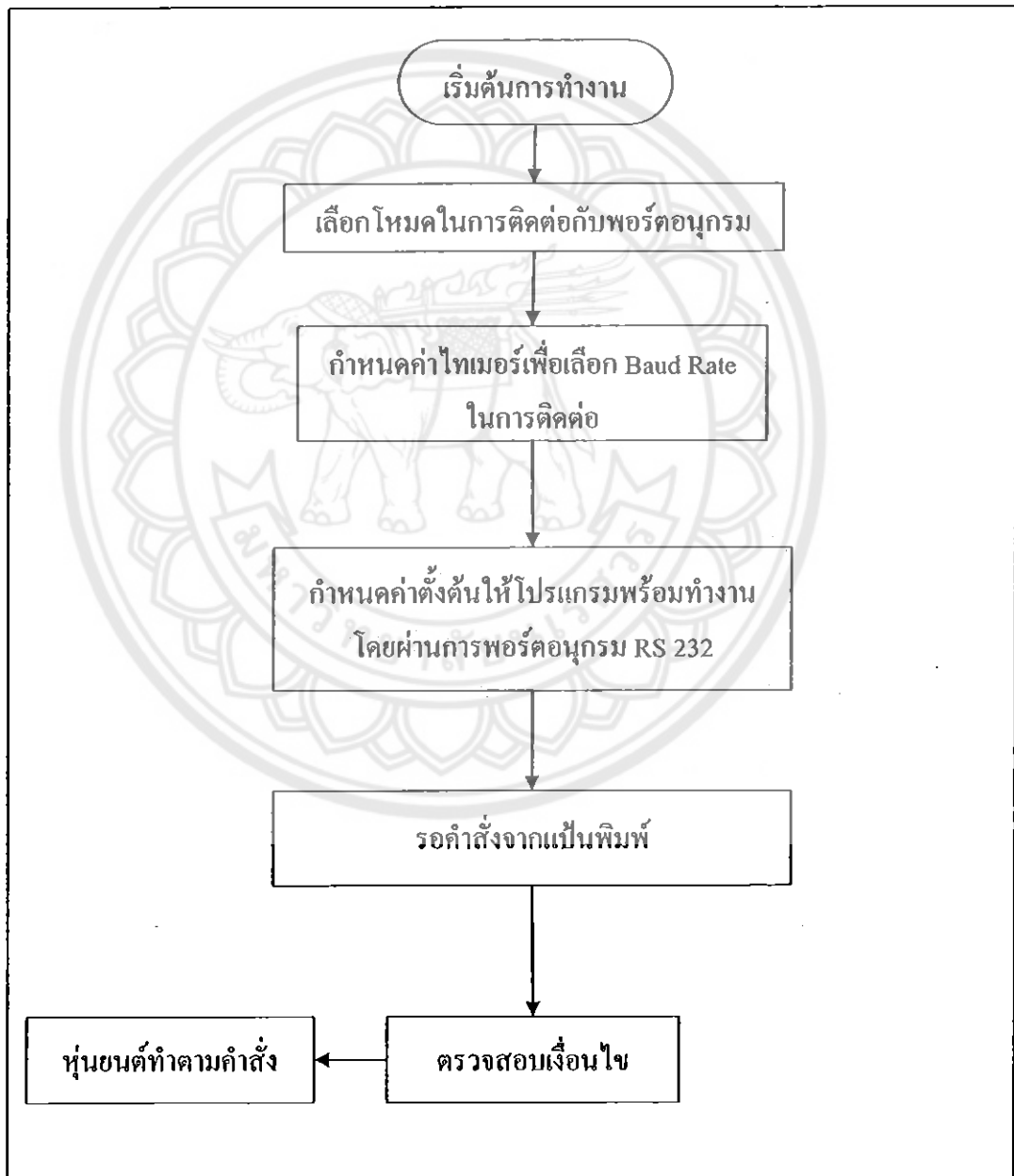
รูปที่ 3.20 นำอุปกรณ์ต่างๆ มาประกอบเข้ากับตัวหุ่นยนต์



รูปที่ 3.21 ด้านต่างๆ ของหุ่นยนต์เมื่อสร้างเสร็จ

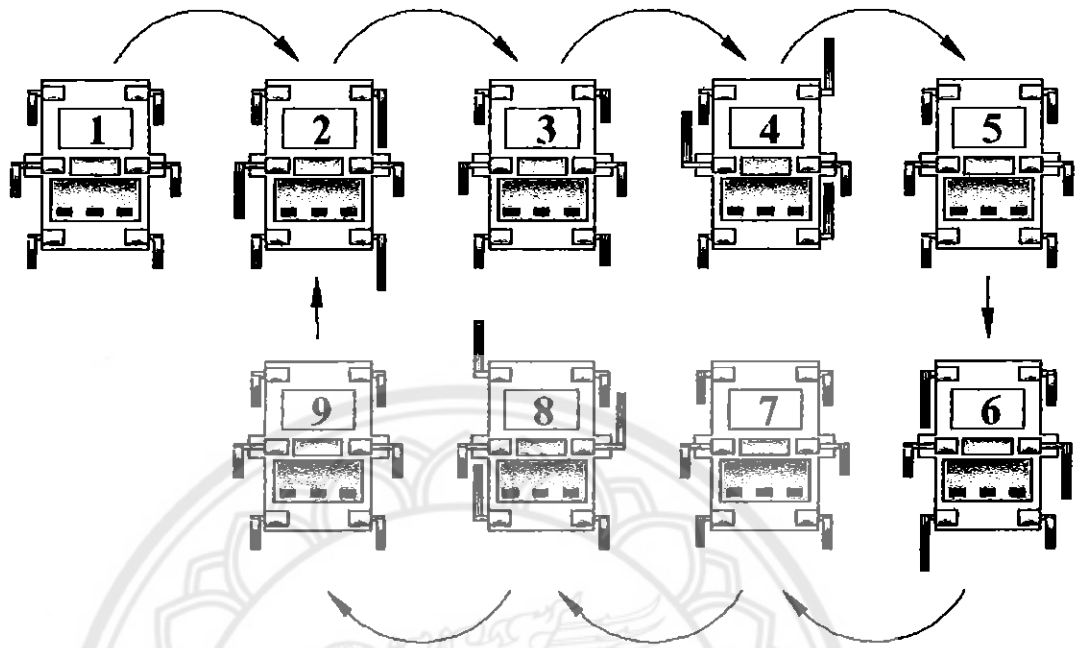
3.3 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา

ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา หุ่นยนต์จะเดินจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังอีกตำแหน่ง โดยหุ่นยนต์จะทำงานตาม โปรแกรมที่เขียนไว้ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะควบคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรม เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับการอินเทอร์รัพผ่านทางพอร์ตอนุกรมมอเตอร์จะเริ่มหมุน หลังจากนั้นชุดตัวเข้ารหัสจะทำการตรวจสอบสัญญาณพัลส์ที่ถูกดึงตามคำสั่งที่ตั้งไว้ จากนั้นจะนำสัญญาณพัลส์ที่ได้จากชุดตัวเข้ารหัสส่งกลับมายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุน โดยขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะเป็นดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

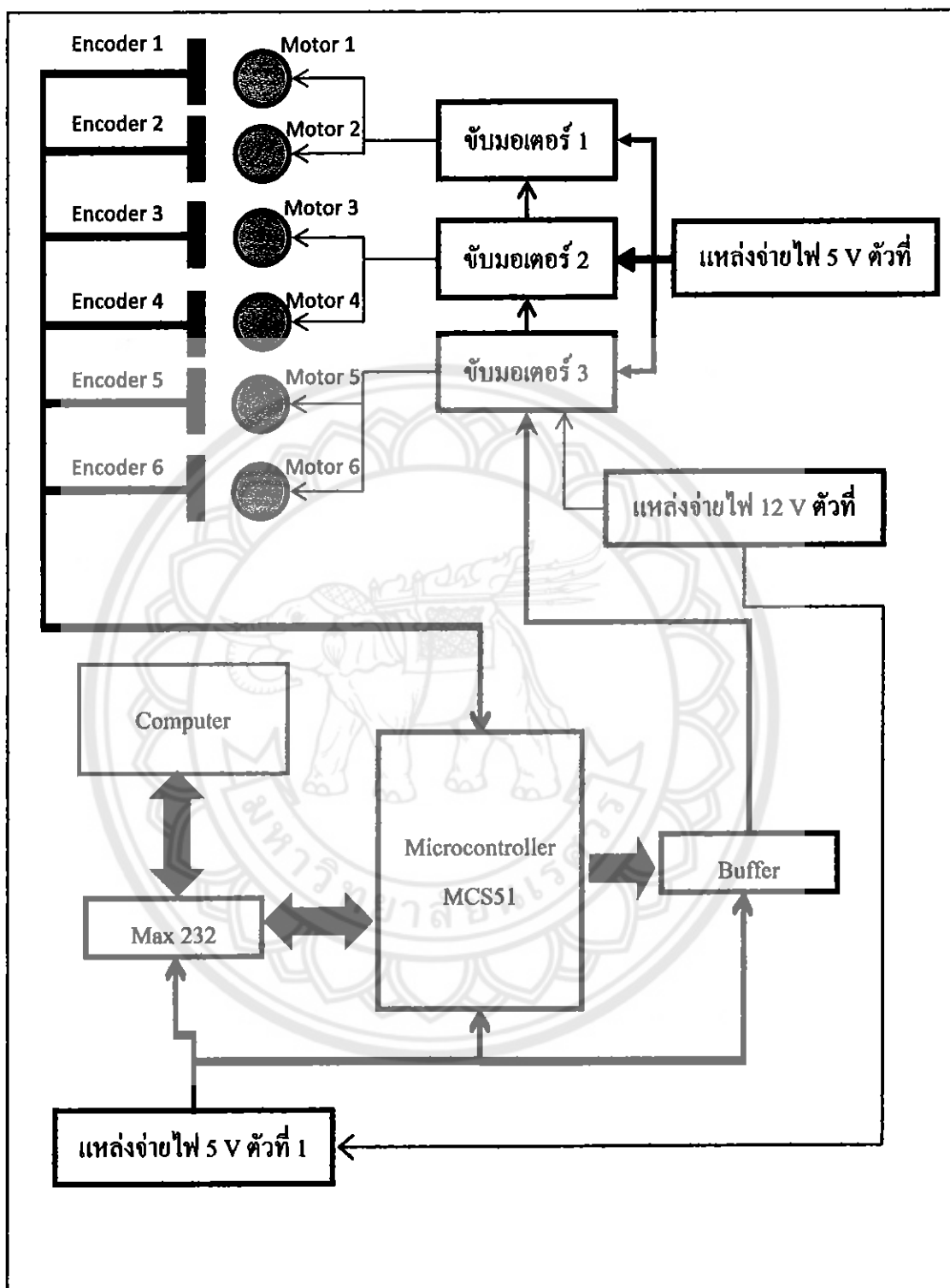
การเคลื่อนที่ของขาไปด้านหน้านั้น จะใช้การบังคับโดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ 1 ตัวต่อขา รวมมอเตอร์ทั้งหมด 6 ตัว สำหรับรูปแบบการเคลื่อนที่จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 รูปแบบการเดินของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา

