

หุ่นยนต์กวาดพื้นแบบใช้ร่วมกับตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง  
 A FLOOR-SWEEPING ROBOT WITH ULTRASONIC SENSOR



นายพงศ์ศิริ จิตรพินิจ รหัส 54361091  
 นายวิศิษฐ์ พุกประเสริฐ รหัส 54364153  
 นายวุฒิมา คุณเคย รหัส 54364191

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์  
 วันที่รับ 20 ก.ค. 2558  
 เลขทะเบียน 16903125  
 เลขเรียกหนังสือ 26.  
 มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ พ 137 น 2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์


ปีการศึกษา 2557




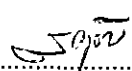
## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ      หุ่นยนต์กวาดพื้นแบบใช้ร่วมกับตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง  
ผู้ดำเนินโครงการ      นายพงศ์ศิริ จิตรพินิจ      รหัส 54361091  
   นายวิศิษฐ์ หุกประเสริฐ      รหัส 54364153  
   นายวุฒิมา คุณเฉย      รหัส 54364191  
ที่ปรึกษาโครงการ      ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์  
สาขาวิชา      วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา      วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา      2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

 ที่ปรึกษาโครงการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

 กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

 กรรมการ  
(ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ      หุ่นยนต์กวาดพื้นแบบใช้ร่วมกับตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง  
ผู้ดำเนินโครงการ      นายพงศ์ศิริ จิตรพินิจ      รหัส 54361091  
   นายวิศิษฐ์ พุกประเสริฐ      รหัส 54364153  
   นายวุฒิมา คุณเฉย      รหัส 54364191  
ที่ปรึกษาโครงการ      ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์  
สาขาวิชา      วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา      วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา      2557

---

### บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงการเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์กวาดพื้นแบบใช้ร่วมกับตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงเพื่อลดภาระการทำความสะอาดพื้นแห้งในอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัย หุ่นยนต์ถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง โดยรับไฟจากแบตเตอรี่แบบตะกั่วขนาด 12 V และควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ หุ่นยนต์ดังกล่าวถูกออกแบบให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็วประมาณ 20 cm/s พร้อมกับหมุนแปรงกวาดและใช้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตรวจวัดระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางและกับพื้นตลอดเวลา เมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวางหรือพื้นต่างระดับ ในระยะที่กำหนด หุ่นยนต์สามารถเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่เพื่อหลีกเลี่ยงการชนสิ่งกีดขวางและการตกสู่พื้นต่างระดับ ได้โดยอัตโนมัติ จึงสามารถนำไปใช้กับอาคารที่มีหลายชั้นได้ นอกจากนี้ยังออกแบบให้การเริ่มและหยุดทำงานของหุ่นยนต์ขึ้นอยู่กับระดับแรงดันของแบตเตอรี่ โดยกำหนดให้หุ่นยนต์ทำงานได้ในช่วงที่แบตเตอรี่มีระดับแรงดันสูงกว่า 11.5 V ทั้งนี้เพื่อรักษาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

**Project title**            A Floor–Sweeping Robot with Ultrasonic Sensor

**Name**                    Mr. Pongsiri Jitpinit            ID. 54361091  
                                 Mr. Wisit    Pukprasert    ID. 54364153  
                                 Mr. Wuttima Khunchey    ID. 54364191

**Project advisor**        Asst. Prof. Niphat Jantharamin, Ph.D.

**Major**                    Electrical Engineering

**Department**            Electrical and Computer Engineering

**Academic year**        2014

---

### Abstract

This thesis presents a project which deals with design and constructs a sweeping robot with ultrasonic sensor. This robot can reduce cleaning load by sweeping dry plain floor in offices and residences. The robot is driven by DC motors which are powered by a 12-V lead-acid battery and its operation is dictated by a microcontroller. Basically, the robot moves forward with approximately 20 cm/s speed while rotating a sweeping brush and measuring horizontal distance between itself and barricades as well as the floor by means of ultrasonic sensors. If a barricades or a lower leveled floor is found, the movement pattern of the robot is changed in such a way that collision or falling off is avoided. Therefore, the robot can work in multi-storey buildings. In addition, start and stop of the robot depends solely upon the battery voltage: In order to preserve the service life of the battery the robot is programmed to operate only if the battery voltage is higher than 11.5 V.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงการขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทร์มินทร์ ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งเอาใจใส่ในรายละเอียดทุกขั้นตอนของการดำเนินโครงการ โดยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วง รวมถึงแนะนำหลักการเขียนปฏิญยานิพนธ์และตรวจทานแก้ไขอย่างละเอียดจนได้ปฏิญยานิพนธ์เป็นรูปเล่มสมบูรณ์

และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้อบรมใช้เครื่องมือวัดในทดสอบชิ้นงานที่สร้างขึ้นและได้อำนวยความสะดวกในเรื่องของสถานที่ในการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบคุณที่ร้อยตรีธานี โกสุม (พี่ต้น) ซึ่งเป็นรุ่นพี่สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและปัจจุบันทำงานในตำแหน่งครูช่างของภาควิชาที่อำนวยความสะดวกในการยืมใช้เครื่องมือวัดจนกระทั่งการทดสอบต่าง ๆ เสร็จสิ้นลง

นอกจากนี้ยังขอขอบคุณคุณสุรศักดิ์ จันทร์อ้อม (หยก) เพื่อนสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำในการเขียน โปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นในโครงการนี้

ขอขอบคุณบริษัท ปตท.สผ. จำกัด (มหาชน) ที่มีโครงการทุนการศึกษา ปตท.สผ.เพชร SI ซึ่งสนับสนุนด้านทุนทรัพย์แก่นายพงศ์ศิริ จิตรพินิจ ตลอดระยะเวลาการศึกษาในระดับปริญญาตรี

รวมทั้งขอขอบคุณรัฐบาลไทยที่จัดตั้งกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา (กยศ.) ซึ่งสนับสนุนด้านทุนทรัพย์แก่นายวิศิษฐ์ พุกประเสริฐ และนายวุฒิมา คุณเฉย ตลอดระยะเวลาการศึกษาในระดับปริญญาตรี

ในท้ายที่สุดนี้ เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ให้การสนับสนุนในทุกด้านเกี่ยวกับการศึกษาของผู้ดำเนินโครงการ รวมทั้งมอบความรัก ความเมตตา และคอยเป็นกำลังใจให้จนประสบความสำเร็จในวันนี้

นายพงศ์ศิริ จิตรพินิจ

นายวิศิษฐ์ พุกประเสริฐ

นายวุฒิมา คุณเฉย

# สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาบัตร .....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ .....	จ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการงาน .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน .....	2
1.3 ขอบเขตของ โครงการงาน .....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน .....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
1.6 งบประมาณ .....	4
บทที่ 2 หลักการและส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์กวาดพื้น .....	5
2.1 ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง .....	5
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	8
2.3 มอเตอร์กระแสตรง .....	11
2.3.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง .....	11
2.3.2 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง.....	13
2.3.3 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง .....	14
2.3.4 การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ .....	16
2.3.5 โครงสร้างของรีเลย์.....	17
2.4 ส่วนประกอบของมอเตอร์เซอร์โว .....	19
2.4.1 ขนาดของมอเตอร์เซอร์โว.....	20
2.4.2 ประเภทของมอเตอร์เซอร์โว.....	21

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 วงจรทอนระดับแรงดัน .....	22
2.6 แบตเตอรี่ .....	26
2.6.1 แบตเตอรี่แบบตะกั่ว.....	27
<b>บทที่ 3 การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์กวาดพื้น .....</b>	<b>32</b>
3.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กวาดพื้น .....	32
3.1.1 การเคลื่อนที่หลังตรวจพบสิ่งกีดขวางด้านหน้า.....	32
3.1.2 การเคลื่อนที่หลังสิ้นสุดช่องทางแคบ.....	35
3.1.3 การเคลื่อนที่หลังตรวจพบพื้นต่างระดับ .....	35
3.2 การตรวจวัดระยะห่างของสิ่งกีดขวางและพื้นต่างระดับ .....	36
3.2.1 การตรวจวัดระยะห่างในแนวราบ .....	36
3.2.2 การตรวจวัดระยะห่างในแนวตั้ง .....	37
3.3 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของหุ่นยนต์กวาดพื้น .....	38
3.4 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์และวงจรสร้างไฟเลี้ยง .....	39
3.4.1 วงจรขับเคลื่อนล้อ.....	39
3.4.2 วงจรคุมค่าแรงดันเพื่อหมุนแปร่ง.....	43
3.4.3 วงจรคุมค่าแรงดันเพื่อสร้างไฟเลี้ยง .....	44
3.5 การวัดระดับแรงดันของแบตเตอรี่และตัดต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ .....	44
3.6 ส่วนประมวลผลของหุ่นยนต์กวาดพื้น .....	45
3.7 การประกอบโครงสร้างของหุ่นยนต์กวาดพื้น.....	48
<b>บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....</b>	<b>51</b>
4.1 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง.....	51
4.2 การทดสอบการทำงานของวงจรคุมค่าแรงดัน 7 V .....	53
4.3 การทดสอบการทำงานของวงจรคุมค่าแรงดัน 5 V .....	54
4.4 การทดสอบการทำงานของวงจรวัดระดับแรงดันร่วมกับรีเลย์.....	55
4.5 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์.....	56
4.6 การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ .....	57

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	62
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ .....	62
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข .....	63
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป .....	63
เอกสารอ้างอิง .....	64
ภาคผนวก ก รหัสต้นฉบับของ โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์กวาดพื้น .....	65
ภาคผนวก ข รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข TL494 .....	76
ภาคผนวก ค รายละเอียดของทรานซิสเตอร์หมายเลข Tip 32C .....	80
ภาคผนวก ง รายละเอียดของไดโอดหมายเลข FR204 .....	82
ภาคผนวก จ รายละเอียดของตัวคุมค่าแรงดันหมายเลข L7805CV .....	85
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ .....	91



# สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

4.1 ผลการทดสอบการทำงานของวงจรวัดระดับแรงดันร่วมกับรีเลย์.....56



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การสะท้อนกลับของคลื่นเสียงจากวัสดุ.....	5
2.2 เวลาการส่งและรับสัญญาณของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง.....	6
2.3 แผงวงจรตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง .....	7
2.4 การต่อใช้งานตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง .....	8
2.5 แผงวงจร Arduino - ATmega2560 .....	9
2.6 หน่วยประมวลผลกลางของ ATmega2560 ขนาด 100 ขา .....	10
2.7 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	11
2.8 เปลือกหรือโครงของมอเตอร์กระแสตรง .....	12
2.9 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก.....	12
2.10 โรเตอร์.....	13
2.11 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง .....	14
2.12 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงด้วยตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟส .....	15
2.13 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงด้วยตัวแปลงผันกำลังกระแสตรง .....	15
2.14 แผนภาพวงจรการกลับขั้วขดลวดอาร์เมเจอร์ .....	16
2.15 แผนภาพวงจรการกลับขั้วขดลวดสนาม .....	17
2.16 โครงสร้างของรีเลย์ .....	17
2.17 แผงวงจรรีเลย์แบบใช้ตัวเชื่อมต่อดำเนินการ.....	18
2.18 วงจรการทำงานของรีเลย์แบบใช้ตัวเชื่อมต่อดำเนินการ.....	19
2.19 องค์ประกอบหลักของมอเตอร์เซอร์โว.....	19
2.20 มอเตอร์เซอร์โวขนาดต่าง ๆ .....	20
2.21 โครงสร้างของมอเตอร์เซอร์โวแบบแอนะล็อก .....	21
2.22 โครงสร้างมอเตอร์เซอร์โวแบบดิจิทัล .....	21
2.23 แผนภาพวงจรทอนระดับแรงดัน .....	22
2.24 รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อไม่มีวงจรกรอง .....	22
2.25 วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ปิด.....	23
2.26 วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์เปิด.....	24
2.27 แรงดันและกระแสของตัวเหนี่ยวนำในวงจรทอนระดับแรงดันในสถานะอยู่ตัว.....	24
2.28 ความพลัวของแรงดันเอาต์พุตในวงจรทอนระดับแรงดัน .....	26

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว.....	27
2.30 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่เมื่อคายประจุ .....	28
2.31 การคายประจุของแบตเตอรี่ .....	29
2.32 กราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ NP4-12 .....	30
2.33 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่เมื่ออัดประจุ.....	30
3.1 รูปแบบการเคลื่อนที่หลังพบสิ่งกีดขวางด้านหน้า.....	32
3.2 รูปแบบการเคลื่อนที่ต่อเนื่องหลังพบสิ่งกีดขวางด้านหน้า.....	33
3.3 รูปแบบการเปลี่ยนแนวการทำความสะอาดหลังพบสิ่งกีดขวางด้านซ้าย .....	34
3.4 รูปแบบการเปลี่ยนแนวการทำความสะอาดหลังพบสิ่งกีดขวางด้านขวา .....	34
3.5 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หลังสิ้นสุดช่องแคบ .....	35
3.6 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หลังตรวจพบพื้นต่างระดับ.....	35
3.7 การสายตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงเป็นมุมต่าง ๆ .....	36
3.8 การเชื่อมต่อตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงเพื่อตรวจวัดระยะห่างในแนวราบ .....	37
3.9 การติดตั้งตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตรวจวัดในแนวตั้งทั้ง 2 ตัว .....	37
3.10 การเชื่อมต่อตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงเพื่อตรวจวัดระยะห่างในแนวตั้งตัวที่ 1 .....	38
3.11 การเชื่อมต่อตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงเพื่อตรวจวัดระยะห่างในแนวตั้งตัวที่ 2.....	38
3.12 แผนภาพการทำงานของส่วนต่าง ๆ .....	38
3.13 แผนภาพวงจรภายในวงจรรวมหมายเลข TL494 .....	40
3.14 แผนภาพวงจรคุมค่าแรงดัน 7 V .....	40
3.15 วงจรคุมค่าแรงดัน 7 V.....	41
3.16 วงจรภายในวงจรรวมหมายเลข L298.....	42
3.17 แผนภาพการต่อใช้งานวงจรควบคุมทิศการหมุนของล้อ .....	42
3.18 วงจรควบคุมทิศการหมุนของล้อ .....	43
3.19 แผนภาพวงจรคุมค่าแรงดัน 5 V .....	43
2.20 วงจรคุมค่าแรงดัน 5 V.....	44
3.21 การเชื่อมต่อวงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ .....	44
3.22 การเชื่อมต่อใช้งานแผงวงจรรีเลย์แบบใช้ตัวเชื่อมต่อด้วยแสง.....	45
3.23 การเชื่อมต่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560.....	46

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24	ผังงานขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์กวาดพื้น .....47
3.25	โครงสร้างหุ่นยนต์กวาดพื้น (มุมมองด้านบน) .....48
3.26	โครงสร้างหุ่นยนต์กวาดพื้น (มุมมองด้านข้าง).....49
3.27	โครงสร้างหุ่นยนต์กวาดพื้น (มุมมองด้านหน้า) .....49
3.28	หุ่นยนต์กวาดพื้นแบบใช้ร่วมกับตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง .....50
4.1	ความคลาดเคลื่อนของตัวรับรู้ในการตรวจวัดระยะห่างจากพื้นผิวต่าง ๆ .....52
4.2	ความคลาดเคลื่อนของตัวรับรู้ในการตรวจวัดระยะห่างจากพองน้ำ.....52
4.3	ความคลาดเคลื่อนของตัวรับรู้ในการตรวจวัดระยะห่างจากผ้าขนหนู .....53
4.4	ค่าประสิทธิภาพของวงจรคุมค่าแรงดัน 7 V .....54
4.5	ค่าประสิทธิภาพของวงจรคุมค่าระดับแรงดัน 5 V.....55
4.6	ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อเริ่มการทำงานหุ่นยนต์อยู่ชิดขอบซ้าย .....57
4.7	ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อเริ่มการทำงานหุ่นยนต์อยู่ชิดขอบขวา .....58
4.8	ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อเริ่มการทำงานหุ่นยนต์อยู่ไม่ชิดขอบ .....58
4.9	ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่สุดผนังห้องแล้วอยู่ชิดขอบซ้าย.....59
4.10	ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่สุดผนังห้องแล้วอยู่ชิดขอบขวา .....59
4.11	ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อเคลื่อนที่เข้าสู่ช่องแคบ .....60
4.12	ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อหุ่นยนต์เจอพื้นต่างระดับ .....60
4.13	ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อหุ่นยนต์เจอพื้นต่างระดับแล้วเดินเอียงซ้าย .....61
4.14	ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อหุ่นยนต์เจอพื้นต่างระดับแล้วเดินเอียงขวา.....61

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันประชาชนส่วนใหญ่ที่อาศัยในสังคมเมืองมักมีรูปแบบการดำเนินชีวิตที่เร่งรีบในการทำงานและกิจกรรมนอกบ้าน ทำให้มีเวลาน้อยลงที่จะทำความสะอาดอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัย จึงต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อช่วยทุ่นแรงและประหยัดเวลาในการทำความสะอาด ส่งผลให้สามารถนำเวลาในส่วนนี้ไปใช้ประโยชน์กับกิจกรรมในด้านอื่น ๆ แทนได้ ในปัจจุบันมีการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับทำความสะอาดภายในอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัยออกมาหลากหลายรูปแบบเพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว รวมถึงมีการนำเทคโนโลยีทางด้านหุ่นยนต์มาช่วยทำงานแทนคน ซึ่งสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีรูปแบบการทำงานที่ครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้งาน

หุ่นยนต์กวาดพื้นที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ โดยแบ่งตามลักษณะในการปรับเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ แบบแรก คือ หุ่นยนต์ที่ปรับเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หลังจากชนสิ่งกีดขวาง โดยหลักการทำงานนี้ใช้สวิทช์จำกัดระยะ (Limit switch) ซึ่งข้อดีของหุ่นยนต์แบบนี้คือราคาถูกแต่ผลของแรงกระแทกจากการชนอาจทำให้อุปกรณ์ในตัวหุ่นยนต์รวมถึงสวิทช์จำกัดระยะหรือวัตถุที่ถูกชนเกิดความเสียหายได้ แบบที่สอง คือ หุ่นยนต์ที่ปรับเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ได้โดยปราศจากการชนสิ่งกีดขวาง โดยหลักการทำงานนี้ใช้ ตัวรับรู้ (Sensor) ซึ่งมีหน้าที่ตรวจวัดระยะห่างจากวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในระยะที่กำหนดไว้หุ่นยนต์จะสามารถเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ทันทีโดยตัวรับรู้ที่สามารถนำมาใช้งานในลักษณะนี้มีหลายรูปแบบ เช่น ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic sensor) และตัวรับรู้ความถี่อินฟราเรด (Infrared sensor) เป็นต้น แต่เนื่องจากตัวรับรู้ความถี่อินฟราเรดใช้ตรวจวัดเฉพาะช่วงความถี่แสงอินฟราเรด ซึ่งในแสงอาทิตย์มีคลื่นความถี่แสงอินฟราเรดปนอยู่ส่งผลให้การวัดระยะเกิดความคลาดเคลื่อนได้ นอกจากนี้ตัวรับรู้จะเป็นตัวช่วยเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อเจอสิ่งกีดขวางแล้วยังมีการประยุกต์เพื่อใช้หลีกเลี่ยงการตกจากพื้นต่างระดับได้อีกด้วย ซึ่งข้อดีของหุ่นยนต์แบบนี้คือ สามารถหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับหุ่นยนต์จากการชนกับสิ่งของรอบข้าง และทำงานภายในอาคารที่มีหลายชั้นได้แต่หุ่นยนต์ประเภทนี้มักมีราคาแพง

ในโครงการนี้มีเป้าหมายเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำความสะอาดอาคารสำนักงาน และที่อยู่อาศัย ทั้งที่เป็นบ้านพัก ห้องชุด (Apartment) อาคารชุด (Condominium) และโรงแรม เนื่องจากภายในสถานที่ดังกล่าวมักมีพื้นที่ต่างระดับ เช่น ชั้นบันไดในระหว่างชั้นและนิยมสร้างห้องน้ำและห้องครัวรวมอยู่ด้วย โดยมีการสร้างให้เกิดพื้นที่ต่างระดับเพื่อแบ่งห้องในลักษณะต่าง ๆ อย่างชัดเจน ซึ่งรูปแบบและความต้องการในการทำความสะอาดแต่ละห้องมักมีความแตกต่างกัน ดังนั้น ในโครงการนี้จึงออกแบบให้หุ่นยนต์ทำงานในเฉพาะพื้นที่ที่ผู้ใช้ต้องการทำความสะอาด โดยสามารถทำงานและหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้โดยอัตโนมัติ รวมถึงหลีกเลี่ยงการตกจากพื้นต่างระดับเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับหุ่นยนต์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อสร้างหุ่นยนต์สำหรับกวาดพื้นเรียบและแห้งในอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัยแบบหลายชั้น โดยใช้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงเพื่อหลีกเลี่ยงการชนสิ่งกีดขวางรวมถึงการตกสู่พื้นต่างระดับ

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์กวาดพื้นโดยใช้แบตเตอรี่แบบตะกั่วขนาด 12 V จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์กระแสตรงสำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และการหมุนแปรงกวาดพื้น
- 2) ใช้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงในการวัดระยะห่างจากสิ่งรอบข้างและจากพื้น ในที่นี้กำหนดให้ระยะห่างจากสิ่งรอบข้าง 25 cm และระยะห่างจากพื้น 5 cm เป็นเกณฑ์ในการหลีกเลี่ยงการชนสิ่งกีดขวางและการตกสู่พื้นต่างระดับตามลำดับ
- 3) ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560 ในการประมวลผลและควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้น

## 1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	พ.ศ. 2557					พ.ศ. 2558			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1) ศึกษาการทำงานของตัวรับรู้ ความถี่เหนือเสียงร่วมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์	■	■							
2) ออกแบบโครงสร้างของ หุ่นยนต์		■	■	■					
3) สร้างหุ่นยนต์โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ใน การควบคุม				■	■	■			
4) ทดสอบและปรับปรุงชิ้นงาน						■	■		
5) สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม ปฏิญญาพันธ								■	■

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นในโครงการนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกสบายและช่วยประหยัดเวลาในการกวาดพื้นให้ผู้ใช้งานมีเวลาที่จะสามารถทำกิจกรรมอื่น ๆ ได้เพิ่มขึ้น ซึ่งหุ่นยนต์สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติและสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางซึ่งลดโอกาสที่จะเกิดความเสียหายกับทั้งตัวหุ่นยนต์และสิ่งของรอบข้าง รวมถึงยังตรวจวัดระยะห่างจากพื้นเพื่อหลีกเลี่ยงการตกสู่พื้นต่างระดับทำให้สามารถนำไปใช้งานในอาคารที่มีหลายชั้นได้

## 1.6 งบประมาณ

1) โครงสร้างหุ่นยนต์	1,550 บาท
2) แผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	700 บาท
3) ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง 3 ตัว	250 บาท
4) แบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 1 ลูก	400 บาท
5) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์	800 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สามพันเจ็ดร้อยบาทถ้วน)	<u>3,700 บาท</u>

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ





## บทที่ 2

### หลักการและส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์กวาดพื้น

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์กวาดพื้นแบบใช้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง ซึ่งประกอบด้วย ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง ไมโครคอนโทรลเลอร์ มอเตอร์กระแสตรง และแบตเตอรี่

#### 2.1 ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง

ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงทำงานโดยอาศัยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ซึ่งเป็นคลื่นในย่านที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินเสียง ตัวรับรู้ชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยการกระจายหรือการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง ไปกระทบกับพื้นผิวของตัวกลาง ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลว บางส่วนของคลื่นเสียงจะแทรกผ่านเข้าไปในตัวกลางนั้น และส่วนใหญ่ของคลื่นความถี่สูงนี้จะสะท้อนกลับเรียกว่า "Echo" โดยช่วงเวลาของการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างระหว่างวัตถุกับตัวรับรู้ [1] ดังรูปที่ 2.1



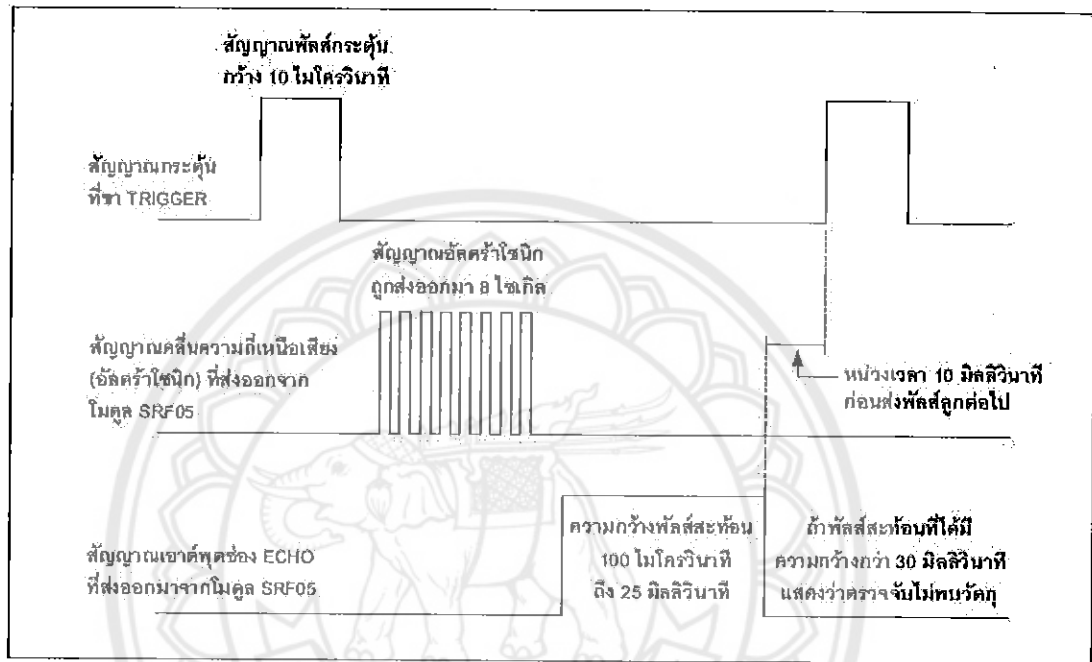
(ก) การตรวจจับระดับความสูงของของเหลว

(ข) การตรวจจับระยะห่างของวัตถุ

รูปที่ 2.1 การสะท้อนกลับของคลื่นเสียงจากวัสดุ [1]

โดยทั่วไปนิยมใช้สำหรับการวัดระยะทาง (Distance measurement) ของวัตถุหรือการวัดระดับ (Level measurement) ของเหลว สามารถใช้งานกับวัตถุทั้งที่เป็นชนิดโลหะและอโลหะทุกชนิด สี โปรงใส โปรงแสงหรือทึบแสง ตรวจจับวัตถุได้หลายขนาด ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีคุณสมบัติการยืดหยุ่นหรือคุณสมบัติการดูดซับเสียง เช่น ผ้า โฟมหรือฟองน้ำ ซึ่งจะดูดซับคลื่นเสียงไม่ให้สะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณ และเนื่องจากลักษณะการสะท้อนกลับของเสียงขึ้นอยู่กับมุมตก

กระทบที่ทำให้เสียงกระจายไปในทิศทางต่าง ๆ จึงไม่เหมาะกับวัตถุที่มีพื้นผิวลักษณะเป็นก้อน ๆ ไม่สม่ำเสมอ ผลที่ได้จากการสะท้อนกลับของคลื่นความถี่เหนือเสียงที่ใช้กับวัตถุลักษณะนี้จะมี ความเที่ยงตรง (Precision) ต่ำ สำหรับวัตถุที่มีผิวเรียบคลื่นเสียงที่มากกระทบส่วนใหญ่จะสะท้อน ออกจากพื้นผิวนั้นอย่างมีระเบียบ ค่าความเที่ยงตรงที่ได้จากการวัดจะมีค่าสูงมากกว่า โดยตำแหน่ง ของตัวรับรู้ที่ตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุจะให้ประสิทธิภาพในการสะท้อนคลื่นกลับมายังตัวรับมาก ที่สุด[1] ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เวลาการส่งและรับสัญญาณของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง

ที่มา: [www.fgcvmc.co.uk](http://www.fgcvmc.co.uk)

ระยะห่างคำนวณได้จากสูตร

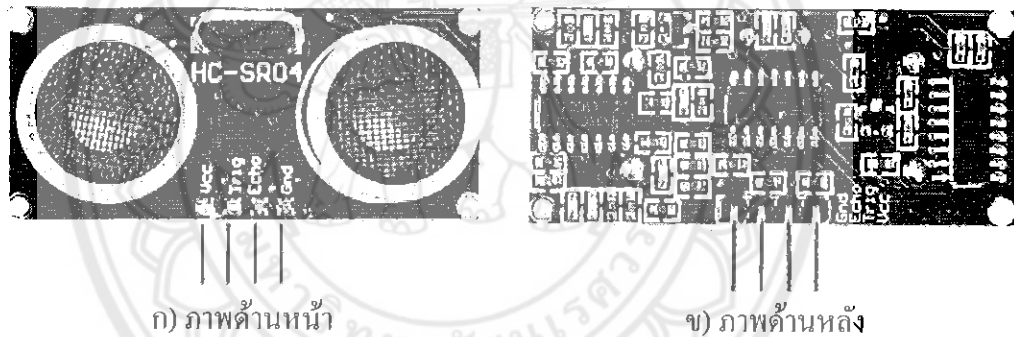
$$\text{ระยะห่างระหว่างตัวรับรู้และวัตถุ} = \frac{\text{ระยะเวลาเดินทางของคลื่น}}{2} \times 340 \text{ (m/s)} \quad (2.1)$$

ในสภาวะแวดล้อมที่มีฝุ่นละอองหรือมีไอน้ำในอากาศ เสียงอาจถูกดูดซับไปบ้างและสูญเสียพลังงานไปในรูปของพลังงานความร้อน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับตัวรับรูชนิดแสง (Optical sensor/Photo sensor) ตัวรับรู้ชนิดนี้ได้รับผลกระทบจากละอองไอน้ำที่น้อยกว่า เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่พื้นผิววัตถุ พบว่าวัตถุที่มีอุณหภูมิ (Temperature) สูงจะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของการวัดขึ้น โดยทำให้ระยะในการตรวจจับสั้นลง ผลที่ได้จะมีความไม่แน่นอน อันเนื่องมาจากเสียงที่เดินทางผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความเร็วสูงกว่าเสียงที่เดินทางผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในการประยุกต์ใช้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงส่วนใหญ่องค์ประกอบอื่น ๆ และแรงดันของก๊าซ

จะถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กัน ในขณะที่อุณหภูมิไม่ได้ถูกกำหนดไว้ โดยความไวของเสียงจะเพิ่มขึ้น 1% ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น  $10^{\circ}\text{F}$  ( $6^{\circ}\text{C}$ )

การติดตั้งตัวรับรู้อินฟราเรดใช้เสียงตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ต้องระวังการสอดแทรกหรือการกวนกันของคลื่นเสียงความถี่สูงที่เกิดขึ้นจากตัวรับรู้อินฟราเรดแต่ละตัว โดยระยะห่างระหว่างตัวตัวรับรู้อินฟราเรดจากรัศมีของการแผ่กระจายคลื่นความถี่ที่ส่งออกไป และในการติดตั้งต้องระวังมุมอับที่สัญญาณเสียงไม่สามารถเดินทางผ่านไปได้ หรือเรียกว่า บริเวณบอดกั้น (Blind zone หรือ Dead zone)

ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงนั้นสามารถตรวจจับวัตถุโดยการใช้อัลตราซาวด์ที่มีความถี่สูงซึ่งมนุษย์ไม่ได้ยินและมีระยะการตรวจจับสูงรวมทั้งตรวจจับวัตถุโดยไม่สนใจสีหรือพื้นผิวของวัตถุ ทำให้ใช้ได้กับของแข็งและของเหลวทั้งเปียกและแห้งและตรวจจับวัตถุที่มีไอฝุ่นได้ แต่ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงที่ใช้การส่งคลื่นความถี่เหนือเสียง ซึ่งคลื่นความถี่เหนือเสียงไม่สามารถทำงานในที่แคบได้และในสถานที่ที่เป็นสุญญากาศคลื่นความถี่เหนือเสียงจะไม่สามารถใช้งานได้ เพราะคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านตัวกลางและควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งในบริเวณใกล้ๆ กันและไม่เหมาะับวัตถุผิวนุ่มและผิวโค้ง [1] โมดูลตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงมีจุดต่อใช้งานอยู่ทั้งหมด 4 จุดดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผงวงจรตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง

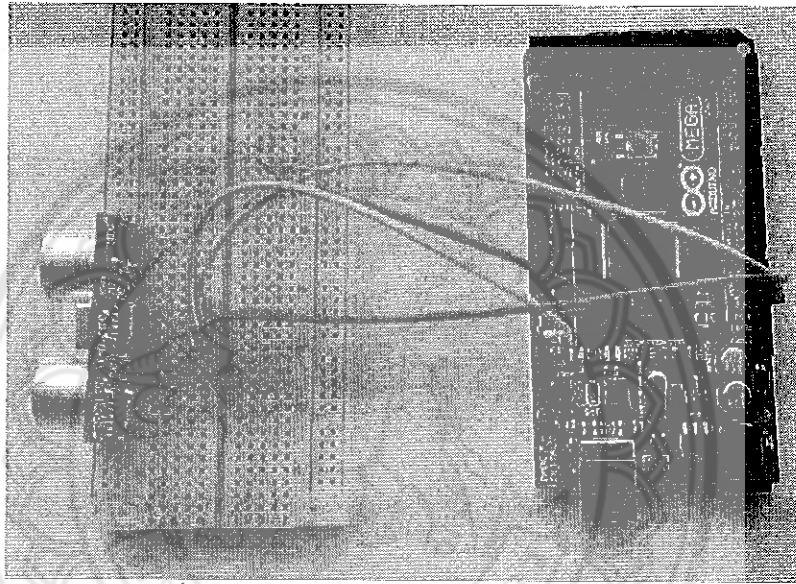
ที่มา: [www.amazon.com](http://www.amazon.com)

- 1) ขาไฟเลี้ยง (+5) สำหรับต่อไฟเลี้ยงแรงดัน + 5 V
- 2) ขารับสัญญาณสะท้อน (Echo) เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณพัลส์ออกจาก ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง ซึ่งการใช้งานจะนำขาสัญญาณนี้ไปต่อเข้ากับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อตรวจจับความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ส่งออกมาเพื่อแปลความหมายออกมาเป็นระยะทางอีกครั้งหนึ่ง
- 3) ขาส่งสัญญาณกระตุ้น (Trigger) เป็นขาอินพุตรับสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างอย่างน้อย  $10\ \mu\text{s}$  เพื่อกระตุ้นการสร้างคลื่นความถี่เหนือเสียงความถี่ 40 kHz ออกสู่อากาศจากตัวส่ง ดังนั้นเมื่อคลื่นความถี่ดังกล่าวนี้เคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวางที่อยู่เบื้องหน้าก็จะ

