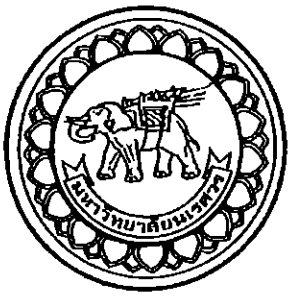
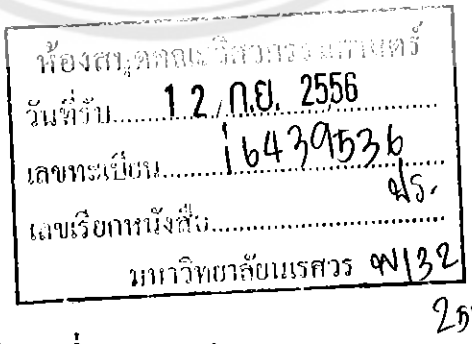


หุ่นยนต์แขนกลหยิบจับวัตถุบนสายพานลำเลียง

ROBOT ARM PICKING THE OBJECT ON A CONVEYOR BELT

นายพงศ์พันธุ์ รู้ทำนอง รหัส 52361987

นายอนิรุทธ์ ทองสุขดี รหัส 52362335



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**หุ่นยนต์แขนกลหยิบจับวัตถุบนสายพานลำเลียง**	
ผู้ดำเนินโครงงาน	**นายพงศ์พันธุ์ รู้ทำนอง**	**รหัส 52361987**
	นายอนุรุทธ์ ทองสุขดี	รหัส 52362335
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.มุฑิตา สงฆ์จันทร์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2555	

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....**ที่ปรึกษาโครงงาน**

(ดร.มุฑิตา สงฆ์จันทร์)

.....**กรรมการ**

(ดร.ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

.....**กรรมการ**

(อาจารย์เศรษฐา ตั้งค้าวานิช)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การตรวจจับวัตถุบนสายพานลำเลียงโดยใช้กล้อง	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายพงศ์พันธุ์ รู้ทำนอง	รหัส 52361987
	นายอนิรุทธ์ ทองสุขดี	รหัส 52362335
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.มุฑิตา สงฆ์จันทร์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2555	

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แขนกลต้นแบบที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกับแขนและมือของมนุษย์ ซึ่งหุ่นยนต์แขนกลต้นแบบที่สร้างขึ้นประกอบไปด้วย 4 ส่วน 4 ข้อต่อ และมีมือจับอยู่ส่วนปลายสุด โดยมือจับสามารถหยิบจับวัตถุสิ่งของที่มีขนาดเบาจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้อย่างแม่นยำ ซึ่งหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติมีการควบคุมผ่านระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงควบคุมแต่ละข้อต่อเพื่อให้แขนกลทำงานอัตโนมัติ ส่วนความถูกต้องแม่นยำนั้นจะถูกควบคุมโดยตัวต้านทานปรับค่าได้ ทำให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกลเป็นไปตามต้องการ

Project title	Robot Arm Picking the Object on a Conveyor Belt
Name	Mr. Phongpan Roothamnong ID. 52361987
	Mr. Anirut Thongsukdee ID. 52362335
Project advisor	Dr. Mutita Songjan
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic year	2012

Abstract

This project is to design and build the robot arm that looks similar to a human arm and hand. This robot arm consists of four sections and four joints including a handle at the end. This robot arm has the ability to pick and place the light weight object from one location to another location. It is controlled automatically by the microcontroller system. The DC motors are used to move the links and joints in order to function the robot arm automatically. The potentiometer is used to determine the exact position. The results show that the robot arm can move the object to the desired position correctly.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้านี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน คือ ดร.มุฑิตา สงฆ์จันทร์ ที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการทำโครงงานวิศวกรรมนี้ทุกๆด้านขอขอบคุณหอสมุดมหาวิทยาลัยนเรศวรและหอสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ยืมหนังสือดีๆมากมายขอบคุณทุกท่านที่ช่วยให้โครงงานนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงงานที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายพงศ์พันธุ์ รู้ทำนอง
นายอนิรุทธ์ ทองสุขดี

สารบัญ

หน้า

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

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนและแผนดำเนินงาน 2
1.5 แผนปฏิบัติงานตลอดโครงงาน 3
1.6 งบประมาณที่ใช้ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 4
2.1โครงสร้างทางกายของหุ่นยนต์แขนกล 4
2.1 รูปแบบและลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์แขนกล 6
2.2.1 การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์แขนกล 6
2.2.2 หลักการทำงานของหุ่นยนต์แขนกล 13
2.3 ระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ 15
2.3.1 คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 16
2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและการควบ 17
2.4.1 ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 17
2.4.2 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 19
2.4.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 19
2.5การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.1 การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ 22

2.5.2 การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน 25

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ 26

3.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ 27

3.2 การสร้างหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ 31

3.3 วงจรที่ใช้ในหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ 34

3.3.1 วงจรส่วนจ่ายไฟ 34

3.3.1 วงจรขับมอเตอร์ 34

3.3.1 ระบบควบคุมป้อนกลับ 34

3.4 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์แขนกล 35

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 39

4.1 กระบวนการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ 39

4.2 ผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ 40

4.2.1 การทดลองความแม่นยำในการหมุนของมอเตอร์ในแนวระนาบ 40

4.2.2 การทดลองความสามารถของมือจับหุ่นยนต์ 42

4.2.3 การทดลองความแม่นยำในการจับสิ่งของบนสายพานลำเลียง 43

4.2.4 การทดลองความแม่นยำในการย้ายวัตถุจากแนวระดับหนึ่งไปยังอีกแนวระดับหนึ่ง 45

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 47

5.1 สรุปผลการทดลองการทำงานหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ 47

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 48

5.2.1 ปัญหาที่พบจากการทำโครงงาน 48

5.2.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนาต่อ 48

เอกสารอ้างอิง 49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก 50
ภาคผนวก ข 57
ภาคผนวก ค 64

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 68

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 หลักการทำงานของข้อต่อแบบหมุนและแบบเลื่อน 7

2.2 ลอจิกควบคุมทิศทางมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 8

4.1 ผลการทดลองความแม่นยำในการหมุนของฐานหุ่นยนต์ในแนวระนาบ 41

4.2 ผลการทดลองการจับสิ่งของของมือจับหุ่นยนต์ 43

4.3 ผลการทดลองความแม่นยำในการจับสิ่งของบนสายพาน 44

4.4 ผลการทดลองการเคลื่อนย้ายวัตถุจากแนวระดับหนึ่งไปยังแนวระดับหนึ่ง 46

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงการทำงานของหุ่นยนต์แขนกล 4

2.2 แสดงส่วนต่างๆของหุ่นยนต์แขนกลเปรียบเทียบกับมนุษย์ 5

2.3 แขนกลกำลังไขสกรูลงในเกลียวที่ต้องการ 6

2.4 (ก) รูปแบบของหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน 8

2.5 (ก) รูปแบบของหุ่นยนต์แบบทรงกระบอก (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบทรงกระบอก. 9

2.6 (ก) รูปแบบของหุ่นยนต์แบบทรงกลม (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบทรงกลม 10

2.7 (ก) รูปแบบของหุ่นยนต์สการ่า (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์สการ่า 11

2.8 (ก) รูปแบบของหุ่นยนต์แบบแขนข้อต่อ (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบแขนข้อต่อ 12

2.9 แสดงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน 17

2.10 แสดงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม 18

2.11 แสดงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบผสมชนิดชอร์ทชั้นท์ 18

2.12 แสดงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบผสมชิดลองชั้นท์ 19

2.13 แสดงวงจรเอชบริดจ์ (H-bridges) 21

2.14 วงจรภายในของวงจรเบอร์ L298 22

2.15 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม 22

2.16 ตัวต้านทานที่ใช้ชนิดเปลี่ยนแปลงค่าได้ Variable Resistor 23

2.17 แสดงการต่อใช้งานของตัวต้านทานปรับค่าได้ แบบ Potentiometer 24

2.18 แสดงการต่อตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้แบบรีโอสตัส 24

2.19 กราฟแสดงคุณสมบัติของวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม 25

2.20 กราฟแสดงคุณสมบัติของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงโดยการเปลี่ยนค่าแรงดัน 25

3.1 แผนภาพแสดงภาพรวมของระบบ 26

3.2 รูปแบบและขนาดส่วนฐานของหุ่นยนต์แขนกล 27

3.3 รูปแบบและขนาดส่วนเอวของหุ่นยนต์แขนกล 28

3.4 รูปแบบและขนาดส่วนแขนท่อนบนของหุ่นยนต์แขนกล 29

3.5 รูปแบบและมีขนาดส่วนแขนท่อนล่างของหุ่นยนต์แขนกล 29

3.6 รูปแบบและขนาดของมือจับของหุ่นยนต์แขนกล 30

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

3.7 รูปแบบของหุ่นยนต์แขนกล 31

3.8 การติดตั้งมอเตอร์ในส่วนของฐานขับเคลื่อนผ่านเฟือง 32

3.9 การติดตั้งมอเตอร์ขับเคลื่อนส่วนท่อนแขนบนผ่านเฟือง 32

3.10 การติดตั้งมอเตอร์ขับเคลื่อนส่วนท่อนแขนล่างผ่านสายพานไทมิ่ง 32

3.11 การติดตั้งมอเตอร์ในส่วนของข้อมือจะขับเคลื่อนผ่านสายพานไทมิ่ง 33

3.12 มือจับและการติดตั้งมอเตอร์ในมือจับ 33

3.13 ชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดัน 34

3.14 แสดงระบบควบคุมแบบย้อนกลับของตัว Controller 35

3.15 Flowchart แสดงการทำงานของ Controller 36

3.16 Flowchart แสดงการทำงานของ Controller 37

4.1 ลักษณะตำแหน่งเริ่มต้นการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ 39