จากรูปที่ 3.23 กำหนดให้การเดินเริ่มต้นตั้งแต่หุ่นยนต์หยุดนิ่ง อยู่ในสภาวะพร้อม ขาที่แสดงเป็นสีฟ้าหมายถึงขาที่วางอยู่กับพื้น ส่วนขาที่เป็นสีแดงคือขาที่ถูกสั่งให้ยกขึ้น จะเห็นว่าการเคลื่อนที่จะสั่งงานเป็นแนวทแยง คือ 2 ขาหน้าหลัง และขากลางของด้านตรงข้ามจะเคลื่อนที่พร้อมกัน การเคลื่อนที่จะไล่จากจังหวะที่ 1 คือจังหวะหยุดนิ่ง ส่วนจังหวะที่ 2 , 3 และ 4 คือจังหวะที่หุ่นยนต์เริ่มก้าวขา ขาหุ่นยนต์นั้นจะหมุนมา 90 องศา 180 องศา 270 องศา ตามลำดับของจังหวะการเคลื่อนที่ และจะครบ 360 องศาในจังหวะที่ 5 หลังจากนั้นหุ่นยนต์จะทำงานลักษณะเดิมแต่สลับขาเป็นขาด้านตรงข้ามจากจังหวะการก้าวครั้งแรก ดังแสดงในจังหวะที่ 6 , 7 และ 8 เมื่อถึงจังหวะที่ 9 ขาของหุ่นยนต์ทั้งหมดก็จะอยู่กับพื้นซึ่งจะเหมือนกับการทำงานในจังหวะที่ 1 ถ้ามีการเคลื่อนที่ต่อไปหุ่นยนต์ก็จะไปทำงานในจังหวะที่ 2 ทันที และหุ่นยนต์ก็จะทำงานซ้ำแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะมีคำสั่งให้หยุดการทำงาน

ในส่วนของการทำงานโดยรวมของหุ่นยนต์นั้นจะแสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การทำงาน โดยรวมของหุ่นยนต์

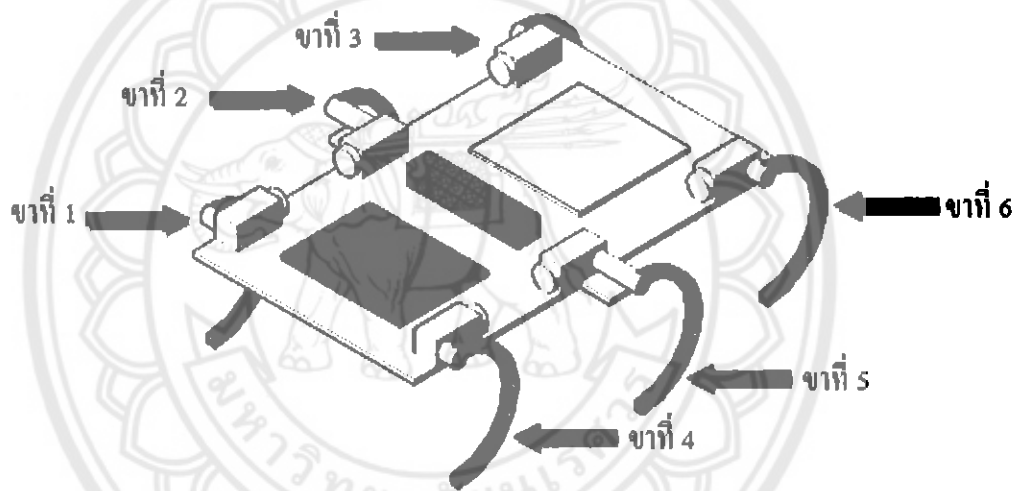
บทที่ 4

ผลการดำเนินโครงการ

4.1 กระบวนการทำงานของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา

การที่จะให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้จำเป็นต้องมีการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นเราจึงต้องเขียนโปรแกรมควบคุมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานสั่งงานผ่านวงจรขับมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์ทำงานตามที่เราต้องการ

กระบวนการทำงานของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ในพื้นที่ราบที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยที่ขาของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่พร้อมๆ กันครั้งละ 3 ขาต่อการก้าวหนึ่งก้าว เมื่อกำหนดขาของหุ่นยนต์ไว้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กำหนดตำแหน่งของขาแต่ละขา

จะสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ได้ดังนี้ เมื่อเริ่มต้นก้าวแรกด้วยขาที่ 1, 3 และ 5 จะหมุนไปพร้อมกัน เมื่อหมุนครบรอบแล้วขาที่ 2, 4 และ 6 ก็จะหมุนต่อทันทีเป็นการก้าวครั้งที่ 2 และก็จะสลับกันไปมาแบบนี้ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนไหว หรือศึกษาได้จากหัวข้อที่ 3.3

4.2 ผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา

ในการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา ได้ทำการกำหนดขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์โดยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนพื้นราบที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยเคลื่อนที่ในระยะทาง 1 เมตร โดยใช้เกณฑ์ในการวัดความแตกต่าง คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ และทำการวัดองศาที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกนอกแนวเส้นตรงในแต่ละพื้นผิว นอกจากนี้ยังทำการทดสอบการหมุนของขาหุ่นยนต์แบบขาไม่สัมผัสพื้นทั้งหมด 6 ขา ซึ่งได้กำหนดการทดลองไว้ทั้งหมด 3 การทดลองดังนี้

- 1) ทดลองการหมุนของขาหุ่นยนต์ใน 1 รอบแบบไม่สัมผัสพื้นทั้งหมด 6 ขา
- 2) ทดลองหาองศาที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกจากแนวเส้นตรงบนพื้นผิวต่างๆ ที่กำหนด ในระยะทาง 1 เมตร
- 3) ทดลองวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนพื้นผิวต่างๆ ที่กำหนด ในระยะทาง 1 เมตร

4.2.1 การทดลองการหมุนของขาหุ่นยนต์ใน 1 รอบแบบไม่สัมผัสพื้นทั้งหมด 6 ขา

การทดลองนี้เป็นการจับระยะเวลาของการหมุนของขาหุ่นยนต์ใน 1 รอบหรือหมุน 360 องศาแบบไม่สัมผัสพื้น เพื่อจับเวลาของขาทั้งหมด 6 ขา ซึ่งแต่ละขาจะทำการทดลองซ้ำกัน 3 รอบ โดยได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการหมุนของขาหุ่นยนต์ใน 1 รอบแบบไม่สัมผัสพื้นทั้งหมด 6 ขา

ขาที่	ผลการทดลอง (วินาที/รอบ)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	1.07	1.2	1.18	1.15
2	1.3	1.28	1.28	1.287
3	1.12	1.01	1.13	1.087
4	1.13	1.21	1.16	1.17
5	1	1.13	1.05	1.06
6	1.2	1.14	1.21	1.183

จากการทดลองพบว่า การหมุนของขาหุ่นยนต์ใน 1 รอบแบบไม่สัมผัสพื้นทั้งหมด 6 ขา จะเห็นได้ว่าการหมุนของขาหุ่นยนต์แต่ละรอบใช้ระยะเวลาไม่เท่ากัน โดยเวลาเฉลี่ยตั้งแต่ 1.06 ถึง 1.287 วินาที ทำให้ขาที่ใช้ก้านหมุนไม่พร้อมกันซึ่งจะทำให้หุ่นยนต์ทรงตัวได้ไม่ดี เป็นอุปสรรคในการเคลื่อนที่เป็นอย่างมาก และทำให้หุ่นยนต์เดินไม่เป็นเส้นตรง

4.2.2 การทดลองหาองศาที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกจากแนวเส้นตรงบนพื้นผิวต่างๆ ที่กำหนด ในระยะทาง 1 เมตร

การทดลองนี้เป็นการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในพื้นที่ผิวทั้ง 4 ลักษณะ คือพื้นผิว
กระเบื้อง พื้นผิวหินเกล็ด พื้นอิฐตัวหนอน พื้นหญ้า ในระยะทาง 1 เมตร เพื่อทดสอบว่าหุ่นยนต์นั้น
เคลื่อนที่ออกนอกแนวเส้นตรงที่กำหนดไว้กี่องศา โดยทดลองซ้ำกันพื้นผิวละ 5 รอบ ได้ผลการ
ทดลองแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาองศาที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกจากแนวเส้นตรงบนพื้นผิวต่างๆ
ที่กำหนด ในระยะทาง 1 เมตร

สภาพพื้นผิว	ผลการทดลอง (ทิศทาง, องศา)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
พื้นผิวกระเบื้อง	ขวา, 1.71°	ซ้าย, 5.71°	ซ้าย, 6.84°	ซ้าย, 7.4°	ซ้าย, 15.64°
พื้นผิวหินเกล็ด	ขวา, 3.4°	ขวา, 1.43°	ขวา, 1.72°	ซ้าย, 4°	ซ้าย, 2.8°
พื้นอิฐตัวหนอน	ซ้าย, 15.6°	ซ้าย 17.7°	ซ้าย, 18.8°	ซ้าย, 14.6°	ซ้าย 20.8°
พื้นหญ้า	ซ้าย 3.43°	ซ้าย, 6.84°	ซ้าย, 3.3°	ซ้าย, 3.72°	ซ้าย, 6.84°

จากการทดลองพบว่าหุ่นยนต์นั้นเคลื่อนที่ไม่เป็นเส้นตรงซึ่งจะเคลื่อนที่ออกจากแนว
เส้นตรงไปทั้งซ้ายและขวา ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิว ซึ่งผลการทดลองส่วนมากจะเคลื่อนที่ออกจาก
แนวเส้นตรงไปทางด้านซ้ายมากกว่าด้านขวา เป็นผลมาจากความเร็วของมอเตอร์นั้นมีความเร็วไม่
เท่ากันอ้างอิงจากการทดลองที่ 4.2.1 ส่วนพื้นผิวที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรงที่สุดคือพื้นผิวหินเกล็ด
ส่วนพื้นผิวที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกจากเส้นตรงมากที่สุดคือพื้นอิฐตัวหนอน ทำให้พบว่าพื้นผิวที่
พื้นสม่ำเสมอไม่มีร่อง หรือระดับพื้นเท่ากันจะทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ตรงกว่าพื้นที่มี
ร่องรอยต่อระหว่างพื้นหรือพื้นที่ลาดเอียง

4.2.3 การทดลองวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนพื้นผิวต่างๆ ที่กำหนด

ในระยะทาง 1 เมตร

การทดลองนี้เป็นการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในพื้นที่ผิวทั้ง 4 ลักษณะ คือพื้นผิว กระเบื้อง พื้นผิวหินเกล็ด พื้นอิฐตัวหนอน พื้นหญ้า ในระยะทาง 1 เมตร เพื่อทดสอบว่าหุ่นยนต์นั้น เคลื่อนที่ในพื้นที่ผิวลักษณะใดได้ดีกว่ากัน ซึ่งจะวัดจากระยะเวลาของการเคลื่อนที่ไปถึงจุดหมาย โดยทดลองซ้ำกันพื้นผิวละ 5 รอบ ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3

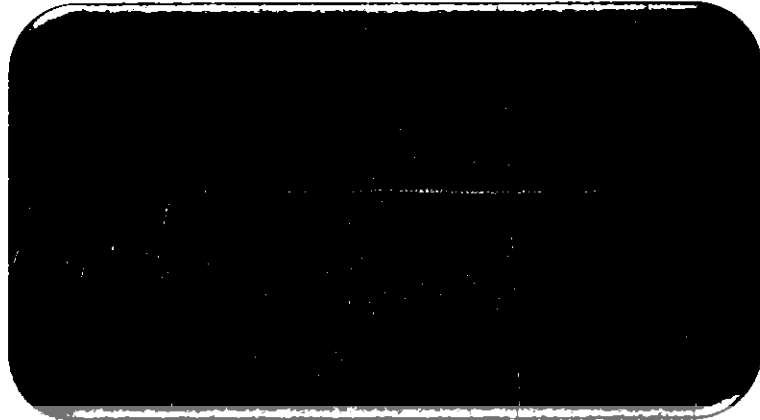
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนพื้นผิวต่างๆ ที่กำหนด

ในระยะทาง 1 เมตร

สภาพพื้นผิว	ผลการทดลอง (นาทิจากเมตร)					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
พื้นผิวกระเบื้อง	2.36	2.22	2.30	2.33	2.34	2.31
พื้นผิวหินเกล็ด	1.56	1.42	1.50	1.58	1.46	1.504
พื้นอิฐตัวหนอน	2.08	2.10	2.21	2.12	2.21	2.144
พื้นหญ้า	1.38	1.32	1.38	1.32	1.35	1.35