เกิดการสะท้อนกลับเข้ามายังตัวรับ และถูกแปลงออกมาเป็นความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่จะส่งออกไปทางขารับสัญญาณสะท้อน และยังใช้จุดนี้เป็นจุดสื่อสารข้อมูลอนุกรมเพื่อรับส่งค่าการวัดกับไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 4) ขากราวด์ (GND) สำหรับต่อกราวด์

การใช้งานตัวรับรับรู้ความถี่เหนือเสียงสามารถใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ดังรูปที่ 2.4 คือ เมื่อตัวรับรับรู้เริ่มทำงานสัญญาณเริ่มต้นในการปล่อยพัลส์จะถูกส่งไปที่ขาส่งสัญญาณกระตุ้น และสัญญาณสะท้อนที่สะท้อนกลับมายังตัวรับรับรู้ จะถูกส่งกลับไปที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ เพื่อคำนวณระยะทางต่อไป

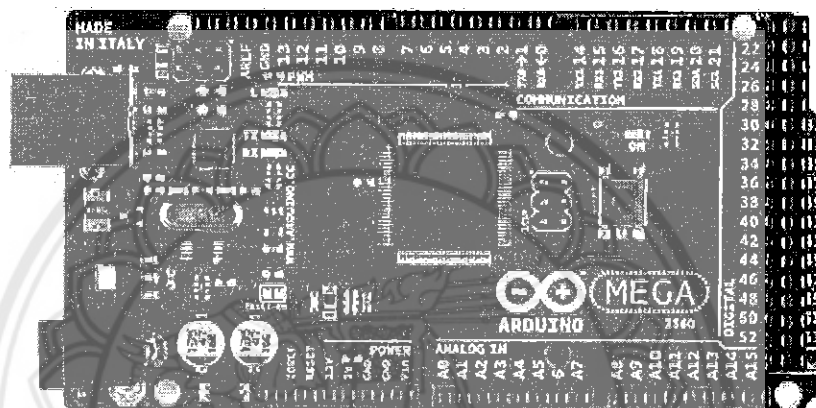


รูปที่ 2.4 การต่อใช้งานตัวรับรับรู้ความถี่เหนือเสียง

## 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแผงวงจร Arduino จัดอยู่ในตระกูล AVR ขนาด 100 ขา ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATmega2560 แสดงดังรูปที่ 2.5 เป็นแผงวงจร Arduino ที่ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้อินพุตและเอาต์พุตมากกว่า Arduino รุ่นอื่น ๆ เช่น งานที่ต้องรับสัญญาณจากตัวรับรับรู้ หรือควบคุมมอเตอร์เซอร์โวหลาย ๆ ตัว โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นแพลตฟอร์ม (Platform) ของอินพุตและเอาต์พุต (I/O) ที่เพียงพอกับการใช้งานและการเรียนรู้ และมีการพัฒนาแบบ Open source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ แผงวงจรถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นใช้งาน ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวแผงวงจร หรือโปรแกรมต่อได้ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกเข้ามาที่ขา I/O ของแผงวงจร หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับแผงวงจรเสริม (Shield) ประเภทต่าง ๆ เช่น X Bee Shield, Music Shield, Relay Shield,

Wireless Shield, GPRS Shield เป็นต้น มาเทียบกับแผงวงจร Arduino แล้วเขียน โปรแกรมพัฒนาต่อได้โดยตัวแผงวงจรมีคำสั่งที่ใช้ควบคุมพอร์ต อินพุตและเอาต์พุต ไม่ว่าจะเป็นพอร์ตดิจิทัล พอร์ตแอนะล็อกพีดีบีเบิลยูเอ็มและพอร์ตอนุกรมซึ่งแผงวงจร Arduino ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับสัญญาณจากภายนอกและส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ตัวแผงวงจรถูกออกแบบจากไมโครคอมพิวเตอร์ชิปเดี่ยวและมีโปรแกรมพัฒนาสำหรับเขียนโปรแกรมให้แผงวงจร Arduino สามารถรับสัญญาณจากสวิทช์หรือตัวรับรู้และควบคุมหลอดไฟมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆแผงวงจร Arduino สามารถทำงานอิสระหรือทำงานติดต่อกับโปรแกรมที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ [2]



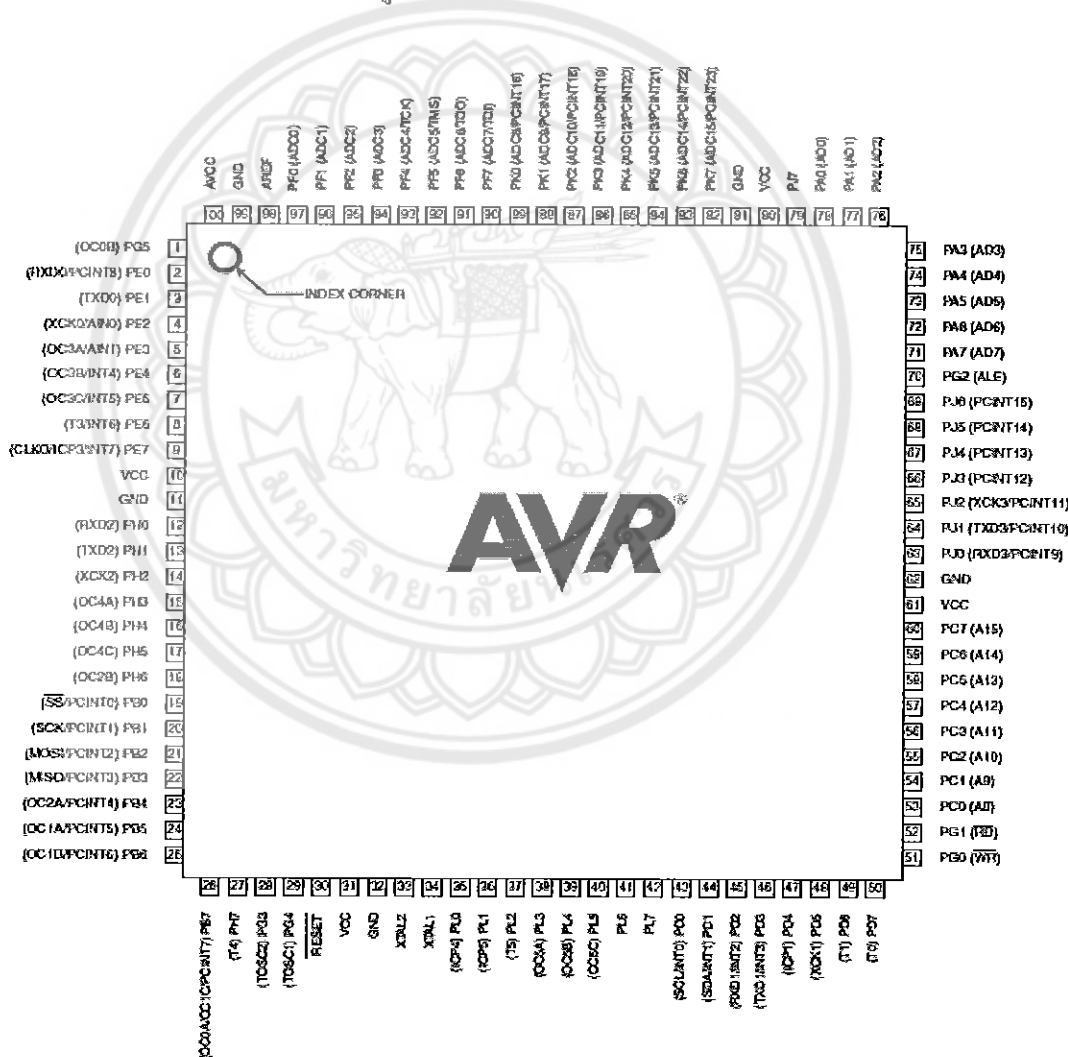
รูปที่ 2.5 แผงวงจร Arduino - ATmega2560

ที่มา: [www.arduitronics.com](http://www.arduitronics.com)

แผงวงจร Arduino ซึ่งมีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายต่อการเรียนรู้และใช้งาน เนื่องจากมีการออกแบบคำสั่งต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนการใช้งานด้วยรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนคือเน้นการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหลักแผงวงจร Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ AVR ขนาดเล็กซึ่งเป็นตัวประมวลผลและสั่งงานเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำไปประยุกต์เพื่อใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์ อินพุตและเอาต์พุตต่าง ๆ ได้มากมายทั้งในรูปแบบที่เป็นการทำงานตัวเดียวอิสระ หรือเชื่อมต่อสั่งงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นเช่น คอมพิวเตอร์ทั้งนี้เนื่องมาจากว่า Arduino สนับสนุนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้มากมาย ทั้งแบบดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog) เช่น การรับค่าจากสวิทช์หรือตัวรับรู้แบบต่าง ๆ รวมไปถึงการควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่าง ๆ ส่วนภาษาในการเขียนโปรแกรมลงบนแผงวงจร Arduino นั้นจะใช้ภาษา C++ ซึ่งเป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษาซีประยุกต์แบบหนึ่ง ทีมโครงสร้างของตัวภาษาโดยรวมใกล้เคียงกันกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) แต่ได้มีการปรับปรุงรูปแบบในการเขียนโปรแกรมบางส่วนที่คิดเพี้ยนไปจาก ANSI-C เล็กน้อย เพื่อ

ช่วยลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมและยังสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายและสะดวกมากขึ้นกว่าการเขียนภาษาซีตามแบบมาตรฐานของ ANSI-C โดยตรง

ตัวแผงวงจร Arduino ที่ใช้ในโครงการนี้จะกล่าวถึงสถาปัตยกรรมของเอวีอาร์ (AVR) ขนาด 8 bits โดยเป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Central processing unit, CPU) แบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) มีสถาปัตยกรรมการต่อหน่วยความจำแบบฮาวาร์ด (Harvard) ซึ่งแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกันโดยเด็ดขาดดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยใช้หน่วยความจำแบบแฟลช (Flash) สำหรับเป็นหน่วยความจำโปรแกรม ซึ่งมีความจุมากกว่ารุ่น Arduino Uno R3 ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมเข้าไปได้มากกว่าในความเร็วของ MCU ที่เท่ากัน และใช้หน่วยความจำแบบ SRAM สำหรับหน่วยความจำข้อมูลและนอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลเอาไว้ได้โดยไม่ต้องมีไฟเลี้ยงอีกด้วย



รูปที่ 2.6 หน่วยประมวลผลกลางของ ATmega2560 ขนาด 100 ขา

ที่มา: [www.atmel.com](http://www.atmel.com)

จากรูปที่ 2.6 แผงวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560 มีคุณสมบัติเด่น [2] ดังนี้

- 1) ทำงานได้ตั้งแต่ย่านแรงดัน 1.8-5.5 V แรงดันของระบบอยู่ที่ 5 V
- 2) หน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM ขนาด 8 kb
- 3) หน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 4 kb
- 4) สนับสนุนการเชื่อมต่อแบบ I2C bus
- 5) พอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบดิจิตอลจำนวน 54 ช่อง
- 6) พอร์ตเอาต์พุตแบบแอนะล็อกจำนวน 16 ช่อง
- 7) วงจรสื่อสารอนุกรม
- 8) สนับสนุนช่องสัญญาณสำหรับสร้าง สัญญาณที่ดับเบิลยู (PWM) จำนวน 14 ช่อง

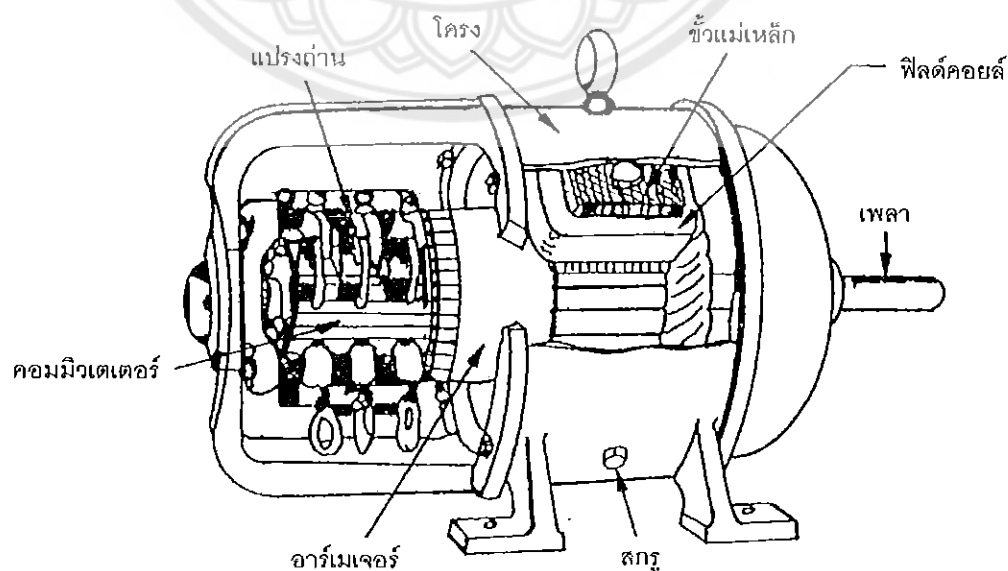
ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560 ที่ใช้ในโครงงานนี้ทำหน้าที่เป็นส่วนประมวลผลสัญญาณที่รับมาจากตัวรับรู้และทำงานตาม โปรแกรมที่เขียนไว้ เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ผ่านทางมอเตอร์

### 2.3 มอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้าคือเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ได้รับแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกเข้าที่ขั้วจะทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ประกอบด้วยขดลวดที่พันรอบแกนโลหะที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก จะทำให้ขดลวดหมุนไปรอบแกน

#### 2.3.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

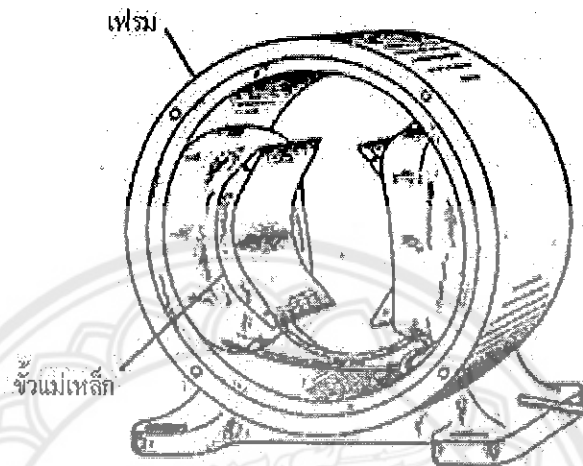
โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 โดยมีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [3]

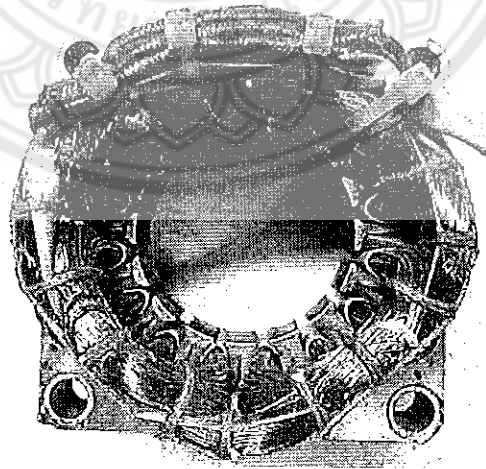
1) สเตเตอร์ (Stator) เป็นส่วนของมอเตอร์ไฟฟ้าที่อยู่กับที่ประกอบด้วย

ก.) เปลือกหรือโครง (Frame) เป็นโครงที่อยู่ภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินให้กับเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่นๆ ให้ความแข็งแรง ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนา้วนเป็นรูปทรงกระบอกกลม แสดงได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เปลือกหรือโครงของมอเตอร์กระแสตรง [4]

ข.) ขั้วสนามแม่เหล็ก (Fieldpoles) เป็นส่วนที่ใช้ในการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กเมื่อตัวนำในอาร์เมเจอร์หมุนตัดผ่าน ฟลักซ์แม่เหล็กนี้ก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก [5]

2) โรเตอร์ (Rotor) เป็นส่วนที่ทำให้เกิดกำลังงานมีลักษณะดังรูปที่ 2.10 ซึ่งมีแกนวางอยู่ในรองถื่น (Bearing) ประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End plate) ของมอเตอร์





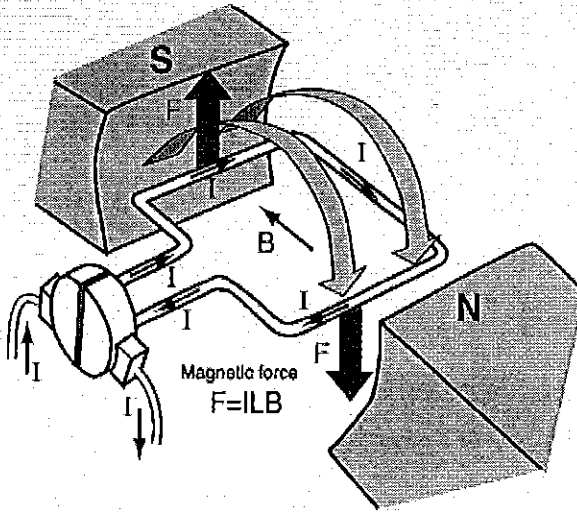
รูปที่ 2.10 โรเตอร์ [4]

โรเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

- ก) แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์ แกนเพลลานี้จะวางอยู่บนรองลื่นเพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวหนึ่งไม่มีการสั่นสะเทือน
  - ข) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated sheet steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์เมเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)
  - ค) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่ แต่ละซี่มีฉนวนไมคา (Mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้ยึดแน่นติดกับแกนเพลลาเป็นทรงกระบอกมีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon brushes)
  - ง) ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลิต (Slot) ของแกนอาร์เมเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่ และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้น ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ
- 3) แปรงถ่านแปรงถ่านอาจทำจากส่วนผสมของคาร์บอนกับกราไฟต์ หรือคาร์บอนกับทองแดง เมื่อเครื่องจักรกลทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แปรงถ่านจะทำหน้าที่รวมกระแสไฟฟ้าจากซี่คอมมิวเตเตอร์ส่งไปสู่วงจรภายนอก และเมื่อเครื่องจักรกลทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าแปรงถ่านจะทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากวงจรภายนอกส่งไปยังคอมมิวเตเตอร์

### 2.3.2 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้าคือ เครื่องจักรกลที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลโดยอาศัยหลักการคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็กจะทำให้ลวดตัวนำเกิดการเคลื่อนที่ หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูปที่ 2.11



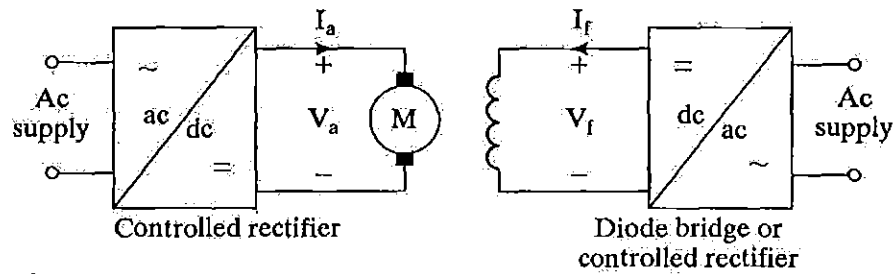
รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [6]

จากรูปที่ 2.11 เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าจ่ายผ่านแปรงถ่าน ไปคอมมิวเตเตอร์และขดลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ทางด้านขั้วมือเป็นขั้วเหนือ (N) และด้านซ้ายมือเป็นขั้วใต้ (S) เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ๆกันทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กผลักดันกัน อาร์เมเจอร์หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา พร้อมกับคอมมิวเตเตอร์หมุนตามไปด้วย แปรงถ่านสัมผัสกับส่วนของคอมมิวเตเตอร์เปลี่ยนไปไปอีกปลายหนึ่งของขดลวด แต่มีผลทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่อยู่ใกล้ๆอีกครั้ง ทำให้อาร์เมเจอร์ยังคงถูกผลักให้หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตลอดเวลา ส่งผลให้เกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์ ซึ่งหมายถึงเครื่องจักรกลกำลังทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า

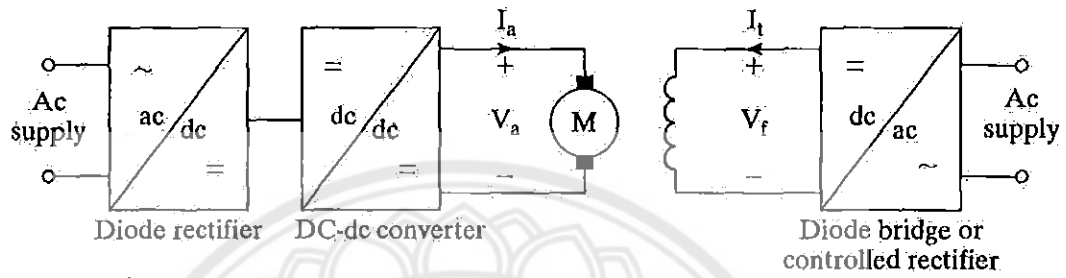
### 2.3.3 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงจากตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสสร้างแรงดันเอาท์พุทกระแสตรงที่ปรับค่าได้จากแรงดันไฟกระแสสลับที่มีค่าคงที่ ในขณะที่ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสร้างแรงดันไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้จากแรงดันกระแสตรงที่มีค่าคงที่ ด้วยคุณสมบัติในการสร้างแรงดันไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้อย่างต่อเนื่อง ตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสและตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงจึงก่อให้เกิดวิวัฒนาการทางด้านอุปกรณ์ควบคุมและการขับเคลื่อน

มอเตอร์แบบปรับความเร็วรอบได้ในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ที่มีระดับกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ไม่กี่แอมป์จนถึงหลายเมกะวัตต์ ตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสนิยมใช้ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงดังรูปที่ 2.12 อีกหนึ่งทางเลือกคือการใช้ตัวเรียงกระแสแบบไดโอดร่วมกับตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงดังรูปที่ 2.13 [7]



รูปที่ 2.12 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงด้วยตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟส [7]



รูปที่ 2.13 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงด้วยตัวแปลงผันกำลังกระแสตรง [7]

สมการที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

$$E_g = k \cdot I_f \cdot \omega \quad (2.2)$$

$$V_a = R_a I_a + E_g = R_a I_a + k \cdot I_f \cdot \omega \quad (2.3)$$

$$T_d = k \cdot I_f \cdot I_a = B\omega + T_L \quad (2.4)$$

เมื่อ  $E_g$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าดีกลับ (Back emf) มีหน่วย (V)

$V_a$  = แรงดันตกคร่อมอาร์เมเจอร์ มีหน่วย (V)

$k$  = ค่าคงที่ของมอเตอร์ มีหน่วย (V/A.rad/s)

$I_f$  = กระแสสนาม (Field current) มีหน่วย (A)

$I_a$  = กระแสอาร์เมเจอร์ (Armature current) มีหน่วย (A)

$\omega$  = ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ มีหน่วย (rad/s)

$R_a$  = ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ มีหน่วย ( $\Omega$ )

$T_d$  = แรงบิด (Developed torque) มีหน่วย (N·m)

$T_L$  = แรงบิดโหลด (Load torque) มีหน่วย (N·m)

$B$  = ค่าคงที่แรงเสียดทาน มีหน่วย (N·m/rad/s)

กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์สร้างขึ้นคำนวณหาได้จาก

$$P_a = T_a \omega \quad (2.5)$$

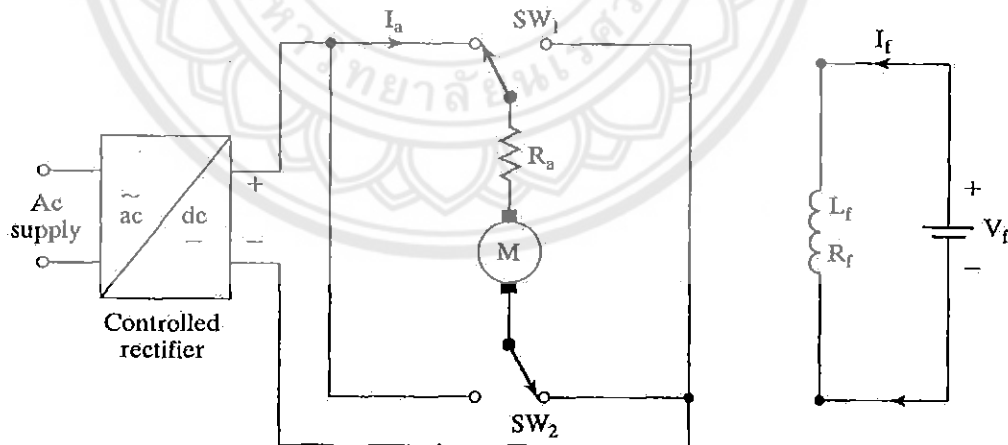
จากสมการที่ (2.1) เราสามารถเขียนสมการความเร็วรอบของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยกได้ดังนี้

$$\omega = \frac{V_a - R_a I_a}{k \cdot I_f} \quad (2.6)$$

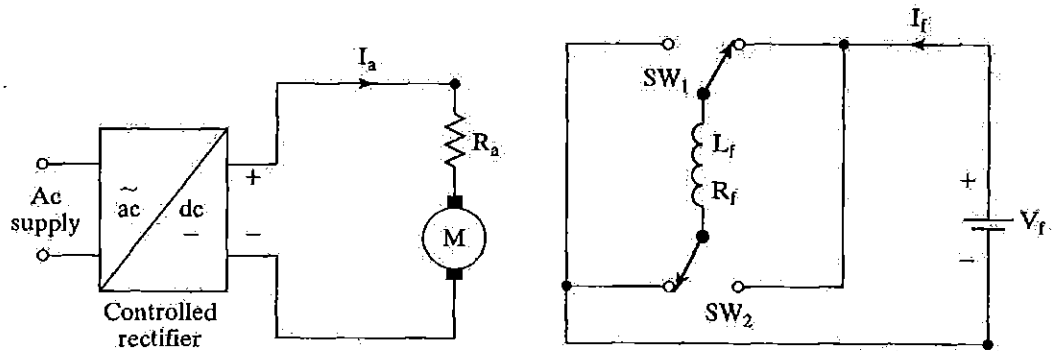
### 2.3.4 การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์

ในการขับเคลื่อนยานพาหนะส่วนบุคคลเดินทางระยะสั้นใช้กลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์เพื่อกำหนดการเดินหน้าและถอยหลังของยานพาหนะ โดยการกลับขั้วขดลวดอาร์เมเจอร์ดังรูปที่ 2.14 แผนภาพวงจรการกลับขั้วขดลวดอาร์เมเจอร์ [7]

หรือในการกลับขั้วขดลวดสนามดังรูปที่ 2.15 ซึ่งจะทำในขณะที่กระแสอาร์เมเจอร์มีค่าเป็นศูนย์เพื่อเลี่ยงการกระชากของแรงดันเหนี่ยวนำ (Inductive voltage surge) โดยปกติ มุมบึงจะถูกปรับเพื่อให้เกิดจังหวะที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์และมีช่วงเวลาไร้ผลตอบสนอง (Dead time) ประมาณ 2-10 ms เพื่อให้แน่ใจว่ากระแสอาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากขดลวดสนามมีค่าคงตัวทางเวลาค่อนข้างมากการกลับขั้วขดลวดสนามจึงใช้เวลานานกว่า โดยในการทำงานสามารถใช้รีเลย์เป็นสวิตซ์ในการกลับขั้วของขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงได้



รูปที่ 2.14 แผนภาพวงจรการกลับขั้วขดลวดอาร์เมเจอร์ [7]

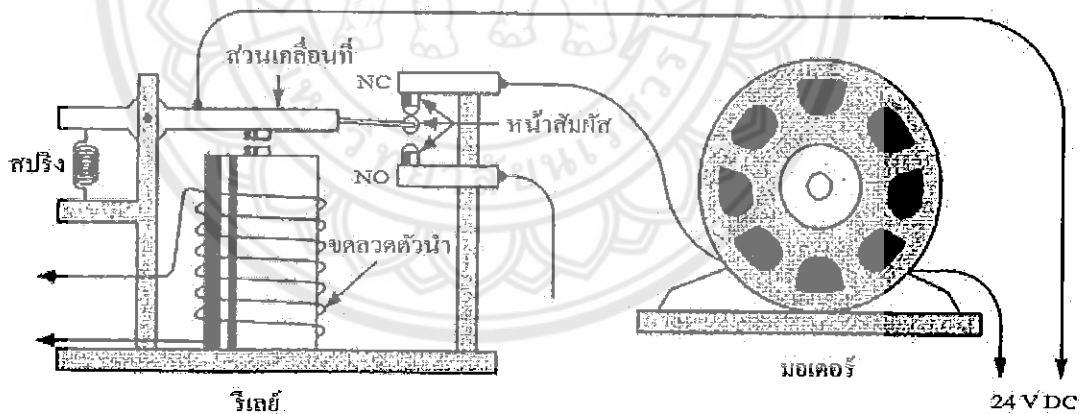


รูปที่ 2.15 แผนภาพวงจรการกลับช่วงลดความเร็ว [7]

### 2.3.5 โครงสร้างของรีเลย์

โครงสร้างพื้นฐานของรีเลย์ (Relay) ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.16 โดยมีส่วนประกอบดังนี้

- 1) ขดลวดตัวนำ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไหลผ่าน
- 2) ส่วนเคลื่อนที่ ทำหน้าที่เปิดปิดหน้าสัมผัสของรีเลย์
- 3) สปริง ทำหน้าที่ต้านการเคลื่อนที่ของส่วนเคลื่อนที่เพื่อให้กลับไปยังหน้าสัมผัสเดิม
- 4) หน้าสัมผัสของรีเลย์ ทำหน้าที่ตัดต่อวงจร

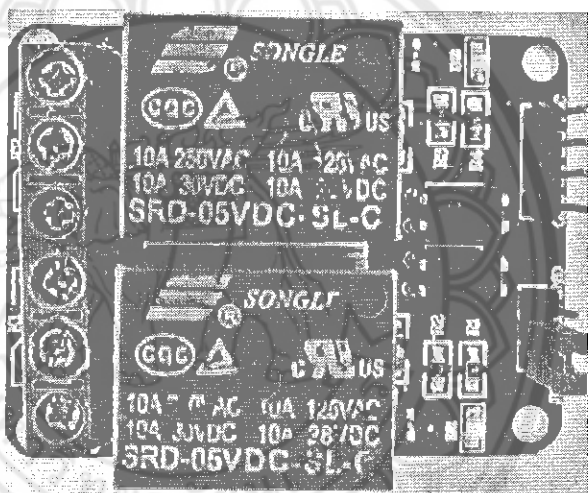


รูปที่ 2.16 โครงสร้างของรีเลย์ [8]

รีเลย์จะเริ่มทำงานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปที่ขดลวดตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปดึงดูดแกนของส่วนเคลื่อนที่ ถ้าแรงดึงดูดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กสามารถชนะแรงต้านของสปริงได้ก็จะดึงแกนของส่วนเคลื่อนที่ไปให้หน้าสัมผัสของรีเลย์มาอยู่ในตำแหน่งอีกทางหนึ่ง แต่ถ้าแรงดึงดูดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไม่สามารถชนะแรงต้านของสปริงได้หน้าสัมผัสของรีเลย์จะอยู่ในตำแหน่งเดิมรีเลย์จะมีหน้าสัมผัสอยู่ด้วยกันสองส่วน คือส่วนปกติปิดและส่วนปกติเปิด รีเลย์

ส่วนปกติปิดหน้าสัมผัสของรีเลย์จะปิดเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ และหน้าสัมผัสจะเปิดเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดของรีเลย์และในส่วนปกติเปิดหน้าสัมผัสของรีเลย์จะเปิดเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ และหน้าสัมผัสจะปิดเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดของรีเลย์

ในโครงการนี้เลือกใช้แผงวงจรรีเลย์แบบใช้ตัวเชื่อมต่อด้วยแสงดังรูปที่ 2.17 ซึ่งประกอบด้วยรีเลย์ 2 ตัวโดยแต่ละตัวสามารถรองรับกระแสได้สูงถึง 10 A และใช้งานได้ทั้งกับไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ รับแรงดันกระแสตรง 5 V และมีหลอดแอลอีดีสำหรับแสดงสถานะการทำงานของรีเลย์แต่ละตัว ซึ่งถูกออกแบบให้มีการป้องกันวงจรควบคุมออกจากวงจรกำลังด้วยตัวเชื่อมต่อด้วยแสง (Opto-coupler) เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากการทำงานของอุปกรณ์ ทำให้วงจรควบคุมสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



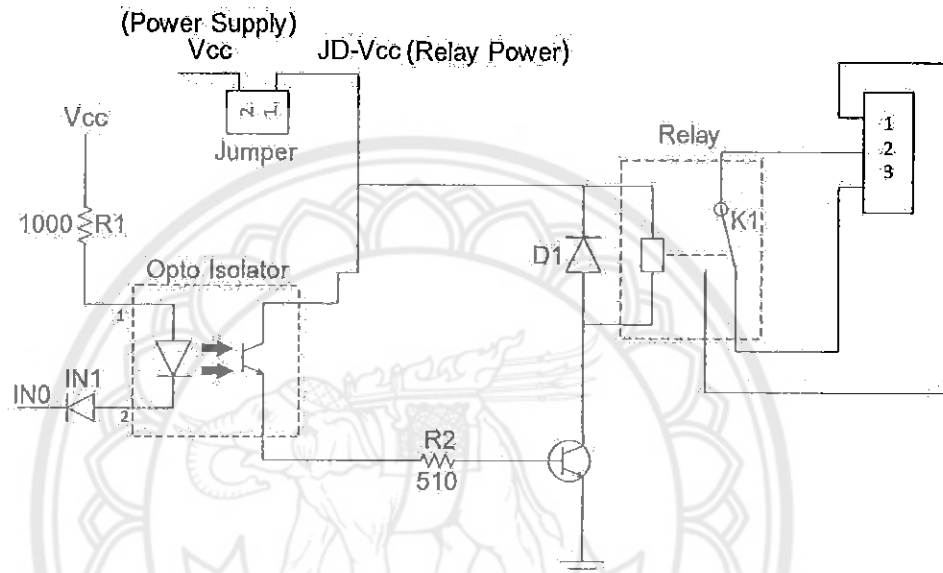
รูปที่ 2.17 แผงวงจรรีเลย์แบบใช้ตัวเชื่อมต่อด้วยแสง

ในการใช้งานที่แผงวงจรของรีเลย์จะมีตัวเชื่อมสำหรับเชื่อมต่อไฟเลี้ยงวงจรของวงจรควบคุม (VCC) เข้ากับไฟเลี้ยงชุดรีเลย์ (JD - VCC) ซึ่งหากอุปกรณ์ที่ไปควบคุมโหลดต่าง ๆ นั้นไม่ได้สร้างสัญญาณรบกวนมากนัก สามารถใช้งานโมดูลนี้โดยตรงได้ทันทีด้วยการป้อน VCC IN1 IN2 และ GND จากวงจรควบคุมได้ทันที