4.2 ลักษณะการหมุนในแนวระนาบ 41

4.3 การทดลองจับสิ่งของของมือจับ 42

4.4 การทำงานของหุ่นยนต์ในการจับสิ่งของบนสายพานลำเลียง 44

4.5 การทำงานของหุ่นยนต์ในการจับสิ่งของต่างระดับ 45

4.6 การทำงานของหุ่นยนต์ในการวางสิ่งของต่างระดับ 46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันการคิดค้นวิจัยในเรื่องการทำหุ่นยนต์เครื่องจักรกลที่สามารถนำมาใช้งานแทนมนุษย์ในด้านต่าง ๆ นั้นเริ่มมีการค้นคว้าและวิจัยกันอย่างแพร่หลายและกว้างขวางขึ้น ทั้งด้านความสามารถ รูปร่างที่มีขนาดเล็กลง ตลอดจนถึงความมีประสิทธิภาพในการทำงาน โดยขอบเขตการทำงานเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับประเภทและลักษณะการทำงานที่มนุษย์ต้องการเป็นผู้กำหนดขอบเขตเหล่านี้ขึ้นมา ดังนั้นจึงมีการพัฒนาขีดจำกัดความสามารถของหุ่นยนต์ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้นด้วยเหตุนี้หุ่นยนต์จึงมีบทบาทสำคัญในวงการอุตสาหกรรมมากขึ้นไม่ว่าจะอุตสาหกรรมขนาดใหญ่หรือแม้กระทั่งในครัวเรือน เนื่องจากหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพในการทำงานค่อนข้างสูงแม่นยำในการทำงานทำให้เกิดความผิดพลาดและความสูญเสียของชิ้นงานน้อยลง และในบางลักษณะงานมีอันตรายความเสี่ยงสูงที่เกินขีดจำกัดการทำงานของมนุษย์ อาทิเช่น พื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง ข้อจำกัดของพื้นที่ในการทำงานที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปปฏิบัติงานได้ การทำงานที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ทั้งนี้รวมไปถึงลักษณะการทำงานที่ยาวนานและต่อเนื่องที่มนุษย์ไม่สามารถจะปฏิบัติงานนั้นได้ นอกจากนี้หุ่นยนต์ยังเข้ามามีบทบาทในงานด้านการแพทย์ได้นำหุ่นยนต์แขนกลเข้ามาส่วนร่วมในการช่วยในการผ่าตัดคนไข้เนื่องจากหุ่นยนต์นั้นมีความสามารถในการทำงานที่มีความระเอียดสูง โดยปัจจัยหลักของการนำหุ่นยนต์มาใช้แทนมนุษย์ก็คือการทำงานที่มีความเสี่ยงสูงต้องการความแม่นยำรวดเร็ว อย่างไรก็ตามขีดจำกัดของหุ่นยนต์เมื่อเทียบกับมนุษย์แล้วนั้นบางครั้งหุ่นยนต์ก็ไม่สามารถทำแทนมนุษย์ได้ โดยเฉพาะเรื่องไหวพริบปฏิภาณในการตัดสินรวมถึงหลักมนุษยธรรมซึ่งหุ่นยนต์ไม่มีกลไกลความคิดในด้านนี้ แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์ยังต้องมีการพัฒนาความสามารถและขีดจำกัดของหุ่นยนต์ให้เพิ่มมากขึ้นสามารถเป็นเสมือนตัวแทนมนุษย์ในการตัดสินใจและการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นจึงจัดทำโครงงานนี้ได้คิดค้นและทำการออกแบบสร้างหุ่นยนต์แขนกลต้นแบบเพื่อหยิบจับวัตถุบนสายพานลำเลียงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ เพื่อเป็นต้นแบบต่อการค้นคว้าตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในแบบต่างๆได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ออกแบบและสร้างแขนกลอัตโนมัติโดยสามารถหยิบวัตถุที่สีไม่ได้มาตรฐานออกจากสายพานลำเลียง

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1) สร้างต้นแบบของแขนกลอัตโนมัติ
2) เขียนโปรแกรมควบคุมแขนกลให้เคลื่อนไหวในทิศทางที่ต้องการโดยโปรแกรมภาษาซี
3) แขนกลจะทำงานโดยการใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน
4) ให้แขนกลทำงานโดยสามารถหยิบจับสิ่งที่เลื่อนบนสายพานไปวางไว้อีกตำแหน่งได้ตามโปรแกรมที่วางไว้ได้ถูกต้องและแม่นยำ
5) หุ่นยนต์สามารถจับวัตถุทรงลูกบาศก์ขนาด 7x7 ลูกบาศก์เซนติเมตร
6) หุ่นยนต์สามารถจับวัตถุที่มีน้ำหนักไม่เกิน 500 กรัม
7) หุ่นยนต์สามารถจับสิ่งของได้ทีละ 1 ชิ้น

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

1) ศึกษาทฤษฎีของระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน
2) ศึกษาทฤษฎีของมอเตอร์กระแสตรง วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง และวงจรอินเตอร์เฟส
3) ศึกษารูปแบบและโครงสร้างทางกลของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ
4) ออกแบบและสร้างแบบจะลองของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ และจำลองการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ
5) สร้างต้นแบบหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ
6) เขียนโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ
7) ทดสอบหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ และปรับปรุงและแก้ไขข้อผิดพลาดของการเคลื่อนไหวจากโปรแกรม
8) สรุปผลและจัดรูปเล่มโครงงาน

1.5 แผนปฏิบัติงานตลอดโครงงาน

โครงงานการสร้างแขนกลหุ่นยนต์อัตโนมัติมีแผนปฏิบัติดังนี้

การปฏิบัติงาน	เดือน									
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ออกแบบและสร้างแขนหุ่นยนต์	←	—	—	→						
2.ศึกษาวงจรอินเตอร์เฟสและทฤษฎีของมอเตอร์กระแสตรง			←	—	→					
3.ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์				←	—	→				
4.เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมแขนหุ่นยนต์					←	—	→			
5.ทดสอบแขนหุ่นยนต์ในการจับชิ้นงาน						←	—	—	→	
6.สรุปผลการทำงาน จัดรูปเล่มโครงงาน									←	→

1.6 งบประมาณที่ใช้

รายละเอียดงบประมาณที่ของโครงงานมีดังนี้

1) วัสดุไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	5,000 บาท
2) วัสดุสำหรับทำโครงสร้างหุ่นยนต์	4,000 บาท
3) จัดทำเล่มปริญญานิพนธ์	800 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น(เก้าพันแปดร้อยบาทถ้วน)	9,800 บาท

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

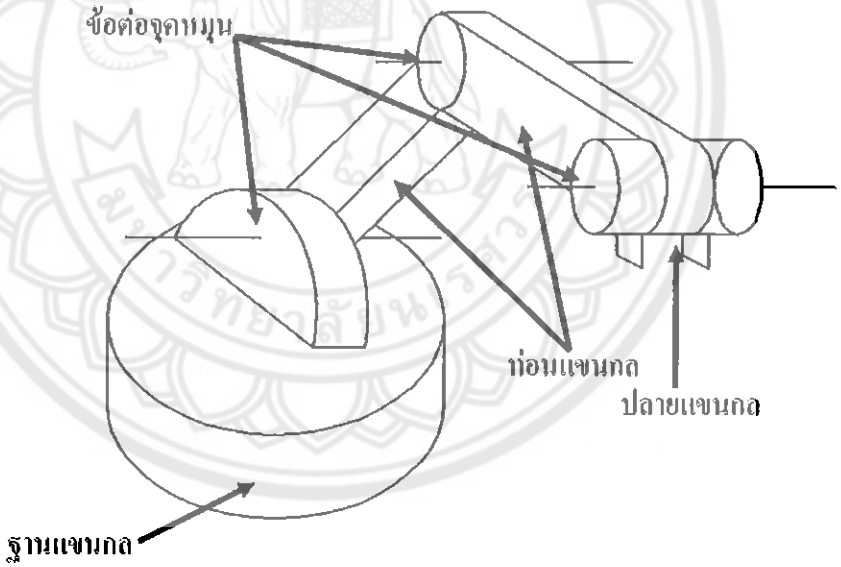
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะรวมหลักการและทฤษฎีขององค์ประกอบที่มีความจำเป็นต่อการทำงานของหุ่นยนต์แขนกล ซึ่งในแต่ละองค์ประกอบนั้นจะมีการทำงานที่สัมพันธ์กันของโครงสร้างของหุ่นยนต์แขนกล ระบบขับเคลื่อนหุ่นยนต์ และระบบควบคุมหุ่นยนต์