จากการทดลองพบว่าพื้นผิวที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดคือพื้นหญ้า(1.35 นาทิจากเมตร) พื้นผิวหินเกล็ด(1.504 นาทิจากเมตร) พื้นอิฐตัวหนอน(2.144 นาทิจากเมตร) ตามลำดับ ส่วนพื้นผิวที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ช้าที่สุด คือ พื้นผิวกระเบื้อง(2.31 นาทิจากเมตร) ทำให้พบว่าพื้นผิวที่มีลักษณะ ขรุขระหรือแรงเสียดทานต่อหน้าสัมผัสของขาหุ่นยนต์มาก จะทำให้หุ่นยนต์สามารถค้นล่าตัวไป ด้านหน้าได้ดีกว่าพื้นผิวที่มีลักษณะเรียบหรือลื่น โดยการทดลองได้กำหนดให้ระยะทางที่เท่ากันคือ 1 เมตร ลักษณะการทดลองแสดงดังรูปต่อไปนี้

1) ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในสภาพพื้นผิวกระเบื้อง



รูปที่ 4.2 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะเริ่มต้น



รูปที่ 4.3 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับแรกของการเคลื่อนที่

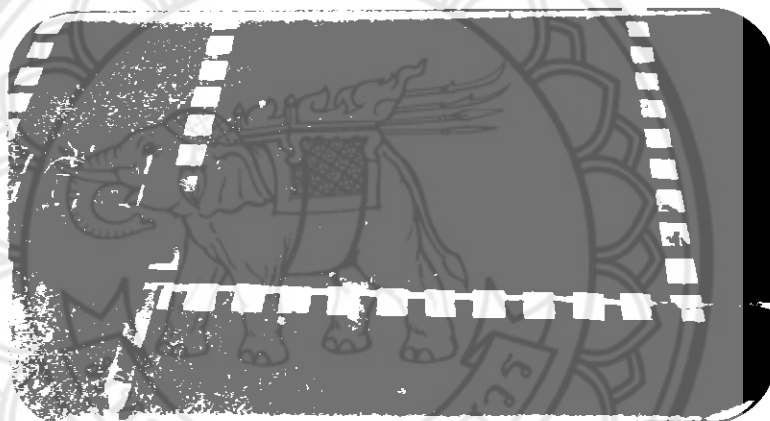


รูปที่ 4.4 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะหยุดเพื่อเตรียมเคลื่อนที่ในลำดับต่อไป

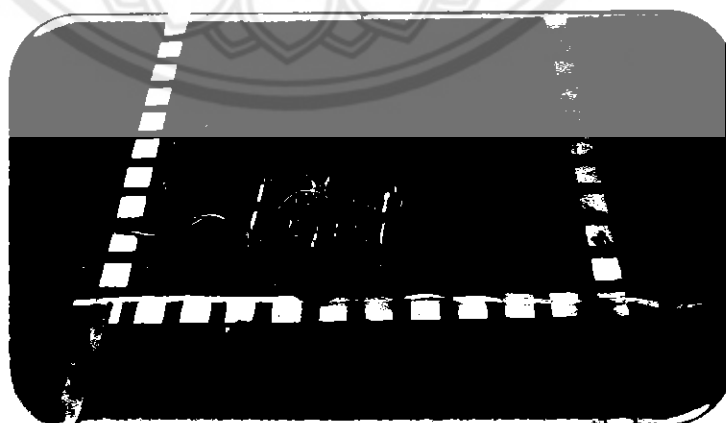


รูปที่ 4.5 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้ำกวมในลำดับที่สองของการเคลื่อนที่

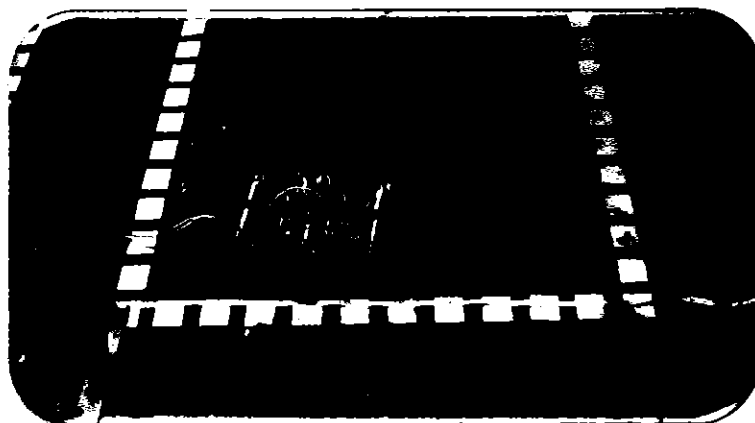
2) ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในสภาพพื้นผิวหินเกล็ด



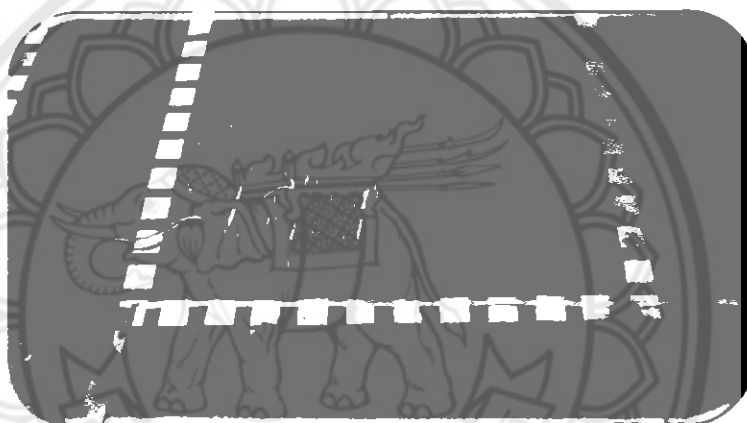
รูปที่ 4.6 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะเริ่มต้น



รูปที่ 4.7 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้ำกวมในลำดับแรกของการเคลื่อนที่

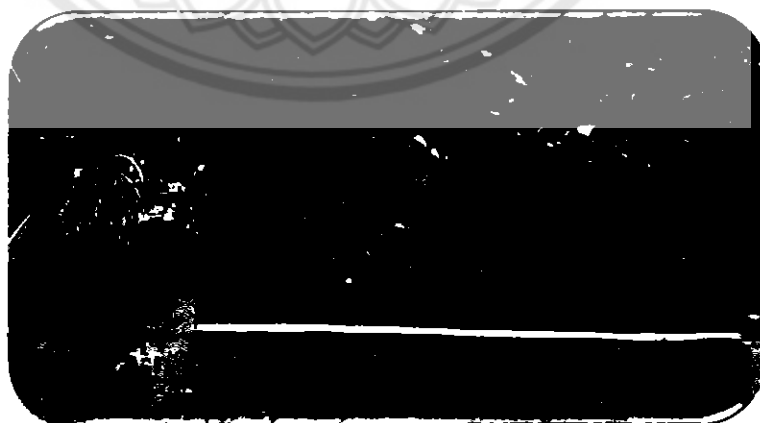


รูปที่ 4.8 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะหยุดเพื่อเตรียมเคลื่อนที่ในลำดับต่อไป



รูปที่ 4.9 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับที่สองของการเคลื่อนที่

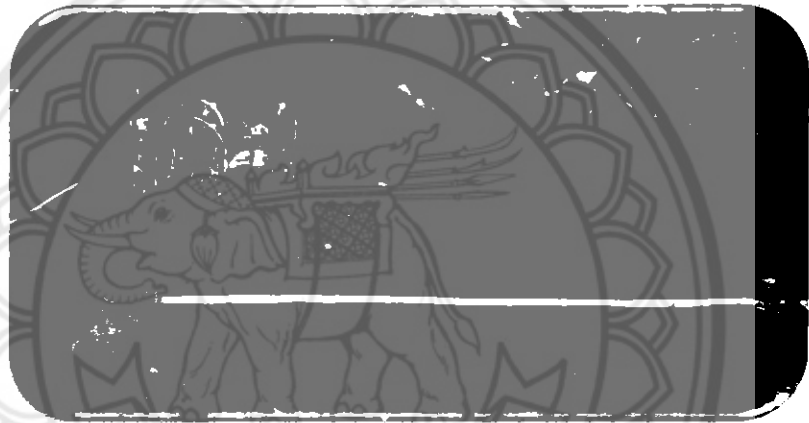
3) ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในสภาพพื้นอิฐตัวหนอน



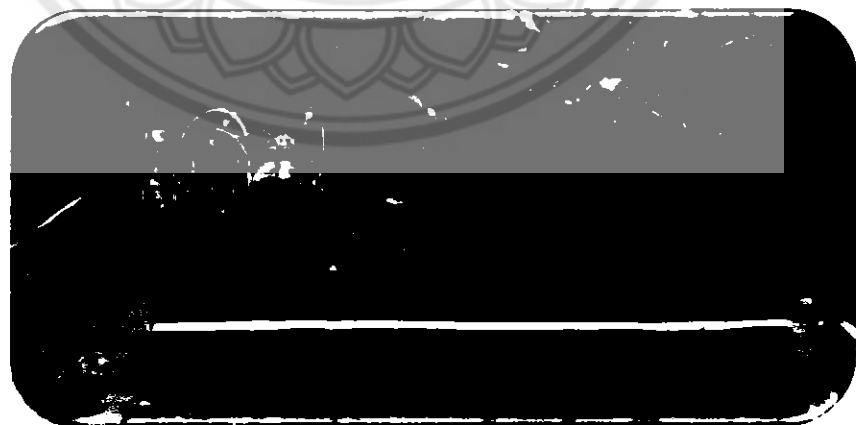
รูปที่ 4.10 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะเริ่มต้น



รูปที่ 4.11 หุ่นขี้ผึ้งอยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับแรกของการเคลื่อนที่

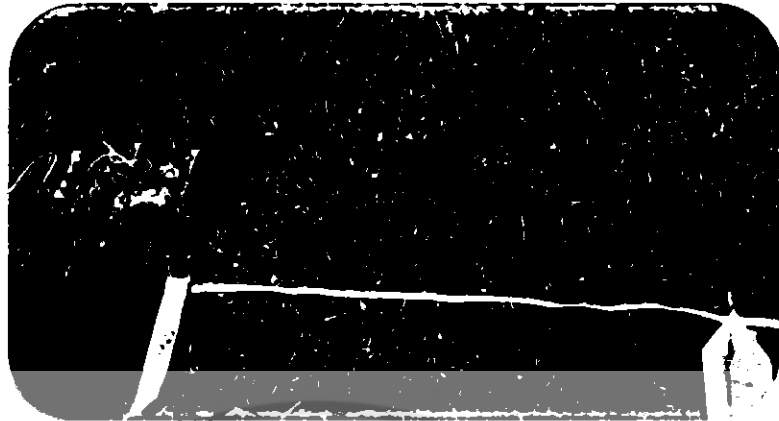


รูปที่ 4.12 หุ่นขี้ผึ้งอยู่ในสภาวะหยุดเพื่อเตรียมเคลื่อนที่ในลำดับต่อไป

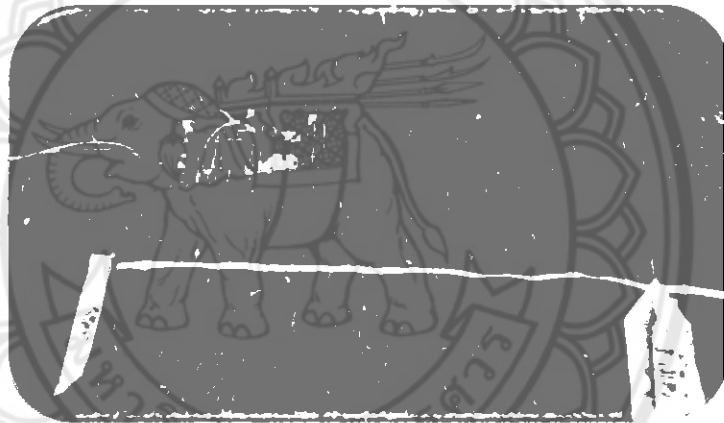


รูปที่ 4.13 หุ่นขี้ผึ้งอยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับที่สองของการเคลื่อนที่