อย่างไรก็ตามจากการใช้ VCC ของวงจรควบคุม ป้อนให้กับ JD - VCC ทำให้ทั้งระบบยังคงต้องใช้กราวด์อ้างอิงร่วมกัน ซึ่งหากใช้งานเพื่อควบคุมไฟสูง กระแสสูง หรืออุปกรณ์ประเภทขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดการรบกวนได้ง่ายควรทำการแยกไฟเลี้ยงรีเลย์ออกจากไฟเลี้ยงวงจรด้วยการปลดตัวเชื่อมต่อไฟเลี้ยง ดังกล่าว แล้วทำการจ่ายไฟเลี้ยงที่เป็นอิสระต่อวงจรควบคุมเข้าสู่ขา

JD-VCC และ GND แทน โดยในการควบคุมของภาคควบคุม จะป้อนสัญญาณควบคุมผ่านขา IN1 IN2 และขา VCC โดยไม่ต้องเชื่อมต่อ GND ของฝั่งควบคุม

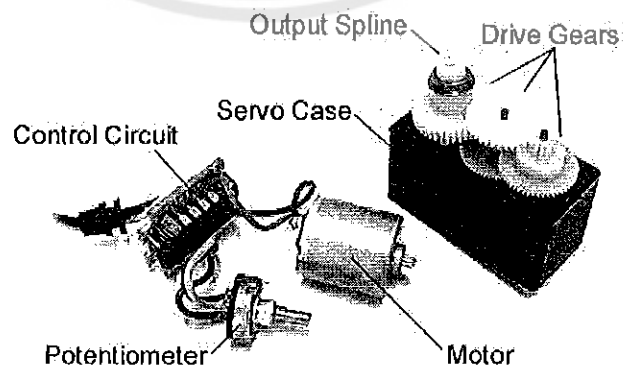
รีเลย์ทำงานโดยการจ่ายไฟแรงดัน 5 V ที่จ่ายเป็นไฟเลี้ยงขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก ตามด้วยอุปกรณ์ตัวเชื่อมต่อด้วยแสงที่กั้นระหว่างด้านวงจรควบคุมและด้านโหลด เมื่อ IN0 รับสัญญาณมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปสั่งให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ซึ่งปล่อยให้กระแสไหลผ่านขดลวด หน้าสัมผัสจึงเปลี่ยนสถานะ โดยใช้ไดโอดซีเนอร์ (Zener diode) D1 ในการป้องกันแรงดันย้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรการทำงานของรีเลย์แบบใช้ตัวเชื่อมต่อด้วยแสง

## 2.4 ส่วนประกอบของมอเตอร์เซอร์โว

มอเตอร์เซอร์โว (Servo motor) มีส่วนประกอบต่าง ๆ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 องค์ประกอบหลักของมอเตอร์เซอร์โว [9]

องค์ประกอบหลักของมอเตอร์เซอร์โว โดยทั่วไปแล้วจะมีส่วนประกอบหลักดังนี้คือ

- 1) โครง (Servo case) ซึ่งส่วนใหญ่จะทำมาจากพลาสติก
- 2) มอเตอร์ (Motor) ซึ่งเป็นส่วนให้กำลังในการหมุนของมอเตอร์เซอร์โว
- 3) วงจรควบคุม (Control circuit) มีหน้าที่ในการถอดรหัสสัญญาณควบคุมที่รับเข้ามาเป็นแบบพีดีดับเบิลยูเอ็ม (Pulse width modulation, PWM) และส่งไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้หมุนไปอยู่ในตำแหน่งที่ได้ถอดรหัสมา
- 4) เฟืองขับ (Drive gear) คือ ชุดทดรอบจากการหมุนของมอเตอร์เพื่อให้ได้แรงบิดที่สูง
- 5) สลัก (Output spline) คือ ส่วนที่ป้องกันการเสียดสีระหว่าง โครงและเพลลา (Shaft) ซึ่งอาจใช้อุปกรณ์ประเภทลูกปืน (Bearing) เพื่อช่วยลดแรงเสียดทานที่ดี
- 6) สายไฟและสายสัญญาณ (Servo wire) มีสามเส้นติดเป็นชุดเดียวกัน มีหน้าที่ดังนี้

เส้นที่ 1 จ่ายไฟกระแสตรง ซึ่งแรงดันปกติมีค่า 5-6 V

เส้นที่ 2 เป็นสายกราวด์

เส้นที่ 3 รับสัญญาณพัลส์ควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 2.4.1 ขนาดของมอเตอร์เซอร์โว

มอเตอร์เซอร์โวมีขนาดต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.20 โดยปกติขนาดของมอเตอร์เซอร์โวจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก (Micro) ขนาดมาตรฐาน (Standard) และขนาดใหญ่ (Giant) ซึ่งมีการใช้งานที่แตกต่างกันไปแต่ในปัจจุบันก็ได้มีมอเตอร์เซอร์โวที่มีขนาดที่หลากหลายเพื่อครอบคลุมการใช้งานมากขึ้น



รูปที่ 2.20 มอเตอร์เซอร์โวขนาดต่าง ๆ [9]

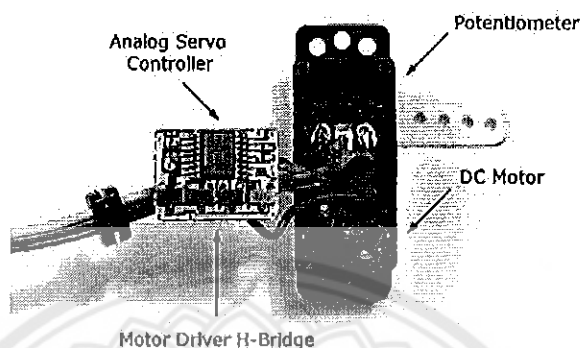
นอกเหนือจากขนาดภายนอกของมอเตอร์เซอร์โวที่เราต้องพิจารณาในการใช้งานแล้วยังมีคุณลักษณะที่ต้องพิจารณาอีก คือ ความเร็ว (Speed) และแรงบิด (Torque ratings) การวัดความเร็วของมอเตอร์เซอร์โวเทียบจากเวลาที่ใช้ต่อ<sup>o</sup> ในการหมุนค่าหนึ่ง ซึ่งมุมมาตรฐานที่ใช้วัดกันทั่วไปคือ 60 จึงกล่าวได้ว่า ความเร็วของมอเตอร์เซอร์โวขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการหมุนแกนของมอเตอร์เซอร์โวไปจากตำแหน่งเดิมเป็นมุม 60 ดังนั้น ตัวเลขเวลาที่มีค่าน้อยเท่าใดมอเตอร์เซอร์โวยังมีความเร็วมากขึ้นเท่านั้น



## 2.4.2 ประเภทของมอเตอร์เซอร์โว

มอเตอร์เซอร์โวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ แบบดิจิตอล (Digital servo) และแบบแอนะล็อก (Analog servo)

- 1) มอเตอร์เซอร์โวแบบแอนะล็อก มีลักษณะและส่วนประกอบดังรูปที่ 2.21

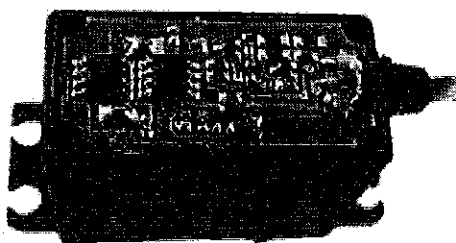


รูปที่ 2.21 โครงสร้างของมอเตอร์เซอร์โวแบบแอนะล็อก [9]

ความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์แบบแอนะล็อกถูกกำหนดด้วยความกว้างของพัลส์แรงดันขนาด 4.8-6.0 V ความถี่ 50 Hz ซึ่งควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งการปรับความกว้างของพัลส์จะเกิดขึ้นทุก ๆ 20 ms ซึ่งอาจไม่สามารถตอบสนองต่อสัญญาณได้เร็วพอหรือสร้างแรงบิดได้ดีพอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณควบคุมเพียงเล็กน้อยหรือเมื่อมีแรงจากภายนอกมากจะทำให้ตำแหน่งของมอเตอร์เซอร์โวเลื่อนไปจากตำแหน่งที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามความเร็วในการตอบสนองดังกล่าวไม่เป็นปัญหาต่อการควบคุม

- 2) มอเตอร์เซอร์โวแบบดิจิตอล (Digital RC servo operation)

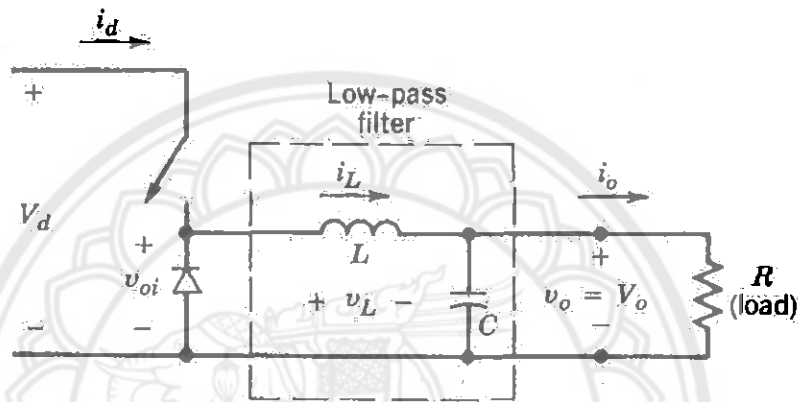
ลักษณะและส่วนประกอบของมอเตอร์เซอร์โวแบบดิจิตอลแสดงดังรูปที่ 2.22 พัลส์แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์เซอร์โวแบบดิจิตอลมีความถี่ในการปรับสัญญาณสูงถึง 300 Hz ทำให้การตอบสนองด้านความเร็วของมอเตอร์ดีขึ้น มีแรงบิดคงที่ และมีอัตราเร่งที่ราบเรียบขึ้น [9]



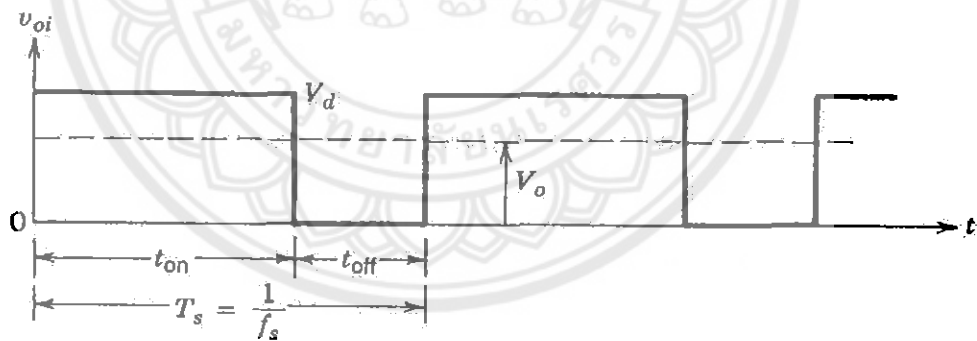
รูปที่ 2.22 โครงสร้างมอเตอร์เซอร์โวแบบดิจิตอล [9]

## 2.5 วงจรทอนระดับแรงดัน

วงจรทอนระดับแรงดัน (Step-down converter หรือ Buck converter) มีหน้าที่สร้างแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าแรงดันอินพุต นิยมใช้ในแหล่งจ่ายกระแสตรงและการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง แผนภาพวงจรทอนระดับแรงดันซึ่งมีโหลดเป็นตัวต้านทานแสดงได้ดังรูปที่ 2.23 แรงดันเอาต์พุตถูกกรองสัญญาณ (ทำให้เรียบ) ด้วยวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำสมมติให้สวิตช์มีคุณสมบัติในอุดมคติ และแรงดันอินพุตมีค่าคงที่ ถ้าไม่มีวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำแรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับแรงดันตกคร่อมไดโอด  $v_{oi}$  ซึ่งมีรูปคลื่นสัญญาณเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งหน้าสัมผัสของสวิตช์ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.23 แผนภาพวงจรทอนระดับแรงดัน [5]



รูปที่ 2.24 รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อไม่มีวงจรกรอง [5]

ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุอย่างละหนึ่งตัวสามารถลดการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของสัญญาณเอาต์พุตได้โดยกำจัดส่วนประกอบฮาร์มอนิกที่ปนอยู่ในสัญญาณ  $v_{oi}$  โดยมีเป้าหมายคือให้เหลือเฉพาะส่วนประกอบกระแสตรงหรือค่าเฉลี่ยของ  $v_{oi}$  (นั่นคือ  $V_o$ ) ไปสู่โหลด เราคำนวณค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตในรูปของคิวดี้ไซเคิลได้ดังนี้

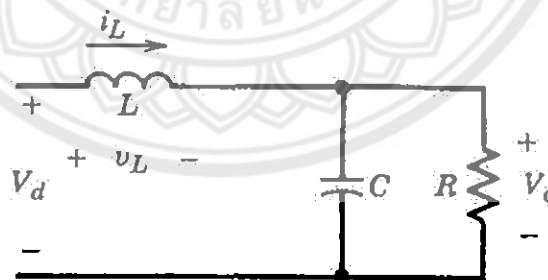
$$V_o = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_{oi} dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{t_{on}} V_d dt = \frac{t_{on}}{T_s} V_d = DV_d \quad (2.7)$$

- โดยที่  $V_o$  คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุต (V)  
 $V_d$  คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันอินพุต (V)  
 $D$  คือ ค่าดิวตี้ไซเคิล  
 $t_{on}$  คือ ระยะเวลาที่สวิตช์นำกระแสใน 1 คาบสวิตซิง (s)  
 $T_s$  คือ คาบสวิตซิง (s) =  $1/f_s$   
 $f_s$  คือ ความถี่สวิตซิง (Hz)

จะเห็นว่า การปรับเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลของสวิตช์จะทำให้เราสามารถควบคุม  $V_o$  ได้

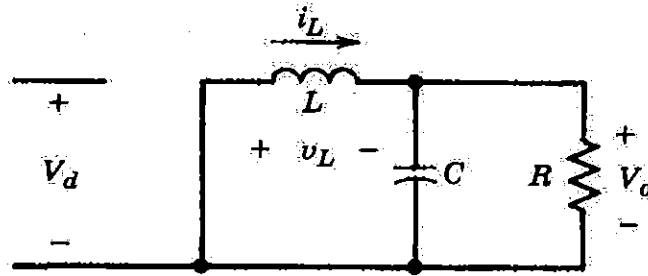
สำหรับการวิเคราะห์การทำงานในสถานะอยู่ตัวของวงจรทอนระดับแรงดัน เราสมมติให้ตัวเก็บประจุมีค่าสูง ซึ่งสอดคล้องกับการใช้งานจริงที่ต้องการให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเกือบคงที่ และพิจารณาการทำงานของวงจรในแบบวิธีการนำกระแสต่อเนื่อง (Continuous conduction mode: CCM) นั่นคือไม่มีช่วงใดที่กระแสของตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ ( $i_L > 0$ )

การทำงานของวงจรทอนระดับแรงดันในขณะที่สวิตช์นำกระแสแสดงได้ด้วยวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.25 เมื่อสวิตช์นำกระแสในช่วงระยะเวลา  $t_{on}$  ไดโอดได้รับไบแอสย้อน ส่งผลให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นบวก ทำให้กระแสของตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น จึงเกิดการสะสมพลังงานในตัวเหนี่ยวนำ ในช่วงนี้แหล่งกำเนิดจ่ายพลังงานให้กับตัวเหนี่ยวนำและโหลด



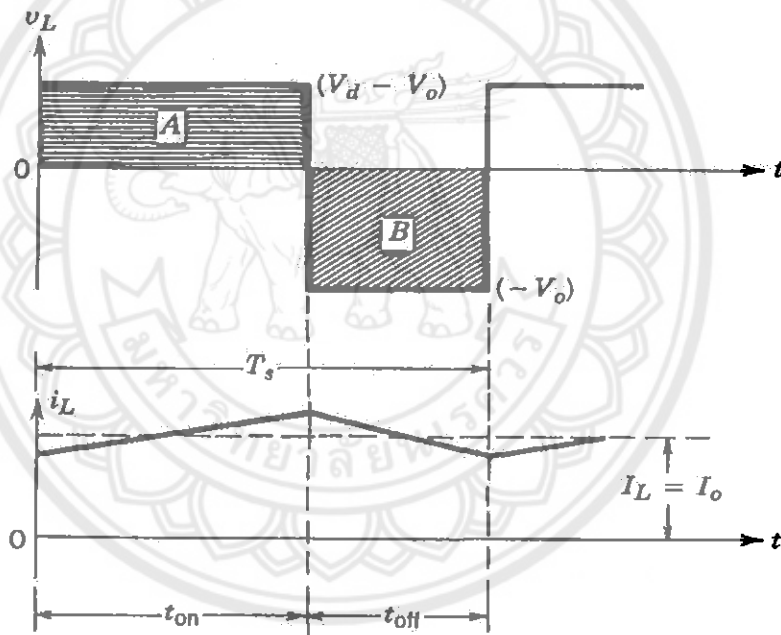
รูปที่ 2.25 วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์ปิด [5]

การทำงานของวงจรทอนระดับแรงดันในขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแสแสดงได้ด้วยวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 วงจรสมมูลของวงจรทอนระดับแรงดันเมื่อสวิตช์เปิด [5]

ในขณะที่สวิตช์หยุดนำกระแสเป็นระยะเวลา  $t_{off}$  พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำจะทำให้ไดโอดนำกระแส (ทำหน้าที่เป็นไดโอดฟรีวิลลิ่ง) กระแสของตัวเหนี่ยวนำจึงยังคงไหลต่อเนื่องโดยไหลผ่านไดโอดเพื่อส่งผ่านพลังงานไปยังโหลด ในช่วงนี้แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นลบ กระแสของตัวเหนี่ยวนำมีค่าลดลงแบบเชิงเส้นดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แรงดันและกระแสของตัวเหนี่ยวนำในวงจรทอนระดับแรงดันในสถานะอยู่ตัว [5]

ในสถานะอยู่ตัว ค่าเฉลี่ยของแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำต้องเป็นศูนย์

$$\int_0^{T_s} v_L dt = \int_0^{t_{on}} v_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} v_L dt = 0$$

$$(V_d - V_o)t_{on} = V_o(T_s - t_{on})$$

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{t_{on}}{T_s} = D$$

(2.8)

ถ้าไม่พิจารณากำลังสูญเสียในตัวแปลงผันฯ จะได้กำลังอินพุต ( $P_{in}$ ) มีค่าเท่ากับกำลังเอาต์พุต ( $P_{out}$ )

$$\begin{aligned} P_{in} &= P_{out} \\ V_d I_d &= V_o I_o \\ \frac{V_o}{V_d} &= \frac{I_d}{I_o} = D \end{aligned} \quad (2.9)$$

โดยที่  $I_o$  คือ ค่าเฉลี่ยของกระแสเอาต์พุต (A)  
 $I_d$  คือ ค่าเฉลี่ยของกระแสอินพุต (A)

จะพบว่าค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตมีค่าต่ำกว่าแรงดันอินพุต วงจรทอนระดับแรงดันจึงทำตัวเสมือนเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC transformer) โดยปรับคิวดัตช์ไจเกิล ( $0 \leq D \leq 1$ )

ในวงจรทอนระดับแรงดัน ค่าเฉลี่ยของกระแสของตัวเหนี่ยวนำ  $I_L$  มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของกระแสเอาต์พุต  $I_o$  เพราะค่าเฉลี่ยของกระแสของตัวเก็บประจุในสถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์ ค่าประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดันหาได้จากสมการที่ (2.10)

$$\eta = \frac{P_o}{P_d} = \frac{V_o I_o}{V_d I_d} \quad (2.10)$$

ความพลัวของแรงดันเอาต์พุต (Output voltage ripple) แสดงดังรูปที่ 2.28 และคำนวณได้โดยพิจารณาให้ส่วนความพลัวของ  $i_L$  ไหลผ่านตัวเก็บประจุ และค่าเฉลี่ยของ  $i_L$  ไหลไปที่โหลด

ในรูปที่ 2.28 เราสามารถประมาณค่ายอดถึงยอด (Peak-to-peak value) ของความพลัวของแรงดันเอาต์พุต ( $\Delta V_o$ ) ได้จาก

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C} \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta I_L}{2} \cdot \frac{T_s}{2} \right)$$

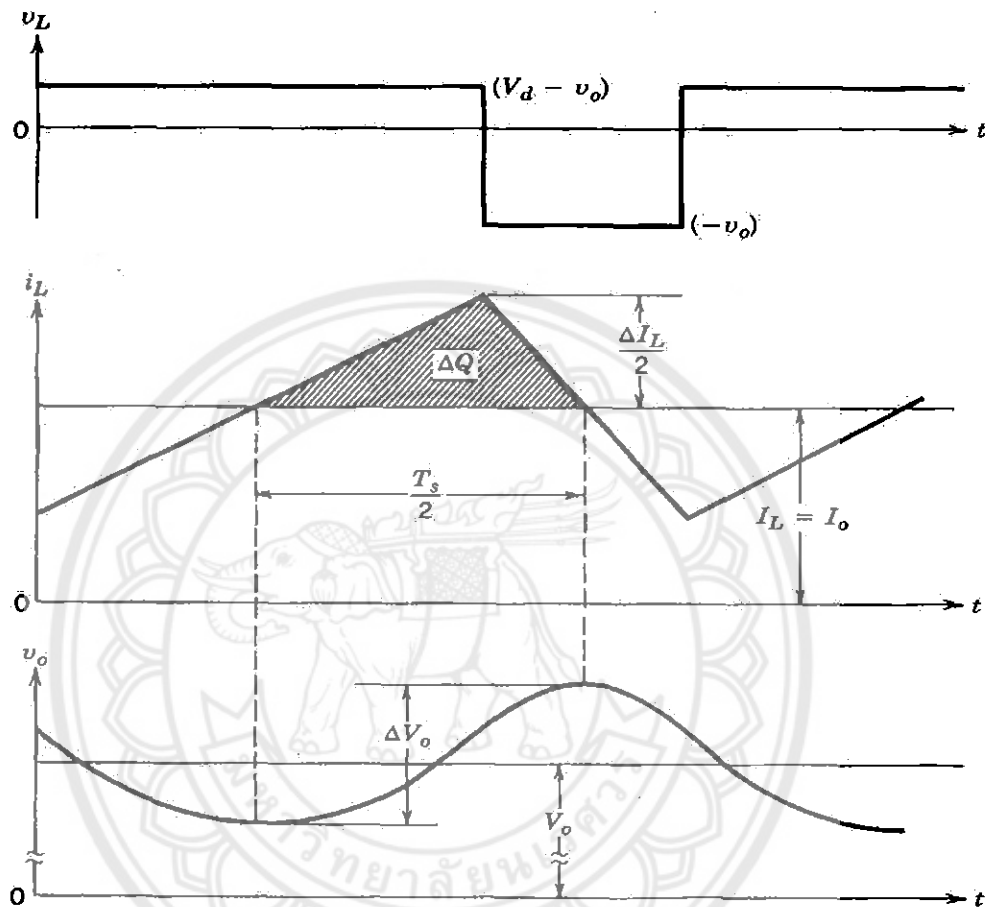
พิจารณาช่วง  $t_{off}$

$$\Delta I_L = \frac{V_o}{L} (1-D) T_s$$

แทนค่า  $\Delta I_L$  ใน  $\Delta V_o$  จะได้

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1}{8} \frac{(1-D) T_s^2}{LC} = \frac{1}{8} \frac{(1-D)}{LC f_s^2} \quad (2.11)$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าที่ค่าตัวที่ใช้เกิลค่าหนึ่ง ๆ ความพลีวของแรงดันเอาต์พุตมีค่าแปรผกผันกับค่าความเหนี่ยวนำ  $L$  และค่าความจุ  $C$  และแปรผกผันกับความถี่สวิตซิงยกกำลังสอง นั่นคือเราสามารถลดความต้องการในการกรองสัญญาณแรงดันเอาต์พุตได้โดยเพิ่มความถี่สวิตซิง อย่างไรก็ตามผลที่ตามมาคือกำลังสูญเสียในสวิตช์จะเพิ่มขึ้น [5]



รูปที่ 2.28 ความพลีวของแรงดันเอาต์พุตในวงจรทอนระดับแรงดัน [5]

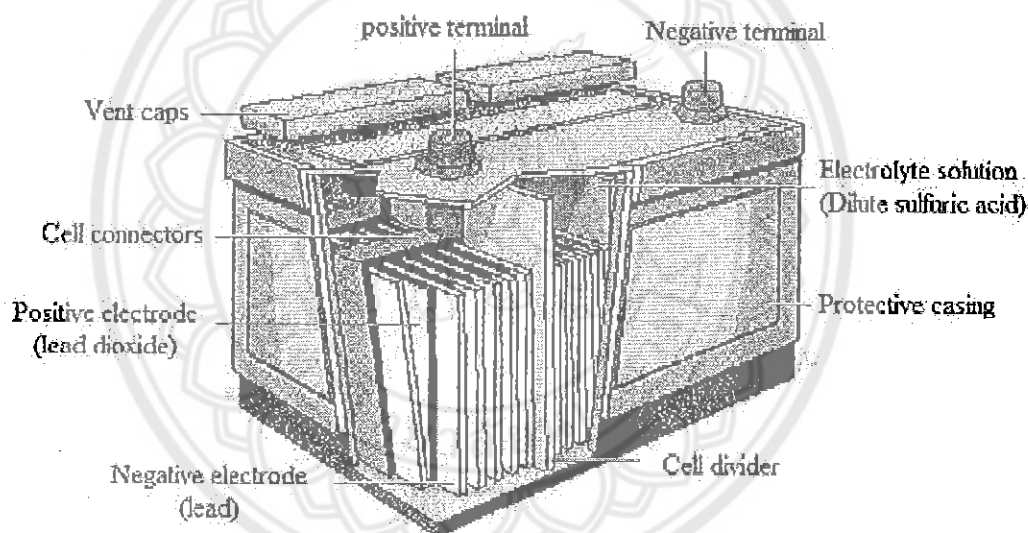
## 2.6 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บประจุไฟฟ้าที่สามารถจ่ายให้กลับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ สำหรับในโครงการนี้แบตเตอรี่จะเป็นแหล่งพลังงานหลักในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ส่วนต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ แบตเตอรี่ที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิดด้วยกัน

### 2.6.1 แบตเตอรี่แบบตะกั่ว

แบตเตอรี่ที่ใช้กับยานพาหนะส่วนบุคคลเดินทางระยะสั้นเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วชนิดแห้ง มีข้อดีคือน้ำหนักเบา บำรุงรักษาง่าย ขนาดไม่ใหญ่มาก และอายุการใช้งานนาน

ส่วนประกอบของแบตเตอรี่แบบตะกั่วมีส่วนต่าง ๆ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.29 ซึ่งประกอบด้วยแผ่นธาตุ (Plates) ในแบตเตอรี่มี 2 ชนิดคือแผ่นบวกและแผ่นลบ แผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วออกไซด์ ( $PbO_2$ ) และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว (Pb) วางเรียงสลับกันจนเต็มในแต่ละเซลล์แล้วกันไม่ให้แตะกันด้วยแผ่นกั้น (Separators) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ธาตุบวกและธาตุลบแตะกัน เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น ซึ่งแผ่นกั้นนี้มีลักษณะเป็นรูพรุนเพื่อให้น้ำกรดหรือน้ำหรือน้ำยาลีเล็กโตรไลต์ (Electrolyte) ไหลถ่ายเทไปมาได้และมีขนาดความกว้างยาวเท่ากับแผ่นธาตุบวกและแผ่นลบน้ำยาลีเล็กโตรไลต์ในแบตเตอรี่เป็นน้ำกรดกำมะถันเจือจางประกอบด้วยกรดกำมะถัน ( $H_2SO_4$ ) ประมาณ 38% ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดมีค่า 1.26-1.28 ที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}C$



รูปที่ 2.29 โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว [10]

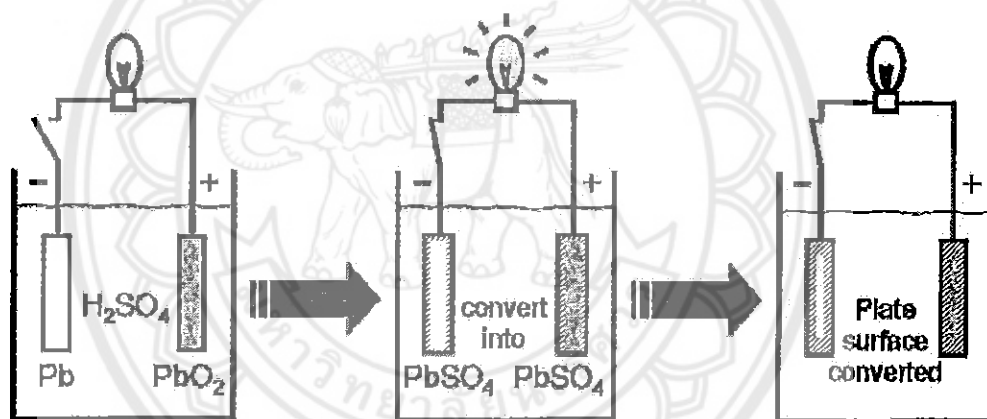
เซลล์ (Cell) ในแบตเตอรี่คือช่องที่บรรจุแผ่นธาตุบวกและธาตุลบซึ่งวางสลับกันและกันด้วยแผ่นกั้นแล้วจุ่มลงในน้ำกรด โดยทั่วไปแบตเตอรี่จะสร้างให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 V ต่อเซลล์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละลูกจึงขึ้นอยู่กับจำนวนเซลล์ในแบตเตอรี่นั้น ๆ เช่น แบตเตอรี่ที่มี 6 เซลล์จะให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 12 V [10]

ความจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว (Battery capacity) มีหน่วยคือ “แอมแปร์-ชั่วโมง” (Ah) หรือ “วัตต์-ชั่วโมง” (Wh) ซึ่งบ่งบอกถึงพลังงานที่แบตเตอรี่จ่ายได้ เราสามารถคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่ได้ด้วยการคายประจุของแบตเตอรี่ความจุที่ใช้งานได้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางโครงสร้าง

ซึ่งเชื่อมโยงกับการออกแบบแบตเตอรี่ ได้แก่ ปริมาณของตะกั่ว ตะกั่วออกไซด์ น้ำกรดความหนาของแผ่นโลหะ และผิวสัมผัสของโลหะ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน ได้แก่ อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นความจุของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีสูงขึ้น แต่จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ค่าพลังงานสูงสุดที่แบตเตอรี่จ่ายได้ ณ ค่ากระแส และอุณหภูมิค่าหนึ่งที่กำหนดโดยผู้ผลิต เรียกว่า พิกัดความจุ (Rated capacity หรือ Nominal capacity) ของแบตเตอรี่

#### 2.4.2 ปฏิกิริยาทางเคมีในแบตเตอรี่แบบตะกั่ว

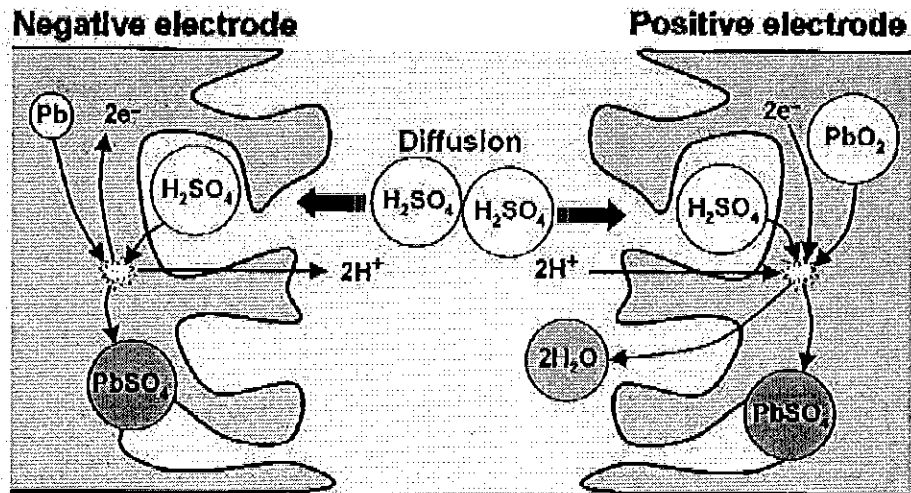
เราสามารถอธิบายปฏิกิริยาเคมีแบตเตอรี่แบบตะกั่วได้ดังรูปที่ 2.30 กำหนดให้แบตเตอรี่มีประจุเต็ม (Fully charged condition) ก่อนต่อโหลด เนื้อสารที่ขั้วลบจะเป็นตะกั่วส่วนขั้วบวกเป็นตะกั่วออกไซด์ หลังจากนั้นนำโหลดมาต่อ แบตเตอรี่จะเริ่มคายประจุโดยเนื้อสารที่ขั้วลบและขั้วบวกจะทำปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์จนกลายเป็นตะกั่วซัลเฟต การคายประจุของแบตเตอรี่จะสิ้นสุดลงเมื่อเนื้อสารทั้งขั้วลบและขั้วบวกกลายเป็นตะกั่วซัลเฟตทั้งหมด



รูปที่ 2.30 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่เมื่อคายประจุ [10]

ในระหว่างที่แบตเตอรี่กำลังคายประจุจะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.31 จึงเกิดกระแสไหลผ่านโหลด ซึ่งค่ากระแสที่แบตเตอรี่จ่ายได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวเนื้อสารกับน้ำกรด





รูปที่ 2.31 การคายประจุของแบตเตอรี่ [10]

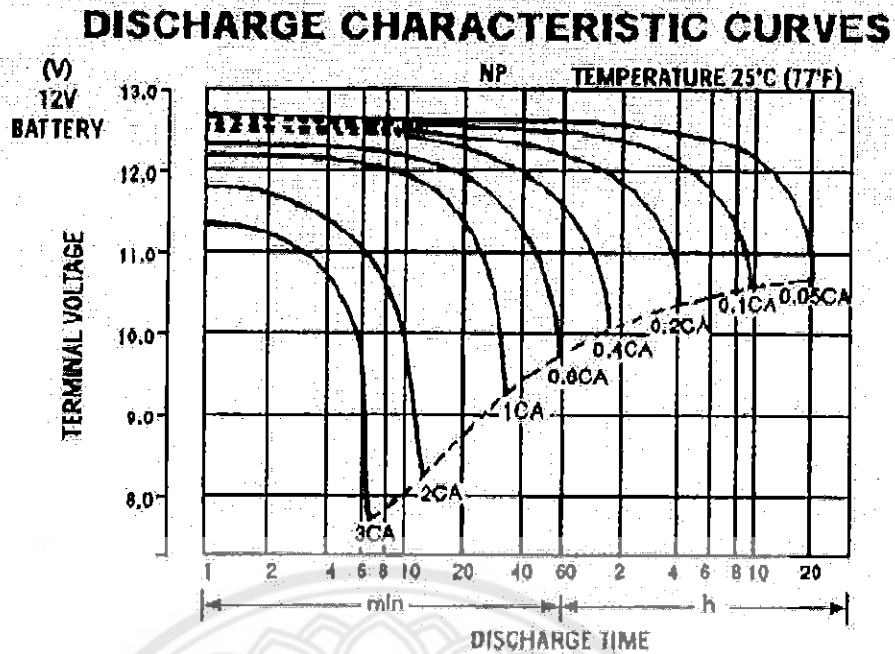
การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่เป็นปฏิกิริยาชนิดย้อนกลับได้ (Reversible reaction) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการเคมีต่อไปนี้