2.1 โครงสร้างทางกายภาพของหุ่นยนต์แขนกล

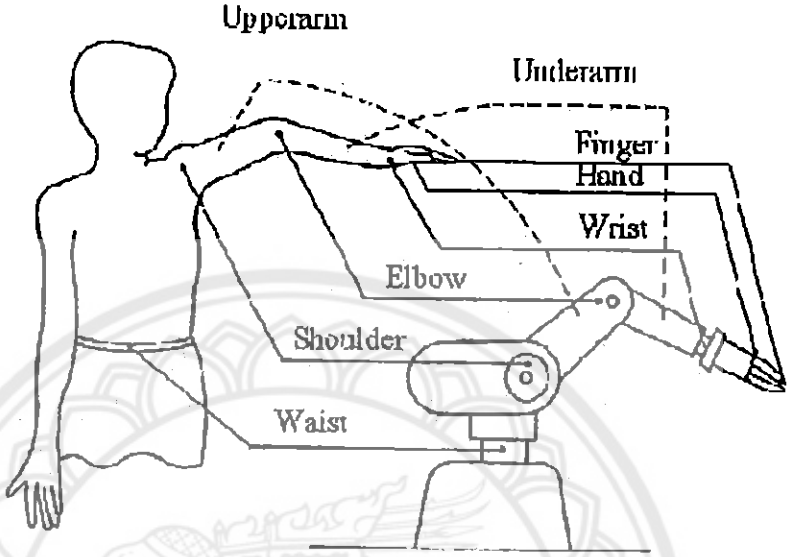
การทำงานของหุ่นยนต์[2] จะมีการเลียนแบบร่างกายของมนุษย์โดยการเลียนแบบเฉพาะส่วนของร่างกายที่นำไปใช้ประโยชน์เท่านั้น นั่นคือหุ่นยนต์แขนกลจึงเลียนแบบช่วงแขนของมนุษย์ โดยหุ่นยนต์แขนกลส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบอยู่หลายส่วน ได้แก่ ฐาน (Bass) ของหุ่นยนต์ ท่อนชิ้นส่วนที่เป็นแขนกล (Link) ข้อต่อจุดหมุน (Joints) ตามชิ้นส่วนที่ต่อกัน ปลายของแขนกลที่ใช้ทำงาน ซึ่งการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของหุ่นยนต์แขนกล

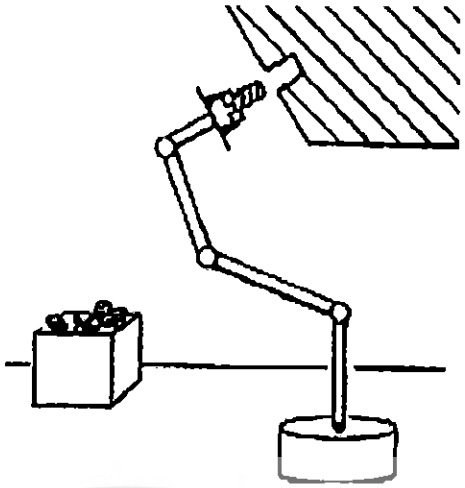
โดยทั่วไปหุ่นยนต์จะมีข้อต่อ 5 ข้อต่อ โดยคล้ายกับแขนมนุษย์ที่เริ่มจาก ส่วนฐานของหุ่นยนต์ส่วนเอวของมนุษย์ (Waist) ส่วนข้อหมุนติดฐานเทียบกับส่วนหัวไหล่ของมนุษย์ (Shoulder) ส่วนข้อหมุนกลางเทียบกับส่วนข้อศอกของมนุษย์ (Elbow) ส่วนข้อหมุนติดส่วนปลายเทียบกับข้อมือของมนุษย์ (Wrist) ส่วนหยิบจับเทียบกับส่วนมือและนิ้วของมนุษย์ (Hand & Finger) ถ้าเปรียบเทียบกับแขนมนุษย์ที่สามารถยกแขนให้เคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปสู่ตำแหน่งหนึ่ง แขนกลก็เหมือนกัน แขนกลสามารถเคลื่อนที่ได้จากจุดหนึ่งไปสู่จุดหนึ่งในระยะขอบเขตรัศมีการเคลื่อนที่โดยการ

ทำงานเลียนแบบแขนมนุษย์แสดงดังรูปที่ 2.2 ส่วนข้อต่อของแขนกลแบ่งได้เป็นหลายแบบ แต่ละแบบก็จะอนุญาตให้เกิดการเคลื่อนที่ของท่อนแขนที่แตกต่างกันไปซึ่งอยู่กับความเหมาะสมในการควบคุมและใช้งาน



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนต่างๆของหุ่นยนต์แขนกลเปรียบเทียบกับมนุษย์ [2]

ในการสร้างแขนกลโดยทั่วไป ข้อต่อที่นิยมใช้มากที่สุดคือข้อต่อแบบหมุน (Revolute joint) และข้อต่อแบบเลื่อน (Prismatic joint) สำหรับข้อต่อแบบหมุน ท่อนแขนสองท่อนถูกยึดติดกันที่จุดหมุนซึ่งอยู่บนท่อนแขน โดยแต่ละท่อนสามารถหมุนได้รอบจุดหมุนนี้ เราสามารถบอกตำแหน่งของสองท่อนแขนที่สัมพันธ์กันด้วยมุมที่ท่อนแขนหมุนไป ส่วนข้อต่อแบบเลื่อนนั้น ท่อนแขนสองท่อนติดอยู่ด้วยกันในลักษณะเดียวกันกับเสาอากาศวิทยุรถยนต์ที่ยืดหดได้ โดยท่อนแขนแต่ละท่อนสามารถเลื่อนเข้าออกได้ในหนึ่งทิศทาง เราสามารถระบุตำแหน่งที่สัมพันธ์กันของสองท่อนแขนได้จากระยะเลื่อนเขาออกดังกล่าว จะเห็นได้ว่าข้อต่อแบบหมุนและข้อต่อแบบเลื่อนมีองศาอิสระของการเคลื่อนที่เป็นหนึ่ง เราเรียกตัวแปรที่กำหนดการเคลื่อนที่นี้ซึ่งได้แก่ มุมหมุนของข้อต่อแบบหมุนและระยะเลื่อนของข้อต่อแบบเลื่อนว่าเป็นพารามิเตอร์ของข้อต่อ การมีระดับเสรีของการเคลื่อนที่เป็นหนึ่งทำให้ง่ายในการออกแบบและวิเคราะห์ข้อต่อทั้งสองแบบจึงถูกใช้มากที่สุดในการสร้างแขนกล โดยแขนกลที่มีองศาอิสระสูงๆก็สามารถสร้างขึ้นได้ โดยการประกอบท่อนแขนหลายท่อนด้วยข้อต่อสองแบบนี้ แขนกลทำงานด้วยการเคลื่อนที่ของท่อนแขนที่สัมพันธ์กันเพื่อให้ปลายแขน (end effector) ไปอยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่เหมาะสม เพื่อเครื่องมือที่ติดอยู่ที่ปลายแขนจะได้ทำงานที่ต้องการได้โดยสะดวกและมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างในรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่ต้องจัดการให้ปลายแขนอยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่เหมาะสม



รูปที่ 2.3 แขนกลกำลังไขสกรูลงในเกลียวที่ต้องการ [2]

การคำนวณว่าปลายแขนจะอยู่ที่ตำแหน่งและทิศทางใดจึงเป็นเรื่องสำคัญของการคำนวณ ดังกล่าวอาศัยการกำหนดให้ท่อนแขนแต่ละท่อนมีพิกัดส่วนตัว ที่เราจะเรียกว่าเฟรม เฟรมประกอบไปด้วยจุดกำเนิดและเวกเตอร์แกน โดยเฟรมที่กล่าวถึงจะอยู่ติดแน่นกับท่อนแขนที่เป็นเจ้าของเสมอ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือแต่ละท่อนแขนจะอยู่นิ่งไม่ขยับเขยื้อนเมื่อเทียบกับเฟรมของมัน สำหรับท่อนแขนที่เกิดจากการเรียงต่อกันไป เรานิยมเรียกท่อนแขนที่อยู่นิ่งยึดติดกับพื้นว่าฐาน (Base) และเรียกท่อนถัดมาตามชื่อส่วนของส่วนแขนได้แก่ ไหล่ ข้อศอก แขนท่อนบนและข้อมือเป็นต้น ตำแหน่งและทิศทางการวางตัวของท่อนแขนหนึ่งๆ เมื่อเทียบกับเฟรมของฐานจึงขึ้นอยู่กับตำแหน่งและทิศทางของท่อนแขนก่อนๆด้วย เราสามารถคำนวณตำแหน่งและทิศทางของปลายแขนได้โดยทำการคูณเมทริกซ์การแปลงแบบซ้ายไปขวาพิจารณาจากฐานไปจนถึงปลายแขน

2.2 รูปแบบและลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์แขนกล

2.2.1 การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์แขนกล

โดยทั่วไปการแบ่งประเภทของหุ่นยนต์แขนกล[2] จะแบ่งตามลักษณะรูปทรงของพื้นที่การทำงาน (Envelope Geometric) ซึ่งหุ่นยนต์แขนกลที่ใช้ในอุตสาหกรรมนั้น ในส่วนของข้อต่อ (Joint) ที่ใช้ในขั้นพื้นฐานมี 2 แบบด้วยกันดังที่กล่าวมาแล้ว คือ