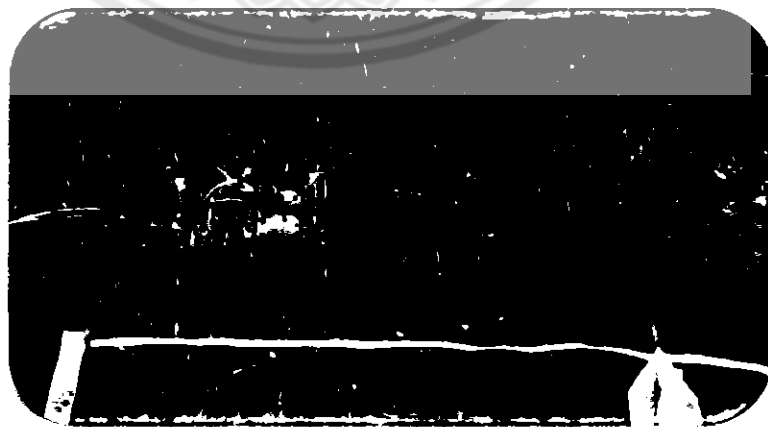
4) ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในสภาพพื้นหญ้า



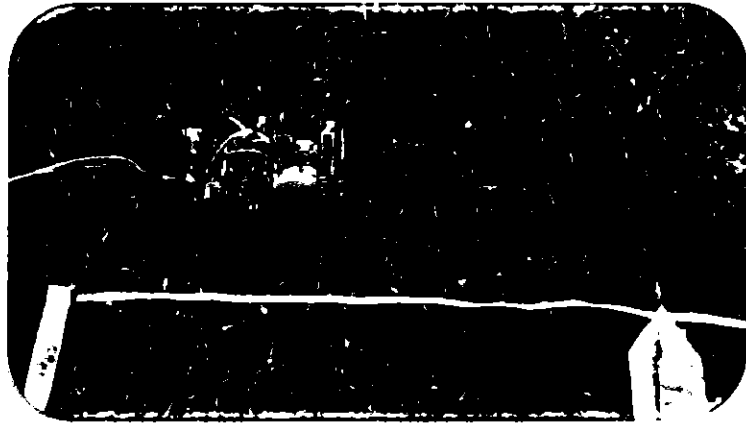
รูปที่ 4.14 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะเริ่มต้น



รูปที่ 4.15 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับแรกของการเคลื่อนที่



รูปที่ 4.16 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะหยุดเพื่อเตรียมเคลื่อนที่ในลำดับต่อไป



รูปที่ 4.17 หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะก้าวขาในลำดับที่สองของการเคลื่อนที่



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ศึกษา ออกแบบ ทดสอบ และทำการปรับปรุงชิ้นงานขึ้นเป็นหุ่นยนต์เดิน 6 ขา จากการดำเนินโครงการทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น ในบทนี้จึงเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลอง พร้อมกับเสนอแนะในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เดิน 6 ขา

จากการทดลองพบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ในทุกสภาพพื้นผิวที่ทำการทดลอง ซึ่งสามารถบรรลุเป้าหมายของขอบเขตการดำเนินโครงการที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งในการสร้างหุ่นยนต์ยังมีความผิดพลาดเกิดขึ้นหลายประการด้วยกัน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาและพัฒนาหุ่นยนต์ให้มีศักยภาพที่สามารถเป็นต้นแบบในการสร้างหุ่นยนต์เดิน 6 ขา ให้มีประโยชน์ในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปัญหาที่พบจากการดำเนินโครงการ

- 1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กมีปัญหาในเรื่องของการรับน้ำหนักไม่ไหวในจังหวะที่หุ่นยนต์ต้องทรงตัวด้วยขาเพียง 3 ขา ทำให้หุ่นยนต์ล้มลง
- 2) การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งหมด 6 ตัวนั้นควบคุมให้มีอัตราการหมุนที่เท่ากันพอดีทำได้ยากทำให้ระยะเวลาของการหมุนในแต่ละรอบของขาแต่ละขาแตกต่างกัน
- 3) การเกิดข้อผิดพลาดสะสมของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ เนื่องจากใช้วิธีการปรับค่าระยะเวลาของชุดคำสั่งให้ไม่เท่ากันเพื่อให้ขาของหุ่นยนต์เริ่มเดินที่ระยะเวลาต่างกัน แต่จะหยุดหมุนที่เวลาเดียวกัน ถ้าให้หุ่นยนต์เดินไปในระยะทางที่ไกลจะทำให้เห็นผลของการเกิดข้อผิดพลาดสะสม
- 4) น้ำหนักและความสมดุลของหุ่นยนต์ ไม่สามารถควบคุมให้ทุกตำแหน่งของขาหุ่นยนต์มีน้ำหนักเท่ากันได้ ทำให้มอเตอร์แต่ละตัวใช้แรงต่างกัน
- 5) หน้าสัมผัสของขาหุ่นยนต์มีลักษณะเป็นส่วนโค้งและเรียบ ทำให้ลื่นและดันตัวหุ่นยนต์ไปด้านหน้าได้เพียงเล็กน้อย

5.2.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพ

- 1) ในเรื่องของการรับน้ำหนักของหุ่นยนต์นั้น ควรใช้มอเตอร์ที่มีแรงบิดสูงๆ และน้ำหนักของมอเตอร์ที่มีขนาดเบา ซึ่งมีราคาที่สูงขึ้นและอาจจะมีความเร็วรอบที่ต่ำมาก
- 2) การลดการเกิดข้อผิดพลาดสะสมของโปรแกรมนั้น ควรใช้การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยนำเอาตัวเข้ารหัสแบบหมุนเข้ามาใช้แทน ซึ่งจะได้ค่าสัญญาณพัลส์ออกมาจะเป็นตัวบ่งบอกว่ามอเตอร์หมุนออกไปกี่องศา
- 3) น้ำหนักและความสมดุลของหุ่นยนต์นั้น ต้องออกแบบการวางอุปกรณ์และวงจรต่างๆ ให้ให้อยู่ในตำแหน่งที่กระจายน้ำหนักได้พอดีกันมากที่สุด
- 4) หน้าสัมผัสของขาหุ่นยนต์นั้น ควรหายาง หรือกาวแท่งมาติดที่หน้าสัมผัสของขาหุ่นยนต์เพื่อให้เกิดความเหนียวหรือแรงเสียดทานระหว่างหน้าสัมผัสของขาหุ่นยนต์กับพื้นผิวที่ทำการเดิน ซึ่งจะทำให้หุ่นยนต์นั้นเคลื่อนตัวเองไปด้านหน้าได้ดียิ่งขึ้น



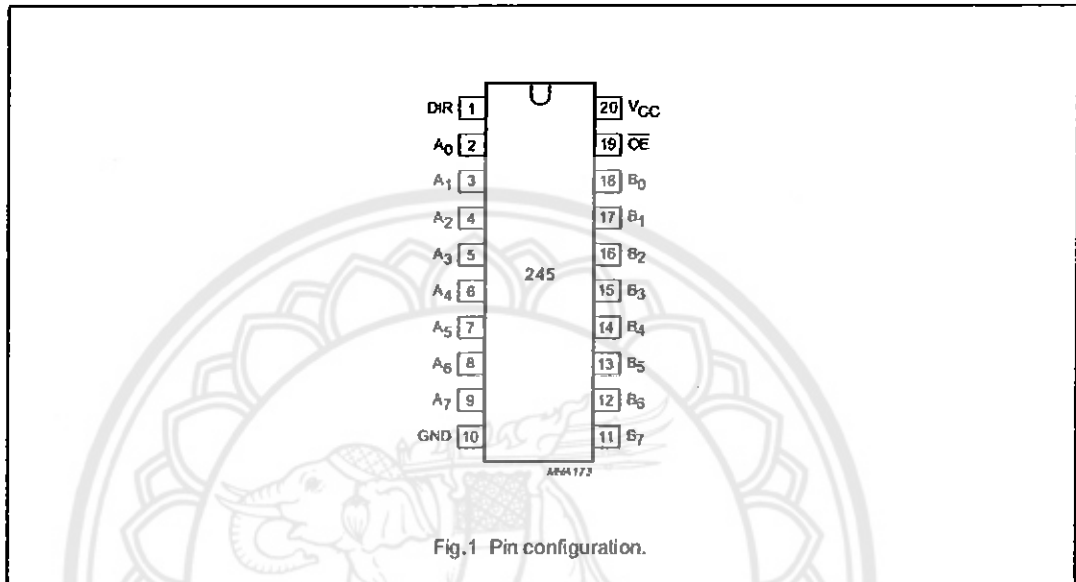
เอกสารอ้างอิง

- [1] Kazuo Hirai , Massato Hirose Yuji Haikawa and Toru Takenaka. (1998). The Development of Honda Humanoid Robot. IEEE, Leuven. Belgium.
- [2] กฤษณะ สีนพนมวัน เบญจพร ลิ้มธรร มาภรณ์ และ สถาพร ลักษณะเจริญ. (2549). การควบคุมแบบจำลองหุ่นยนต์สี่ขาโดยใช้ข่ายงานระบบประสาทแบบป้อนกลับ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [3] ไกรมน มณีศิลป์. (2547). การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เดิน 6 ขาคู่ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเซลล์ูลาร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] <http://pirun.ku.ac.th/~b5013409/page2.html>, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2553
- [5] <http://learners.in.th/blog/1122-2/296390>, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2553
- [6] http://www.sec.psu.ac.th/download/mculab/mcu_html/DC_motor.htm, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2553
- [7] <http://www.thaimicrotron.com/CCS-628/Reference/RS232.htm>, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2553
- [8] <http://www.212cafe.com/freewebboard/view.php?user=eespu&id=58>, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2553
- [9] <http://www.eleccircuit.com/12v-to-5v-3a-dc-converter-step-down-regulator>, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2553



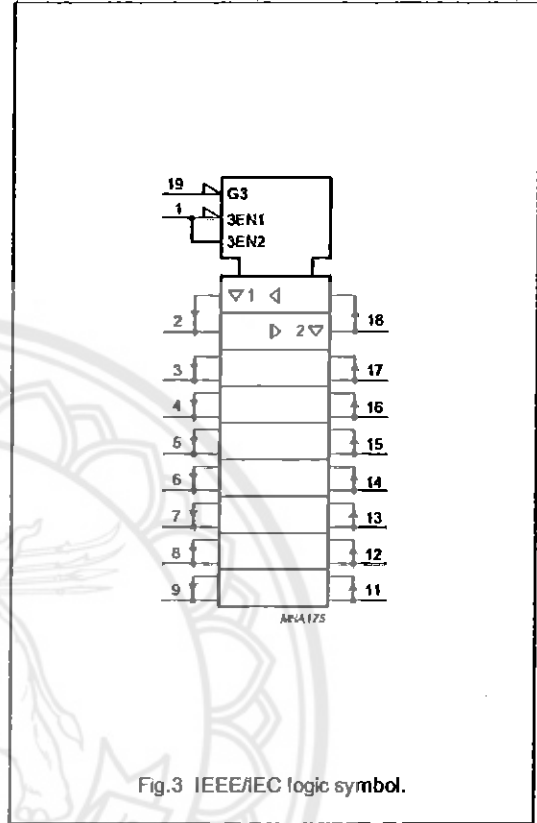
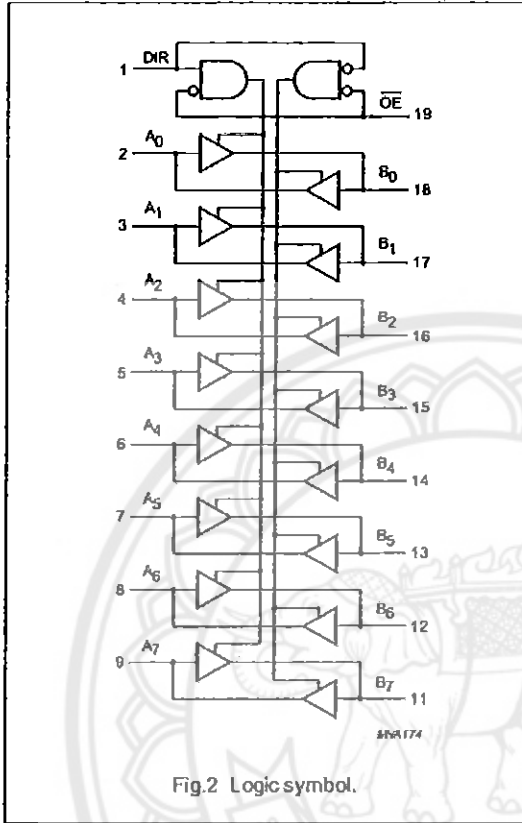
PINNING