#### 2.4.3 กราฟคุณลักษณะการคายประจุ

จุดสิ้นสุดของการคายประจุ (End of discharge) คือระดับแรงดันที่เราขอมให้แบตเตอรี่คายประจุได้ก่อนสิ้นสุดกระบวนการคายประจุ จุดสิ้นสุดของการคายประจุขึ้นอยู่กับค่ากระแสคายประจุ ถูกกำหนดโดยผู้ผลิตดังตัวอย่างในรูปที่ 2.32 กราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว NP4-12 ซึ่งค่าพิคัดความจุมีค่า 4 Ah ที่กระแส 0.2 A (0.05C) อุณหภูมิ 25°C และจุดสิ้นสุดการคายประจุที่ 10.7 V จะเห็นว่าถ้าแบตเตอรี่คายประจุที่กระแสสูงกว่า 0.2 A จุดสิ้นสุดการคายประจุจะต่ำกว่าเนื่องจากยังมีเนื้อสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำกรดต่อได้อีก แต่ค่าความจุที่ใช้งาน ได้จะลดลงจากค่าพิคัด

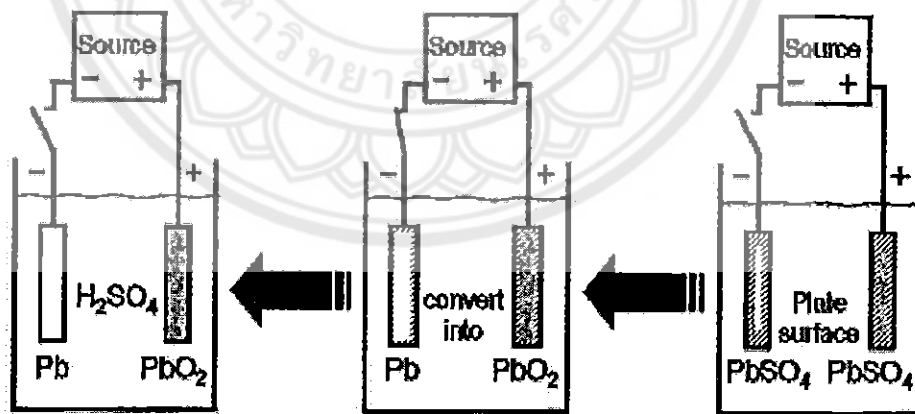
การคายประจุต่ำกว่าจุดสิ้นสุดของการคายประจุ (Deep discharge) จำทำให้แบตเตอรี่ทำงานหนักเกินไป หากเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ต้องรีบอัดประจุคืนให้เต็ม มิฉะนั้นจะเหลือผลึกตะกั่วซัลเฟตที่ขี้ววกและขี้วลบ หากปล่อยไว้นานผลึกเหล่านี้จะโตขึ้นจนยากต่อการเปลี่ยนกลับคืนเป็นตะกั่วและตะกั่วออกไซด์ได้อีก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “การเกิดซัลเฟชัน” (Sulphation) ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่นั้นสั้นลงเนื่องจากสูญเสียเนื้อสารที่จะทำปฏิกิริยา ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องมีการป้องกันการคายประจุลึกกว่าจุดสิ้นสุดการคายประจุ (Deep discharge protection) โดยวิธีง่ายและเป็นที่ยอมรับคือการวัดค่ากระแสตรวจสอบแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ตลอดเวลา



รูปที่ 2.32 กราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ NP4-12 [10]

#### 2.4.4 การอัดประจุ

จากสมการที่ (2.12) การคายประจุสามารถอธิบายได้โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากซัลไฟไปขาว ส่วนการอัดประจุแบตเตอรี่จะอธิบายได้โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในสมการจากขาว [11] ดังแสดงในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่เมื่ออัดประจุ [10]

ในการอัดประจุแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้แรงดันของแหล่งจ่ายสูงกว่า เช่น ประมาณ 14.4 V สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 12 V เมื่ออัดประจุแรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งจะทำให้ น้ำในน้ำกรดแตกตัวเป็นก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วลบและก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวก ถ้าอัดประจุนานเกินไป

จะทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในแบตเตอรี่ลดลงนอกจากนี้การอัดประจุด้วยกระแสที่สูงยังทำให้เกิดความเครียดในเนื้อสาร ซึ่งทำให้การเกาะตัวของโมเลกุลในเนื้อสารแย่งจนส่งผลให้เนื้อสารบางส่วนหลุดออกจากขั้ว จึงสูญเสียความจุที่ใช้ได้ของแบตเตอรี่ดังนั้นในระหว่างการอัดประจุจึงจำเป็นต้องมีการจำกัดแรงดันและกระแส เช่น การอัดประจุด้วยกระแสไม่เกิน 1 A และใช้แรงดันในการอัดประจุประมาณ 2.3-2.4 V/cell หรือ 14.4 V (สำหรับแบตเตอรี่ 12 V) ที่อุณหภูมิ 20°C



### บทที่ 3

## การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์กวาดพื้น

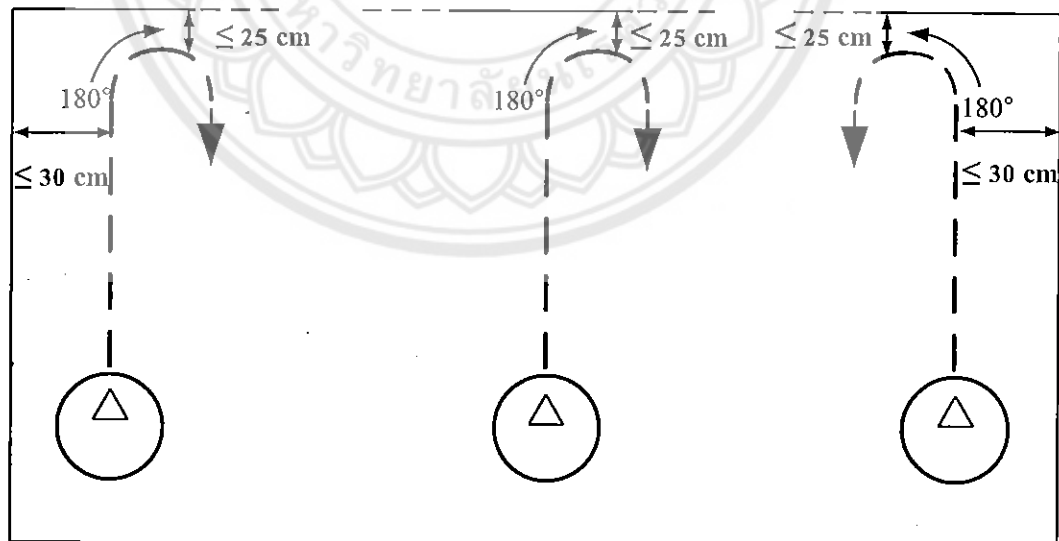
หลังจากศึกษาเกี่ยวกับหลักการต่าง ๆ และรายละเอียดเกี่ยวกับส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์กวาดพื้นแบบใช้ร่วมกับตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงแล้วจึงได้ทำการออกแบบการเคลื่อนที่และการตรวจวัดระยะห่างของหุ่นยนต์เพื่อเลี่ยงการชนสิ่งกีดขวางและการตกจากพื้นต่างระดับรวมทั้งประกอบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ วงจรสร้างไฟเลี้ยง และวงจรวัดระดับแรงดันของแบตเตอรี่ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนประมวลผล

### 3.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กวาดพื้น

การทำงานพื้นฐานของหุ่นยนต์กวาดพื้นถูกออกแบบให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้าพร้อมกับหมุนแปรงกวาด และหุ่นยนต์สามารถหลีกเลี่ยงการชนสิ่งกีดขวางรวมทั้งการตกจากพื้นต่างระดับได้อัตโนมัติโดยการเคลื่อนที่แบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ

#### 3.1.1 การเคลื่อนที่หลังตรวจพบสิ่งกีดขวางด้านหน้า

ในขณะที่หุ่นยนต์กำลังเคลื่อนไปข้างหน้า เมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวางไม่ว่าจะเป็นสิ่งของหรือผนังห้อง การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.1



(ก) ระยะห่างด้านซ้ายน้อยกว่า 30 cm

(ข) ระยะห่างด้านซ้ายและขวามากกว่า 30 cm

(ค) ระยะห่างด้านขวาน้อยกว่า 30 cm

รูปที่ 3.1 รูปแบบการเคลื่อนที่หลังพบสิ่งกีดขวางด้านหน้า

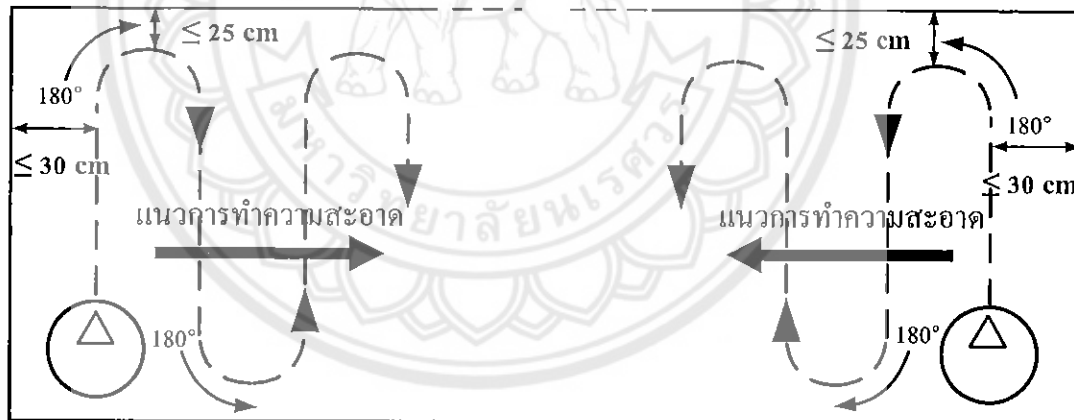
จากรูปที่ 3.1 ในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงจะทำงานอยู่ตลอดเวลาเพื่อตรวจวัดระยะห่างของสิ่งกีดขวางจากตัวหุ่นยนต์ เมื่ออยู่ในระยะที่กำหนดไว้คือ 25 cm หุ่นยนต์จะหยุดการเคลื่อนที่และทำการตรวจวัดระยะด้านข้างเพื่อตัดสินใจเลือกรูปแบบการเคลื่อนที่ต่อไปซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ

ก) ถ้าระยะห่างของสิ่งกีดขวางด้านซ้ายน้อยกว่า 30 cm กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนขวา 180° แล้วเดินหน้าต่อไป

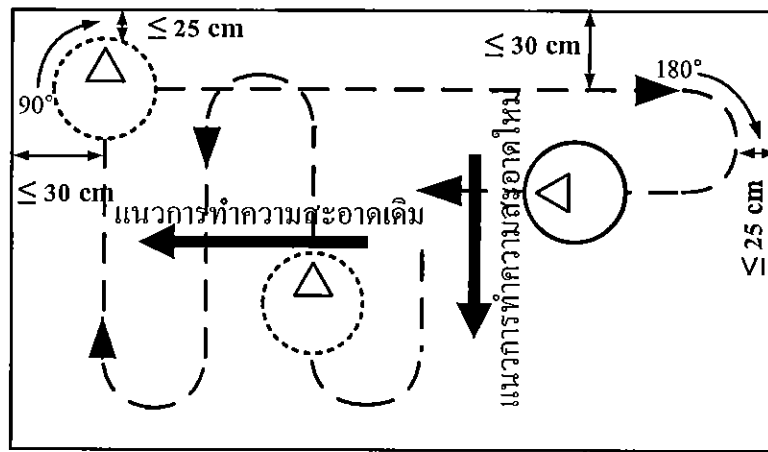
ข) ถ้าระยะห่างของสิ่งกีดขวางทั้งด้านขวาและซ้ายมากกว่า 30 cm หุ่นยนต์หมุนขวา 180° แล้วเดินหน้าต่อไป

ค) ถ้าระยะห่างของสิ่งกีดขวางด้านขวาน้อยกว่า 30 cm หุ่นยนต์หมุนซ้าย 180° แล้วเดินหน้าต่อไป

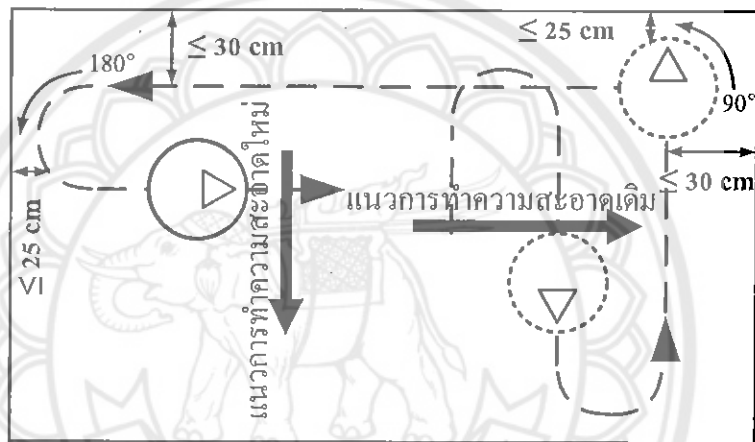
ในลำดับถัดมาดังรูปที่ 3.2 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะมีการสลับในการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา 180° ไปตามแนวของห้อง โดยจะต้องอยู่ในเงื่อนไขที่ว่าเมื่อพบสิ่งกีดขวางด้านหน้าแล้วทำการตรวจสอบระยะด้านข้างต้องมีค่ามากกว่า 30 cm เพื่อเป็นการตรวจสอบให้มั่นใจว่าหุ่นยนต์ยังไม่ถึงตำแหน่งที่มุมห้อง



รูปที่ 3.2 รูปแบบการเคลื่อนที่ต่อเนื่องหลังพบสิ่งกีดขวางด้านหน้า



รูปที่ 3.3 รูปแบบการเปลี่ยนแนวการทำความสะอาดหลังพบสิ่งกีดขวางด้านซ้าย



รูปที่ 3.4 รูปแบบการเปลี่ยนแนวการทำความสะอาดหลังพบสิ่งกีดขวางด้านขวา

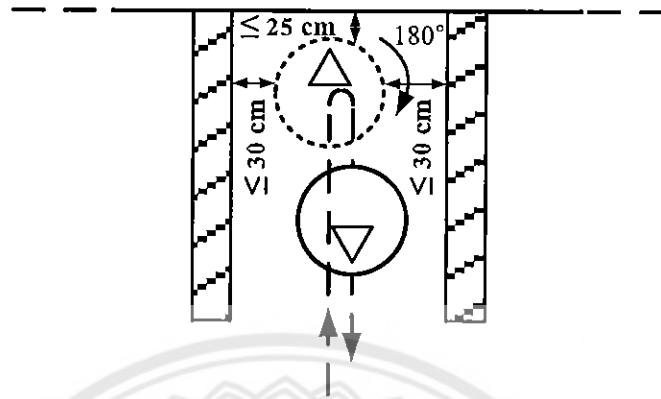
จากรูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4 เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่มาถึงมุมห้อง โดยตรวจสอบได้จาก ระยะด้านข้างที่หุ่นยนต์สามารถตรวจวัดได้หลังจากเจอสิ่งกีดขวางด้านหน้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

- 1) ระยะด้านขวาน้อยกว่า 30 cm หุ่นยนต์จะทำการเลี้ยวซ้าย  $90^\circ$  แล้วเคลื่อนที่ไปด้านหน้าต่อไป
- 2) ระยะด้านซ้ายน้อยกว่า 30 cm หุ่นยนต์จะทำการเลี้ยวขวา  $90^\circ$  แล้วเคลื่อนที่ไปด้านหน้าต่อไป

โดยหุ่นยนต์จะเหมือนเริ่มการทำงานใหม่แต่เปลี่ยนแนวการทำความสะอาดเพื่อให้ได้พื้นที่ในการกวาดพื้นที่ที่สุด

### 3.1.2 การเคลื่อนที่หลังสิ้นสุดช่องทางแคบ

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หลังตรวจพบกรณีสิ้นสุดทางแคบ (ทางตัน) สามารถอธิบายการทำงานได้ดังรูปที่ 3.5

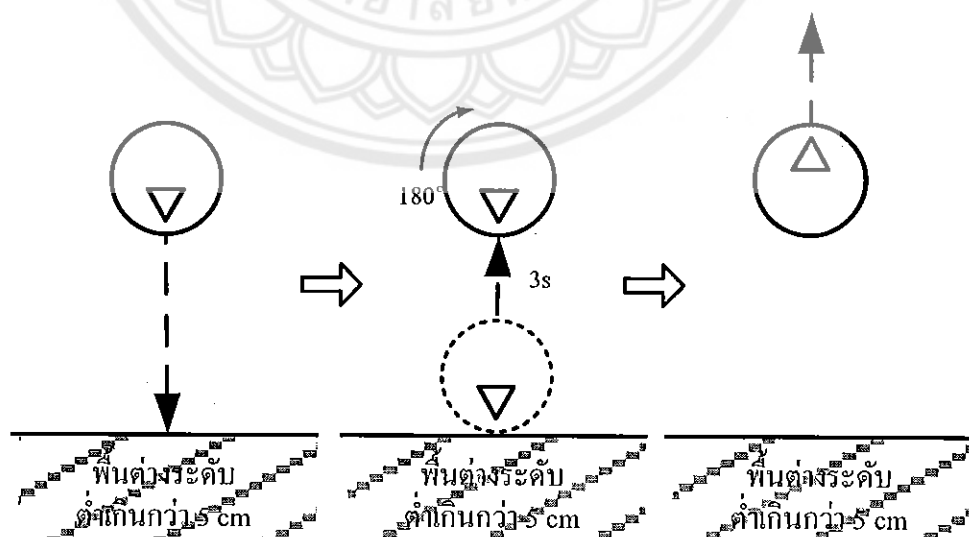


รูปที่ 3.5 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หลังสิ้นสุดช่องทางแคบ

จากรูปที่ เป็นอีกกรณีที่สามารถเกิดขึ้นได้ ในขณะที่หุ่นยนต์กำลังทำงาน โดยสามารถตรวจสอบได้เมื่อเจอส่งกีดขวางด้านหน้าแล้วระยะด้านข้างทั้งสองด้านมีระยะน้อยกว่า 30 cm หุ่นยนต์จะทำการกลับตัวโคจรการหมุน  $180^\circ$  แล้วเคลื่อนที่ไปด้านหน้าทำงานต่อไป

### 3.1.3 การเคลื่อนที่หลังตรวจพบพื้นต่างระดับ

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หลังตรวจพบพื้นต่างระดับสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หลังตรวจพบพื้นต่างระดับ

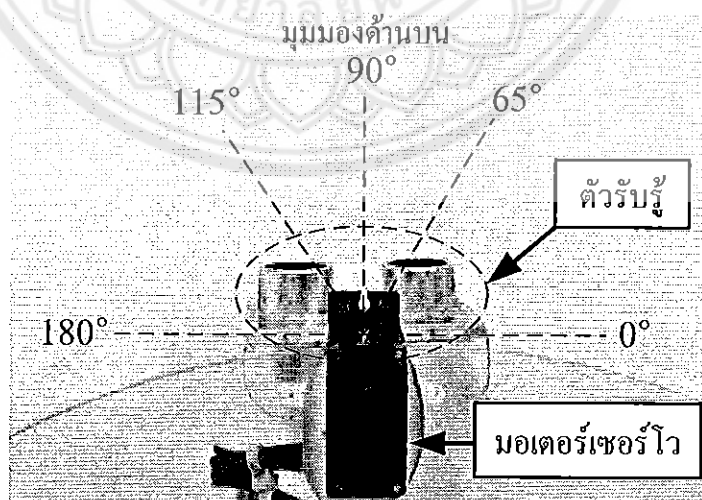
จากรูปที่ 3.6 (มุมมองด้านบน) ในขณะที่หุ่นยนต์กำลังทำงานตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงที่ ทำหน้าที่ตรวจวัดระยะห่างในแนวตั้งจะทำงานอยู่ตลอดเวลาเช่นกันเพื่อหลีกเลี่ยงการตกจากพื้นต่าง ระดับ เมื่อตัวรับรู้ตรวจพบความต่างระดับของพื้นซึ่งกำหนดไว้ที่ 5 cm หุ่นยนต์จะหยุดเคลื่อนที่ และถอยหลังเป็นเวลา 3s แล้วหมุนไปทางด้านขวา  $180^\circ$  หลังจากนั้นจะทำงานต่อไป

### 3.2 การตรวจวัดระยะห่างของสิ่งกีดขวางและพื้นต่างระดับ

ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงมีหน้าที่ในการตรวจวัดระยะระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งของรอบข้าง โดยกำหนดรูปแบบในการตรวจวัดระยะไว้ 2 รูปแบบคือ

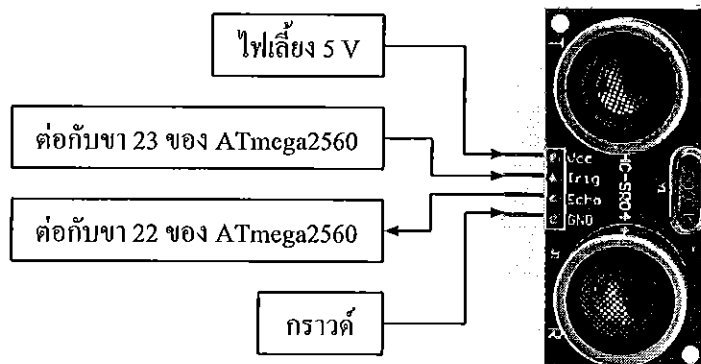
#### 3.2.1 การตรวจวัดระยะห่างในแนวราบ

การตรวจวัดระยะห่างในแนวราบนั้นมีจุดประสงค์เพื่อให้หุ่นยนต์กวาดพื้นสามารถหลบ หลีกสิ่งกีดขวางในขณะที่ทำงาน อีกทั้งยังเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยติดตั้งตัวรับรู้ 1 ตัวไว้ด้านหน้าโดยหันแผงวงจรด้านที่มีตัวรับและตัวส่ง ไปทางด้านหน้า ตัวรับรู้ ทำงานร่วมกับมอเตอร์เซอร์โวซึ่งมีหน้าที่ส่งตัวรับรู้ไปทางด้านขวา (ที่มุม  $65^\circ$ ) และซ้าย (ที่มุม  $115^\circ$ ) สลับกันอย่างต่อเนื่องเพื่อครอบคลุมการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่บริเวณด้านหน้าของหุ่นยนต์ โดยเมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวางในระยะห่างที่กำหนดคือ 25 cm หุ่นยนต์จะหยุดเคลื่อนที่และมอเตอร์ เซอร์โวจะส่งตัวรับรู้ไปทางขวา (ที่มุม  $0^\circ$ ) และซ้าย (ที่มุม  $180^\circ$ ) ตามลำดับดังรูปที่ 3.7 เพื่อ ตัดสินใจในการเคลื่อนที่ลำดับถัดไป ในที่นี้มอเตอร์เซอร์โวรับไฟกระแสตรง 5 V จากวงจรคุมค่า แรงดันที่อยู่บนแผงวงจร ATmega2560 การเชื่อมต่อใช้งานตัวรับรู้ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 การส่งตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงเป็นมุมต่าง ๆ

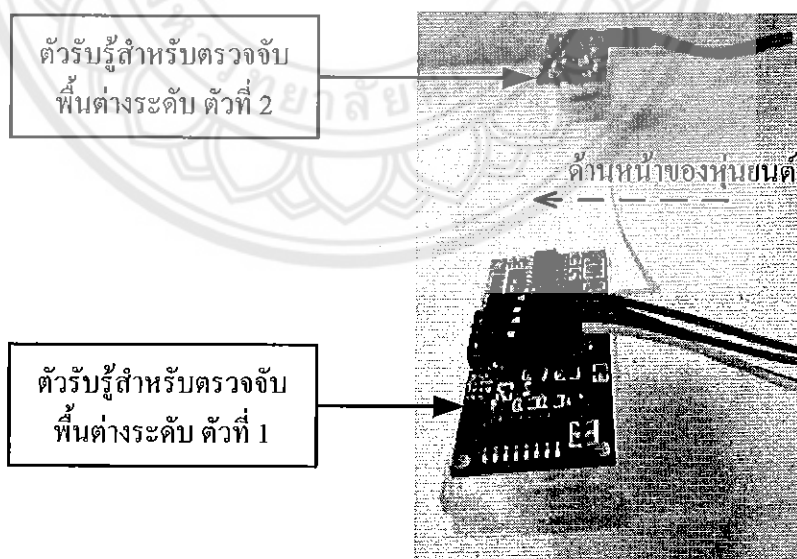




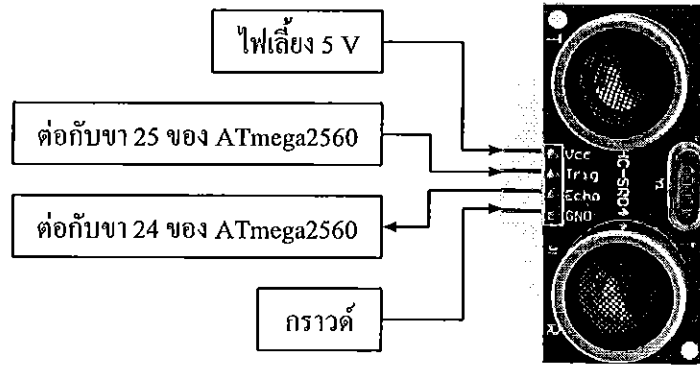
รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงเพื่อตรวจวัดระยะห่างในแนวราบ

### 3.2.2 การตรวจวัดระยะห่างในแนวตั้ง

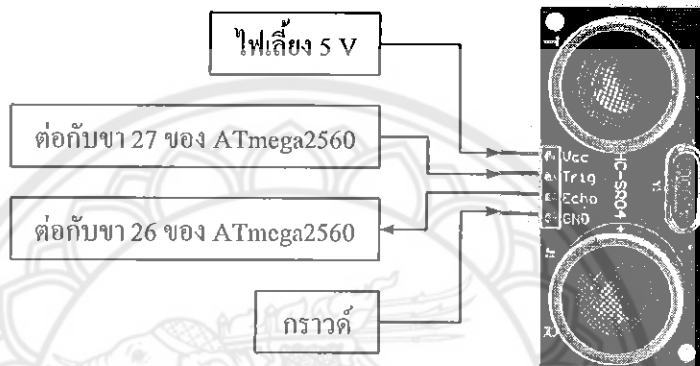
การตรวจวัดระยะห่างในแนวตั้งมีจุดประสงค์เพื่อให้หุ่นยนต์กวาดพื้นสามารถหลีกเลี่ยงการตกลงสู่พื้นต่างระดับในขณะที่ทำงาน โดยติดตั้งตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงไว้ส่วนล่างบริเวณด้านหน้าทั้งฝั่งซ้าย (ตัวที่ 1) และฝั่งขวา (ตัวที่ 2) ของหุ่นยนต์ดังรูปที่ 3.9 เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจเจอพื้นต่างระดับบริเวณด้านหน้าของหุ่นยนต์ให้ครอบคลุมพื้นที่ที่กว้างขึ้น โดยติดตั้งห่างจากล้อเป็นระยะ 8 cm เนื่องจากเป็นระยะหุ่นยนต์สามารถหยุดการเคลื่อนที่ได้ทันเมื่อตรวจเจอความต่างระดับของพื้นที่ความเร็วของหุ่นยนต์ขณะนี้ โดยการทำงานทั้งหมดนี้ถูกประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และการเชื่อมตัวรับรู้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และไฟเลี้ยงแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.9 การติดตั้งตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตรวจวัดในแนวตั้งทั้ง 2 ตัว



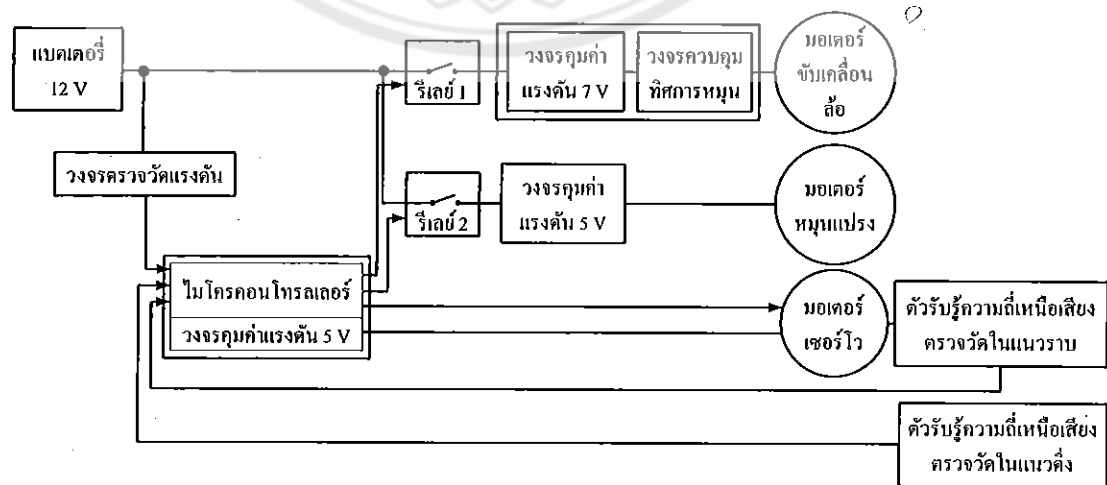
รูปที่ 3.10 การเชื่อมต่อตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงเพื่อตรวจวัดระยะห่างในแนวตั้งตัวที่ 1



รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่อตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงเพื่อตรวจวัดระยะห่างในแนวตั้งตัวที่ 2

### 3.3 ส่วนประกอบและหลักการการทำงานของหุ่นยนต์กวาดพื้น

ส่วนประกอบและหลักการการทำงานของหุ่นยนต์กวาดพื้นแบบใช้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนภาพการทำงานของส่วนต่าง ๆ

หลังจากกดปุ่มเริ่มเดินเครื่องหุ่นยนต์ ถ้าแรงดันของแบตเตอรี่มีค่าไม่ต่ำกว่า 11.5 V ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้รีเลย์ตัวที่ 1 ต่อดวงจรจากแบตเตอรี่เพื่อจ่ายไฟ 7 V ให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อนล้อทั้งสองโดยจ่ายผ่านวงจรคุมค่าแรงดัน (ที่สร้างจากวงจรทอนระดับแรงดัน) และวงจรควบคุมทิศการหมุน และสั่งให้รีเลย์ตัวที่ 2 ต่อดวงจรจากแบตเตอรี่เพื่อจ่ายไฟ 5 V ให้กับมอเตอร์หมุนแปรงกวาดโดยจ่ายผ่านวงจรคุมค่าแรงดัน (ที่สร้างจากไอซี L7805CV)

เมื่อหุ่นยนต์เริ่มทำงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณควบคุมให้มอเตอร์เซอร์โวสายตัวรับรู้เพื่อตรวจสอบระยะห่างของหุ่นยนต์จากสิ่งกีดขวาง โดยตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงทั้งสามตัวจะตรวจวัดระยะห่างตลอดเวลาโดยส่งข้อมูลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าระยะห่างที่วัดได้ออกมาในหน่วย cm เมื่อระยะห่างที่ตัวรับรู้ตรวจวัดได้ที่มีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้หุ่นยนต์เปลี่ยนทิศทางเคลื่อนที่เพื่อเลี่ยงการชนสิ่งกีดขวางหรือการตกสู่พื้นต่างระดับ หลังจากที่แรงดันของแบตเตอรี่ลดต่ำลงถึง 11.5 V ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้รีเลย์ทั้งสองตัวเปิดวงจรเพื่อหยุดการทำงานของหุ่นยนต์

### 3.4 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์และวงจรสร้างไฟเลี้ยง

การทำงานของหุ่นยนต์กวาดพื้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ การขับเคลื่อนมอเตอร์ต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ และการตรวจวัดระยะห่างจากสิ่งกีดขวางและพื้นต่างระดับซึ่งจำเป็นต้องใช้วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์และวงจรสร้างไฟเลี้ยง