- ข้อต่อแบบหมุน
- ข้อต่อแบบตัวเลื่อน

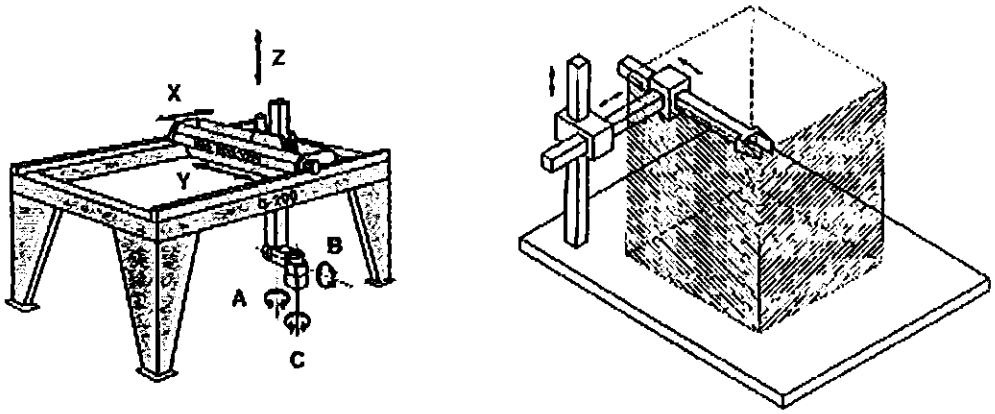
โดยหลักการทำงานของข้อต่อแต่ละแบบแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 หลักการทำงานของข้อต่อแบบหมุนและแบบเลื่อน [2]

ชนิด	สัญญาลักษณ์	หมายเหตุ
Revolute (R)		เป็นการหมุนรอบแกน (Rotary)
Prismatic		การเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear motion)

ข้อต่อ (Joint) ทั้งสองแบบเมื่อนำมาต่อเข้าด้วยกันอย่างน้อย 3 แกนหลักจะได้พื้นที่ทำงาน (Work envelope) ที่มีลักษณะแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถนำมาแบ่งประเภทของหุ่นยนต์แขนกลได้ดังต่อไปนี้

2.2.1.1 หุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน (Cartesian (Gantry) Robot) แกนทั้ง 3 ของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้น (Prismatic) ถ้าโครงสร้างมีลักษณะคล้าย Overhead Crane จะเรียกว่าเป็นประเภทของหุ่นยนต์โครงสำหรับตั้งสิ่งของ (Gantry Robot) แต่ถ้าหุ่นยนต์ไม่มีขาตั้งหรือเป็นแบบอื่น เรียกว่าประเภทของของหุ่นยนต์คาร์ทีเซียนรูปแบบและพื้นที่การทำงานแสดงดังรูป 2.4 (ก) รูปแบบของหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์คาร์ทีเซียนตามลำดับ



(ก) (ข)

รูปที่ 2.4 (ก) รูปแบบหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน [2] (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน [2]

ข้อดีข้อเสียและการประยุกต์ใช้งานของหุ่นยนต์ประเภทนี้คือ

<u>ข้อดี</u>

- เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงทั้ง 3 มิติ
- การเคลื่อนที่สามารถทำความเข้าใจง่าย
- มีส่วนประกอบง่ายๆ
- โครงสร้างแข็งแรงตลอดการเคลื่อนที่

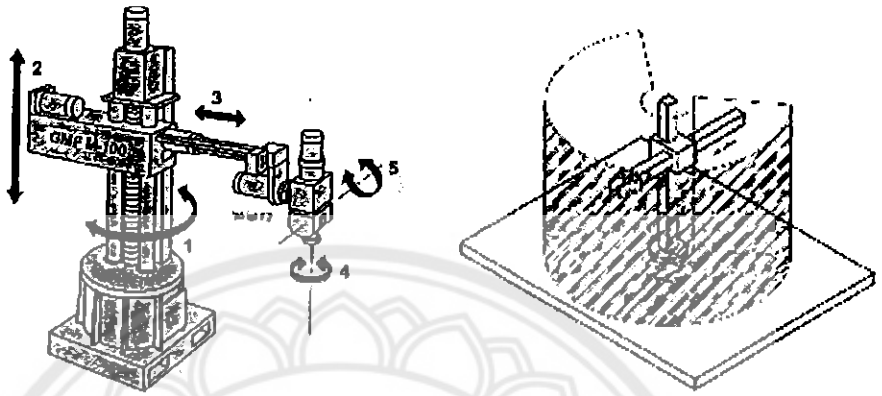
<u>ข้อเสีย</u>

- ต้องการพื้นที่การติดตั้งมาก
- บริเวณที่หุ่นยนต์เข้าไปทำงานได้จะเล็กกว่าขนาดของตัวหุ่นยนต์
- ไม่สามารถเข้าถึงวัตถุจากทิศทางข้างใต้ได้
- แกนแบบเชิงเส้นจะทำการอุดกันรั่ว (Seal) เพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลวได้ยาก

<u>การประยุกต์ใช้งาน</u>

เนื่องจากโครงสร้างของหุ่นยนต์มีความแข็งแรงตลอดแนวการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงเหมาะกับงานเคลื่อนย้ายของหนักๆ หรือเรียกว่าหยิบยกชิ้นงาน (Pick-and-Place) เช่น โหลดชิ้นงานเข้าเครื่องจักร (Machine loading) ใช้เก็บชิ้นงาน (Stacking) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานประกอบ (Assembly) ที่ไม่ต้องการเข้าถึงในลักษณะที่มีมุมหมุน เช่น ประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และชิ้นส่วนทดสอบ (Test) ต่าง ๆ

2.2.1.2 หุ่นยนต์แบบทรงกระบอก (Cylindrical robot) หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีแกนที่ 2 (ไหล่) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) เป็นส่วนเลื่อน ส่วนแกนที่ 1 (เอว) จะเป็นแบบหมุน ทำให้การเคลื่อนที่ได้พื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงกระบอก ดังแสดงในรูป 2.5 (ก) รูปแบบของหุ่นยนต์แบบทรงกระบอก (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบทรงกระบอก



(ก) (ข)

รูปที่ 2.5 (ก) รูปแบบของหุ่นยนต์แบบทรงกระบอก [2] (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบทรงกระบอก [2]

ข้อดีข้อเสียและการประยุกต์ใช้งานของหุ่นยนต์ประเภทนี้คือ

ข้อดี

- มีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน
- การเคลื่อนที่สามารถเข้าใจได้ง่าย
- สามารถเข้าถึงเครื่องจักรที่มีการเปิด-ปิดหรือเข้าไปในบริเวณที่เป็นช่องหรือโพรงได้ง่าย (Loading) เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าเครื่องซีเอ็นซี (CNC)

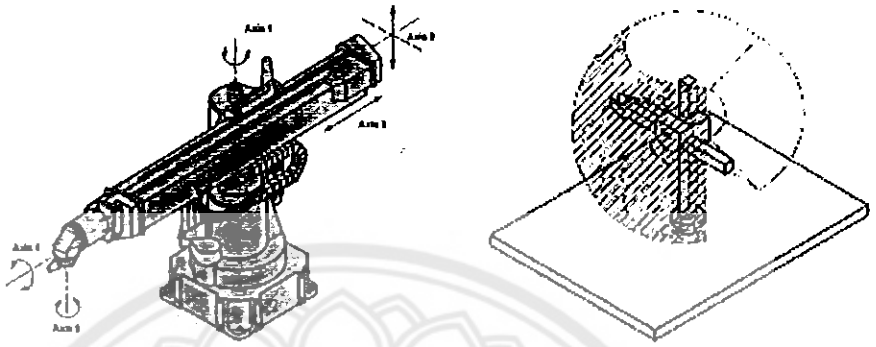
ข้อเสีย

- มีพื้นที่ทำงานจำกัด
- แกนที่เป็นเชิงเส้นมีความยุ่งยากในการอุดกันรั่ว เพื่อป้องกันฝุ่นแหละของเหลว

การประยุกต์ใช้งาน

โดยทั่วไปจะใช้ในการหยิบยกชิ้นงาน หรือป้อนชิ้นงานเครื่องจักร เพราะสามารถเคลื่อนที่เข้าบริเวณที่เป็นช่องโพรงเล็กๆ ได้สะดวก

2.2.1.3 หุ่นยนต์แบบทรงกลม (Spherical Robot (Polar) มีสองแกนที่เคลื่อนในลักษณะการหมุน (Revolute) คือแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 2 (ไหล่) ส่วนแกนที่ 3 (ข้อศอก) จะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แนวเส้นตรงดังรูปที่ 2.6 (ก) รูปแบบของหุ่นยนต์แบบทรงกลม (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบทรงกลม



(ก) (ข)

รูปที่ 2.6 (ก) รูปแบบหุ่นยนต์แบบทรงกลม [2] (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบทรงกลม [2]

ข้อดี

- มีปริมาณการทำงานมากขึ้น เนื่องจากการหมุนของแกนที่ 2 (ไหล่)
- สามารถที่จะก้มลงจับชิ้นงานบนพื้นได้สะดวก

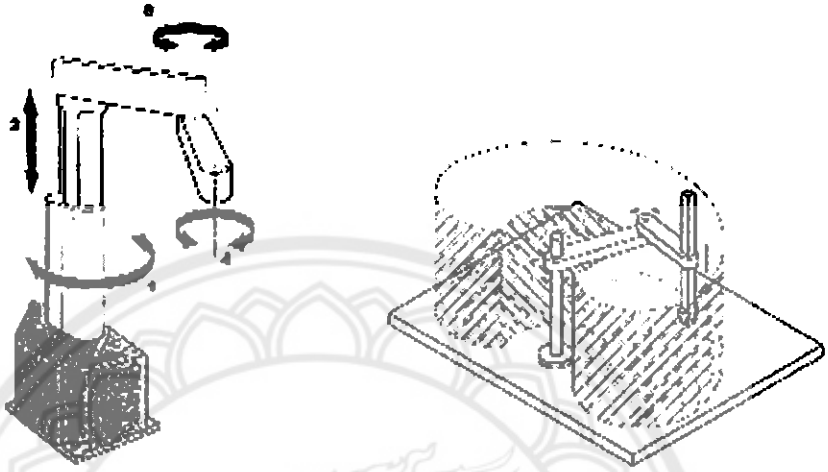
ข้อเสีย

- มีระบบพิกัด (Coordinate) และส่วนประกอบที่ซับซ้อน
- มีการเคลื่อนที่และระบบควบคุมมีความซับซ้อน