PIN	SYMBOL	DESCRIPTION
1	DIR	direction control
2 to 9	A ₀ to A ₇	data inputs/outputs
10	GND	ground (0 V)
11 to 18	B ₇ to B ₀	data inputs/outputs
19	OE	output enable input (active LOW)
20	V _{CC}	DC supply voltage



Octal bus transceiver; 3-state

74AHC245; 74AHCT245



Octal bus transceiver; 3-state

74AHC245; 74AHCT245

DC CHARACTERISTICS

74AHC family

Over recommended operating conditions; voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		T_{amb} (°C)						UNIT	
		OTHER	V_{CC} (V)	25			-40 to +85		-40 to +125		
				MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.		MAX.
V_{IH}	HIGH-level input voltage		2.0	1.5	-	-	1.5	-	1.5	-	V
			3.0	2.1	-	-	2.1	-	2.1	-	
			5.5	3.85	-	-	3.85	-	3.85	-	
V_{IL}	LOW-level input voltage		2.0	-	-	0.5	-	0.5	-	0.5	V
			3.0	-	-	0.9	-	0.9	-	0.9	
			5.5	-	-	1.65	-	1.65	-	1.65	
V_{OH}	HIGH-level output voltage; all outputs	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL} ; $I_O = -50 \mu A$	2.0	1.9	2.0	-	1.9	-	1.9	-	V
			3.0	2.9	3.0	-	2.9	-	2.9	-	
			4.5	4.4	4.5	-	4.4	-	4.4	-	
	HIGH-level output voltage	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL} ; $I_O = -4.0$ mA	3.0	2.58	-	-	2.48	-	2.40	-	V
		$V_I = V_{IH}$ or V_{IL} ; $I_O = -8.0$ mA	4.5	3.94	-	-	3.8	-	3.70	-	
V_{OL}	LOW-level output voltage; all outputs	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL} ; $I_O = 50 \mu A$	2.0	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			3.0	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	
			4.5	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	
	LOW-level output voltage	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL} ; $I_O = 4$ mA	3.0	-	-	0.36	-	0.44	-	0.55	V
		$V_I = V_{IH}$ or V_{IL} ; $I_O = 8$ mA	4.5	-	-	0.36	-	0.44	-	0.55	
I_I	input leakage current	$V_I = V_{CC}$ or GND	5.5	-	-	0.1	-	1.0	-	2.0	μA
I_{OZ}	3-state output OFF current	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL} ; $V_O = V_{CC}$ or GND	5.5	-	-	± 0.25	-	± 2.5	-	± 10.0	μA
I_{CC}	quiescent supply current	$V_I = V_{CC}$ or GND; $I_O = 0$	5.5	-	-	4.0	-	40	-	80	μA
C_I	input capacitance		-	-	3	10	-	10	-	10	μF

Octal bus transceiver; 3-state

74AHC245; 74AHCT245

74AHCT family

Over recommended operating conditions; voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_{amb} (°C)								UNIT	
			OTHER	V_{CC} (V)	25			-40 to +85		-40 to +125		
					MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.		MAX.
V_{IH}	HIGH-level input voltage		4.5 to 5.5	2.0	-	-	2.0	-	2.0	-	V	
V_{IL}	LOW-level input voltage		4.5 to 5.5	-	-	0.8	-	0.8	-	0.8	V	
V_{OH}	HIGH-level output voltage; all outputs	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL} ; $I_O = -50 \mu A$	4.5	4.4	4.5	-	4.4	-	4.4	-	V	
	HIGH-level output voltage	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL} ; $I_O = -8.0 mA$	4.5	3.94	-	-	3.8	-	3.70	-	V	
V_{OL}	LOW-level output voltage; all outputs	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL} ; $I_O = 50 \mu A$	4.5	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	V	
	LOW-level output voltage	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL} ; $I_O = 8 mA$	4.5	-	-	0.36	-	0.44	-	0.55	V	
I_I	input leakage current	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL}	5.5	-	-	0.1	-	1.0	-	2.0	μA	
I_{OZ}	3-state output OFF current	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL} ; $V_O = V_{CC}$ or GND per input pin; other inputs at V_{CC} or GND; $I_O = 0$	5.5	-	-	± 0.25	-	± 2.5	-	± 10.0	μA	
I_{CC}	quiescent supply current	$V_I = V_{CC}$ or GND; $I_O = 0$	5.5	-	-	4.0	-	40	-	80	μA	
ΔI_{CC}	additional quiescent supply current per input pin	$V_I = V_{CC} - 2.1 V$ other inputs at V_{CC} or GND; $I_O = 0$	4.5 to 5.5	-	-	1.35	-	1.5	-	1.5	mA	
C_i	input capacitance		-	-	3	10	-	10	-	10	pF	





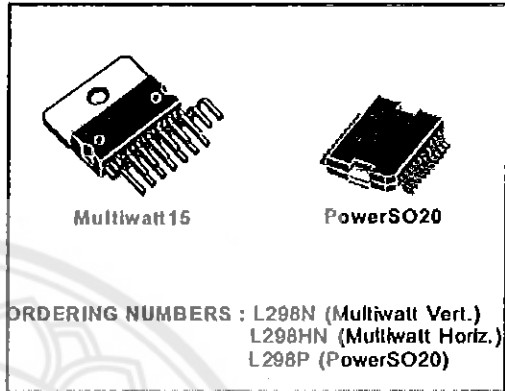
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

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

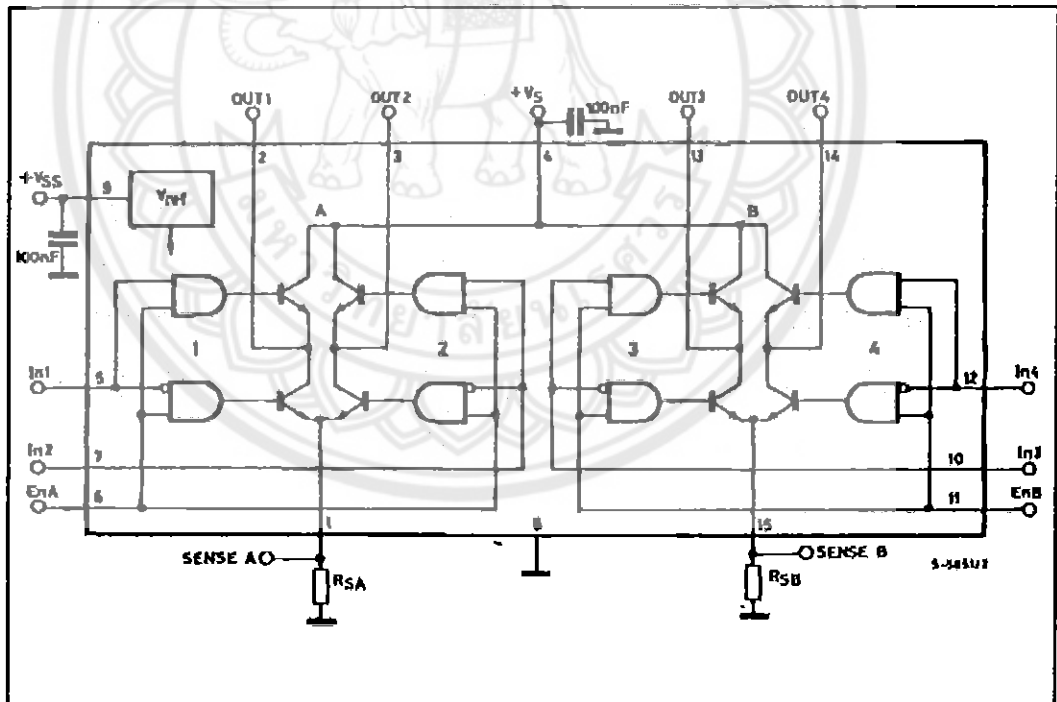
DESCRIPTION

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



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

BLOCK DIAGRAM

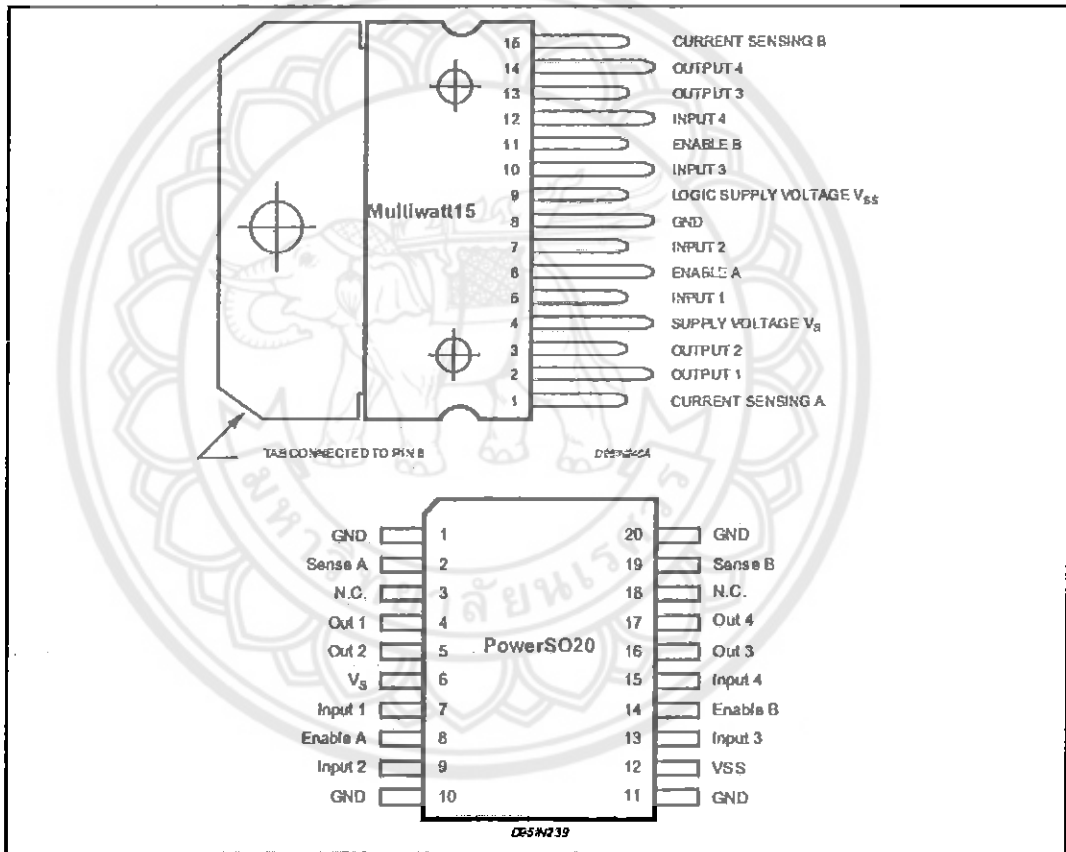


L298

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

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

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

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

(*) Mounted on aluminum substrate



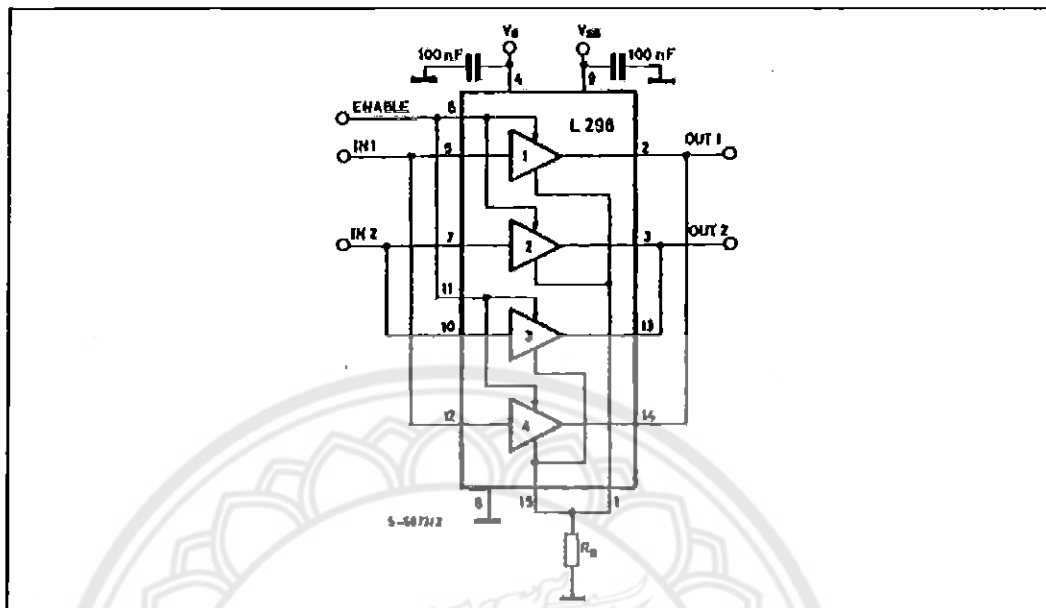
PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

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	V _{SS}	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		13	22	mA
		V _I = L		50	70	mA
		V _{en} = L			4	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0		24	36	mA
		V _I = L		7	12	mA
		V _{en} = L			6	mA
V _L	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V _{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _L	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = L			-10	μA
I _{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 _{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 _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.60		3.2 4.9	V
V _{Sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V

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 differential 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 V_s and V_{ss} , 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 V_s 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 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; Schottky diodes would be preferred.