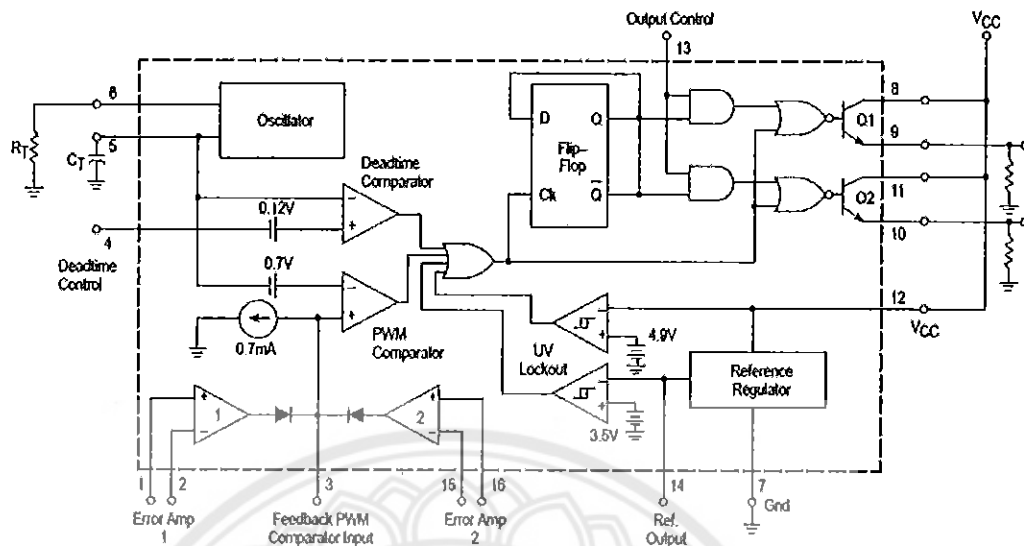
#### 3.4.1 วงจรขับเคลื่อนล้อ

วงจรขับเคลื่อนล้อจะเกิดจากการทำงานร่วมกันของวงจร 2 วงจรคือ

ก) วงจรคุมค่าแรงดันเพื่อหมุนล้อ

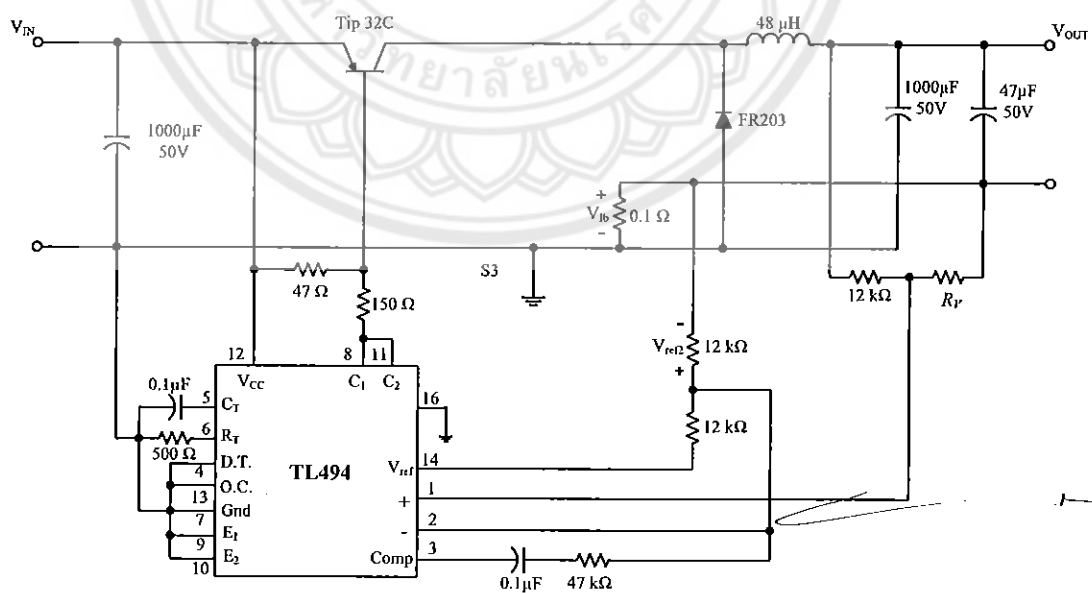
การขับเคลื่อนล้อของหุ่นยนต์ใช้ไฟจากแบตเตอรี่ 12 V โดยลดระดับแรงดันและรักษาให้คงที่ไว้ที่ 7 V เพื่อป้อนให้กับมอเตอร์ ในการสร้างวงจรคุมค่าแรงดันดังกล่าวเราได้เลือกใช้ TL494 ซึ่งสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของ Tip 32C โดยใช้หลักการมอดูเลตความกว้างพัลส์หรือพีดับเบิลยูเอ็ม แผนภาพวงจรภายในของ TL494 ดังแสดงในรูปที่ 3.13 สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มนี้สร้างจากสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อย (Sawtooth waveform) ที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) เปรียบเทียบกับสัญญาณควบคุมที่เกิดจากวงจรรขยายความผิดพลาด (Error amplifier) 2 วงจร เพื่อทำให้ความกว้างของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มเปลี่ยนแปลงได้ ส่งผลให้ค่าวิตซ์ไซเคิลเปลี่ยนแปลงเช่นกัน โดยเราสามารถปรับความถี่ของสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อยได้ด้วยการเลือกค่าของตัวเก็บประจุ  $C_T$  และตัวต้านทาน  $R_T$  ที่ต่อกับขาที่ 5 และ 6 ตามลำดับ นอกจากนี้ TL494 ยังให้แรงดันคงที่

5 V ออกมายังขาที่ 14 ซึ่งใช้เป็นแรงดันอ้างอิงในการควบคุมแรงดันและกระแสอัดประจุ โดย TL494 สามารถรับแรงดันเข้ามาผ่านขาที่ 12 ( $V_{CC}$ ) ในช่วง 7 – 40 V



รูปที่ 3.13 แผนภาพวงจรภายในของจรรวมหมายเลข TL494

วงจรรวมค่าแรงดัน 7 V ที่ออกแบบในโครงการนี้แสดงดังรูปที่ 3.14 ในการควบคุมแรงดันอัดประจุเราได้เลือกใช้วงจรรขยายความผิดพลาดตัวที่ 1 โดยขาที่ 1 รับแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน  $R_V$  เข้ามาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่ขาที่ 2 เพื่อจำกัดแรงดันเอาท์พุทไม่ให้สูงเกินค่าที่ออกแบบไว้



รูปที่ 3.14 แผนภาพวงจรรวมค่าแรงดัน 7 V

การกำหนดแรงดันอัดประจุทำได้โดยเลือกค่าความต้านทานของ  $R_V$  ทั้งหมด 3 ค่า ตามขนาดแรงดันที่ได้ออกแบบไว้ คือ 4.2 V 5 V และ 8.4 V ซึ่งหาได้จากสมการที่ (3.1) โดยค่าแรงดัน  $V_{ref2}$  เท่ากับ 2.5 V ซึ่งเกิดจากการแบ่งแรงดันของตัวต้านทาน 12 k $\Omega$  กับตัวต้านทาน 12 k $\Omega$  ที่ต่อกับขา  $V_{ref}$  (ขาที่ 14) ที่มีค่าแรงดันคงที่ 5 V ดังนั้นแรงดันที่ขาที่ 1 จึงเท่ากับ 2.5 V

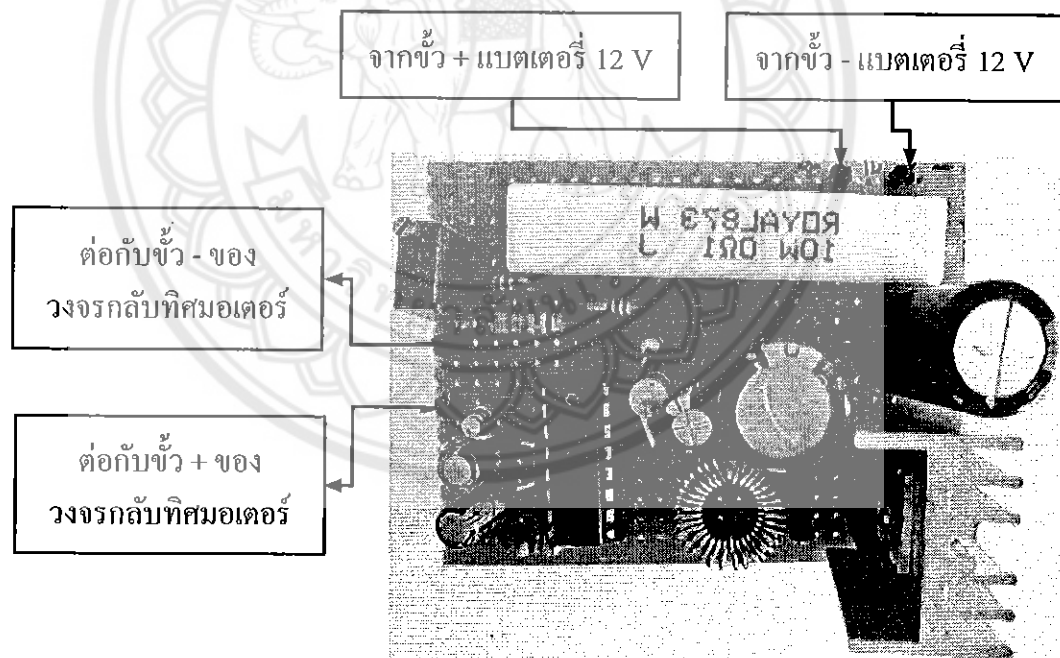
หาค่า  $R_V$  โดยใช้หลักการแบ่งแรงดันของตัวต้านทาน 12 k $\Omega$  กับตัวต้านทาน  $R_V$

$$V_{ref2} = \left( \frac{R_V}{R_V + 12000} \right) \cdot V_{out}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad R_V = \frac{12000 \cdot V_{ref2}}{V_{out} - V_{ref2}} \quad (3.1)$$

โดยที่  $V_{out}$  คือ แรงดันอัดประจุ (V) และ  $V_{ref2}$  คือ แรงดันอ้างอิง (= 2.5 V)

ดังนั้นเมื่อต้องการแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 7 V จึงเลือกใช้ค่าความต้านทาน  $R_V$  เท่ากับ 6.67 k $\Omega$  และวงจรคุมค่าแรงดัน 7 V ที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.15

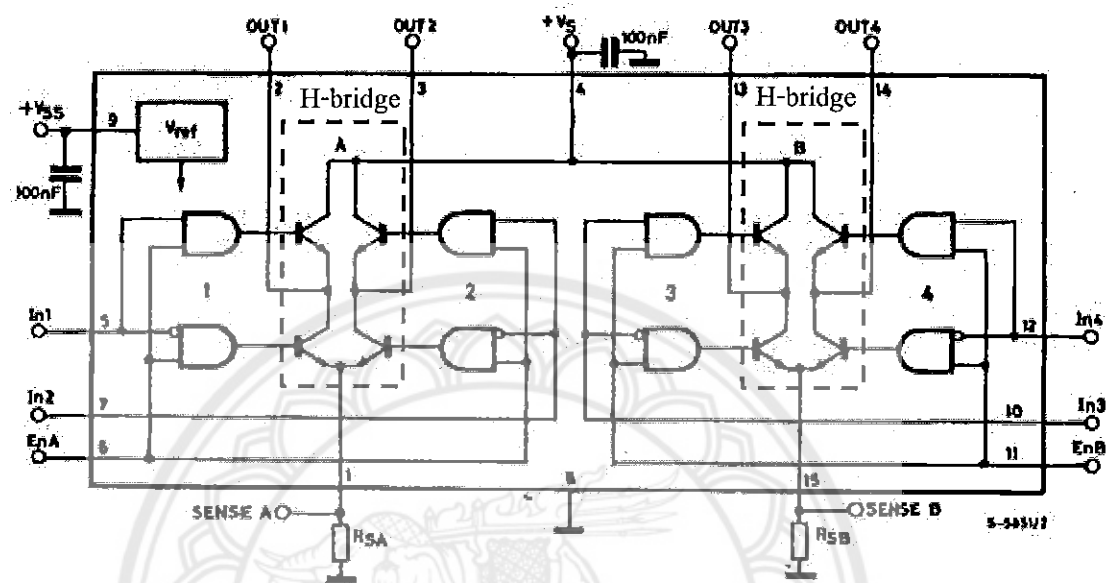


รูปที่ 3.15 วงจรคุมค่าแรงดัน 7 V

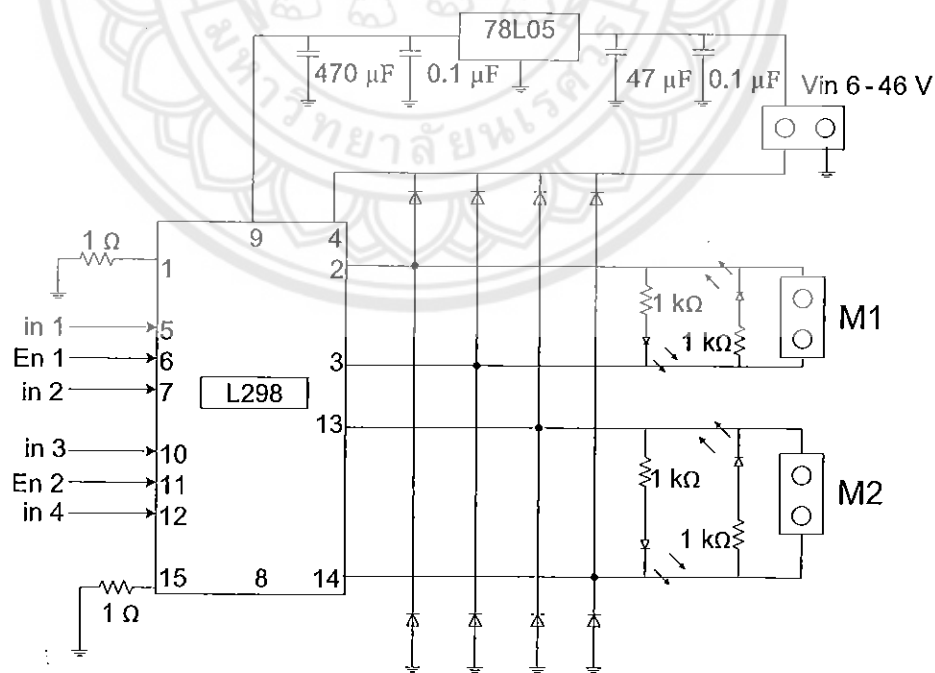
ข) วงจรควบคุมทิศการหมุนของล้อ

วงจรควบคุมทิศการหมุนของล้อที่ใช้ในโครงการนี้รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้วงจรรวมหมายเลข L298 ซึ่งมีโครงสร้างภายในเป็นวงจรเอชบริดจ์ (H-Bridge) ดังรูปที่ 3.16

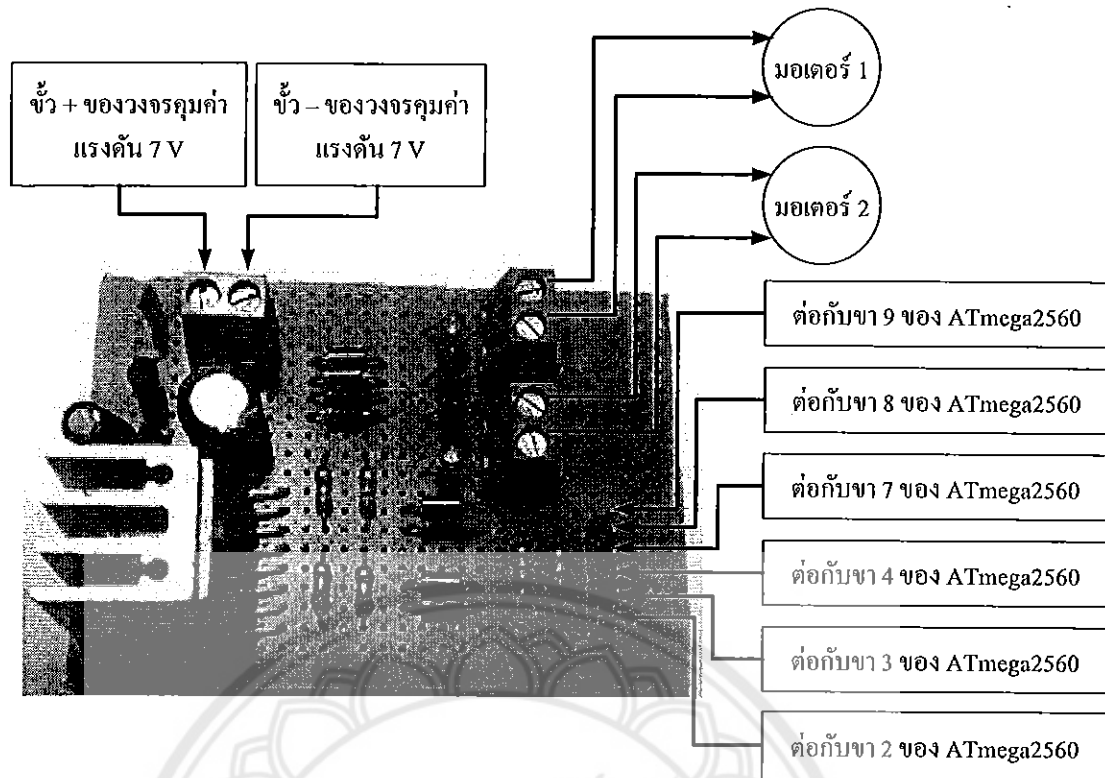
สามารถควบคุมมอเตอร์ได้สองตัว โดยต่อขา OUT1 และ OUT2 เข้ากับมอเตอร์ตัวที่ 1 และต่อขา OUT3 และ OUT4 เข้ากับมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยรับสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์คือ In1 In2 และ EnA เพื่อควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์ตัวที่ 1 และรับ In3 In4 และ EnB เพื่อควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยแผนภาพวงจรควบคุมทิศการหมุนและการต่อใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18 ตามลำดับ



รูปที่ 3.16 วงจรภายในวงจรรวมหมายเลข L298



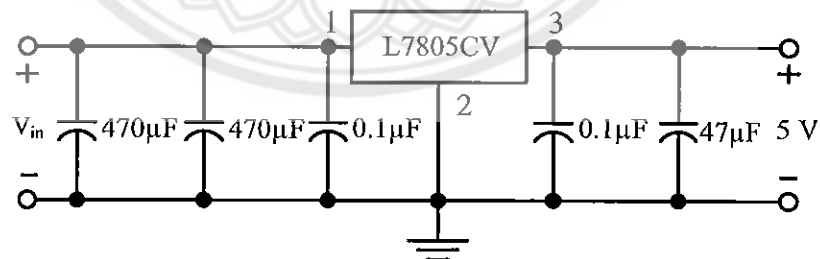
รูปที่ 3.17 แผนภาพการต่อใช้งานวงจรควบคุมทิศการหมุนของล๊อ



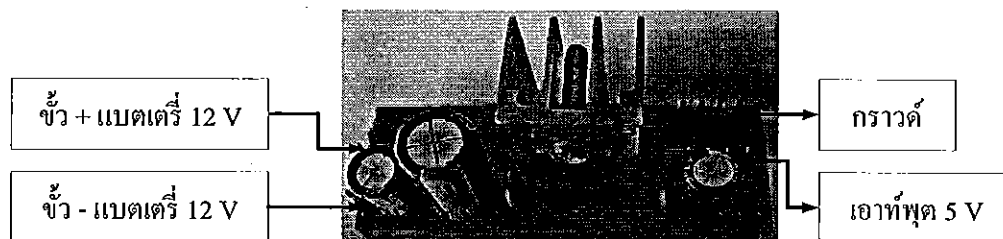
รูปที่ 3.18 วงจรควบคุมทิศการหมุนของล้อ

### 3.4.2 วงจรคุมค่าแรงดันเพื่อหมุนแปร่ง

ในโครงการนี้มอเตอร์หมุนแปร่งกวาดทำงานด้วยไฟกระแสตรง 5 V ซึ่งสร้างขึ้นจากไอซีคุมค่าแรงดันหมายเลข L7805CV โดยมีแผนภาพวงจรแสดงดังรูปที่ 3.19 และแผงวงจรที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 แผนภาพวงจรคุมค่าแรงดัน 5 V



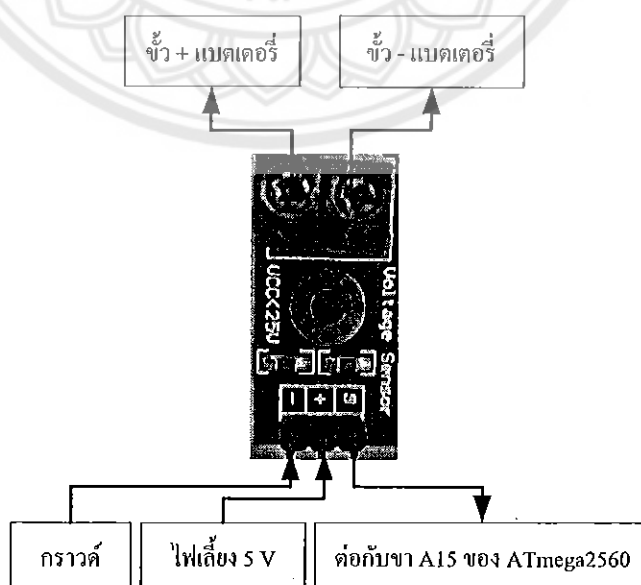
รูปที่ 3.20 วงจรคุมค่าแรงดัน 5 V

### 3.4.3 วงจรคุมค่าแรงดันเพื่อสร้างไฟเลี้ยง

นอกจากวงจรคุมค่าแรงดันที่ใช้จ่ายไฟเลี้ยงคงที่ 5 V สำหรับใช้ในการหมุนแปรงกวาด ยังมีวงจรแบบเดียวกันอีกชุดหนึ่งเพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง รีเลย์ และวงจรวัดระดับแรงดันของแบตเตอรี่

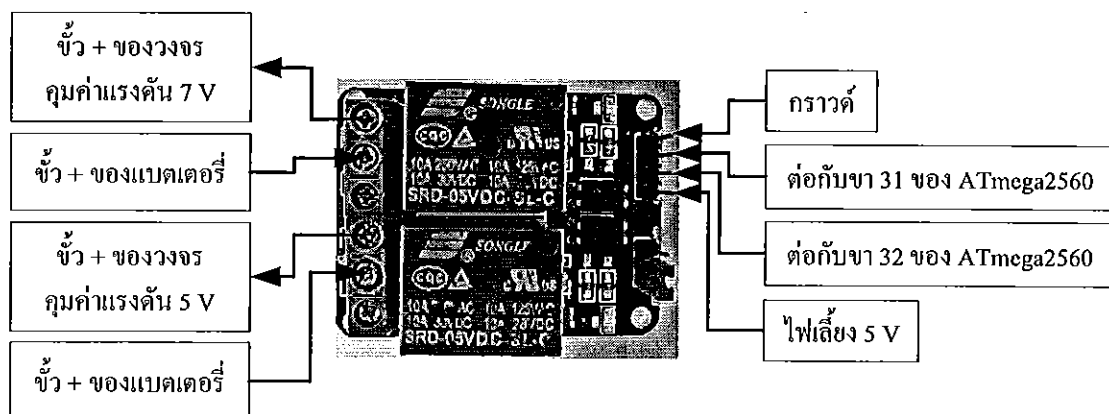
### 3.5 การวัดระดับแรงดันของแบตเตอรี่และตัดต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

การเริ่มและหยุดการทำงานของหุ่นยนต์กวาดพื้นขึ้นอยู่กับค่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ โดยจะเริ่มทำงานได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่สูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ นั่นคือ 11.5 V โดยมีวงจรวัดระดับแรงดันดังรูปที่ 3.21 คอยตรวจสอบอยู่ตลอดเวลา และส่งค่าให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัดสินใจเพื่อสั่งให้รีเลย์สองตัวทำการตัดหรือต่อวงจร โดยมีการเชื่อมต่อใช้งานแผงวงจรรีเลย์ดังรูปที่ 3.22 ถ้าระดับแรงดันของแบตเตอรี่สูงกว่า 11.5 V ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้รีเลย์ต่อวงจรให้หุ่นยนต์ทำงาน เมื่อระดับแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงเหลือเท่ากับ 11.5 V ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้รีเลย์ตัดวงจรเพื่อหยุดการทำงานของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.21 การเชื่อมต่อวงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่



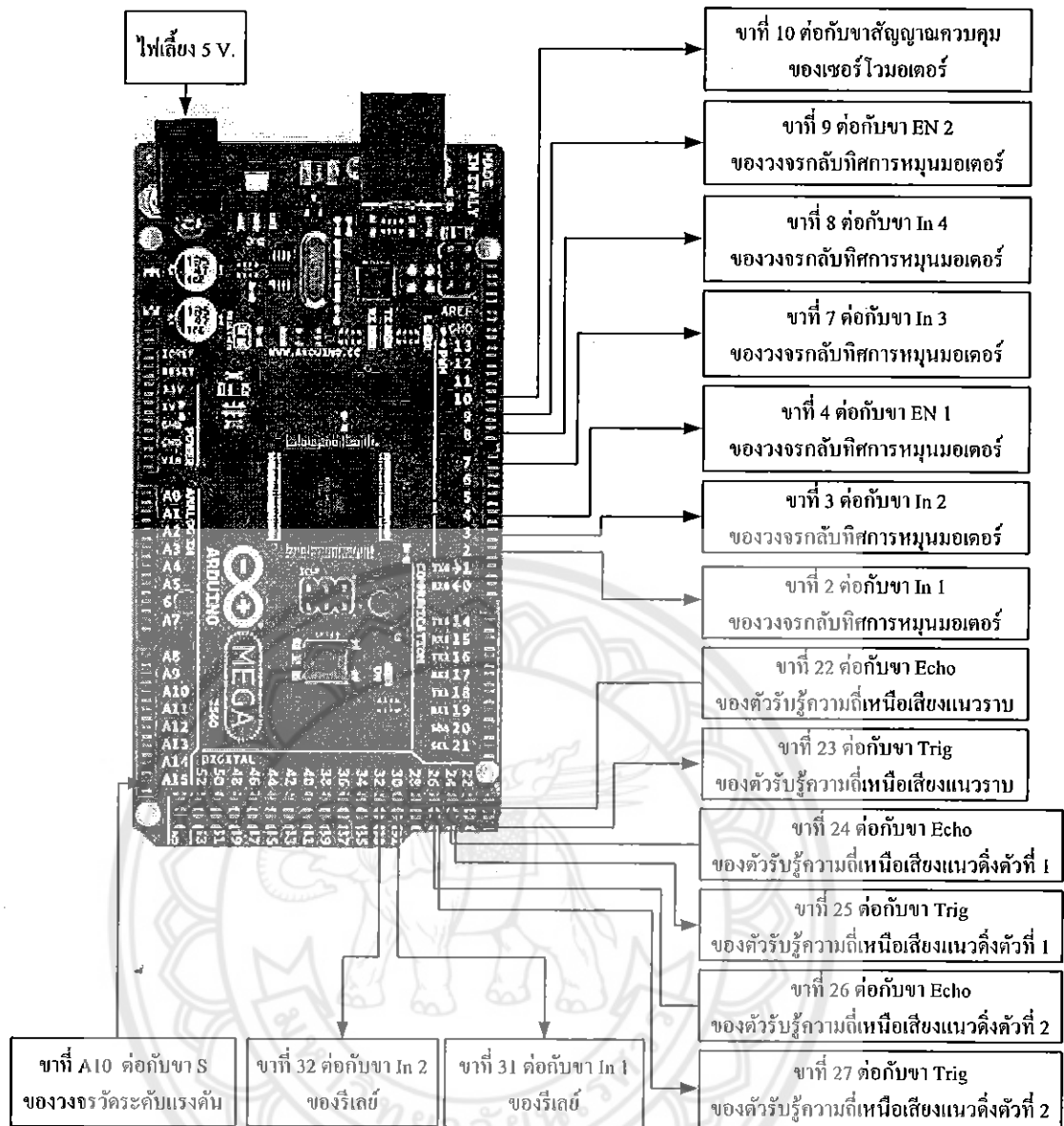


รูปที่ 3.22 การเชื่อมต่อใช้งานแผงวงจรรีเลย์แบบใช้ตัวเชื่อมต่อดำรง

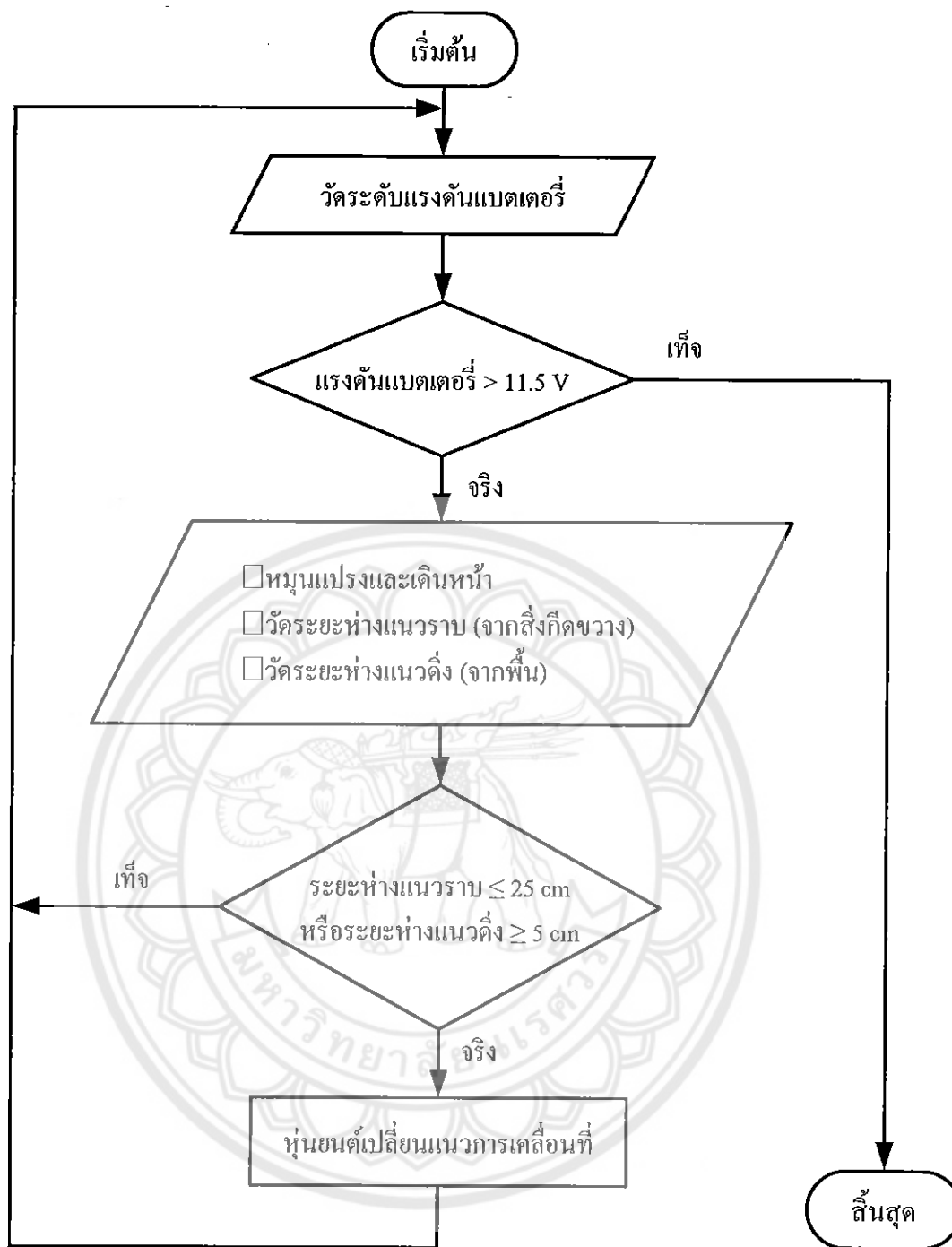
### 3.6 ส่วนประมวลผลของหุ่นยนต์กวาดพื้น

การทำงานของหุ่นยนต์กวาดพื้นขึ้นอยู่กับประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560 ทั้งในส่วนของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ การตรวจวัดระยะห่างจากสิ่งกีดขวางและพื้นต่างระดับ รวมทั้งการตัดต่อวงจรของรีเลย์เพื่อเริ่มและหยุดทำงานของหุ่นยนต์ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับแรงดันแบตเตอรี่ โดยการเชื่อมต่อใช้งานเพื่อการใช้งาน ATmega2560 แสดงได้ดังรูปที่ 3.23

รหัสต้นฉบับ (Source code) ของโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ถูกเขียนขึ้นโดยใช้ภาษา C++ ดังแสดงในภาคผนวก ก ขั้นตอนของการประมวลผลสามารถแสดงโดยสังเขปดังผังงานในรูปที่ 3.24 กล่าวคือเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ หุ่นยนต์จะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อระดับแรงดันของแบตเตอรี่สูงกว่า 11.5 V หุ่นยนต์เริ่มกวาดพื้นโดยเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมตรวจวัดระยะห่างของสิ่งกีดขวางและพื้นต่างระดับ ถ้าระยะห่างของสิ่งกีดขวางด้านหน้าของหุ่นยนต์ไม่เกิน 25 cm หรือความต่างระดับของพื้นมีค่าตั้งแต่ 5 cm ขึ้นไปหุ่นยนต์จะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่เพื่อหลีกเลี่ยงการชนสิ่งกีดขวางหรือตกสู่พื้นต่างระดับตามรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อ 3.1



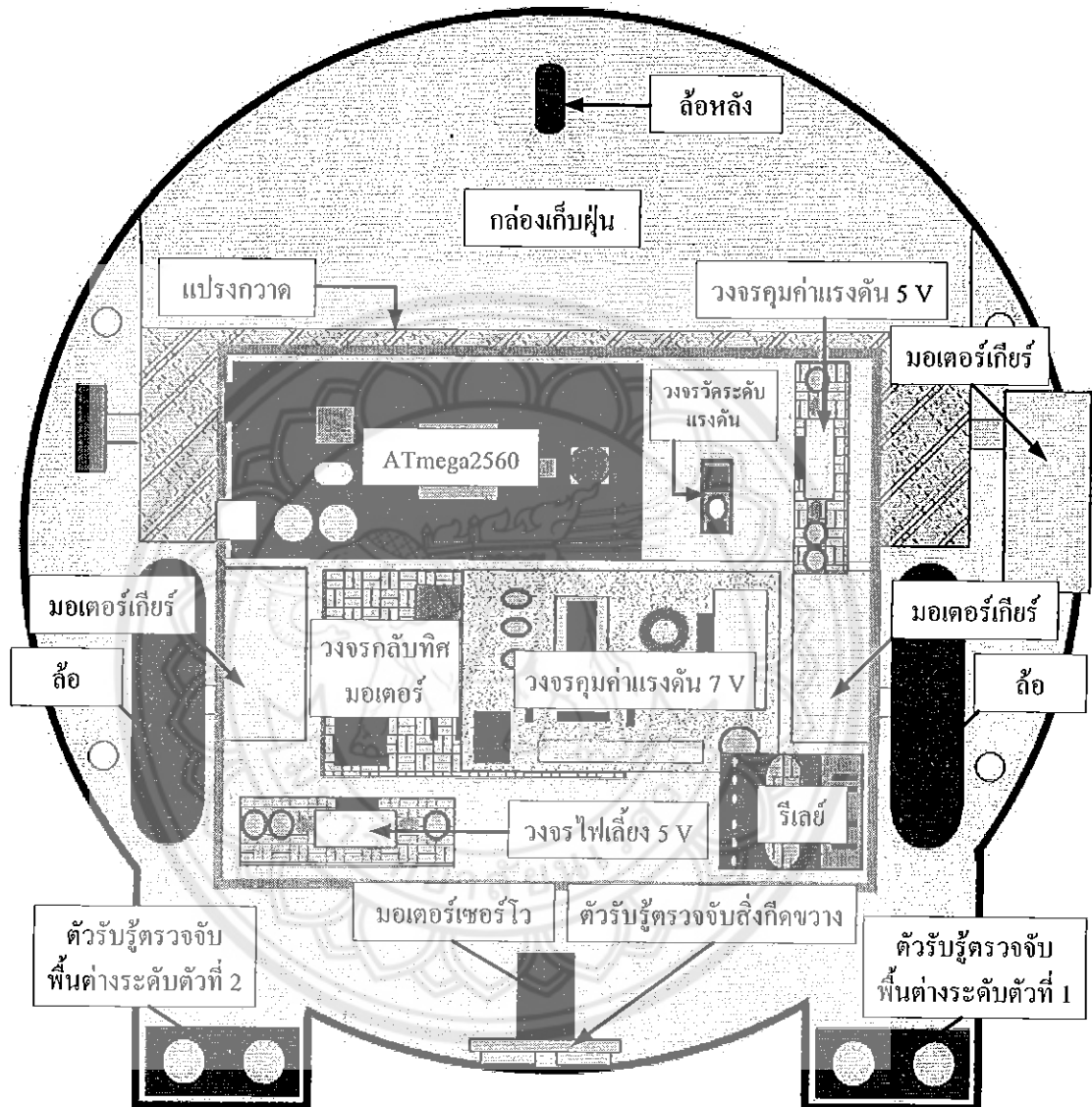
รูปที่ 3.23 การเชื่อมต่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560