การประยุกต์ใช้งาน

ใช้ในงานที่มีการเคลื่อนไหวในแนวตั้ง (Vertical) เพียงเล็กน้อย เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าออกจากเครื่องปั๊ม (Press) หรืออาจจะใช้งานเชื่อมจุด (Spot Welding)

2.2.1.4 หุ่นยนต์สการ่า (SCARA) หุ่นยนต์สการ่า (Selective Compliance Assembly Robot Arm; SCARA) จะมีลักษณะแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) หมุนรอบแกนแนวตั้ง และแกนแนวที่ 2 จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลง (Prismatic) ดังรูปที่ 2.7 (ก) ทำให้ได้พื้นที่การทำงานดังรูปที่ 2.7 (ข) หุ่นยนต์สการ่า จะเคลื่อนที่ได้รวดเร็วในแนวระนาบและมีความแม่นยำสูง



(ก) (ข)

รูปที่ 2.7 (ก) รูปแบบของหุ่นยนต์สการ่า (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์สการ่า

ข้อดีข้อเสียและการประยุกต์ใช้งานของหุ่นยนต์ประเภทนี้คือ

ข้อดี

- สามารถเคลื่อนที่ในแนวระนาบ และขึ้นลงได้รวดเร็ว
- มีความแม่นยำสูง

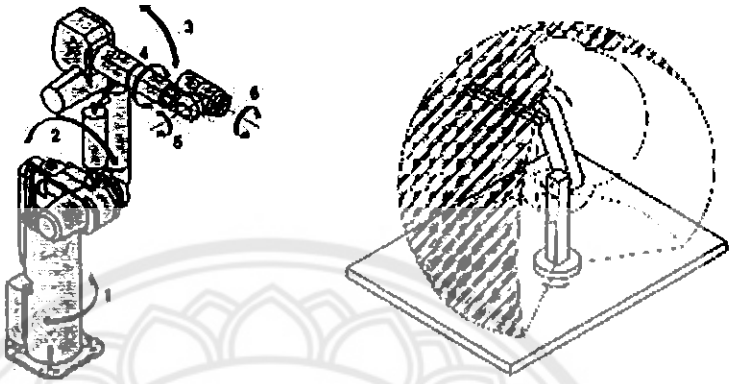
ข้อเสีย

- มีพื้นที่ทำงานจำกัด
- ไม่สามารถหมุน (Rotation) ในลักษณะมุมต่าง ๆ ได้
- สามารถยกน้ำหนัก (Payload) ได้ไม่มากนัก

การประยุกต์การใช้งาน

เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและขึ้นลงได้รวดเร็วจะเหมาะสมกับ งานประกอบชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ซื้อ ต้องการความรวดเร็ว และการเคลื่อนที่ไม่ต้องการการหมุนมากนัก แต่จะไม่เหมาะสมกับงานประกอบชิ้นส่วนทางกล (Mechanical part) ซึ่งส่วนใหญ่การประกอบจะอาศัยการหมุน (rotation) ในลักษณะมุมต่าง ๆ นอกจากนี้หุ่นยนต์สการ่า ยังเหมาะสมกับงานตรวจสอบ (Inspection) งานบรรจุภัณฑ์ (Packaging)

2.2.1.5 หุ่นยนต์แบบข้อต่อ (Articulated Arm (Revolute) Robot) ทุกแกนการเคลื่อนที่จะเป็นแบบหมุน รูปแบบการเคลื่อนที่จะคล้ายกับแขนของมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วยช่วงเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง ข้อมือ รูปแบบและการเคลื่อนที่ทำให้ได้พื้นที่การทำงานดังรูปที่ 2.8 (ก) และรูปที่ 2.8 (ข) ตามลำดับ



(ก) (ข)

รูปที่ 2.8 (ก) รูปแบบของหุ่นยนต์แบบแขนข้อต่อ (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบแขนข้อต่อ

ข้อดีข้อเสียและการประยุกต์ใช้งานของหุ่นยนต์ประเภทนี้คือ

<u>ข้อดี</u>

- เนื่องจากทุกแกนจะเคลื่อนที่ในลักษณะของการหมุน ทำให้มีความยืดหยุ่นสูงในการเข้าไปยังจุดต่างๆ
- มีพื้นที่การทำงานมาก
- สามารถเข้าถึงชิ้นงานทั้งจากด้านบนและด้านล่าง
- เหมาะกับการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นชุดขับเคลื่อน

<u>ข้อเสีย</u>

- มีพิกัดที่ซับซ้อน
- การเคลื่อนที่และระบบควบคุมเข้าใจได้ยากขึ้น
- ควบคุมให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear) ได้ยาก
- โครงสร้างไม่มั่นคงตลอดช่วงการเคลื่อนที่ เพราะบริเวณขอบพื้นที่การทำงาน (Work envelope) ปลายแขนจะมีการสั่น ทำให้ความแม่นยำลดลง

<u>การประยุกต์ใช้งาน</u>

หุ่นยนต์ประเภทนี้สามารถใช้งานได้กว้างขวางเพราะสามารถเข้าถึงตำแหน่งต่าง ๆ ได้ดี เช่น งานเชื่อมแบบจุด (Spot Welding) งานเชื่อมแบบเส้น (Path Welding) งานยกของ งานตัด งานทากาว งานที่มีการเคลื่อนที่ยาก ๆ เช่น งานพ่นสี งานอุดกันรั่ว (Sealing) ฯลฯ

2.2.2 หลักการทำงานของหุ่นยนต์แขนกล

การทำงานของหุ่นยนต์แขนกลประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ระบบทางกลของหุ่นยนต์และระบบควบคุมหุ่นยนต์ ระบบทางกลหมายถึงส่วนที่เป็นโครงสร้างและส่วนที่ให้กำลังขับเคลื่อนหุ่นยนต์ ส่วนระบบควบคุมประกอบด้วยระบบบังคับการทำงานของหุ่นยนต์ ระบบป้อนข้อมูลกลับ ตลอดจนการสอนหุ่นยนต์ให้ทำงานตามชุดคำสั่ง

2.2.2.1 ระบบทางกลของหุ่นยนต์แขนกล

ระบบทางกลของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่สำคัญมีอยู่ 3 ประการ คือ ลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์ อุปกรณ์ให้กำลังขับเคลื่อนหุ่นยนต์และมือหุ่นยนต์

- ลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์แขนกล

เนื่องจากหุ่นยนต์แขนกลได้รับการออกแบบสร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่แทนมนุษย์ ดังนั้นลักษณะการออกแบบจึงมักจะเป็นส่วนบนของลำตัวมนุษย์ ประกอบด้วยหัวไหล่ แขน และมือโดยปกติแล้วมักออกแบบเป็นแขนเดียว ในบางแบบได้ออกแบบให้แขนเคลื่อนที่อยู่บนทางเลื่อนได้ซึ่งอาจจำแนกโครงสร้างของหุ่นยนต์ได้ 4 แบบคือ

ก. โครงสร้างคาทีเซียนหรือฉาก (Cartesian or rectangular) เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆที่วางตั้งฉากซึ่งกันและกัน 3 ส่วน ซึ่งทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังจุดที่ต้องการได้

ข. โครงสร้างทรงกระบอก (Cylindrical) มีแขนเกาะกับแกนกลางเป็นหลัก แขนนั้นสามารถเคลื่อนที่ลงหมุนรอบแกนและสามารถบิดและหดได้

ค. โครงสร้างเชิงขั้ว (Polar) มีลำตัวที่บิดได้ มีแขนที่หมุนและยืดหดได้

ง. โครงสร้างมนุษย์ (Anthropomorphic) เป็นโครงสร้างที่เลียนแบบโครงสร้างมนุษย์ในหุ่นยนต์แขนกลมีลักษณะเป็นส่วนบนลำตัวของมนุษย์ ประกอบด้วย ไหล่ แขนท่อนบน แขนท่อนล่าง ข้อมือและมือ

- อุปกรณ์ให้กำลังขับเคลื่อนของหุ่นยนต์แขนกล

ในการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ และการหมุนข้อต่อนั้นจะใช้อุปกรณ์ที่เป็นต้นกำลังเรียกว่า แอคชิวเอเตอร์(Actuators) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ขับเคลื่อนชิ้นส่วนหุ่นยนต์ ซึ่งอุปกรณ์แอคชิวเอเตอร์มีหลายประเภท ปัจจุบันมีอุปกรณ์ที่ทำให้กำลังขับเคลื่อนหุ่นยนต์ 3 ชนิด คือ มอเตอร์ไฟฟ้า นิวเมติก และไฮดรอลิก

ก. มอเตอร์ไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ขับเคลื่อนที่แปลงพลังงานทางไฟฟ้าให้เป็นพลังงานทางกล ซึ่งหมุนรอบตัวเองได้ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สะดวก ง่ายต่อการควบคุมและตำแหน่งที่แม่นยำ ปัญหาสำคัญคือมีกำลังจำกัด และมีปัญหาในการนำหุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไปใช้ในบริเวณที่วัตถุไวไฟ เช่น งานพ่นสี เป็นต้น