L298

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.

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.

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

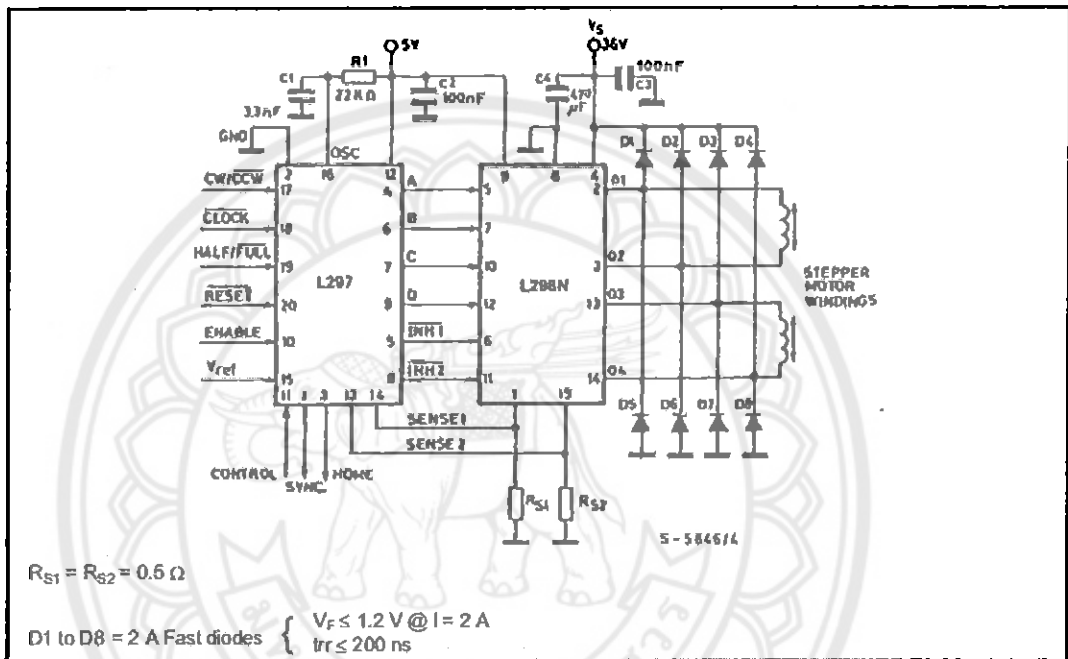


Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

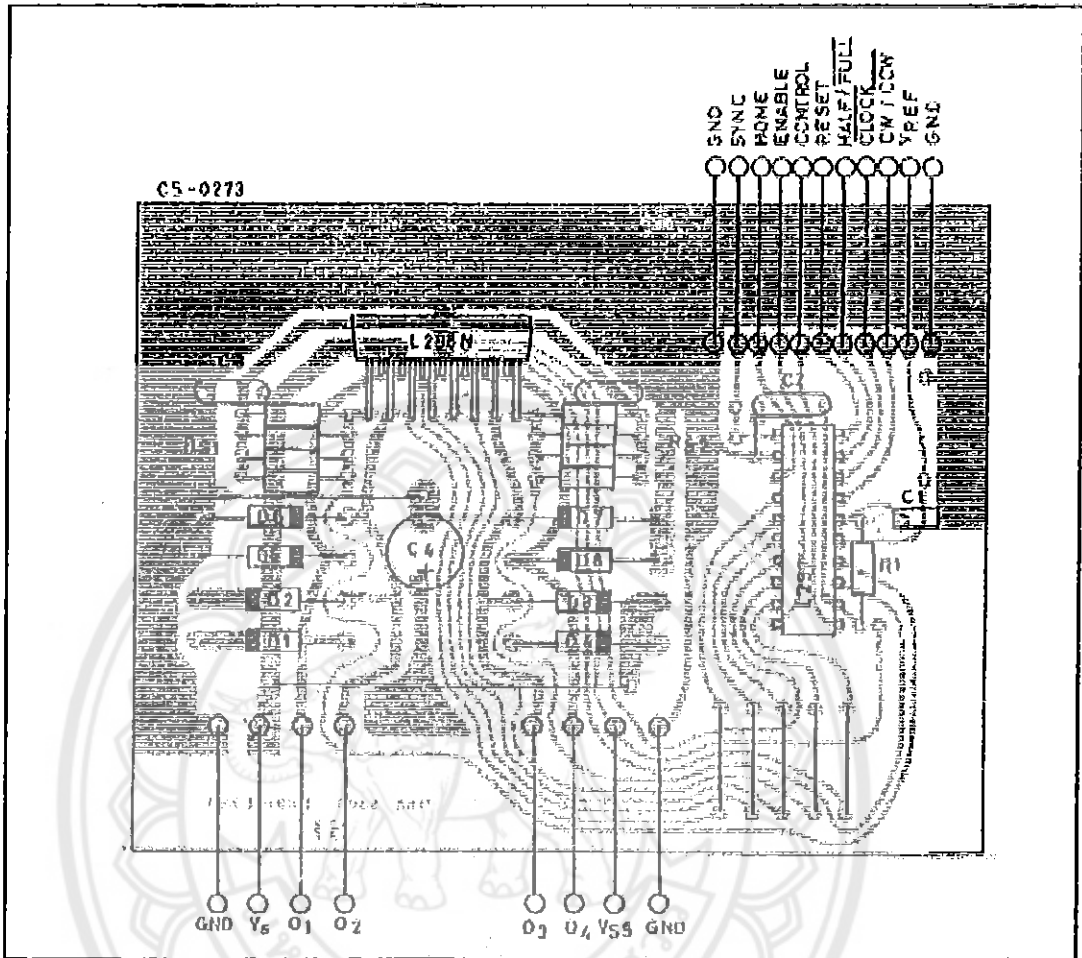
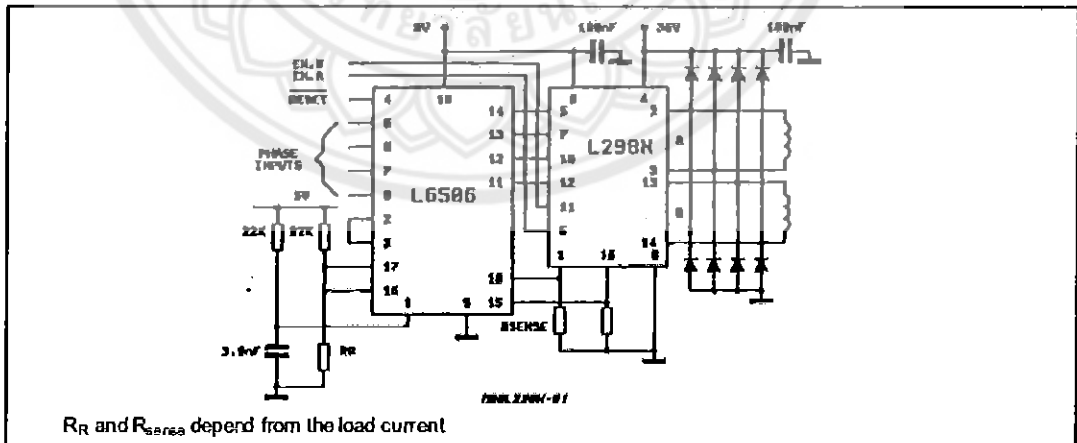


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.