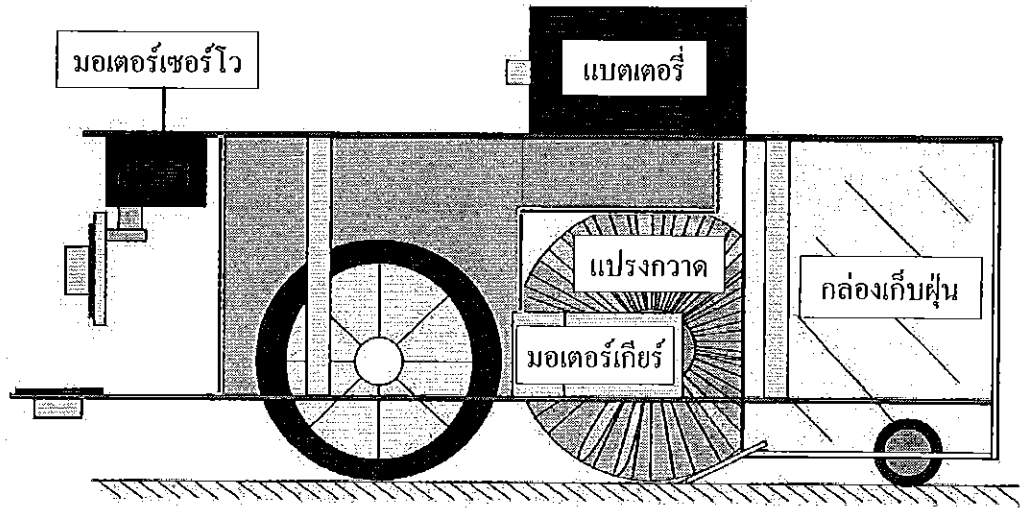
รูปที่ 3.24 ผังงานขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์กวาดพื้น

### 3.7 การประกอบโครงสร้างของหุ่นยนต์กวาดพื้น

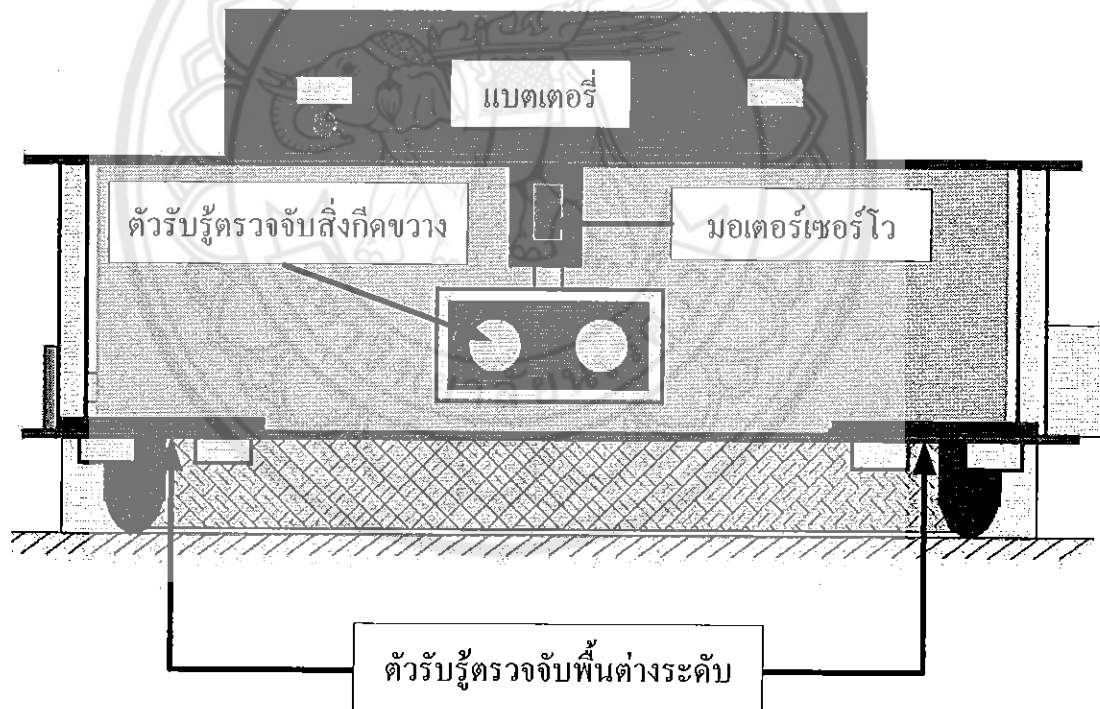
เมื่อนำส่วนประกอบต่าง ๆ มาประกอบเข้ากับโครงหุ่นยนต์เป็นดังรูปที่ 3.25 รูปที่ 3.26 รูปที่ 3.27 และรูปที่ 3.28



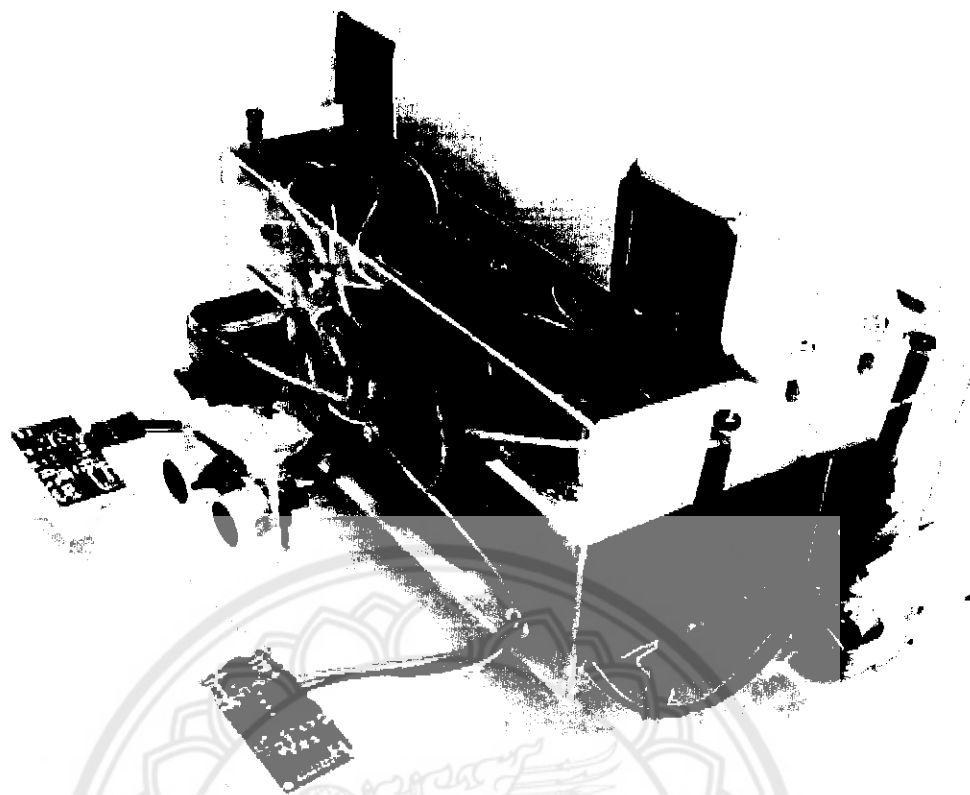
รูปที่ 3.25 โครงร่างหุ่นยนต์กวาดพื้น (มุมมองด้านบน)



รูปที่ 3.26 โครงร่างหุ่นยนต์กวาดพื้น (มุมมองด้านข้าง)



รูปที่ 3.27 โครงร่างหุ่นยนต์กวาดพื้น (มุมมองด้านหน้า)



รูปที่ 3.28 หุ่นยนต์กวาดพื้นแบบใช้ร่วมกับตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบการทำงานของวงจรในส่วนต่าง ๆ ก่อนนำมาใช้งานร่วมกันจากนั้นจึงทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์โดยจะแบ่งออกเป็น 5 ส่วนดังนี้

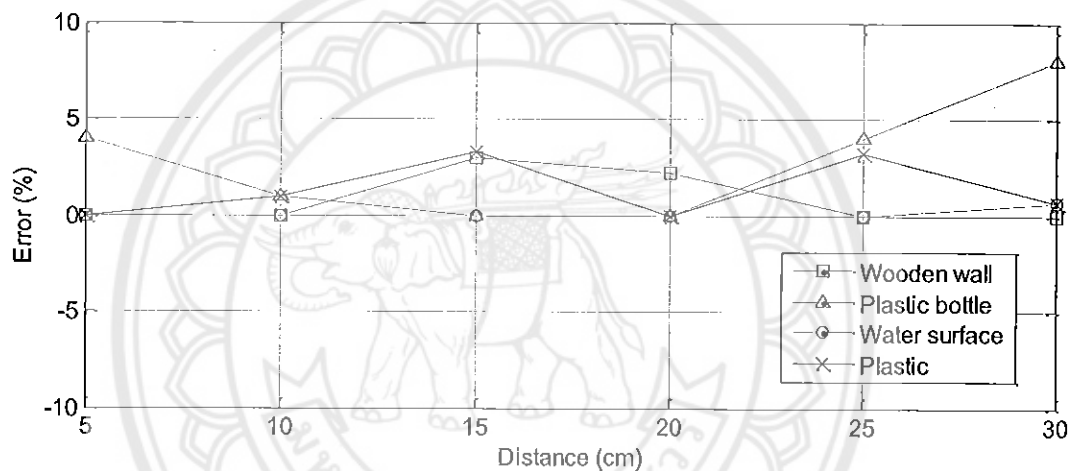
- 1) การทดสอบการทำงานของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง เพื่อตรวจสอบความสามารถในการตรวจจับระยะห่างระหว่างตัวรับรู้กับวัตถุ
- 2) การทดสอบการทำงานของวงจรคงค่าแรงดันคงที่ 7 V เพื่อตรวจสอบความสามารถในการควบคุมแรงดันพร้อมทั้งหาค่าประสิทธิภาพ โดยการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อนำไปจ่ายแก่โหลดตัวต้านทาน
- 3) การทดสอบการทำงานของวงจรคงค่าแรงดันคงที่ 5 V เพื่อตรวจสอบความสามารถในการควบคุมแรงดันพร้อมทั้งหาค่าประสิทธิภาพ โดยการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อนำไปจ่ายแก่โหลดตัวต้านทาน
- 4) การทดสอบการทำงานของรีเลย์โดยใช้ร่วมกับวงจรวัดระดับแรงดัน เพื่อตรวจสอบความสามารถในการตัดวงจรเมื่อค่าแรงดันต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้
- 5) การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์
- 6) การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อตรวจสอบความสามารถในการตัดสินใจของหุ่นยนต์ขณะการทำงาน

#### 4.1 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง

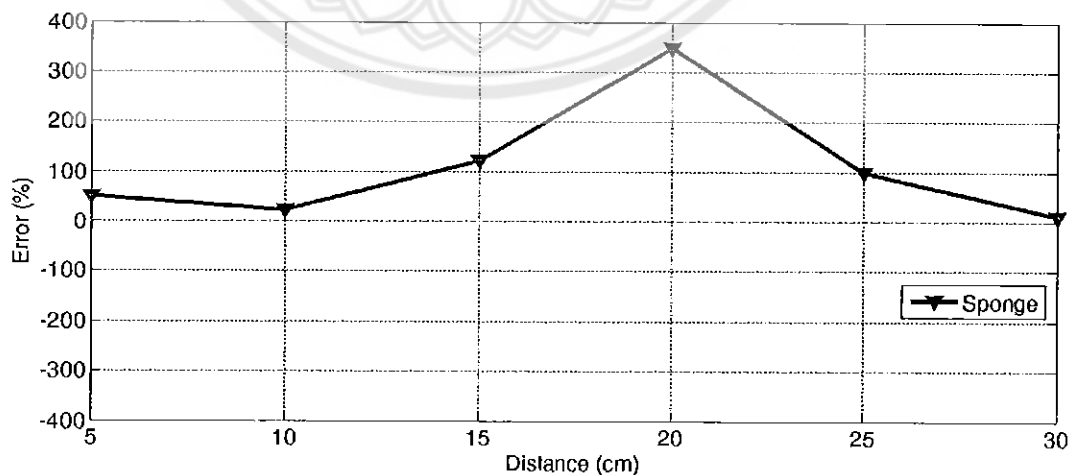
ในส่วนนี้ได้ทำการทดสอบความแม่นยำในการวัดระยะห่างของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง โดยต่อตัวรับรู้เข้ากับแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อบันทึกผลการวัดระยะห่างจากพื้นผิวต่างสีและต่างชนิดกัน ในหน่วย cm เทียบกับระยะจริง ในการทดสอบกับวัตถุที่เป็นของแข็งและมีพื้นผิวเรียบ เช่น ไม้ พลาสติก และน้ำ ค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะห่างแสดงในรูปที่ 4.1 ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% ยกเว้นกรณีขวดพลาสติกที่มีผิวโค้งทำให้การตรวจวัดที่ระยะไกลกว่า 25 cm มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นเนื่องจากมีมุมตกกระทบและมุมสะท้อนของคลื่นสัญญาณที่ผิวโค้งของขวดพลาสติกส่งผลให้การสะท้อนกลับของคลื่นสัญญาณมาที่ตัวรับรู้ใช้เวลามากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการติดตั้งและจัดวางตำแหน่งของตัวรับรู้เทียบกับวัตถุที่ตรวจวัดระยะห่างด้วย

ในกรณีการทดสอบวัดระยะห่างจากฟองน้ำและผ้าขนหนู มีค่าความคลาดเคลื่อนแสดงดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการวัดระยะห่างจากฟองน้ำมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 350% ที่ระยะ 20 cm ในขณะที่การตรวจวัดระยะห่างจากผ้าขนหนูมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 85% ที่ระยะ 15 cm ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติความพรุน ความโปร่ง ความยืดหยุ่น หรือความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุจึงทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนสูงในการตรวจวัด

ในการทดสอบวัดระยะห่างดังกล่าวข้างต้น นอกจากการทดสอบกับวัตถุต่างชนิดกันแล้ว ยังมีการทดสอบในกรณีของความแตกต่างสีของวัตถุ ซึ่งจากการทดสอบความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมากจึงสรุปได้ว่าสีของวัตถุไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการตรวจวัดระยะห่างของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง

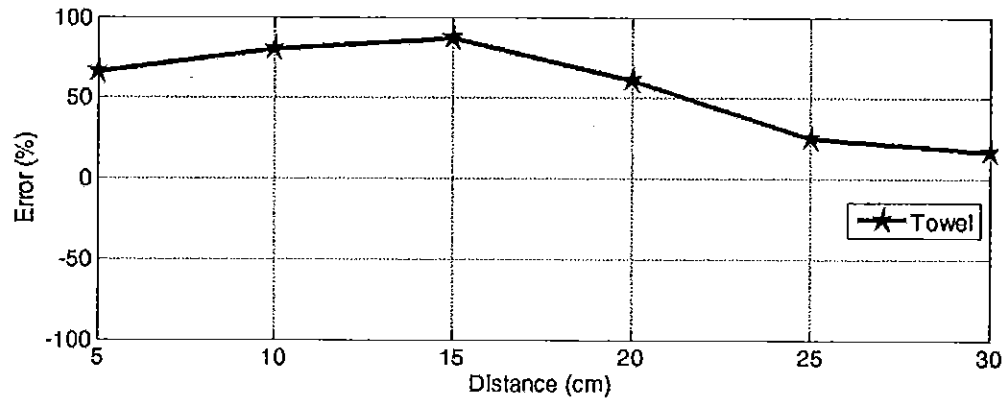


รูปที่ 4.1 ความคลาดเคลื่อนของตัวรับรู้ในการตรวจวัดระยะห่างจากพื้นผิวต่าง ๆ



รูปที่ 4.2 ความคลาดเคลื่อนของตัวรับรู้ในการตรวจวัดระยะห่างจากฟองน้ำ





รูปที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนของตัวรับรู้ในการตรวจวัดระยะห่างจากผ้าขนหนู

#### 4.2 การทดสอบการทำงานของวงจรคุมค่าแรงดัน 7 V

วงจรคุมค่าแรงดัน 7 V มีหน้าที่แปลงไฟจากแบตเตอรี่ 12 V ให้ลดลงและรักษาไว้ที่ 7 V เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์หมุนล้อของหุ่นยนต์ สมรรถนะของวงจรนี้ถูกทดสอบด้วยการรักษาแรงดันไว้ที่ 7 V ซึ่งปรับตั้งด้วยค่า  $R_v$  และค่าประสิทธิภาพของวงจร โดยใช้แหล่งกำเนิดไฟกระแสตรงป้อนเข้าให้กับวงจรและปรับค่าแรงดันที่จ่ายให้ครอบคลุมย่านแรงดันที่ใช้งานของแบตเตอรี่

เมื่อทำการป้อนค่าแรงดันอินพุตที่ค่าต่าง ๆ เราทำการวัดค่าแรงดันและกระแสเอาต์พุตโดยใช้โพลดิ้วต้านทานขนาด  $30 \Omega$  แล้วคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของโดยใช้สมการที่ (4.1)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{V_{LOAD} \cdot I_{LOAD}}{V_{in} \cdot I_{in}} \times 100\% \quad (4.1)$$

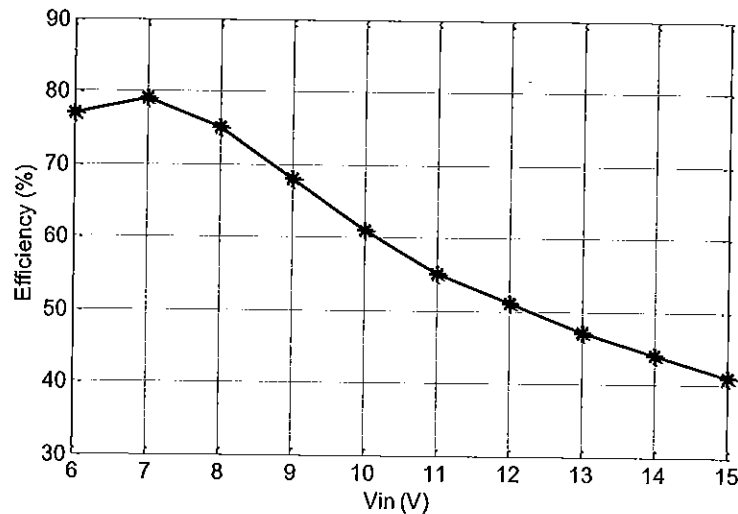
โดยที่  $V_{LOAD}$  คือ แรงดันตกคร่อมโหลด (V)

$I_{LOAD}$  คือ กระแสที่ไหลผ่านโหลด (A)

$V_{in}$  คือ แรงดันอินพุตของวงจรทอนระดับแรงดัน (V)

$I_{in}$  คือ กระแสอินพุตของวงจรทอนระดับแรงดัน (A)

ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าวงจรสามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่อยู่ที่ 7 V ก็ต่อเมื่อมีแรงดันอินพุตไม่น้อยกว่า 8 V ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวงจรทอนระดับแรงดันจึงต้องการแรงดันอินพุตมากกว่าเอาต์พุตที่ต้องการ เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพในการทำงานของวงจรพบว่า ขณะที่แรงดันอินพุตมีค่าสูงขึ้น วงจรทำงานโดยมีค่าประสิทธิภาพลดลง ทั้งนี้เนื่องจากกระแสอินพุตและกระแสเอาต์พุตของวงจรมีค่าค่อนข้างคงที่ ในขณะที่แรงดันเอาต์พุตมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจากสมการที่ (4.1) จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพมีแนวโน้มแปรผกผันกับระดับแรงดันอินพุต



รูปที่ 4.4 ค่าประสิทธิภาพของวงจรคุมค่าแรงดัน 7 V

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าที่ค่าระดับแรงดันอินพุตสูงกว่า 8 V วงจรสามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่อยู่ที่ 7 V แต่เมื่อแรงดันอินพุตต่ำกว่า 8 V วงจรไม่สามารถรักษาแรงดันเอาต์พุตไว้ที่ 7 V ได้เนื่องจากเป็นวงจรทอนระดับแรงดันจึงต้องมีแรงดันอินพุตมากกว่าเอาต์พุตที่ต้องการ

ถ้าหากพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพในการทำงาน ที่ระดับแรงดันอินพุตสูงกว่าระดับแรงดันอ้างอิงวงจรจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าระดับแรงดันอินพุตที่มีค่าใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิง เนื่องจากวงจรจะใช้เวลาพยายามในการรักษาระดับแรงดันให้เท่ากับแรงดันอ้างอิงมากกว่า

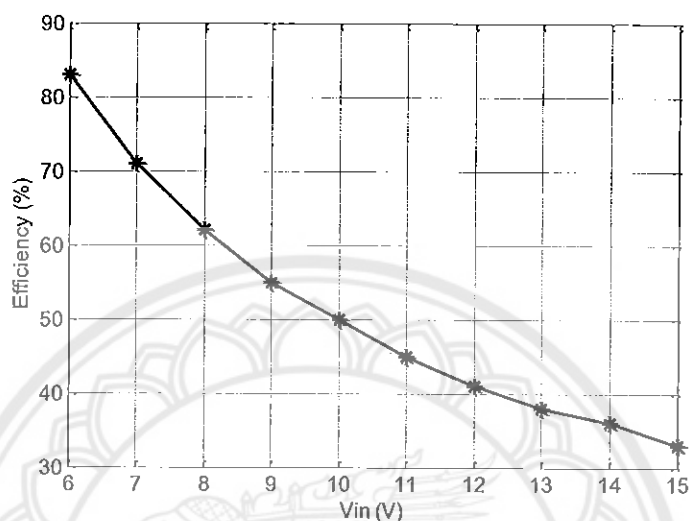
#### 4.3 การทดสอบการทำงานของวงจรคุมค่าแรงดัน 5 V

วงจรคุมค่าแรงดัน 5 V มีหน้าที่แปลงไฟจากแบตเตอรี่ 12 V ให้ลดลงและรักษาไว้ที่ 5 V เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์หมุนแปรกวาดของหุ่นยนต์ สมรรถนะของวงจรมีถูกทดสอบด้วยการรักษาแรงดันไว้ที่ 5 V โดยใช้ไอซี L7805CV และค่าประสิทธิภาพของวงจร โดยใช้แหล่งกำเนิดไฟกระแสตรงป้อนเข้าให้กับวงจรและปรับค่าแรงดันที่จ่ายให้ครอบคลุมย่านแรงดันที่ใช้งานของแบตเตอรี่

เมื่อทำการป้อนค่าแรงดันอินพุตที่ค่าต่าง ๆ เราทำการวัดค่าแรงดันและกระแสเอาต์พุต โดยใช้โหลดตัวต้านทานขนาด 30 Ω แล้วคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของโดยใช้สมการที่ (4.2)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{V_{LOAD} \cdot I_{LOAD}}{V_{in} \cdot I_{in}} \times 100\% \quad (4.2)$$

โดยที่	$V_{LOAD}$	คือ แรงดันตกคร่อมโหลด (V)
	$I_{LOAD}$	คือ กระแสที่ไหลผ่านโหลด (A)
	$V_{in}$	คือ แรงดันอินพุตของวงจรทอนระดับแรงดัน (V)
	$I_{in}$	คือ กระแสอินพุตของวงจรทอนระดับแรงดัน (A)



รูปที่ 4.5 ค่าประสิทธิภาพของวงจรคงค่าระดับแรงดัน 5 V

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าที่ค่าระดับแรงดันตั้งแต่ 15-7 V วงจรคงค่าแรงดันสามารถรักษาระดับให้คงอยู่ที่ 5 V ได้ค่อนข้างใกล้เคียง เนื่องจากการทำงานของวงจรเป็นการคงค่าระดับแรงดันที่ค่าหนึ่งๆ แต่ที่ระดับแรงดันอินพุต 6 V วงจรไม่สามารถรักษาแรงดันเอาต์พุตให้เป็น 5 V ได้เนื่องจากระดับแรงดันอินพุตมาค่าต่ำเกินไป

ถ้าพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพในการทำงาน ที่ระดับแรงดันอินพุตสูงกว่าระดับแรงดันอ้างอิงวงจรจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าระดับแรงดันอินพุตที่มีค่าใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิง เนื่องมาจากวงจรจะใช้ความพยายามในการรักษาระดับแรงดันให้เท่ากับแรงดันอ้างอิงมากกว่า

#### 4.4 การทดสอบการทำงานของวงจรวัดระดับแรงดันร่วมกับรีเลย์

เนื่องจากวงจรวัดระดับแรงดันมีหน้าที่ตรวจวัดระดับแรงดันของแบตเตอรี่เพื่อกำหนดการทำงานของรีเลย์ทั้งสอง (R1 และ R2) ที่ใช้ตัดต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ต่าง ๆ ในหุ่นยนต์ ในการทดสอบนี้ให้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเพื่อจ่ายแรงดันแทนแบตเตอรี่ โดยเริ่มจ่ายที่ระดับ 15 V แล้วค่อย ๆ ลดระดับแรงดันลงจนกระทั่งถึง 11.5 V ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1 จะพบว่าเมื่อจ่ายแรงดัน 15 V รีเลย์ทั้งสองทำงาน นั่นคือหน้าสัมผัสชนิด NO ของรีเลย์ทั้งสอง

เปลี่ยนสถานะเป็นต่อวงจร เมื่อปรับลดแรงดันจาก 15 V ลงระดับมาถึง 12 V รีเลย์ยังคงทำงานอย่างต่อเนื่องปกติ จนกระทั่งเมื่อปรับลดลงมาถึง 11.5 V (ซึ่งเป็นค่าระดับแรงดันอ้างอิงที่ปรับตั้งไว้ให้แบตเตอรี่หยุดคายประจุ เพื่อรักษาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่) รีเลย์ทั้งสองเปิดวงจรทันที ถึงแม้หลังจากนั้นแรงดันจะเพิ่มขึ้นสูงกว่า 11.5 V อีกก็ตาม รีเลย์ทั้งสองยังคงเปิดวงจร ซึ่งการทำงานดังกล่าวเป็นไปตามที่ออกแบบไว้เพราะหลังจากที่แบตเตอรี่คายประจุจนแรงดันลดลงถึงค่า 11.5 V แล้วมีการตัดโหลดออก แรงดันของแบตเตอรี่จะเพิ่มกลับขึ้นมาเล็กน้อยเนื่องจากการแพร่ของโมเลกุลของสารละลายที่อยู่ภายใน

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการทำงานของวงจรวัดระดับแรงดันร่วมกับรีเลย์

แรงดันจากแหล่งกำเนิด $V_{in}$ (V)	หน้าสัมผัสของรีเลย์	
	R1 (NO)	R2 (NO)
15.0	✓	✓
14.5	✓	✓
14.0	✓	✓
13.5	✓	✓
13.0	✓	✓
12.5	✓	✓
12.0	✓	✓
11.5	✗	✗
11.7	✗	✗

หมายเหตุ: เครื่องหมาย ✓ หมายถึง หน้าสัมผัสของรีเลย์ต่อวงจร  
 เครื่องหมาย ✗ หมายถึง หน้าสัมผัสของรีเลย์เปิดวงจร

#### 4.5 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

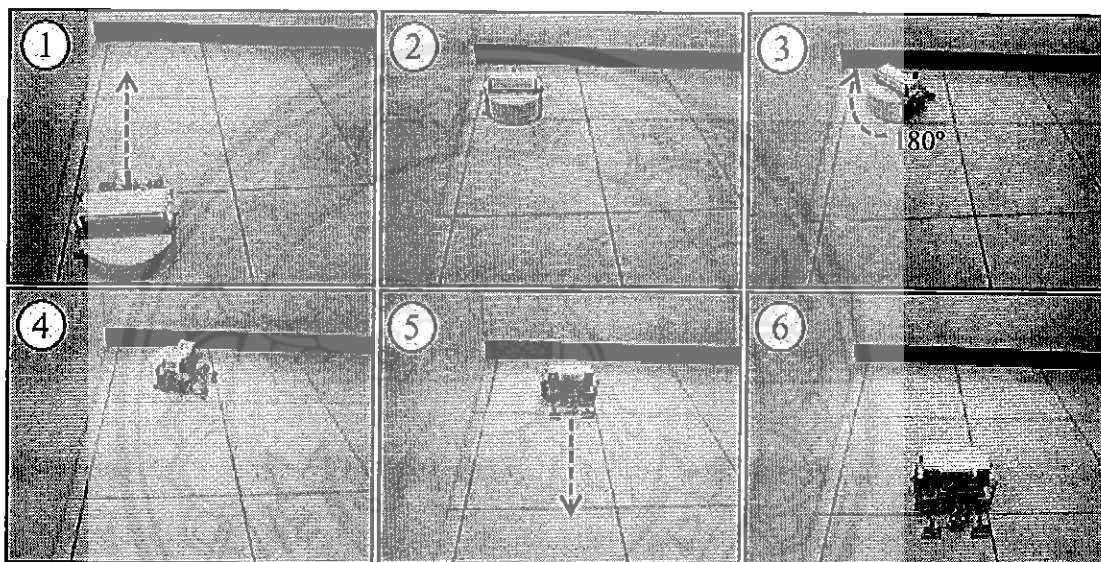
ความเร็วเฉลี่ยของหุ่นยนต์ได้จากการทดสอบจับเวลาที่หุ่นยนต์ใช้เคลื่อนที่เป็นระยะ 3 m โดยทำการทดสอบ 10 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย ผลการทดสอบพบว่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในระยะดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 15.67 s ส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้ของหุ่นยนต์มีค่าเท่ากับ 20 cm/s

#### 4.6 การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กวาดพื้นถูกออกแบบให้มีรูปแบบและลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อให้สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางและหลีกเลี่ยงการตกสู่พื้นต่างระดับได้อย่างอัตโนมัติ โดยแต่ละลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้

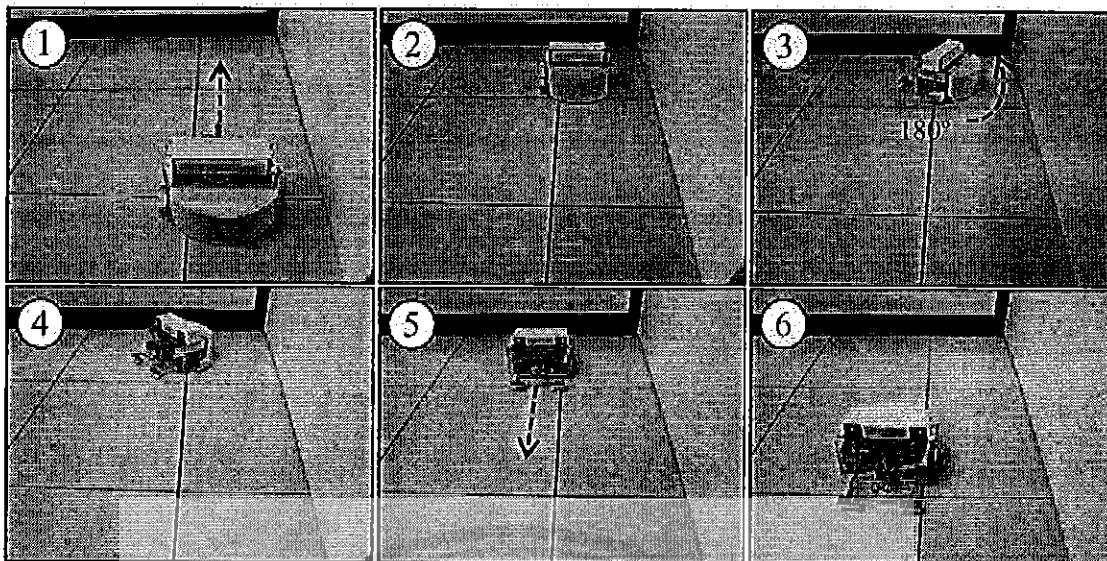
กรณีที่ 1 เมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวางด้านหน้าเป็นครั้งแรกหลังเริ่มทำงาน

ก) ถ้าตรวจพบวัตถุหรือพื้นผิวในระยะน้อยกว่า 30 cm ทางด้านซ้าย หุ่นยนต์จึงหมุนขวา  $180^{\circ}$  แล้วเดินหน้าต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4.6



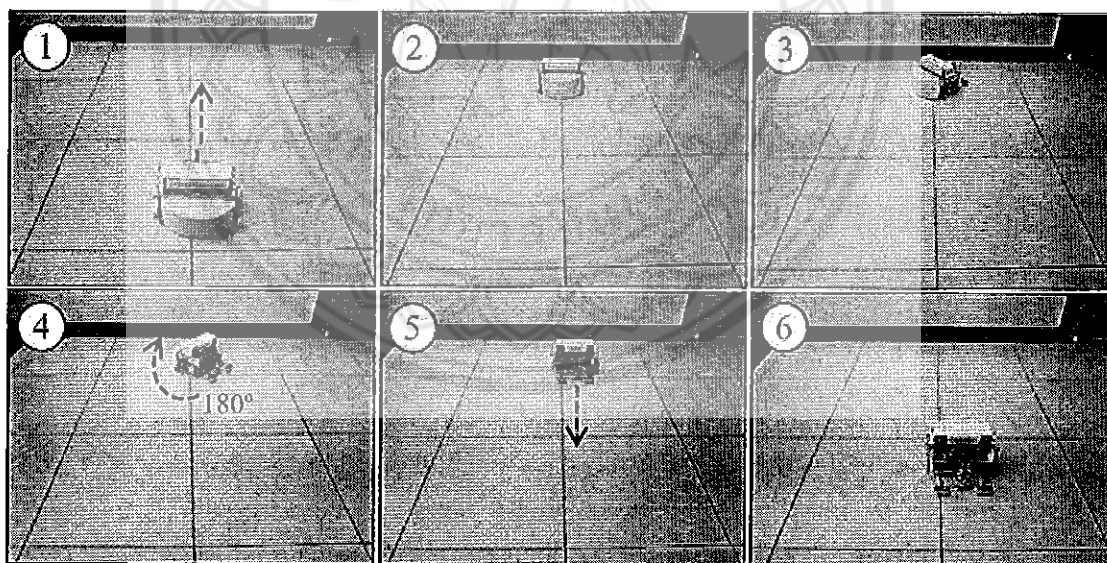
รูปที่ 4.6 ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อเริ่มการทำงานหุ่นยนต์อยู่ชิดขอบซ้าย

ข) ถ้าตรวจพบวัตถุหรือพื้นผิวในระยะน้อยกว่า 30 cm ทางด้านขวา หุ่นยนต์จึงหมุนซ้าย  $180^{\circ}$  แล้วเดินหน้าต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อเริ่มการทำงานหุ่นยนต์อยู่ชิดขอบขวา