ข. นิวเมติก (Pneumatic) เป็นระบบที่ขับเคลื่อนทางตรง ทางโค้งหรือหมุนได้ด้วยแรงอัดของลม เป็นอุปกรณ์ที่ราคาถูก และยุ่งยากน้อยที่สุด ปัญหาสำคัญอยู่ที่การควบคุมความเร็ว และตำแหน่ง

ค. ไฮดรอลิก (Hydraulic) เป็นระบบที่ขับเคลื่อนด้วยแรงอัดของน้ำมัน เป็นอุปกรณ์ที่ราคาแพง ให้กำลังสูง มีอุปกรณ์อยู่หลายแบบที่สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานได้ เช่น การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง หรือแบบหมุน เป็นต้น ระบบควบคุมมักใช้ไฟฟ้า แต่เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าน้อย และใช้กำลังไฟฟ้าต่ำมากจึงสามารถใช้หุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิกกับบริเวณที่มีวัตถุไวไฟได้

- มือหุ่นยนต์

มือหุ่นยนต์จะยึดติดกับส่วนของหุ่นยนต์ที่เป็นข้อมือ (Wrist) ซึ่งสามารถหมุนได้อย่างอิสระ 3 แนวแกน คือ แกนบิดในระนาบที่ตั้งฉากกับปลายแขนแกนเงยขึ้นลงจะหมุนในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวระดับ และแกนส่ายจะหมุนในระนาบที่ขนานกับแกนในแนวระดับ อย่างไรก็ตามลักษณะการใช้งาน ส่วนใหญ่จะทำงานเพียง 2 ทิศทางเท่านั้น เช่นหุ่นยนต์ที่ใช้ในงานเชื่อม ในลักษณะที่สมมาตร จะให้ความอิสระของข้อมือเพียง 2 แกนเท่านั้น ซึ่งในกรณีงานที่ค่อนข้างยุ่งยากอาจใช้ถึง 3 แกน ข้อสำคัญของข้อมือ คือจะต้องสร้างให้มีความมั่นคงและมีน้ำหนักน้อยที่สุด

2.2.2.2 ระบบควบคุมหุ่นยนต์แขนกล

ระบบควบคุมเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของหุ่นยนต์ ทำหน้าที่เป็นสมองเก็บข้อมูล สั่งหุ่นยนต์ให้ทำงาน ตรวจสอบและควบคุมตำแหน่งการทำงาน ซึ่งในบางเครื่องสามารถตรวจสอบความผิดปกติของอุปกรณ์ภายในได้

หุ่นยนต์จะทำงานได้ด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยมีการกำหนดเป้าหมาย และมีการควบคุมอุปกรณ์ให้ทำตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ด้วยอุปกรณ์ควบคุม การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมมี 2 แบบ คือ

- การควบคุมแบบวงจรปิด (Close Loop)

การควบคุมแบบวงจรปิดเป็นระบบควบคุมแบบหนึ่ง ซึ่งสัญญาณเอาท์พุตจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบวงจรปิดก็คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ซึ่งสัญญาณป้อนกลับนี้อาจจะเป็นสัญญาณเอาท์พุตโดยตรงหรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชั่นของสัญญาณเอาท์พุตก็ได้ โดยการควบคุมหุ่นยนต์แบบวงจรปิดนั้นอุปกรณ์ควบคุมจะคอยตรวจสอบเปรียบเทียบกับเป้าหมายและควบคุมให้ได้ผลที่ถูกต้องตลอดเวลา หุ่นยนต์แบบนี้จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตรวจสอบเป้าหมายด้วย

- การควบคุมแบบวงจรเปิด (Open Loop)

การควบคุมแบบวงจรเปิดเป็นระบบควบคุมที่เอาท์พุทของระบบไม่มีผลต่อการควบคุมเลย นั่นคือในกรณีของระบบควบคุมแบบวงจรปิดนั้น เอาท์พุทของระบบจะไม่ถูกวัดหรือถูกป้อนกลับมาเพื่อเปรียบเทียบกับอินพุต โดยการควบคุมแบบวงจรเปิดนั้นอุปกรณ์ควบคุมจะดำเนินการโดยมิได้ตรวจสอบเป้าหมาย เช่น ถ้านาย ก เคยเดินได้ ก้าวละ 50 เซนติเมตร เมื่อได้รับคำสั่งให้เดินเป็นระยะทาง 5 เมตร นาย ก ก็จะเดินไป 10 ก้าว อย่างนี้เรียกว่า นาย ก เดินโดยใช้การควบคุมแบบวงจรเปิด ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ แต่ถ้านาย ก ใช้ไม้เมตรวัดระยะทางที่เดินไป 10 ก้าวนั้นด้วยว่าได้ 5 เมตรถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้อง นาย ก จะเดินหน้าหรือถอยหลังให้ได้ระยะทาง 5 เมตรพอดี อย่างนี้เรียกว่า นาย ก เดินโดยใช้การใช้การควบคุมแบบวงจรปิด จะเห็นได้ว่า หุ่นยนต์ที่มีการควบคุมแบบวงจรปิดจะสร้างได้ยากกว่า แต่ให้ผลที่แน่นอน

2.3 ระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

ในเรื่องการควบคุมระบบการทำงานของหุ่นยนต์เพื่อให้หุ่นยนต์ทำงานเป็นระบบและเป็นขั้นตอนตามที่ต้องการจะใช้ระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์[3]มาเป็นตัวควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยการประมวลผลกลาง (CPU) ในตระกูล PIC [3] ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นนี้มีจุดเด่น มีหน่วยความจำเก็บโปรแกรมเป็นอีพรอมขนาด 12 บิต มีความจุ 512 ไบต์ ถึง 2 กิโลไบต์ มีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิตมี 25 มีรีจิสเตอร์ฮาร์ดแวร์ที่ทำหน้าที่พิเศษมี 7 ตัว มีสแตกฮาร์ดแวร์มีความลึก 4 ระดับ มีตัว OAR (Oscillator Start-up Timer) มีตัว WDT (Watchdog Timer) กับออสซิลเลเตอร์แบบ RC เพื่อใช้ในการปฏิบัติการที่เชื่อถือได้มีฟิวส์อีพรอมพิเศษเพื่อป้องกันการลอกเลียนแบบซอร์สโค้ด นั้นก็นับว่าครบถ้วนเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมและประมวลผลต่างๆได้เป็นอย่างดี โดยการออกแบบโครงสร้าง

ของบอร์ดให้มีขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม

2.3.1 คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F887

- หน่วยความจำเก็บโปรแกรมเป็นอีพรอมขนาด 12 บิต มีความจุ 512 ไบต์ ถึง 2 กิโลไบต์
- รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิตมี 25
- รีจิสเตอร์ฮาร์ดแวร์ที่ทำหน้าที่พิเศษมี 7 ตัว
- สแตกฮาร์ดแวร์มีความลึก 4 ระดับ
- มีโหมดการอ้างอิงแอดเดรสของข้อมูลและคำสั่งแบบโดยตรง, โดยอ้อมและแบบสัมพันธ์
- พอร์ตสามารถควบคุมทิศทางทำโดยการใช้ขา I/O ถึง 20 ขา
- มีตัวนับเวลา/สัญญาณเวลาขนาด 8 บิต (RTCC) กับตัวตั้งค่าที่โปรแกรมได้ขนาด 8 บิต
- มีตัวรีเซตกำลังไฟ (Power-on Reset)
- มีตัว OAR (Oscillator Start-up Timer)
- มีตัว WDT (Watchdog Timer) กับออสซิลเลเตอร์แบบ RC เพื่อใช้ในการปฏิบัติการที่เชื่อถือได้
- มีฟิวส์อีพรอมพิเศษเพื่อป้องกันการลอกเลียนแบบซอร์สโค้ด
- มีโหมด SLEEP ลดการสูญเสียพลังงานเมื่อไม่ได้ใช้งาน
- มีออสซิลเลเตอร์ให้เลือกใช้เพื่อกำหนดไปยังอีพรอมแบบต่าง ๆ ดังนี้
    - ออสซิลเลเตอร์แบบ RC ที่มีราคาถูก: RC
    - คริสตอล/รีโซเนเตอร์มาตรฐาน: XT
    - คริสตอล/รีโซเนเตอร์ความเร็วสูง: HS
    - คริสตอลความถี่ต่ำ, กินไฟน้อย: LP
- กินไฟต่ำ ใช้อีพรอมแบบ CMOS ที่มีความเร็วสูง
- ค่าความต่างศักย์ไฟในช่วงที่ใช้งาน 2.5 โวลต์ ถึง 6.25 โวลต์
- กินไฟต่ำ น้อยกว่า 2 มิลลิแอมป์ที่แรงดัน 5 โวลต์ ความถี่ 4 เมกะเฮิรตซ์
- น้อยกว่า 15 ไมโครแอมป์ที่แรงดัน 3 โวลต์ ความถี่ 32 กิโลเฮิรตซ์

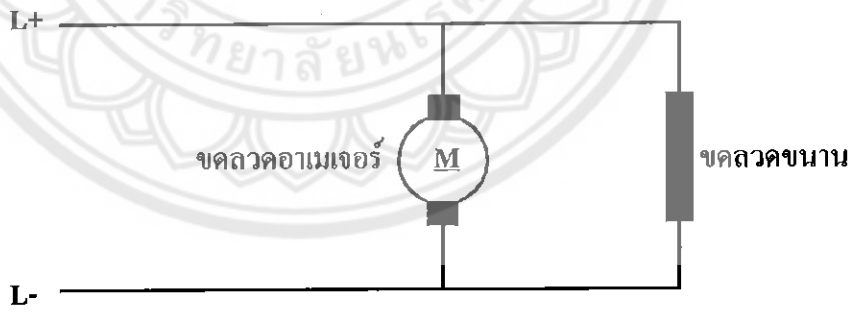
2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและการควบคุม