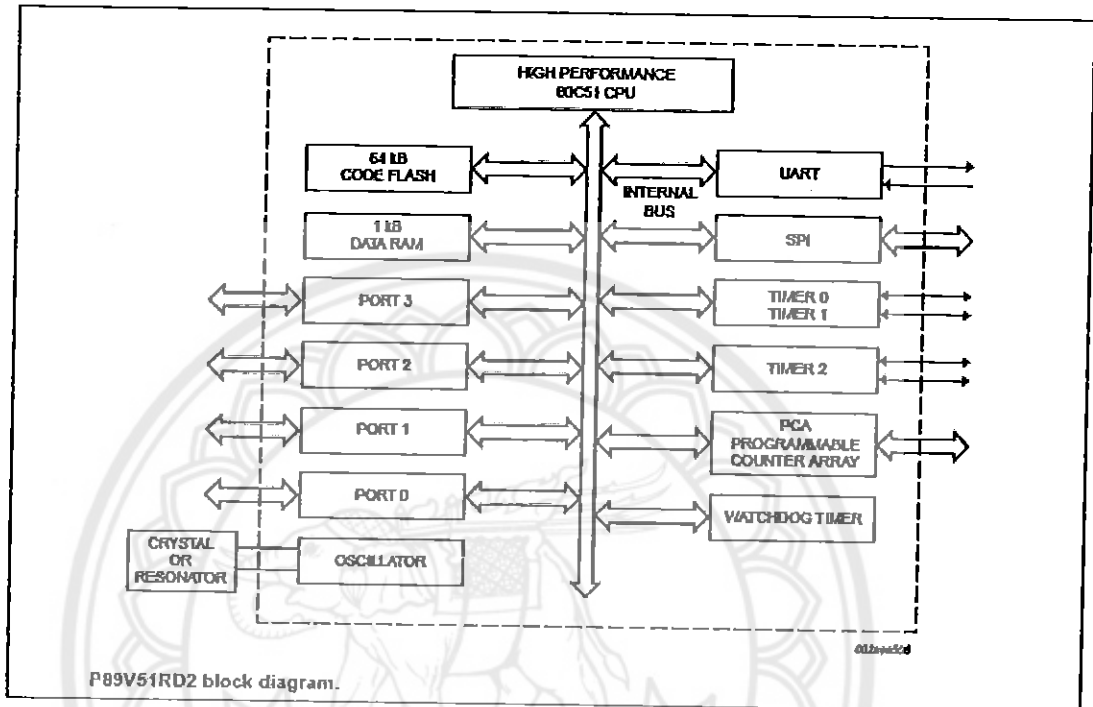


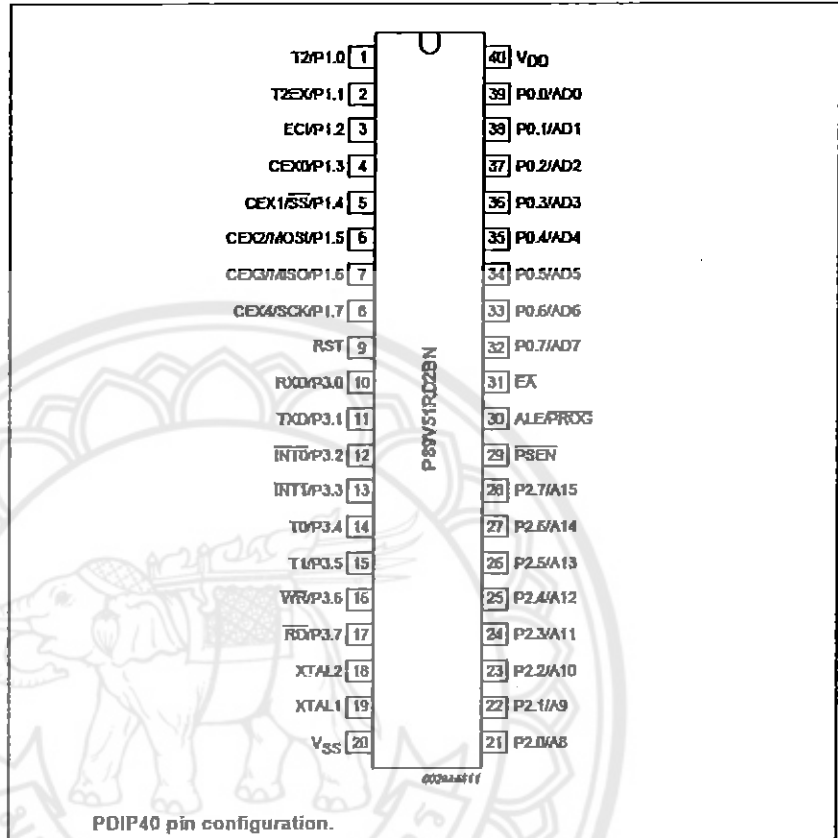
ภาคผนวก ค

รายละเอียดของไมโครโปรเซสเซอร์ รุ่น P89V51RD2

มหาวิทยาลัยนเรศวร

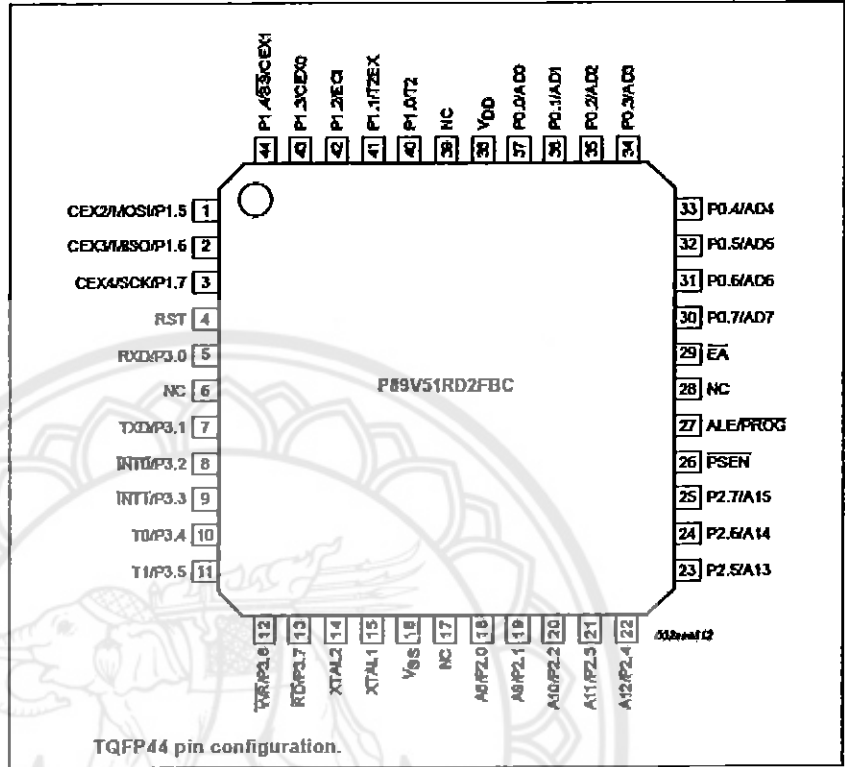
4. Block diagram





P89V51RD2

8-bit microcontrollers with 80C51 core



P89V51RD2

8-bit microcontrollers with 80C51 core

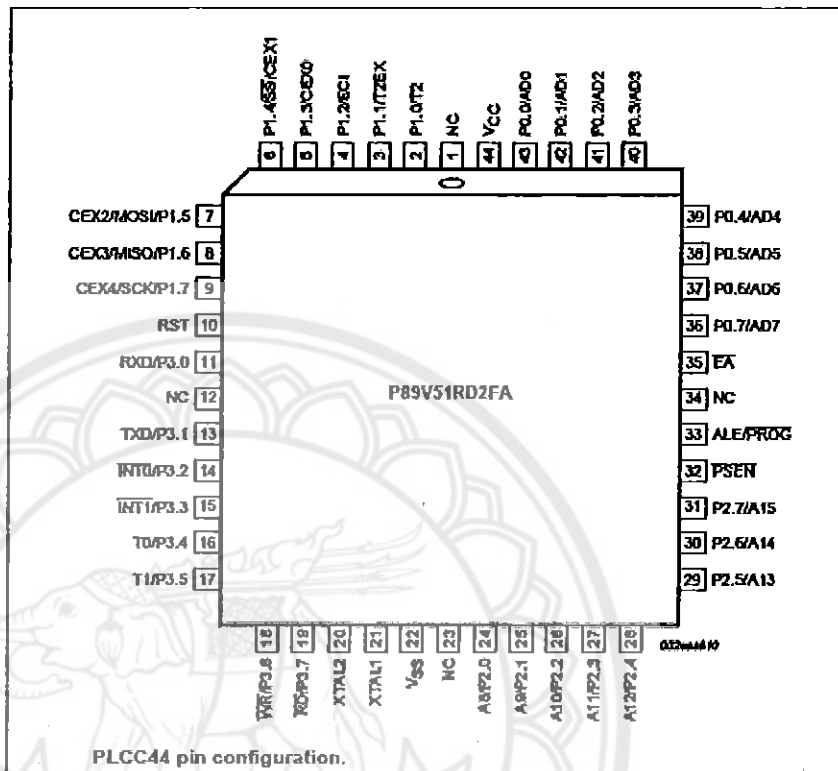


Table : P89V51RD2 pin description

Symbol	Pin			Type	Description
	DIP40	TQFP44	PLCC44		
P0.0 to P0.7	39-32	37-30	43-36	I/O	Port 0: Port 0 is an 8-bit open drain bi-directional I/O port. Port 0 pins that have '1's written to them float, and in this state can be used as high-impedance inputs. Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external code and data memory. In this application, it uses strong internal pull-ups when transitioning to '1's. Port 0 also receives the code bytes during the external host mode programming, and outputs the code bytes during the external host mode verification. External pull-ups are required during program verification or as a general purpose I/O port.
P1.0 to P1.7	1-8	40-44, 1-3	2-9	I/O with internal pull-up	Port 1: Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. The Port 1 pins are pulled high by the internal pull-ups when '1's are written to them and can be used as inputs in this state. As inputs, Port 1 pins that are externally pulled LOW will source current (I _L) because of the internal pull-ups. P1.5, P1.6, P1.7 have high current drive of 16 mA. Port 1 also receives the low-order address bytes during the external host mode programming and verification.
P1.0	1	40	2	I/O	T2: External count input to Timer/Counter 2 or Clock-out from Timer/Counter 2
P1.1	2	41	3	I	T2EX: Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control
P1.2	3	42	4	I	ECL: External clock input. This signal is the external clock input for the PCA.
P1.3	4	43	5	I/O	CEX0: Capture/compare external I/O for PCA Module 0. Each capture/compare module connects to a Port 1 pin for external I/O. When not used by the PCA, this pin can handle standard I/O.
P1.4	5	44	6	I/O	SS: Slave port select input for SPI CEX1: Capture/compare external I/O for PCA Module 1
P1.5	6	1	7	I/O	MOSI: Master Output Slave Input for SPI CEX2: Capture/compare external I/O for PCA Module 2
P1.6	7	2	8	I/O	MISO: Master Input Slave Output for SPI CEX3: Capture/compare external I/O for PCA Module 3
P1.7	8	3	9	I/O	SCK: Master Output Slave Input for SPI CEX4: Capture/compare external I/O for PCA Module 4

Table : P89V51RD2 pin description...continued

Symbol	Pin			Type	Description
	DIP40	TQFP44	PLCC44		
P2.0 to P2.7	21-28	18-25	24-31	I/O with internal pull-up	Port 2: Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. Port 2 pins are pulled HIGH by the internal pull-ups when '1's are written to them and can be used as inputs in this state. As inputs, Port 2 pins that are externally pulled LOW will source current (I_{OL}) because of the internal pull-ups. Port 2 sends the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external Data Memory that use 16-bit address (MOVX@DPTR). In this application, it uses strong internal pull-ups when transitioning to '1's. Port 2 also receives some control signals and a partial of high-order address bits during the external host mode programming and verification.
P3.0 to P3.7	10-17	5, 7-13	11, 13-10	I/O with internal pull-up	Port 3: Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. Port 3 pins are pulled HIGH by the internal pull-ups when '1's are written to them and can be used as inputs in this state. As inputs, Port 3 pins that are externally pulled LOW will source current (I_{OL}) because of the internal pull-ups. Port 3 also receives some control signals and a partial of high-order address bits during the external host mode programming and verification.
P3.0	10	5	11	I	RXD: serial input port
P3.1	11	7	13	O	TXD: serial output port
P3.2	12	8	14	I	INT0: external interrupt 0 input
P3.3	13	9	15	I	INT1: external interrupt 1 input
P3.4	14	10	16	I	T0: external count input to Timer/Counter 0
P3.5	15	11	17	I	T1: external count input to Timer/Counter 1
P3.6	16	12	18	O	WR: external data memory write strobe
P3.7	17	13	19	O	RD: external data memory read strobe
PSEN	29	26	32	I/O	Program Store Enable: PSEN is the read strobe for external program memory. When the device is executing from internal program memory, PSEN is inactive (HIGH). When the device is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory. A forced HIGH-to-LOW input transition on the PSEN pin while the RST input is continually held HIGH for more than 10 machine cycles will cause the device to enter external host mode programming.
RST	9	4	10	I	Reset: While the oscillator is running, a HIGH logic state on this pin for two machine cycles will reset the device. If the PSEN pin is driven by a HIGH-to-LOW input transition while the RST input pin is held HIGH, the device will enter the external host mode, otherwise the device will enter the normal operation mode.

Table : P89V51RD2 pin description...continued

Symbol	Pin			Type	Description
	DIP40	TQFP44	PLCC44		
EA	31	29	35	I	External Access Enable: EA must be connected to V _{SS} in order to enable the device to fetch code from the external program memory. EA must be strapped to V _{DD} for internal program execution. However, Security lock level 4 will disable EA, and program execution is only possible from internal program memory. The EA pin can tolerate a high voltage of 12 V.
ALE/ PROG	30	27	33	I/O	Address Latch Enable: ALE is the output signal for latching the low byte of the address during an access to external memory. This pin is also the programming pulse input (PROG) for flash programming. Normally the ALE ^[1] is emitted at a constant rate of 1/6 the crystal frequency ^[2] and can be used for external timing and clocking. One ALE pulse is skipped during each access to external data memory. However, if AO is set to '1', ALE is disabled.
NC	-	6, 17, 28, 30	1, 12, 23, 34	I/O	No Connect
XTAL1	10	15	21	I	Crystal 1: Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock generator circuits.
XTAL2	18	14	20	O	Crystal 2: Output from the inverting oscillator amplifier.
V _{DD}	40	38	44	I	Power supply
V _{SS}	20	16	22	I	Ground

[1] ALE loading issue: When ALE pin experiences higher loading (>30 pF) during the reset, the microcontroller may accidentally enter into modes other than normal working mode. The solution is to add a pull-up resistor of 3 kΩ to 50 kΩ to V_{DD}, e.g., for ALE pin.

[2] For 6-clock mode, ALE is emitted at 1/3 of crystal frequency.