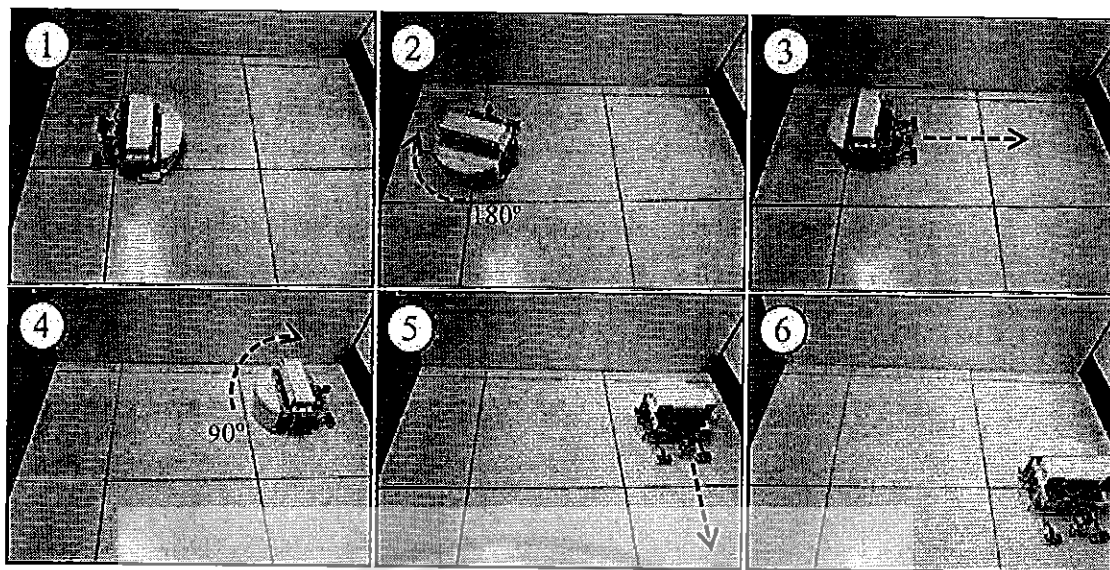
ก) ถ้าตรวจไม่พบวัตถุหรือพื้นผิวในระยะ 30 cm ทั้งด้านซ้ายและขวา หุ่นยนต์จึงหมุนขวา 180° แล้วเดินทางต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อเริ่มการทำงานหุ่นยนต์อยู่ไม่ชิดขอบ

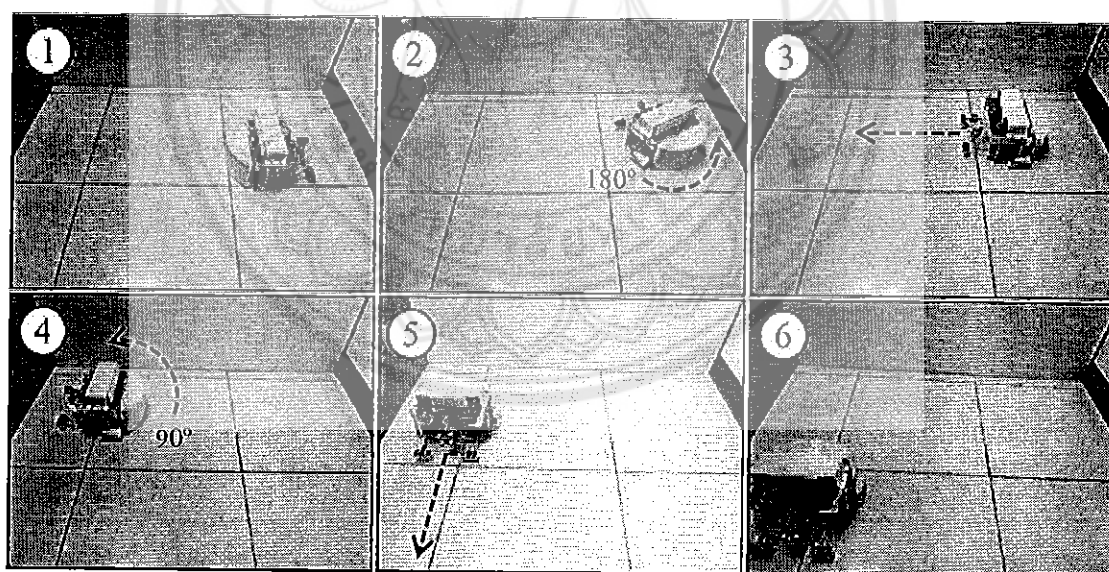
กรณีที่ 2 การเปลี่ยนแนวการทำความสะดวกหลังจากเจอสสิ่งกีดขวางด้านหน้า

ก) ถ้าตรวจพบวัตถุหรือพื้นผิวในระยะน้อยกว่า 30 cm ทางด้านซ้าย หุ่นยนต์จึงหมุนขวา 90° แล้วเดินทางต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4.9



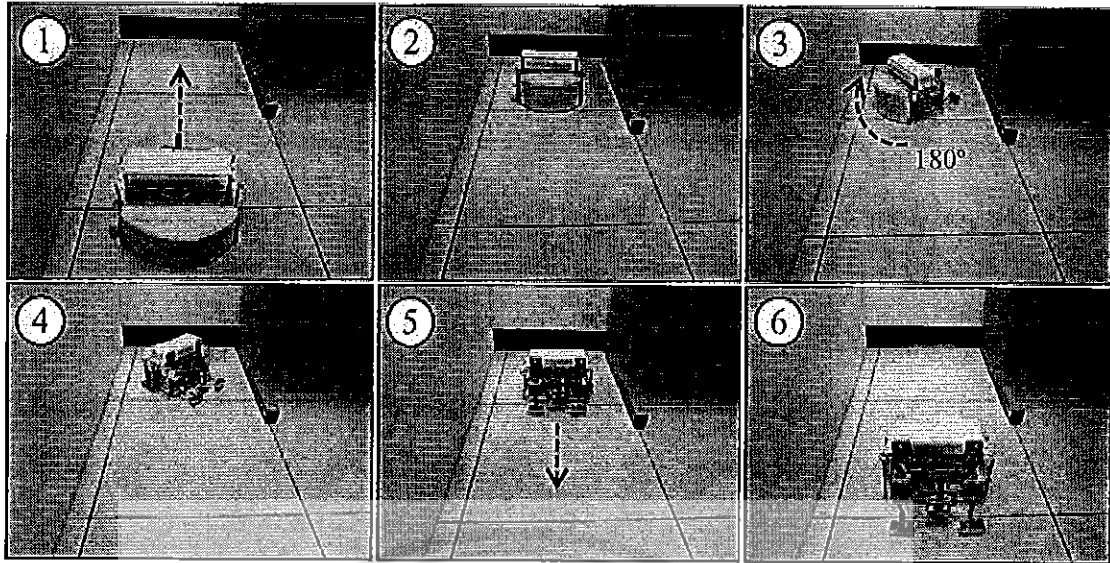
รูปที่ 4.9 ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่สุดผนังห้องแล้วอยู่ชิดขอบซ้าย

ข) ถ้าตรวจพบวัตถุหรือพื้นผิวในระยะน้อยกว่า 30 cm ทางด้านขวา หุ่นยนต์จึงหมุนซ้าย  $90^{\circ}$  แล้วเดินทางต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4.10



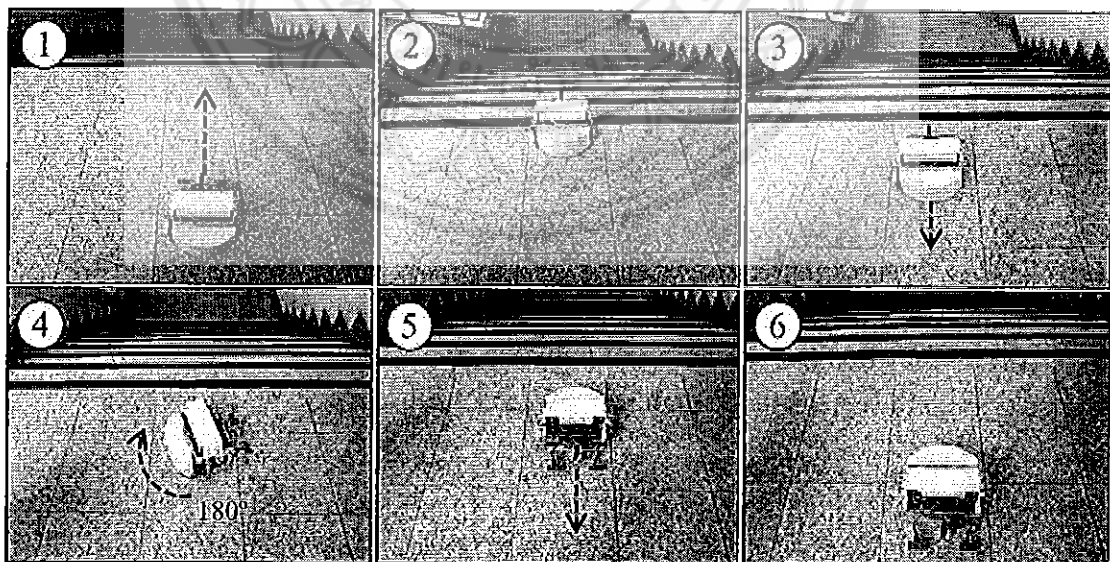
รูปที่ 4.10 ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่สุดผนังห้องแล้วอยู่ชิดขอบขวา

กรณีที่ 3 เมื่อเคลื่อนที่มาถึงปลายทางแคบ (ทางตัน) หุ่นยนต์กลับตัวโดยหมุนขวา  $180^{\circ}$  แล้วเดินทางต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4.11



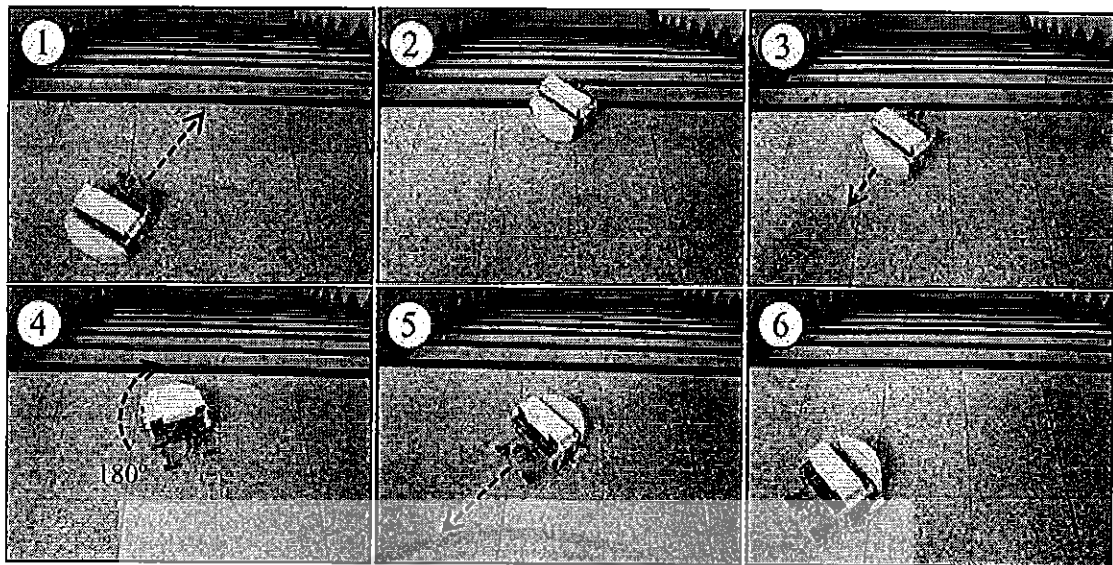
รูปที่ 4.11 ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อเคลื่อนที่เข้าสู่ช่องแคบ

กรณีที่ 4 เมื่อตรวจพบพื้นต่างระดับไม่น้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ (5 cm) ไม่ว่าจะตรวจพบพื้นต่างระดับ โดยตัวรับรู้ทั้งสองตัวพร้อมกันดังแสดงในรูปที่ 4.12 หรือตรวจพบโดยตัวรับรู้ตัวที่ 1 (ด้านซ้ายของหุ่นยนต์) ดังแสดงในรูปที่ 4.13 หรือตรวจพบโดยตัวรับรู้ตัวที่ 2 (ด้านขวาของหุ่นยนต์) ดังแสดงในรูปที่ 4.14 หุ่นยนต์ถอยหลังเป็นเวลาประมาณ 3s แล้วหมุนขวา 180° จากนั้นจึงเดินหน้าต่อไป

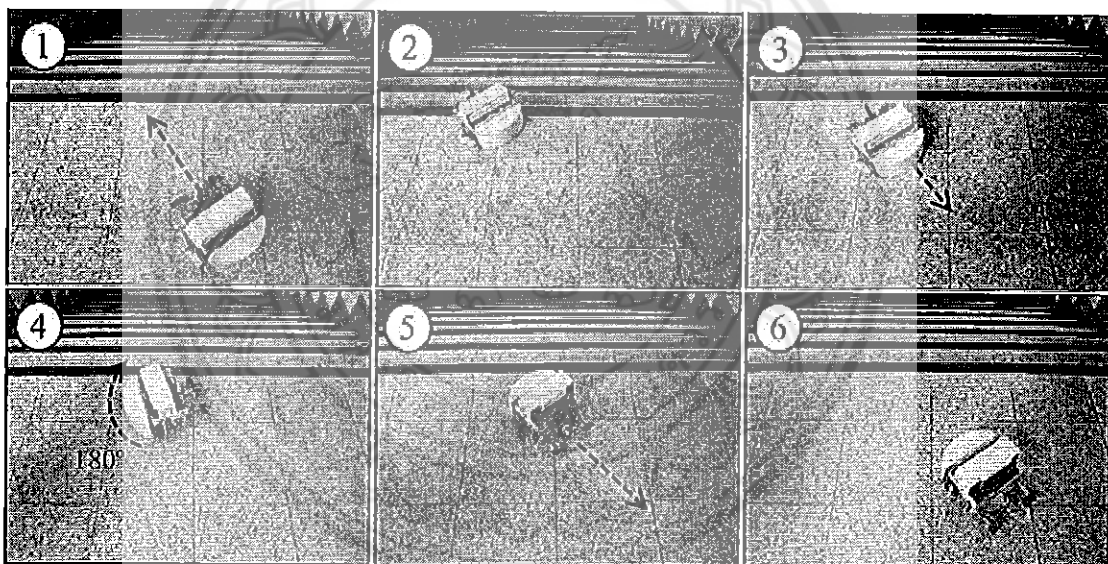


รูปที่ 4.12 ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อหุ่นยนต์เจอพื้นต่างระดับ





รูปที่ 4.13 ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อหุ่นยนต์เจอพื้นต่างระดับแล้วเดินเฉียงซ้าย



รูปที่ 4.14 ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อหุ่นยนต์เจอพื้นต่างระดับแล้วเดินเฉียงขวา

จากผลการทดสอบพบว่ารูปแบบและลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามความเร็วรอบที่ไม่เท่ากันอย่างสมบูรณ์ของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนล้อทั้งสองส่งผลให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่คลาดเคลื่อนไปจากแนวตรงที่ออกแบบไว้ แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อรูปแบบและลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่ดังกล่าวข้างต้น

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงการสามารถสรุปผล และชี้แจงปัญหาในการดำเนินงาน รวมทั้งเสนอแนะแนวทางการแก้ปัญหา และให้ข้อเสนอแนะในการนำโครงการไปพัฒนาต่อไปดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ในโครงการนี้ได้ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์กวาดพื้นแบบใช้ร่วมกับตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำความสะอาดพื้นแห้งในอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัยโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานและใช้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงในการตรวจวัดระยะห่างระหว่างตัวหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางและกับพื้นตลอดเวลาเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถหลีกเลี่ยงการชนสิ่งกีดขวางและการตกสู่พื้นต่างระดับได้อัตโนมัติจึงลดโอกาสที่จะทำให้เกิดความเสียหายทั้งกับตัวหุ่นยนต์และสิ่งของรอบข้างเนื่องจากการชนในขณะที่ทำงานและสามารถนำไปใช้งานในอาคารที่มีหลายชั้นได้ หุ่นยนต์ใช้แบตเตอรี่แบบตะกั่วขนาด 12 V เป็นแหล่งพลังงานหลัก โดยต่อผ่านวงจรคุมค่าแรงดันเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ และออกแบบให้การเริ่มและหยุดทำงานของหุ่นยนต์ขึ้นอยู่กับระดับแรงดันของแบตเตอรี่ โดยกำหนดให้หุ่นยนต์ทำงานได้ในช่วงที่แบตเตอรี่มีระดับแรงดันไม่ต่ำกว่า 11.5 V ทั้งนี้เพื่อรักษาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

จากการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์พบว่าในขณะที่ทำงานหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 cm/s และสามารถหลีกเลี่ยงการชนสิ่งกีดขวางรวมทั้งการตกสู่พื้นต่างระดับได้เพราะมีตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตรวจวัดระยะห่างจากวัสดุหรือพื้นผิวต่าง ๆ แล้วส่งค่าให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล ซึ่งการทดสอบตัวรับรู้พบว่าวัสดุที่เป็นของแข็งและมีพื้นผิวเรียบมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% และในการทดสอบการทำงานของวงจรคุมค่าแรงดันซึ่งนำมาใช้ลดระดับแรงดันที่ได้รับจากแบตเตอรี่ขนาด 12 V ให้กลายเป็น 7 V และ 5 V เพื่อใช้ขับเคลื่อนส่วนต่าง ๆ ของหุ่นยนต์พบว่าสามารถรักษาระดับแรงดันให้อยู่ที่ค่าที่ต้องการได้ก็ต่อเมื่อได้รับแรงดันอินพุตสูงกว่าค่าแรงดันเอาต์พุตที่ต้องการ และประสิทธิภาพของวงจรมีค่าแปรผกผันกับระดับแรงดันอินพุต นอกจากนี้การทดสอบการทำงานของวงจรวัดระดับแรงดันของแบตเตอรี่พบว่าหุ่นยนต์จะทำงานก็ต่อเมื่อระดับแรงดันของแบตเตอรี่ต้องสูงกว่า 11.5 V ทั้งนี้เพื่อรักษาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยการทำงานดังกล่าวเป็นไปตามที่ออกแบบไว้

## 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1) ในบางครั้งขณะหุ่นยนต์กำลังทำงานตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตรวจวัดระยะห่างได้ค่าคลาดเคลื่อนสูง ส่งผลให้การตัดสินใจสำหรับการเคลื่อนที่ผิดพลาดตามไปด้วย ซึ่งกรณีนี้อาจแก้ไขโดยเลือกใช้ตัวรับรู้ชนิดอื่นที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวรับรู้ชนิดนี้

2) การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไม่เป็นแนวเส้นตรงตลอดเวลาตามที่ต้องการเนื่องจากชุดมอเตอร์เกียร์ที่เลือกใช้ในโครงงานนี้สำหรับขับเคลื่อนล้อแต่ละข้างมีความเร็วรอบไม่เท่ากันอย่างสมบูรณ์และด้วยน้ำหนักของแบตเตอรี่ที่วางไว้ด้านบนหุ่นยนต์ส่งผลให้เพลลาที่ต่อระหว่างล้อกับมอเตอร์ไค้งอเล็กน้อย ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยเลือกใช้ชุดมอเตอร์ที่มีความแม่นยำในการกำหนดความเร็วรอบ หรือติดตั้งชุดควบคุมการหมุนของมอเตอร์ และใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมพอลิเมอร์ (Li-po) ซึ่งเพิ่มความซับซ้อนของวงจรควบคุมและเพิ่มต้นทุนในการสร้าง

3) เนื่องจากการเลี้ยว ( $90^\circ$ ) หรือการกลับตัว ( $180^\circ$ ) ของหุ่นยนต์ถูกกำหนดด้วยระยะเวลาที่กำหนดไว้คงที่โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในบางจังหวะที่มอเตอร์ขับเคลื่อนล้อทั้งสองข้างมีความเร็วรอบต่างกัน (แม้เพียงเล็กน้อยก็ตาม) รวมทั้งความเสียดทานที่เกิดขึ้นกับล้อหลังในขณะเลี้ยวหรือกลับตัว ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนไปจากมุมมองที่ต้องการเลี้ยวหรือกลับตัว แนวทางการแก้ไขคือใช้ชุดควบคุมการหมุนของมอเตอร์หรือใช้มอเตอร์แบบขั้น (Stepping motor) ซึ่งเพิ่มความซับซ้อนของชุดวงจรควบคุมและเพิ่มต้นทุนในการสร้าง

## 5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

1) การเพิ่มรูปแบบการดูพื้น โดยออกแบบให้หุ่นยนต์สามารถติดตั้งผ้าดูพื้นได้เพื่อเพิ่มขอบเขตความสามารถในการใช้งาน

2) การเปลี่ยนรูปแบบจากการกวาดเป็นการดูดเพื่อเพิ่มศักยภาพในการทำความสะดวก โดยสิ่งที่ควรคำนึงควบคู่ไปด้วยคือขนาดและน้ำหนักของหุ่นยนต์ รวมถึงต้นทุนในการสร้าง

3) การออกแบบแทนอัดประจุแบตเตอรี่ โดยหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปเชื่อมต่อกับแท่นได้เองหลังจากที่ระดับแรงดันของแบตเตอรี่ลดต่ำลงจนถึงค่าที่กำหนด เช่น 11.5 V

4) การควบคุมการเริ่มและหยุดทำงานของหุ่นยนต์ผ่านระบบเลนไร้สาย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, “Ultrasonic sensor /เซนเซอร์ชนิดใช้เสียง หรือเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก”, สืบค้นเมื่อวันที่ 29 สิงหาคม 2557 จาก <http://www.foodnetworksolution.com>.
- [2] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. สืบค้นเมื่อ 29 สิงหาคม 2557 จาก <http://www.ee.buu.ac.th>.
- [3] ไชชาญ หินเกิด “เครื่องกลไฟฟ้า 1”, บริษัทประชาชน, กรุงเทพฯ, 2537.
- [4] ประกาย อุดคคกิมพันธ์ “บรรยายพิเศษ เรื่อง เซนเซอร์ในระบบอัตโนมัติ”.
- [5] <http://www.ps-thai.org>, สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2557.
- [6] [www.motors.com](http://www.motors.com)/การทำงานของมอเตอร์ สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2557.
- [7] Muhammad H. Rashid “Power Electronics Circuits, Devices and Applications”, Pearson Education, Inc., Third Edition, 2004.
- [8] <http://www.chontech.ac.th/~electric/e-learn/unit5/unit5.htm>, สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2557.
- [9] วรรณษมถ กัณภัย (tdhobby), “Rc Servo ความรู้พื้นฐานในการใช้งานเซอร์โว”, สืบค้นเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2557 จาก <http://www.tdhobby.com>.
- [10] กรมสรรพสามิต, “แบตเตอรี่”, สารนิเทศ ปีที่ 5 ฉบับที่ 5, กรมสรรพสามิต, กรุงเทพฯ, 2542.
- [11] G. Hille, W. Roth, and H. Schmidt, “Course book for the seminar Photovoltaic Systems”, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Germany, 1995.
- [12] Grant M. Ehrlich, “Lithium-Ion Batteries”, In: Handbook of Batteries, 3rd ed.: New York: McGraw-Hill, 2002.



ภาคผนวก ก

รหัสต้นฉบับของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์กวาดพื้น

```

int echoPin1=22, trigPin1=23, echoPin2=24, trigPin2=25, echoPin3=26, trigPin3=27;//กำหนด
พอร์ตของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงทั้งแนวระดับและแนวตั้ง
int motor1_IN1=2,motor1_IN2=4,motor1_ALI=3;//กำหนดพอร์ตของมอเตอร์ตัวที่หนึ่ง
int motor2_IN3=7,motor2_IN4=9,motor2_BLI=8;//กำหนดพอร์ตของมอเตอร์ตัวที่สอง
int Relay1=31,Relay2=32;//กำหนดพอร์ตของรีเลย์ทั้งสองตัว

#include <Servo.h>

Servo myservo;

long duration,duration2,duration3;

int pos=0, L_Angle=115, C_Angle=90, R_Angle=65, L1_Angle=0,R1_Angle=180;//กำหนด
ขนาดมุม
int side_R_val=100, side_L_val=100, side_C_val=100, side_R1_val=100, side_L1_val=100;//
กำหนดระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
int check_verticla1_distance, check_verticla2_distance;//ตัวแปรของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง
แนวตั้งทั้งสองตัว
int Moving_pattern=0, Loop_turnA;
int val11; float val2;//ตัวแปรของวงจรวัดระดับแรงดัน

void setup()
{
TCCR2B = TCCR2B & 0b11111000 | 0x01; Serial.begin (9600);
myservo.attach(10);//กำหนดพอร์ตของมอเตอร์เซอร์โว
//กำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง , รีเลย์ และมอเตอร์
pinMode(trigPin1, OUTPUT); pinMode(echoPin1, INPUT);
pinMode(trigPin2, OUTPUT); pinMode(echoPin2, INPUT);
pinMode(trigPin3, OUTPUT); pinMode(echoPin3, INPUT);
pinMode(Relay1,OUTPUT); pinMode(Relay2,OUTPUT);
pinMode(motor1_ALI, OUTPUT); pinMode(motor1_IN1, OUTPUT); pinMode(motor1_IN2,
OUTPUT);
pinMode(motor2_BLI, OUTPUT); pinMode(motor2_IN3, OUTPUT); pinMode(motor2_IN4,
OUTPUT);
}

```

```

void loop()
{
if((side_L_val<=25)||side_C_val<=25)||side_R_val<=25) //ตรวจสอบค่าระยะห่างทางด้านซ้าย
ตรงกลางและขวา
{ stop_motors(); delay(200); //คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
myservo.write(R1_Angle); delay(300); //คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปทางขวา
side_R1_val = microsecondsToCentimeters(); delay(300); //คำสั่งให้ตรวจสอบระยะห่างทางขวา
myservo.write(L1_Angle); delay(300); //คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปทางซ้าย
side_L1_val = microsecondsToCentimeters(); delay(300); //คำสั่งให้ตรวจสอบระยะห่างทางซ้าย
//กำหนดรูปแบบของการเปลี่ยนคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวระดับ
if(Moving_pattern==3)
{ Moving_pattern=0; }
if(Moving_pattern==4)
{ Moving_pattern=1; Loop_turnA=2;}
if(Moving_pattern==5)
{ Moving_pattern=1; Loop_turnA=1;}
if(Moving_pattern==1) //รูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวระดับครั้งที่ 2
{
if((side_R1_val<=30)&&(side_L1_val<=30)) //กรณีที่ตรวจสอบระยะห่างทางซ้ายและขวาได้น้อย
กว่า 30 cm
{
if(Loop_turnA==1) //กรณีที่ตรวจสอบรูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวระดับได้เท่ากับ 1
{
stop_motors(); //คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
myservo.write(C_Angle); delay(150); //คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปตรงกลาง
turn_right_back (); delay(1380); //คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางขวาพร้อมกับการกลับตัว 180°
side_R_val=100; side_L_val=100; side_C_val=100; side_R1_val=100; side_L1_val=100; //
กำหนดระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
Moving_pattern=4; Loop_turnA=3; //กำหนดรูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวระดับ
}
if(Loop_turnA==2) //กรณีที่ตรวจสอบรูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวระดับได้เท่ากับ 2
{

```

```

stop_motors();//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
myservo.write(C_Angle);delay(150);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปตรงกลาง
turn_right_back ();delay(1380);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางขวาพร้อมกับการกลับตัว 180°
side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100;//กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
Moving_pattern=5;Loop_turnA=3; //กำหนดรูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวระดับ
}}
if(side_L1_val<=30)//กรณีที่ตรวจสอบระยะห่างทางซ้ายได้น้อยกว่า 30 cm
{
stop_motors();//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
myservo.write(C_Angle);delay(150);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปตรงกลาง
turn_right90 (); delay(1300);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางขวาพร้อมกับการหมุนตัว 90°
side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100;//กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
Moving_pattern=3;Loop_turnA=3; //กำหนดรูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวระดับ
}
if(side_R1_val<=30)//กรณีที่ตรวจสอบระยะห่างทางขวาได้น้อยกว่า 30 cm
{
stop_motors();//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
myservo.write(C_Angle);delay(150);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปตรงกลาง
turn_left90 ();delay(1250);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางซ้ายพร้อมกับการหมุนตัว 90°
side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100; //กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
Moving_pattern=3;Loop_turnA=3; //กำหนดรูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวระดับ
}
else
{
if(Loop_turnA==1) //กรณีที่ตรวจสอบรูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวระดับ ได้เท่ากับ 1
{
stop_motors();//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
myservo.write(C_Angle);delay(150);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปตรงกลาง
turn_right ();delay(2380);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางขวาพร้อมกับการหมุนตัว 180°

```



```

side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100;//กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
}
if(Loop_turnA==2) //กรณีที่ต้องการตรวจสอบรูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวระดับได้เท่ากับ 2
{
stop_motors();//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
myservo.write(C_Angle);delay(150);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปตรงกลาง
turn_left ();delay(2380);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางซ้ายพร้อมกับการหมุนตัว 180°
side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100;//กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
Moving_pattern=Moving_pattern+0;Loop_turnA=Loop_turnA-2;//กำหนดรูปแบบของคำสั่งการ
เคลื่อนที่ในแนวระดับ
}
Moving_pattern=Moving_pattern+0;Loop_turnA=Loop_turnA+1;//กำหนดรูปแบบของคำสั่งการ
เคลื่อนที่ในแนวระดับ
}}
if(Moving_pattern==0) //รูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวระดับครั้งที่ 1
{
if((side_L1_val>=30)&&(side_R1_val>=30)) //กรณีที่ต้องการตรวจสอบระยะห่างทางซ้ายและขวาได้
มากกว่า 30 cm
{
stop_motors();//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
myservo.write(C_Angle);delay(150);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปตรงกลาง
turn_right ();delay(2380);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางขวาพร้อมกับการหมุนตัว 180°
side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100;//กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
Moving_pattern=Moving_pattern+1;Loop_turnA=2;//กำหนดรูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่
}
if((side_L1_val<=30)&&(side_R1_val<=30)) //กรณีที่ต้องการตรวจสอบระยะห่างทางซ้ายและขวาได้น้อย
กว่า 30 cm
{
stop_motors();//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน

```

```

myservo.write(C_Angle);delay(150);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปตรงกลาง
turn_right_back ();delay(1380);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางขวาพร้อมกับการกลับตัว 180°
side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100;//กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
Moving_pattern=Moving_pattern+1;Loop_turnA=1;//กำหนดรูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ใน
แนวระดับ
}
if((side_L1_val<=30) //กรณีที่ตรวจสอบระยะห่างทางซ้ายได้น้อยกว่า 30 cm
{
stop_motors();//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
myservo.write(C_Angle);delay(150);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปตรงกลาง
turn_right ();delay(2380);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางขวาพร้อมกับการกลับตัว 180°
side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100;//กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
Moving_pattern=Moving_pattern+1;Loop_turnA=2;//กำหนดรูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ใน
แนวระดับ
}
if((side_R1_val<=30)) //กรณีที่ตรวจสอบระยะห่างทางขวาได้น้อยกว่า 30 cm
{
stop_motors();//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
myservo.write(C_Angle);delay(150);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปตรงกลาง
turn_left ();delay(2380);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางซ้ายพร้อมกับการกลับตัว 180°
side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100;//กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
Moving_pattern=Moving_pattern+1;Loop_turnA=1;กำหนดรูปแบบของคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนว
ระดับ
}}
else //คำสั่งให้หุ่นยนต์เดินหน้าพร้อมกับการตรวจสอบค่าระยะห่างทั้งทางซ้าย ตรงกลางและทางขวา
รวมถึงตรวจวัดระยะในแนวตั้งและระดับแรงดันของแบตเตอรี่
{
forward_motors();//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า

```

```

float temp; val1=analogRead(15);temp=val1/4.092;
val1=(int)temp;val2=((val1%1000)/10.0);
delay(50);//คำสั่งตรวจสอบวัดระดับแรงดันของแบตเตอรี่ของวงจรตรวจวัดระดับแรงดัน
if(val2<=11.5)//กรณีที่ตรวจสอบระดับแรงดันของแบตเตอรี่ได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 11.5 V
{
digitalWrite(Relay1,HIGH);digitalWrite(Relay2,HIGH);//คำสั่งให้รีเลย์เปิดวงจร
}
myservo.write(R_Angle);delay(50);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปทางขวา
side_R_val = microsecondsToCentimeters();delay(50);//คำสั่งตรวจสอบระยะห่างทางขวา
check_verticla1_distance = microsecondsToCentimeters2();delay(50);//คำสั่งตรวจสอบระยะใน
แนวตั้งของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1
check_verticla2_distance = microsecondsToCentimeters3();delay(50);//คำสั่งตรวจสอบระยะใน
แนวตั้งของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2

if((check_verticla1_distance>=5)||(check_verticla2_distance>=5)) // กรณีที่ตรวจสอบระยะใน
แนวตั้งได้น้อยกว่าเท่ากับ 5 cm
{
stop_motors(); delay(200);//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
reverse_motors(); delay(600);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ถอยหลัง
turn_right_back ();delay(1380);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางขวาพร้อมกับการกลับตัว 180°
side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100;//กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
}
myservo.write(C_Angle); delay(50);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปทางตรงกลาง
side_C_val = microsecondsToCentimeters();delay(50);//คำสั่งตรวจสอบระยะห่างตรงกลาง
check_verticla1_distance = microsecondsToCentimeters2();delay(50);//คำสั่งตรวจสอบระยะใน
แนวตั้งของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1
check_verticla2_distance = microsecondsToCentimeters3();delay(50);//คำสั่งตรวจสอบระยะใน
แนวตั้งของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2
if((check_verticla1_distance>=10)||(check_verticla2_distance>=10))//กรณีที่ตรวจสอบระยะใน
แนวตั้งได้น้อยกว่าเท่ากับ 10 cm
{

```

```

stop_motors();delay(200);//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
reverse_motors();delay(600);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ถอยหลัง
turn_right_back ();delay(1380);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางขวาพร้อมกับการกลับตัว 180°
side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100;//กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
}

myservo.write(L_Angle);delay(50);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปทางซ้าย
side_L_val = microsecondsToCentimeters();delay(50);//คำสั่งตรวจสอบระยะห่างทางซ้าย
check_verticla1_distance = microsecondsToCentimeters2();delay(50);//คำสั่งตรวจสอบระยะใน
แนวตั้งของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1
check_verticla2_distance = microsecondsToCentimeters3();delay(50);//คำสั่งตรวจสอบระยะใน
แนวตั้งของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2
if((check_verticla1_distance>=10)||((check_verticla2_distance>=10))//กรณีที่ตรวจสอบระยะใน
แนวตั้งได้น้อยกว่าเท่ากับ 10 cm
{
stop_motors();delay(200);//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
reverse_motors() delay(600);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ถอยหลัง
turn_right_back ();delay(1380);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางขวาพร้อมกับการกลับตัว 180°
side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100;//กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
}

myservo.write(C_Angle);delay(50);//คำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวทำงานหมุนไปตรงกลาง
side_C_val = microsecondsToCentimeters();delay(50);//คำสั่งตรวจสอบระยะห่างตรงกลาง
check_verticla1_distance = microsecondsToCentimeters2();delay(50);//คำสั่งตรวจสอบระยะใน
แนวตั้งของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1
check_verticla2_distance = microsecondsToCentimeters3();delay(50);//คำสั่งตรวจสอบระยะใน
แนวตั้งของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2
if((check_verticla1_distance>=10)||((check_verticla2_distance>=10))//กรณีที่ตรวจสอบระยะใน
แนวตั้งได้น้อยกว่าเท่ากับ 10 cm
{
stop_motors();delay(200);//คำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
reverse_motors();delay(600);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ถอยหลัง