มอเตอร์ไฟฟ้าคือเครื่องกลไฟฟ้า (Electromechanical Energy) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) ในรูปของการเคลื่อนที่แบบหมุน มอเตอร์ไฟฟ้ามีโครงสร้างเบื้องต้นที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนแม่เหล็กถาวร และส่วนของขดลวดตัวนำ ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าอาศัยสนามแม่เหล็ก 2 ชุดที่เกิดขึ้น ได้แก่ สนามแม่เหล็กถาวร สนามแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวดตัวนำ ส่งผลให้เกิดการผลักดันกันขึ้นของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้ขดลวดตัวนำที่วางอยู่กลางแม่เหล็กถาวรเกิดการหมุนเครื่องที่ไปได้

2.4.1 ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

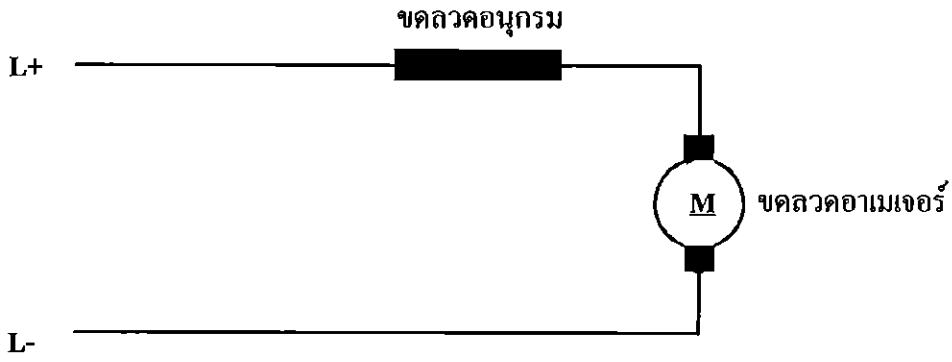
มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)[7] มีหลายประเภท โดยแบ่งตามลักษณะการวางตำแหน่งของขดลวดกับแกนของแม่เหล็ก ซึ่งแต่ละประเภทมีข้อเสียต่างกัน

2.4.1.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor) หรือเรียกว่า ชั้นท์มอเตอร์ มอเตอร์กระแสตรงแบบขนานนี้ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อขนานกับขดลวดอาเมเจอร์ มอเตอร์กระแสตรงแบบขนานมีคุณลักษณะที่ดีมีความเร็วคงที่แรงบิดเริ่มหมุนต่ำแต่ความเร็วรอบคงที่ชั้นท์มอเตอร์ส่วนมากเหมะกับงานประเภทเช่น พัดลม เพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่



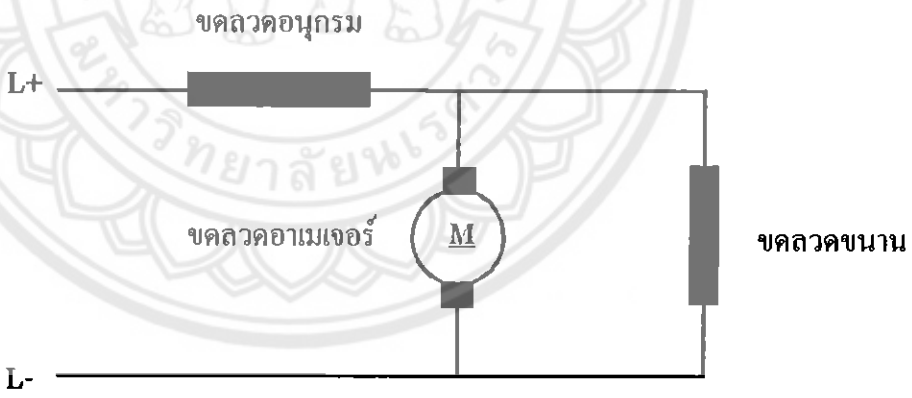
รูปที่ 2.9 แสดงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน[7]

2.4.1.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motor) คือ มอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์ เรียกมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีส์ฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูง นิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้า รถยกของ เครนไฟฟ้า เป็นต้น ความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม เมื่อไม่มีภาระงานความเร็วจะสูงมาก แต่ถ้ามีภาระงานมาต่อความเร็วก็จะลดลงตามภาระงาน

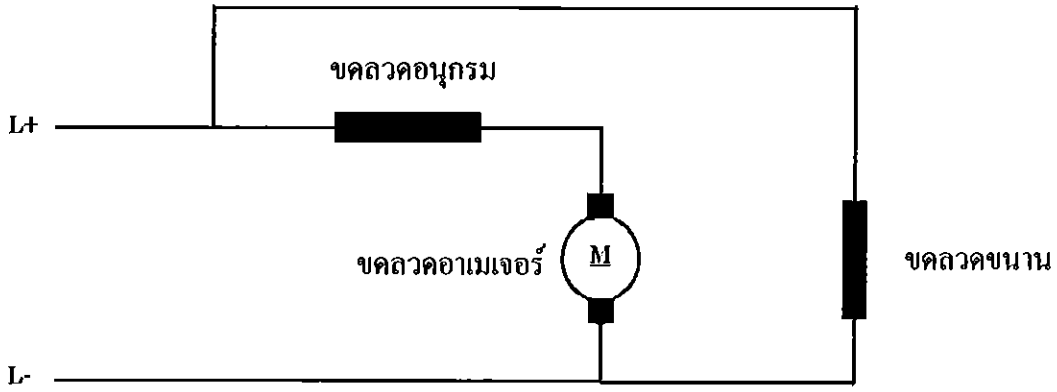


รูปที่ 2.10 แสดงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม[7]

2.4.1.3 มอเตอร์กระแสตรงแบบผสม (Compound Motor) หรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ มอเตอร์กระแสตรงแบบผสมนี้จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนานและมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์กระแสตรงแบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษ คือ มีแรงบิดสูง ความเร็วรอบคงที่ตั้งแต่ยังไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่มอเตอร์กระแสตรงแบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชั้นท์อยู่ 2 วิธี คือ วิธีต่อขดลวดแบบชั้นท์ขนานกับอาเมเจอร์ เรียกว่า ชอร์ทชั้นท์คอมปาวด์มอเตอร์ (Short Shunt Compound Motor) ดังรูปที่ 2.12 และการต่อแบบลองชั้นท์คอมปาวด์มอเตอร์ (Long shunt compound motor) ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.11 แสดงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบผสมชนิดชอร์ทชั้นท์[7]



รูปที่ 2.12 แสดงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบผสมชิดลองชั้นท์[7]

2.4.2 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย แม่เหล็ก 2 ขั้ววางอยู่ระหว่างขดลวดตัวนำเมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนของแรงกับกระแสแรง โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสและสนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้เกิดทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการหมุนได้ ซึ่งสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวรซึ่งจะยึดติดกับแผ่นเหล็กหรือเหล็กล้า โดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดอยู่กับที่และขดลวดเหนี่ยวนำจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนของมอเตอร์

2.4.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในปัจจุบันการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือดีซีมอเตอร์จะพบได้โดยทั่วไป โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมสมัยใหม่ ด้วยความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางไมโครอิเลคทรอนิคส์ (Microelectronic) และไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ทำให้ออกแบบระบบคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงและการวิเคราะห์ปัญหาเป็นสิ่งที่น่าสนใจและมีความสำคัญมาก มอเตอร์กระแสตรงมีผลการทำงานที่ไม่มีตำแหน่งหยุดที่แน่นอน ดังนั้นระบบคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงจึงเป็นวงรอบปิด ตำแหน่งเอาท์พุตหรือความเร็วเอาท์พุตจะถูกป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับอินพุตอ้างอิงเพื่อให้ผลการทำงานที่ต้องการ เช่น การบังคับแขนหุ่นยนต์ เมื่อจับวัตถุขึ้นมาชิ้นหนึ่งเราจะควบคุมให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปอีกจุดหนึ่งแล้ววางวัตถุลงหรือใช้ในการส่งของจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เป็นต้น

ซึ่งโครงงานนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC โดยความเร็วและตำแหน่งที่ต้องการจะถูกป้อนเข้าไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ตอนุกรม โดยจะใช้โปรแกรมอินเตอร์เฟส (Visual Basic) เป็นตัวติดต่อรับส่งค่า และในส่วนการตรวจสอบตำแหน่งจะโพเทนชิโอมิเตอร์ส่งค่ากลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจะส่งค่ามาแสดงยังโปรแกรมอินเตอร์เฟสของคอมพิวเตอร์