ภาคผนวก ง

รายละเอียดของเซ็นเซอร์กำเนิดแสง (Photomicrosensor) EE-SX67/47

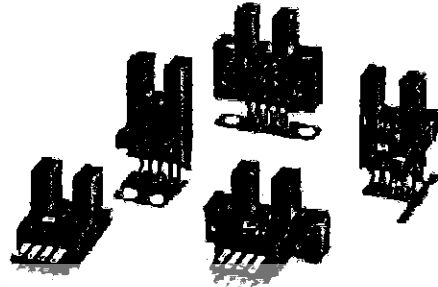
OMRON

Photomicrosensor






EE-SX67/47

Photomicrosensor with 50- to 100-mA
Switching Capacity that can be Built
into Equipment

- PNP output models newly added.
- Standard, L-shaped, T-shaped, and Close-mounting: Five series of models available.
- Select from thirty output variations, including Light-ON or Dark-ON/Light-ON (selectable) models.
- Response frequency as high as 1 kHz.
- Easy operation monitoring with bright light indicator.
- Wide operating voltage range from 5 to 24 VDC.
- Models (EE-SX□□□A and EE-SX□□□R) with operation indicators that are lit when sensing objects are detected (when light is interrupted) are available.



Ordering Information

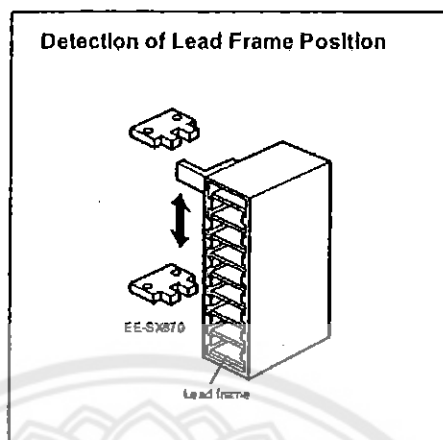
Appearance	Sensing method	Sensing distance	Output configuration	Model		Weight
				NPN	PNP	
Standard 	Through-beam type (slot type)	6 mm (slot width)	Dark-ON/Light-ON (selectable) ^{*1}	EE-SX670 EE-SX670A ^{*2}	EE-SX670P EE-SX670R ^{*3}	Approx. 3.1 g
			Light-ON	EE-SX470	EE-SX470P	
L-shaped 			Dark-ON/Light-ON (selectable) ^{*1}	EE-SX671 EE-SX671A ^{*2}	EE-SX671P EE-SX671R ^{*3}	Approx. 3.0 g
			Light-ON	EE-SX471	EE-SX471P	
T-shaped 			Dark-ON/Light-ON (selectable) ^{*1}	EE-SX672 EE-SX672A ^{*2}	EE-SX672P EE-SX672R ^{*3}	Approx. 2.4 g
			Light-ON	EE-SX472	EE-SX472P	
Close-mounting 			Dark-ON/Light-ON (selectable) ^{*1}	EE-SX673 EE-SX673A ^{*2}	EE-SX673P EE-SX673R ^{*3}	Approx. 2.3 g
			Light-ON	EE-SX473	EE-SX473P	
Close-mounting 			Dark-ON/Light-ON (selectable) ^{*1}	EE-SX674 EE-SX674A ^{*2}	EE-SX674P EE-SX674R ^{*3}	Approx. 3.0 g
			Light-ON	EE-SX474	EE-SX474P	

Note: ^{*1}The Dark-ON/Light-ON (selectable) models can be used as Light-ON models when the L terminal and positive (+) terminal are short-circuited. An L terminal and positive (+) terminal short-circuit connector (EE-1001-1) is available.

^{*2}Models with a suffix "A," such as EE-SX670A, have a Dark-ON indicator that is lit when light is interrupted.

^{*3}Models with a suffix "R," such as EE-SX670R, have a Dark-ON indicator that is lit when light is interrupted.

Application Example

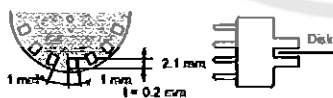


Specifications

■ Ratings

Item	Output	Standard	L-shaped	T-shaped	Close-mounting	
	NPN	EE-SX670 EE-SX670A EE-SX470	EE-SX671 EE-SX671A EE-SX471	EE-SX672 EE-SX672A EE-SX472	EE-SX673 EE-SX673A EE-SX473	EE-SX674 EE-SX674A EE-SX474
	PNP	EE-SX670P EE-SX670R EE-SX470P	EE-SX671P EE-SX671R EE-SX471P	EE-SX672P EE-SX672R EE-SX472P	EE-SX673P EE-SX673R EE-SX473P	EE-SX674P EE-SX674R EE-SX474P
Sensing distance	5 mm (slot width)					
Standard sensing object	Opaque: 2 × 0.8 mm min.					
Differential travel	0.025 mm					
Light source (peak wave length)	GaAs infrared LED (940 nm)					
Receiver	Si phototransistor with a sensing wavelength of 850 nm max.					
Operation indicator (see note 1)	Operation indicator (red) lit with incident (Models with a suffix of 'A' or 'R' have Dark-ON Indicators.)					
Power supply voltage	5 to 24 VDC ± 10%, ripple (p-p): 10% max.					
Current consumption	35 mA max. (NPN), 30 mA max. (PNP)					
Control output	NPN open collector output models: At 5 to 24 VDC: 100-mA load current (I_C) with a residual voltage of 0.8 V max. 40-mA load current (I_C) with a residual voltage of 0.4 V max. PNP open collector output models: At 5 to 24 VDC: 50-mA load current (I_C) with a residual voltage of 1.3 V max.					
Response frequency (see note 2)	1 kHz max. (3 kHz average)					

- Note: 1. The indicator is GaP red LED (peak emission wavelength: 690 nm).
 2. The response frequency was measured by detecting the following rotating disks.

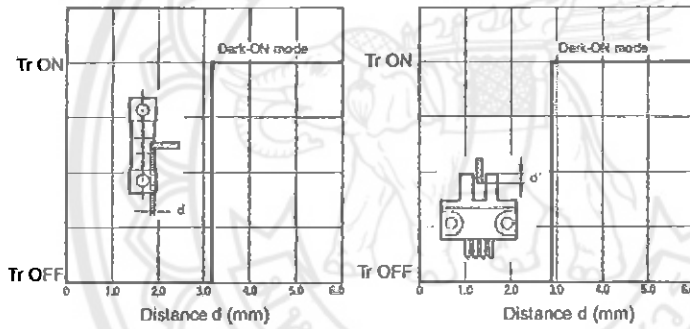


■ Characteristics

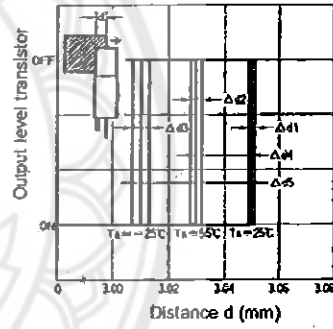
Item	Output	Standard	L-shaped	T-shaped	Close-mounting	
		EE-SX670 EE-SX670A EE-SX470	EE-SX671 EE-SX671A EE-SX471	EE-SX672 EE-SX672A EE-SX472	EE-SX673 EE-SX673A EE-SX473	EE-SX674 EE-SX674A EE-SX474
	PNP	EE-SX670P EE-SX670R EE-SX470P	EE-SX671P EE-SX671R EE-SX471P	EE-SX672P EE-SX672R EE-SX472P	EE-SX673P EE-SX673R EE-SX473P	EE-SX674P EE-SX674R EE-SX474P
Ambient illumination (on Receiver lens)	Fluorescent light: 1,000 lx max.					
Ambient temperature	Operating: -25° to 55°C Storage: -30° to 80°C					
Ambient humidity	Operating: 5% to 85% Storage: 5% to 95%					
Vibration resistance	Destruction: 20 to 2,000 Hz, (with a peak acceleration of 10G), 1.5-mm double amplitude for 2 hrs (with 4-minute cycles) each in X, Y, and Z directions					
Shock resistance	Destruction: 500 m/s ² (approx. 50G) for 3 times each in X, Y, and Z directions					
Degree of protection	IEC60529 IP50					
Connection method	Connector type (direct soldering possible)					
Weight	Approx. 3.1 g	Approx. 3.0 g	Approx. 2.4 g	Approx. 2.3 g	Approx. 3.0 g	
Material	Case: Polybutylene phthalate (PBT), Cover: Polycarbonate (PC), Emitter/receiver: Polycarbonate (PC)					

Engineering Data

Sensing Position Characteristics (Typical)



Repeated Sensing Position Characteristics (Typical)



V_{cc} = 12 V
 No. of repetitions: 20
 Δd1 = 0.002 mm
 Δd2 = 0.004 mm
 Δd3 = 0.005 mm
 Δd4 = 0.02 mm
 Δd5 = 0.04 mm

Operation

■ Output Circuit Diagrams

Output configuration	Model	Output transistor operation	Timing Charts	Output Circuit
NPN Output	EE-SX670 EE-SX671 EE-SX672 EE-SX673 EE-SX674	Light-ON (When terminals L and \oplus are short-circuited)	<p>Incident Interrupted</p>	<p>Note: When using on voltage output, always insert a resistor in RL.</p>
		Dark-ON (When terminals L and \oplus are open)	<p>Incident Interrupted</p>	
EE-SX470 EE-SX471 EE-SX472 EE-SX473 EE-SX474		Light-ON	<p>Incident Interrupted</p>	<p>Note: When using on voltage output, always insert a resistor in RL.</p>
		Dark-ON	<p>Incident Interrupted</p>	
EE-SX670A EE-SX671A EE-SX672A EE-SX673A EE-SX674A		Light-ON (When terminals L and \oplus are short-circuited)	<p>Incident Interrupted</p>	<p>Note: When using on voltage output, always insert a resistor in RL.</p>
		Dark-ON (When terminals L and \oplus are open)	<p>Incident Interrupted</p>	

Output configuration	Model	Output transistor operation	Timing Charts	Output Circuit
PNP Output	EE-SX670P EE-SX671P EE-SX672P EE-SX673P EE-SX674P	Light-ON (When terminals L and ⊕ are short-circuited)	Incident Interrupted Operation indicator (red) ON OFF Output transistor ON OFF Load (relay) Operates Releases Voltage output H L	<p>Note: When using on voltage output, always insert a resistor in RL.</p>
		Dark-ON (When terminals L and ⊕ are open)	Incident Interrupted Operation indicator (red) ON OFF Output transistor ON OFF Load 1 (relay) Operates Releases Load 2 H L	
PNP Output	EE-SX470P EE-SX471P EE-SX472P EE-SX473P EE-SX474P	Light-ON (When terminals L and ⊕ are short-circuited)	Incident Interrupted Operation indicator (red) ON OFF Output transistor ON OFF Load (relay) Operates Releases Voltage output H L	<p>Note: When using on voltage output, always insert a resistor in RL.</p>
		Dark-ON (When terminals L and ⊕ are open)	Incident Interrupted Operation indicator (red) ON OFF Output transistor ON OFF Load (relay) Operates Releases Voltage output H L	
PNP Output	EE-SX670R EE-SX671R EE-SX672R EE-SX673R EE-SX674R	Light-ON (When terminals L and ⊕ are short-circuited)	Incident Interrupted Operation indicator (red) ON OFF Output transistor ON OFF Load (relay) Operates Releases Voltage output H L	<p>Note: When using on voltage output, always insert a resistor in RL.</p>
		Dark-ON (When terminals L and ⊕ are open)	Incident Interrupted Operation indicator (red) ON OFF Output transistor ON OFF Load (relay) Operates Releases Voltage output H L	

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายวศิน เพ็ญสุภา
ภูมิลำเนา 64/14 ต. ในเมือง อ. เมือง จ. พิษณุโลก 65000
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: samadasixsende@hotmail.com



ชื่อ นายโชติวิทย์ กงสมบุญ
ภูมิลำเนา 239 หมู่ 1 ต. หัวหวาย อ. ตากถ้ำ จ. นครสวรรค์ 60140
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนตากถ้ำประชาสรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: nc_nlockel@hotmail.com