```

```

turn_right_back ();delay(1380);//คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางขวาพร้อมกับการกลับตัว 180°
side_R_val=100;side_L_val=100;side_C_val=100;side_R1_val=100;side_L1_val=100;//กำหนด
ระยะห่างทั้งทางขวา , ทางซ้าย และตรงกลางให้มีค่าเท่ากับ 100 cm
}}

```

```

//ตัวแปรของการสั่งการหยุดเดินของหุ่นยนต์

```

```

void stop_motors()
{ m1_stop(); m2_stop();}

```

```

//ตัวแปรของการสั่งการถอยหลังของหุ่นยนต์

```

```

void reverse_motors()
{ m1_reverse(); m2_reverse();}

```

```

//ตัวแปรของการสั่งการเดินหน้าของหุ่นยนต์

```

```

void forward_motors()
{ m1_forward(); m2_forward();}

```

```

//ตัวแปรของการสั่งการเลี้ยวขวา หมุนตัว 180° ของหุ่นยนต์

```

```

void turn_right()
{m2_forward(); m1_stop(); }

```

```

//ตัวแปรของการสั่งการเลี้ยวซ้าย หมุนตัว 180° ของหุ่นยนต์

```

```

void turn_left()
{m1_forward(); m2_stop(); }

```

```

//ตัวแปรของการสั่งการเลี้ยวขวา หมุนตัว 90° ของหุ่นยนต์

```

```

void turn_right90()
{m2_forward(); m1_stop(); }

```

```

//ตัวแปรของการสั่งการเลี้ยวซ้าย หมุนตัว 90° ของหุ่นยนต์

```

```

void turn_left90()
{m1_forward(); m2_stop(); }

```

//ตัวแปรของการสั่งการเลี้ยวขวา กลับหลังหมุนตัว 180° ของหุ่นยนต์

```
void turn_right_back()
{m1_forward(); m2_reverse(); }
```

//คำสั่งกำหนดให้มอเตอร์ตัวที่ 1 ทำงานพร้อมกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า

```
void m1_forward()
{ digitalWrite(motor1_IN1, HIGH); digitalWrite(motor1_IN2, LOW); digitalWrite(motor1_ALI,
HIGH); }
```

//คำสั่งกำหนดให้มอเตอร์ตัวที่ 2 ทำงานพร้อมกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า

```
void m2_forward()
{ digitalWrite(motor2_IN3, HIGH); digitalWrite(motor2_IN4, LOW); digitalWrite(motor2_BLI,
HIGH); }
```

//คำสั่งกำหนดให้มอเตอร์ตัวที่ 1 หยุดทำงานพร้อมกับหุ่นยนต์หยุดเคลื่อนที่

```
void m1_stop()
{ digitalWrite(motor1_IN1, LOW); digitalWrite(motor1_IN2, LOW); }
```

//คำสั่งกำหนดให้มอเตอร์ตัวที่ 2 หยุดทำงานพร้อมกับหุ่นยนต์หยุดเคลื่อนที่

```
void m2_stop()
{ digitalWrite(motor2_IN3, LOW); digitalWrite(motor2_IN4, LOW); }
```

//คำสั่งกำหนดให้มอเตอร์ตัวที่ 1 ทำงานพร้อมกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ถอยหลัง

```
void m1_reverse()
{ digitalWrite(motor1_IN1, LOW); digitalWrite(motor1_IN2, HIGH); digitalWrite(motor1_ALI,
HIGH);}
```

//คำสั่งกำหนดให้มอเตอร์ตัวที่ 2 ทำงานพร้อมกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ถอยหลัง

```
void m2_reverse()
{ digitalWrite(motor2_IN3, LOW); digitalWrite(motor2_IN4, HIGH); digitalWrite(motor2_BLI,
HIGH);}
```

//คำสั่งการให้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงในแนวระดับตรวจสอบค่าระยะห่าง

long microsecondsToCentimeters()

{ digitalWrite(trigPin1, LOW); delayMicroseconds(1);

digitalWrite(trigPin1, HIGH); delayMicroseconds(10);

digitalWrite(trigPin1, LOW); duration = pulseIn(echoPin1, HIGH); return duration / 29 / 2;; }

//คำสั่งการให้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 ในแนวตั้งตรวจสอบค่าระยะแนวตั้ง

long microsecondsToCentimeters2()

{ digitalWrite(trigPin2, LOW); delayMicroseconds(1);

digitalWrite(trigPin2, HIGH); delayMicroseconds(10);

digitalWrite(trigPin2, LOW); duration2 = pulseIn(echoPin2, HIGH); return duration2 / 29 / 2;;}

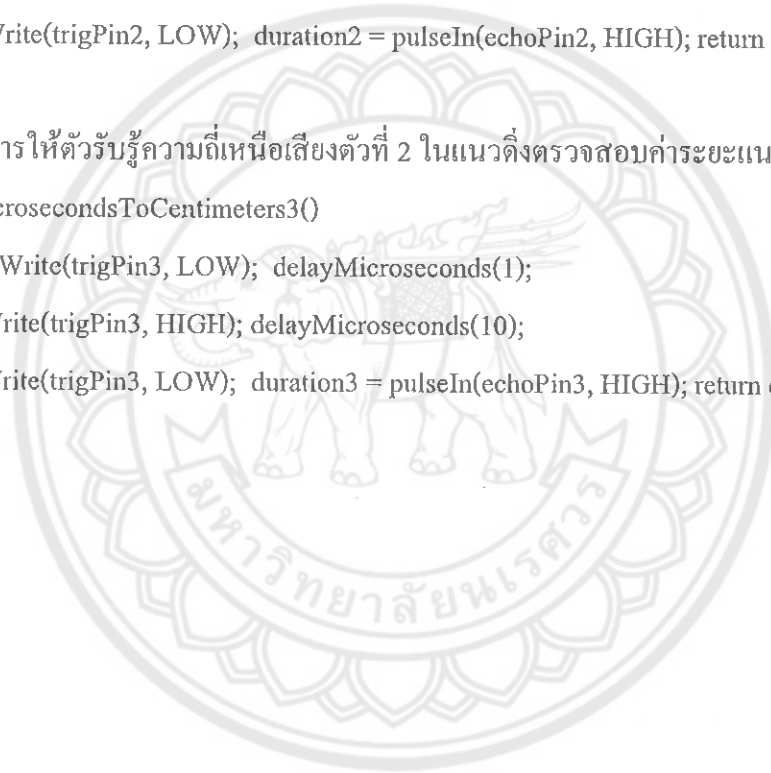
//คำสั่งการให้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 ในแนวตั้งตรวจสอบค่าระยะแนวตั้ง

long microsecondsToCentimeters3()

{ digitalWrite(trigPin3, LOW); delayMicroseconds(1);

digitalWrite(trigPin3, HIGH); delayMicroseconds(10);

digitalWrite(trigPin3, LOW); duration3 = pulseIn(echoPin3, HIGH); return duration3 / 29 / 2;;}



ภาคผนวก ข

รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข TL494







## SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator with Master or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5.0 V Reference
- Adjustable Deadtime Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source or Sink
- Output Control for Push-Pull or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout

**MAXIMUM RATINGS** (Full operating ambient temperature range applies, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	Unit
Power Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	42		V
Collector Output Voltage	V <sub>C1</sub> , V <sub>C2</sub>	42		V
Collector Output Current (Each transistor) (Note 1)	I <sub>C1</sub> , I <sub>C2</sub>	500		mA
Amplifier Input Voltage Range	V <sub>IR</sub>	-0.3 to +42		V
Power Dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ 45°C	P <sub>D</sub>	1000		mW
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	R <sub>θJA</sub>	80		°C/W
Operating Junction Temperature	T <sub>J</sub>	125		°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-55 to +125		°C
Operating Ambient Temperature Range TL494C TL494I	T <sub>A</sub>	0 to +70 -25 to +85		°C
Derating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	45		°C

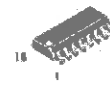
NOTE: 1. Maximum thermal limits must be observed.

Order this document by TL494/D

## TL494

### SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUIT

SEMICONDUCTOR  
TECHNICAL DATA

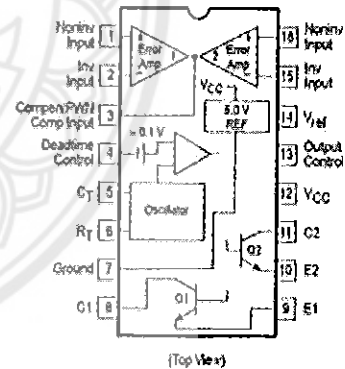


**D SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751B  
(SO-16)**



**N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 648**

### PIN CONNECTIONS



### ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
TL494CD	T <sub>A</sub> = 0° to +70°C	SO-16
TL494CN		Plastic
TL494IN	T <sub>A</sub> = -25° to +85°C	Plastic

## TL494

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply Voltage	$V_{CC}$	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	$V_{C1}, V_{C2}$	–	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	$I_{C1}, I_{C2}$	–	–	200	mA
Amplified Input Voltage	$V_{in}$	–0.3	–	$V_{CC} - 2.0$	V
Current into Feedback Terminal	$I_b$	–	–	0.3	mA
Reference Output Current	$I_{ref}$	–	–	10	mA
Timing Resistor	$R_T$	1.8	30	500	k $\Omega$
Timing Capacitor	$C_T$	0.0047	0.001	10	$\mu$ F
Oscillator Frequency	$f_{osc}$	1.0	40	200	kHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_{CC} = 15$  V,  $C_T = 0.01$   $\mu$ F,  $R_T = 12$  k $\Omega$ , unless otherwise noted.)For typical values  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , for min/max values  $T_A$  is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>REFERENCE SECTION</b>					
Reference Voltage ( $I_O = 1.0$ mA)	$V_{ref}$	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation ( $V_{CC} = 7.0$ V to 40 V)	$Reg_{line}$	–	2.0	25	mV
Load Regulation ( $I_O = 1.0$ mA to 10 mA)	$Reg_{load}$	–	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current ( $V_{ref} = 0$ V)	$I_{SC}$	15	35	75	mA
<b>OUTPUT SECTION</b>					
Collector Off-State Current ( $V_{CC} = 40$ V, $V_{CE} = 40$ V)	$I_{C(off)}$	–	2.0	100	$\mu$ A
Emitter Off-State Current ( $V_{CC} = 40$ V, $V_C = 40$ V, $V_E = 0$ V)	$I_{E(off)}$	–	–	–100	$\mu$ A
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2) Common-Emitter ( $V_E = 0$ V, $I_C = 200$ mA) Emitter-Follower ( $V_C = 15$ V, $I_E = -200$ mA)	$V_{sat(C)}$ $V_{sat(E)}$	– –	1.1 1.5	1.3 2.5	V
Output Control Pin Current Low State ( $V_{OC} \leq 0.4$ V) High State ( $V_{OC} = V_{ref}$ )	$I_{OCL}$ $I_{OCH}$	– –	10 0.2	– 3.5	$\mu$ A mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	$t_r$	– –	100 100	200 200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	$t_f$	– –	25 40	100 100	ns

NOTE: 2. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

## TL494

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $V_{CC} = 15\text{ V}$ ,  $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ ,  $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.)For typical values  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , for min/max values  $T_A$  is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>ERROR AMPLIFIER SECTION</b>					
Input Offset Voltage ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$V_{IO}$	–	2.0	10	mV
Input Offset Current ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$I_{IO}$	–	5.0	250	nA
Input Bias Current ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$I_{IB}$	–	–0.1	–1.0	$\mu\text{A}$
Input Common Mode Voltage Range ( $V_{CC} = 40\ \text{V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$V_{ICR}$	–0.3 to $V_{CC}-2.0$			V
Open Loop Voltage Gain ( $\Delta V_O = 3.0\ \text{V}$ , $V_O = 0.5\ \text{V}$ to 3.5 V, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	$A_{VOL}$	70	95	–	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ( $V_O = 0.5\ \text{V}$ to 3.5 V, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	$f_c$	–	350	–	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ( $V_O = 0.5\ \text{V}$ to 3.5 V, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	$\phi_m$	–	65	–	deg.
Common Mode Rejection Ratio ( $V_{CC} = 40\ \text{V}$ )	CMRR	65	90	–	dB
Power Supply Rejection Ratio ( $\Delta V_{CC} = 33\ \text{V}$ , $V_O = 2.5\ \text{V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	PSRR	–	100	–	dB
Output Sink Current ( $V_O$ (Pin 3) = 0.7 V)	$I_{O-}$	0.3	0.7	–	mA
Output Source Current ( $V_O$ (Pin 3) = 3.5 V)	$I_{O+}$	2.0	–4.0	–	mA
<b>PWM COMPARATOR SECTION</b> (Test Circuit Figure 11)					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	$V_{TH}$	–	2.5	4.5	V
Input Sink Current ( $V_{Pin\ 3} = 0.7\ \text{V}$ )	$I_L$	0.3	0.7	–	mA
<b>DEADTIME CONTROL SECTION</b> (Test Circuit Figure 11)					
Input Bias Current (Pin 4) ( $V_{Pin\ 4} = 0\ \text{V}$ to 5.25 V)	$I_{IB}$ (DT)	–	–2.0	–10	$\mu\text{A}$
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ( $V_{Pin\ 4} = 0\ \text{V}$ , $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ ) ( $V_{Pin\ 4} = 0\ \text{V}$ , $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )	$DC_{max}$	45	48	50	%
		–	45	50	
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	$V_{th}$	–	2.8	3.3	V
		0	–	–	
<b>OSCILLATOR SECTION</b>					
Frequency ( $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )	$f_{osc}$	–	40	–	kHz
Standard Deviation of Frequency* ( $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )	$\sigma f_{osc}$	–	3.0	–	%
Frequency Change with Voltage ( $V_{CC} = 7.0\ \text{V}$ to 40 V, $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$\Delta f_{osc}$ ( $\Delta V$ )	–	0.1	–	%
Frequency Change with Temperature ( $\Delta T_A = T_{low}$ to $T_{high}$ ) ( $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ )	$\Delta f_{osc}$ ( $\Delta T$ )	–	–	12	%
<b>UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION</b>					
Turn-On Threshold ( $V_{CC}$ increasing, $I_{ref} = 1.0\ \text{mA}$ )	$V_{th}$	5.5	6.43	7.0	V
<b>TOTAL DEVICE</b>					
Standby Supply Current (Pin 6 at $V_{ref}$ , All other inputs and outputs open) ( $V_{CC} = 15\ \text{V}$ ) ( $V_{CC} = 40\ \text{V}$ )	$I_{CC}$	–	5.5	10	mA
		–	7.0	15	
Average Supply Current ( $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ , $V_{Pin\ 4} = 2.0\ \text{V}$ ) ( $V_{CC} = 15\ \text{V}$ ) (See Figure 12)		–	7.0	–	mA

\* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula,  $\sigma$ 

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2}{N-1}}$$

ภาคผนวก ค

รายละเอียดของทรานซิสเตอร์หมายเลข Tip 32C

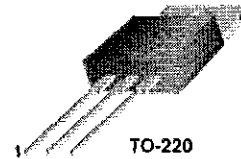


**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR™

## TIP32 Series(TIP32/32A/32B/32C)

### Medium Power Linear Switching Applications

- Complement to TIP31/31A/31B/31C



TO-220

1.Base 2.Collector 3.Emmitter

### PNP Epitaxial Silicon Transistor

#### Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage	: TIP32	-40
		: TIP32A	-60
		: TIP32B	-80
		: TIP32C	-100
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage	: TIP32	-40
		: TIP32A	-60
		: TIP32B	-80
		: TIP32C	-100
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage	-5	V
$I_C$	Collector Current (DC)	-3	A
$I_{CP}$	Collector Current (Pulse)	-5	A
$I_B$	Base Current	-3	A
$P_C$	Collector Dissipation ( $T_C=25^\circ\text{C}$ )	40	W
$P_C$	Collector Dissipation ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )	2	W
$T_J$	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
$T_{STG}$	Storage Temperature	-65 - 150	$^\circ\text{C}$

#### Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
$V_{CE(sus)}$	* Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = -30\text{mA}, I_B = 0$	: TIP32	-40	V
			: TIP32A	-60	V
			: TIP32B	-80	V
			: TIP32C	-100	V
$I_{CEO}$	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = -30\text{V}, I_B = 0$ $V_{CE} = -60\text{V}, I_B = 0$	: TIP32/32A	-0.3	mA
			: TIP32B/32C	-0.3	mA
$I_{CES}$	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = -40\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = -60\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = -80\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = -100\text{V}, V_{CE} = 0$	: TIP32	-200	$\mu\text{A}$
			: TIP32A	-200	$\mu\text{A}$
			: TIP32B	-200	$\mu\text{A}$
			: TIP32C	-200	$\mu\text{A}$
$I_{EBO}$	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = -5\text{V}, I_C = 0$		-1	mA
$h_{FE}$	* DC Current Gain	$V_{CE} = -4\text{V}, I_C = -1\text{A}$ $V_{CE} = -4\text{V}, I_C = -3\text{A}$	: TIP32	25	
			: TIP32A	10	50
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -3\text{A}, I_B = -375\text{mA}$		-1.2	V
$V_{BE(sat)}$	* Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE} = -4\text{V}, I_C = -3\text{A}$		-1.8	V
$f_T$	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = -10\text{V}, I_C = -500\text{mA}$	3.0		MHz

\* Pulse Test, PIVs 300 $\mu\text{s}$ , Duty Cycle 2%

ภาคผนวก ง

รายละเอียดของไดโอดหมายเลข FR204





## FR201 - FR207-STR

PRV : 50 - 1000 Volts  
I<sub>o</sub> : 2.0 Amperes

### FEATURES :

- High current capability
- High surge current capability
- High reliability
- Low reverse current
- Low forward voltage drop
- Fast switching for high efficiency

### MECHANICAL DATA :

- Case : D2 Molded plastic
- Epoxy : UL94V-0 rate flame retardant
- Lead : Axial lead solderable per MIL-STD-202, Method 208 guaranteed
- Polarity : Color band denotes cathode end
- Mounting position : Any
- Weight : 0.465 gram

### MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

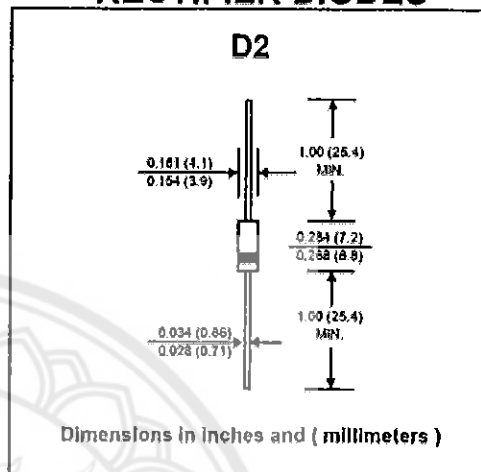
Rating at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.  
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.  
For capacitive load, derate current by 20%.

RATING	SYMBOL	FR201	FR202	FR203	FR204	FR205	FR206	FR207	FR207-STR	UNIT
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V <sub>RRM</sub>	50	100	200	400	600	800	1000	1000	V
Maximum RMS Voltage	V <sub>RMS</sub>	35	70	140	280	420	560	700	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	V <sub>DC</sub>	50	100	200	400	600	800	1000	1000	V
Maximum Average Forward Current 0.375"(9.5mm) Lead Length      T <sub>a</sub> = 55 °C	I <sub>F(AV)</sub>	2.0								A
Peak Forward Surge Current, 8.3ms Single half sine wave Superimposed on rated load (JEDEC Method)	I <sub>FSM</sub>	75								A
Maximum Peak Forward Voltage at I <sub>F</sub> = 2.0 Amps.	V <sub>F</sub>	1.3								V
Maximum DC Reverse Current      T <sub>a</sub> = 25 °C	I <sub>R</sub>	10								µA
at Rated DC Blocking Voltage      T <sub>a</sub> = 100 °C	I <sub>R(H)</sub>	500								µA
Maximum Reverse Recovery Time ( Note 1 )	T <sub>rr</sub>	150		250		500		250		ns
Typical Junction Capacitance ( Note 2 )	C <sub>J</sub>	15								pf
Junction Temperature Range	T <sub>J</sub>	- 65 to + 150								°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	- 65 to + 150								°C

#### Notes :

- ( 1 ) Reverse Recovery Test Conditions : I<sub>F</sub> = 0.5 A, I<sub>R</sub> = 1.0 A, I<sub>rr</sub> = 0.25 A.
- ( 2 ) Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0 V<sub>DC</sub>

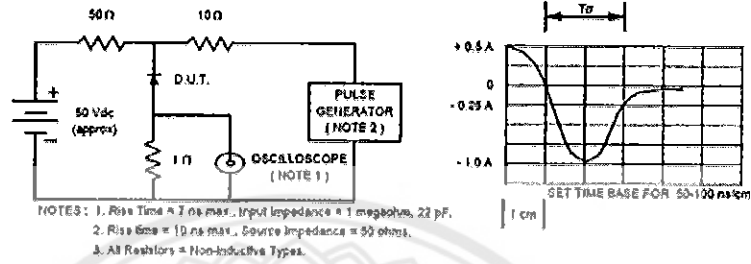
## FAST RECOVERY RECTIFIER DIODES



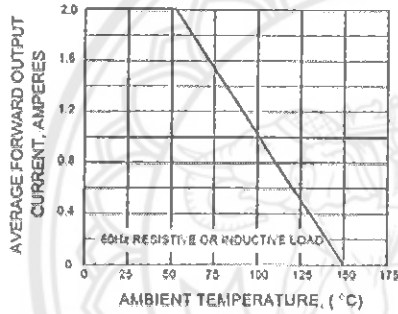


**RATING AND CHARACTERISTIC CURVES ( FR201 - FR207-STR )**

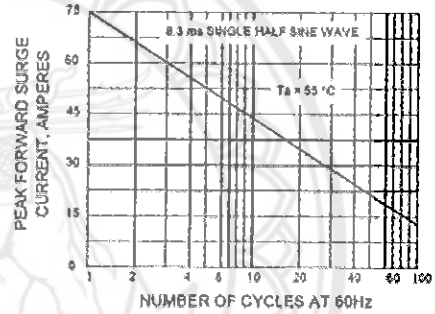
**FIG.1 - REVERSE RECOVERY TIME CHARACTERISTIC AND TEST CIRCUIT DIAGRAM**



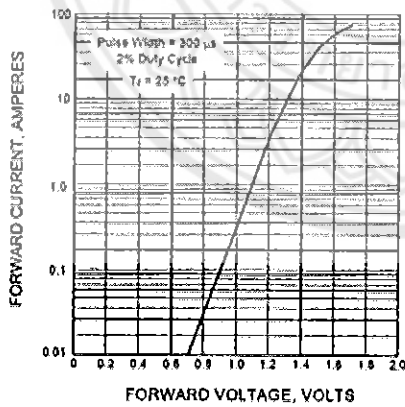
**FIG.2 - DERATING CURVE FOR OUTPUT RECTIFIED CURRENT**



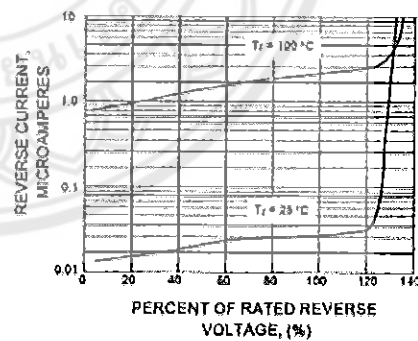
**FIG.3 - MAXIMUM NON-REPETITIVE PEAK FORWARD SURGE CURRENT**



**FIG.4 - TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS**



**FIG.5 - TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS**





ภาคผนวก จ

รายละเอียดของตัวคุมค่าแรงดัชนีหมายเลข L7805CV





## L7800 series

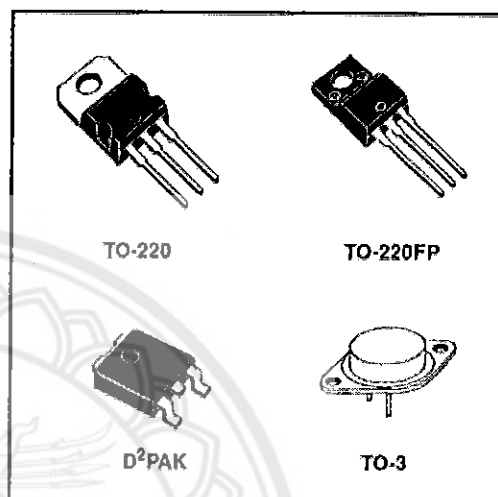
### Positive voltage regulators

#### Feature summary

- Output current to 1.5A
- Output voltages of 5; 5.2; 6; 8; 8.5; 9; 10; 12; 15; 18; 24V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection

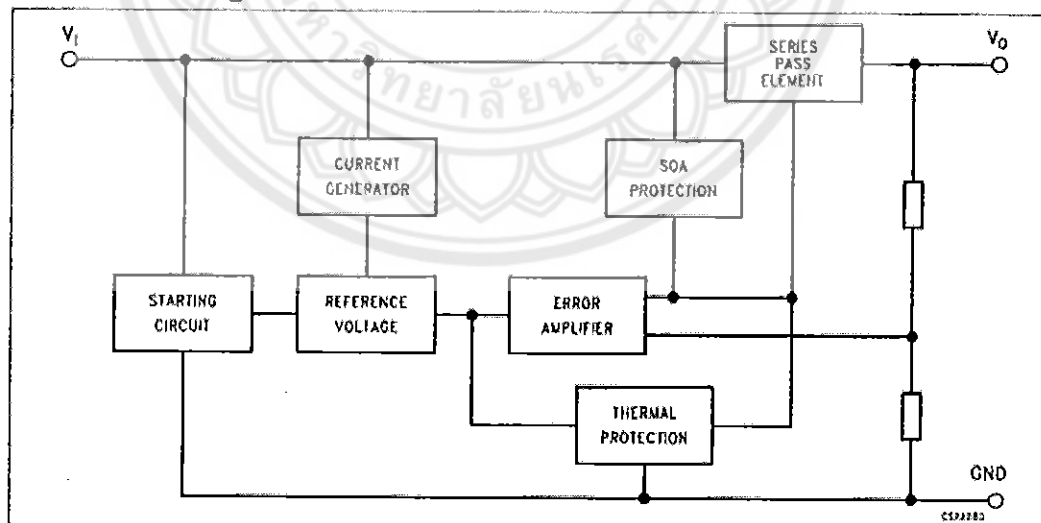
#### Description

The L7800 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-3 and D<sup>2</sup>PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed



primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

#### Schematic diagram



# 1 Pin configuration

Figure 1. Pin connections (top view)

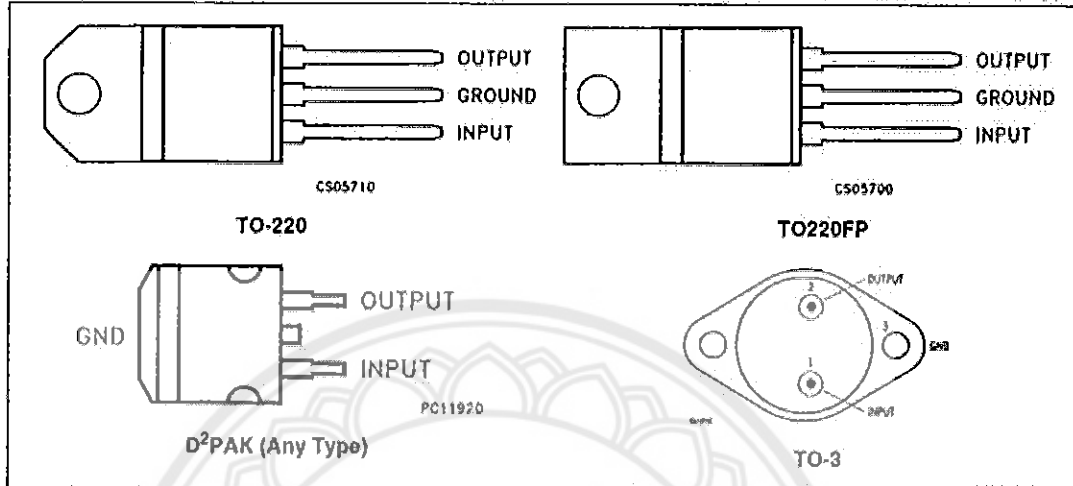
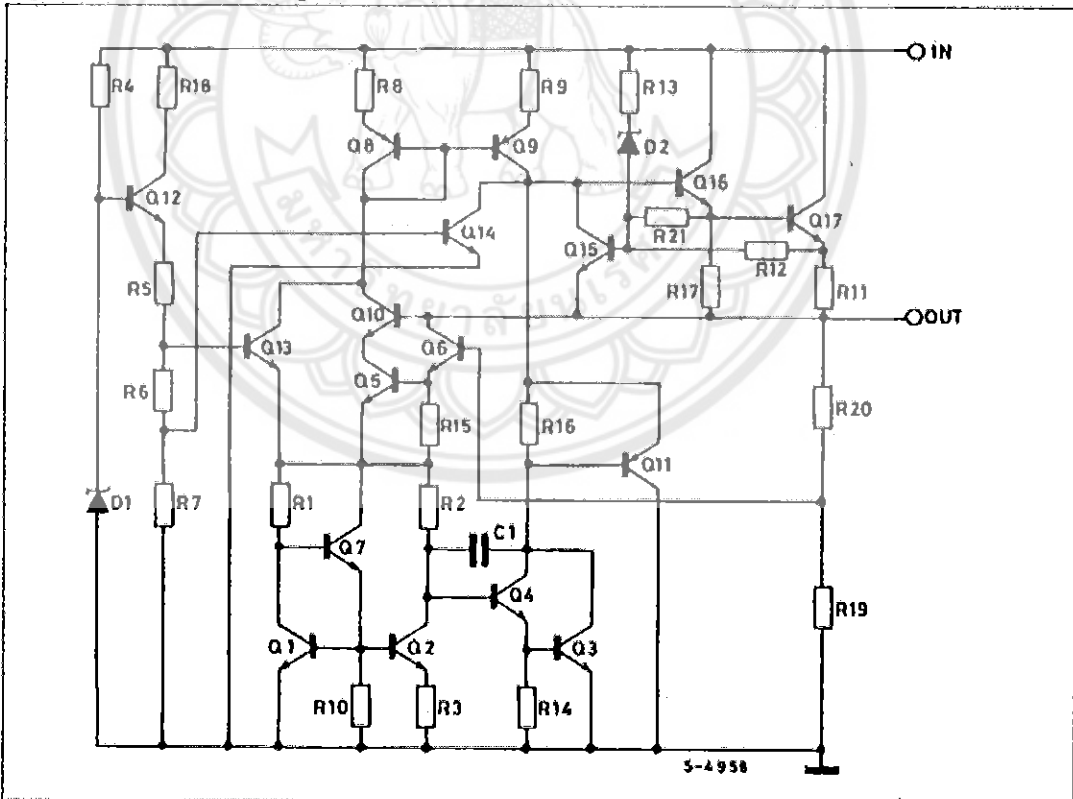


Figure 2. Schematic diagram



## 2 Maximum ratings

Table 1. Absolute maximum ratings

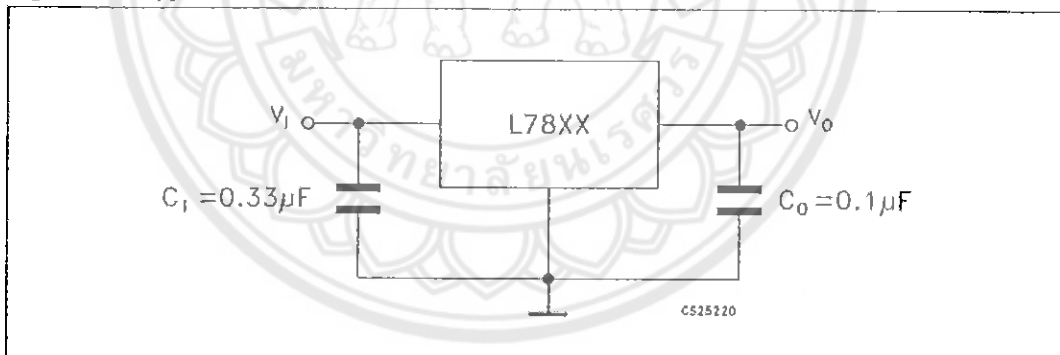
Symbol	Parameter	Value	Unit	
$V_I$	DC Input voltage	for $V_O = 5$ to $18V$	35	V
		for $V_O = 20, 24V$	40	
$I_O$	Output current	Internally Limited		
$P_D$	Power dissipation	Internally Limited		
$T_{STG}$	Storage temperature range	-65 to 150	°C	
$T_{OP}$	Operating junction temperature range	for L7800	-55 to 150	°C
		for L7800C	0 to 150	

**Note:** Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied

Table 2. Thermal Data

Symbol	Parameter	D <sup>2</sup> PAK	TO-220	TO-220FP	TO-3	Unit
$R_{thJC}$	Thermal resistance junction-case	3	5	5	4	°C/W
$R_{thJA}$	Thermal resistance junction-ambient	62.5	50	60	35	°C/W

Figure 3. Application circuits



## 4 Electrical characteristics

**Table 3.** Electrical characteristics of L7805 (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 10\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
$V_O$	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$ , $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 8$ to $20\text{ V}$	4.65	5	5.35	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 7$ to $25\text{ V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	50	mV
		$V_I = 8$ to $12\text{ V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		1	25	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to $750\text{ mA}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			25	
$I_d$	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
$\Delta I_d$	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 8$ to $25\text{ V}$			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 8$ to $18\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$	68			dB
$V_d$	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
$R_O$	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
$I_{scp}$	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## Electrical characteristics

## L7800 series

**Table 11. Electrical characteristics of L7805C (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 10\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified)**

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
$V_O$	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ , $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 7$ to $20\text{ V}$	4.75	5	5.25	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 7$ to $25\text{ V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	100	mV
		$V_I = 8$ to $12\text{ V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		1	50	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to $750\text{ mA}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			50	
$I_d$	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
$\Delta I_d$	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 7$ to $25\text{ V}$			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		40		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 8$ to $18\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$	62			dB
$V_d$	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
$R_O$	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75		A
$I_{scp}$	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายพงศศิริ จิตรพินิจ  
 ภูมิลำเนา 51/5 หมู่ 2 ต.ท่าฉนวน อ.กบกรลาศ จ.สุโขทัย  
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองคูวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: roncup1992@hotmail.com



ชื่อ นายวิชัญ พุกประเสริฐ  
 ภูมิลำเนา 103/6 หมู่ 1 ต.เกาะตาเลี้ยง อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย  
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสุโขทัยวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: believe\_electric@hotmail.com



ชื่อ นายวุฒิมา คุณเจย  
 ภูมิลำเนา 671/2 ถนนรามคำแหง ต.หัวเตี้ย อ.เมือง จ.ตาก  
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนผดุงปัญญา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: asanol\_palm@hotmail.com