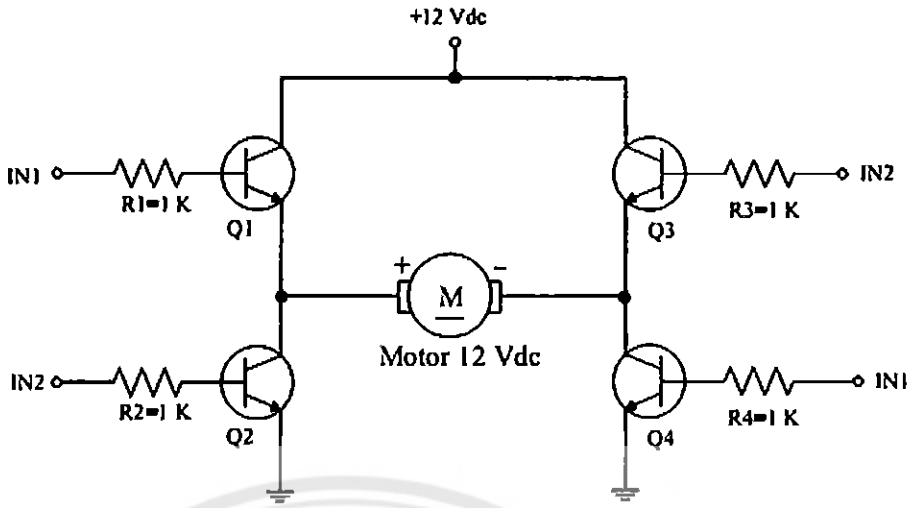
2.4.3.1 การควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

หลักในการทำควบคุมมอเตอร์กระแสตรงนั้นคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมทิศทางของมอเตอร์จะใช้ข้อมูลเป็นลอจิก "0" และลอจิก "1" จากพอร์ตของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจากตารางที่ 2.2 จะเขียนคำสั่งโดยใช้พอร์ต P0 ให้ P0.0 เป็นลอจิก "1" และ P0.1 เป็นลอจิก "0" และลอจิก "1" ตามลำดับ จะให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางเป็นทวนเข็มนาฬิกา และถ้าให้ทั้งสองพอร์ตเป็นลอจิก "0" จะทำให้มอเตอร์หยุดหมุน

ตารางที่ 2.2 ลอจิกควบคุมทิศทางมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [5]

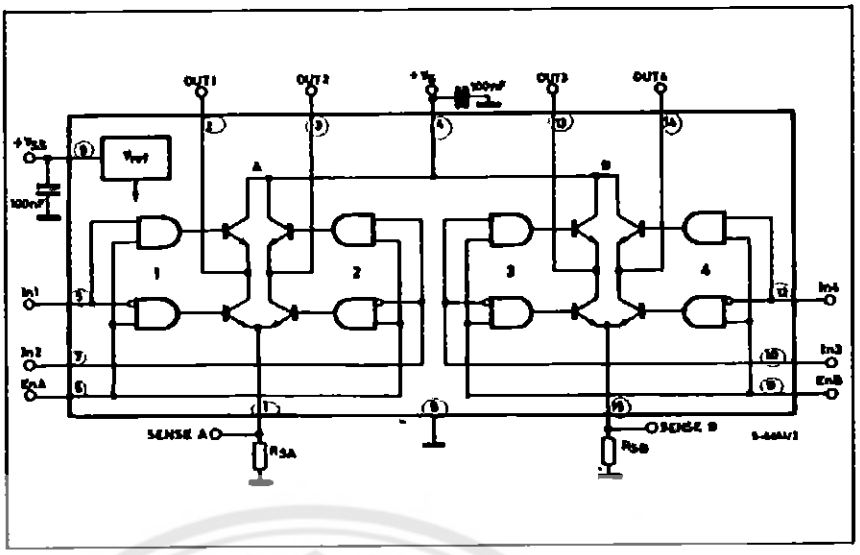
ไมโครคอนโทรลเลอร์	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	รหัสฐานสิบหก
หมุนตามเข็มนาฬิกา	0	0	0	0	0	0	0	1	H01
หมุนทวนเข็มนาฬิกา	0	0	0	0	0	0	1	0	H02
หยุดหมุน	0	0	0	0	0	0	0	0	H00

เราสามารถควบคุมทิศทางของการหมุนของมอเตอร์ได้โยการใช้วงจรที่เรียกว่า เอชบริดจ์ (H-bidges)



รูปที่ 2.13 แสดงวงจรเอชบริดจ์ (H-bridges) [5]

จากวงจรรูปที่ 2.15 การควบคุมให้มอเตอร์หมุนตามเข็มโดยจะส่งลอจิก "1" ให้ทรานซิสเตอร์ Q และ Q4 ส่งลอจิก "0" ให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และQ4 นำกระแส ส่วนทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ไม่นำกระแส และถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทิศคือหมุนทวนเข็มนาฬิกา จะต้องส่งลอจิก "1" ให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ส่งลอจิก "0" ให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ไม่นำกระแส ส่วนไดโอดทั้ง 4 ตัวมีหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของกระแสขณะที่ทรานซิสเตอร์นำและไม่นำกระแส

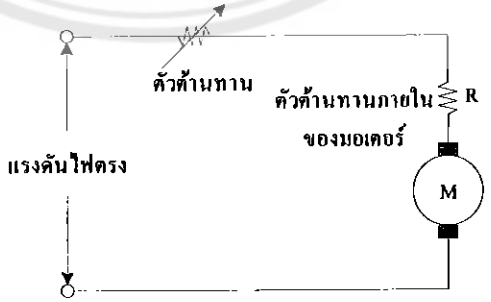


รูปที่ 2.14 วงจรภายในของวงจรเบอร์ L298 [5]

2.5 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

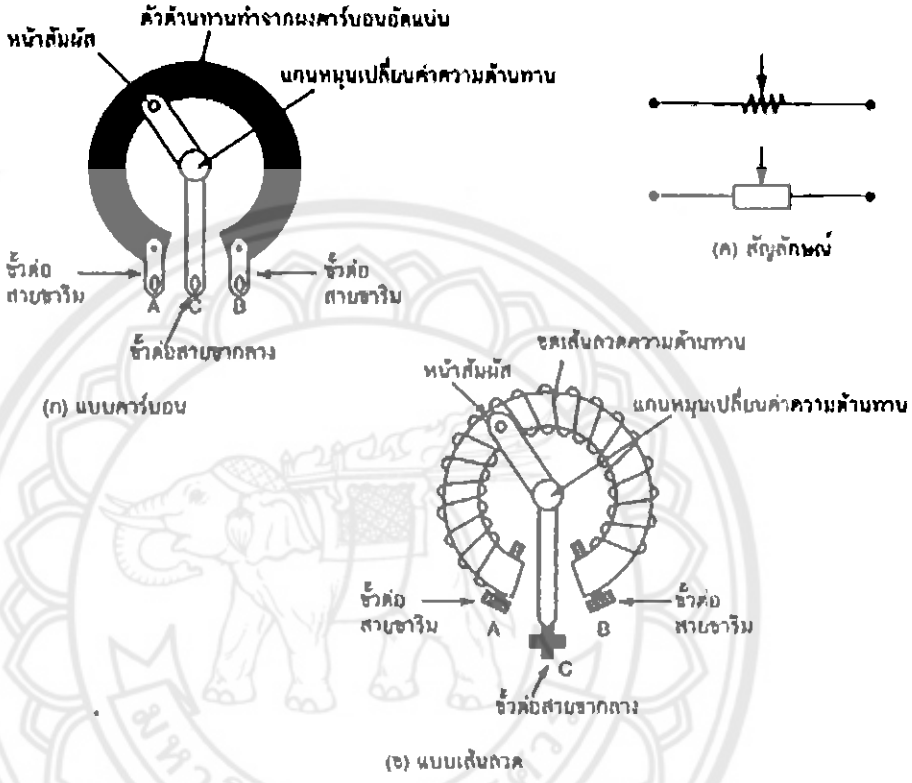
2.5.1 การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของคารควบคุมมอเตอร์คือ ใช้ตัวต้านทานใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้อนุกรมกับมอเตอร์ โดยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ การบังคับแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพเพราะกำลังไฟสูญเสียไปในตัวความต้านทาน มักนิยมใช้กับมอเตอร์ตัวเล็กๆ การบังคับแบบนี้ให้คุณสมบัติการสตาร์ทดี(แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ) แต่จะให้ความเร็วสูงมากเมื่อมอเตอร์อยู่ในภาวะที่มีโหลดน้อยๆ ดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะภาวะที่แรงต้านคงที่ เช่น การบังคับควมเร็วเครื่องจักรเย็บผ้า เป็นต้น



รูปที่ 2.15 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม [5]

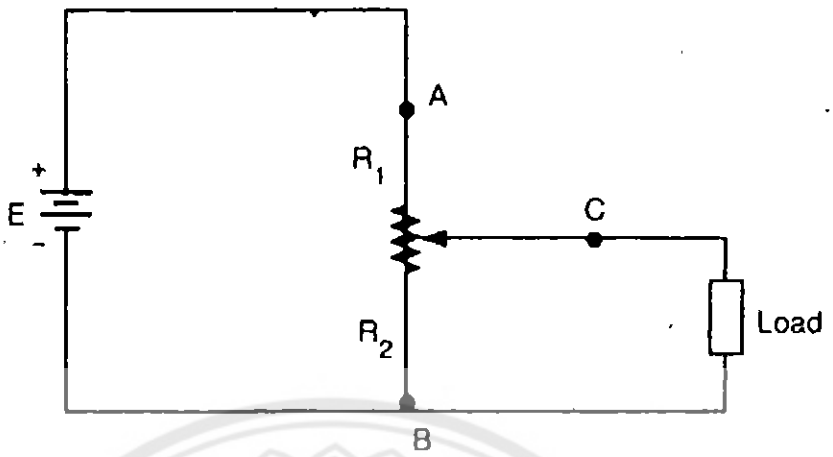
ตัวต้านทานที่ใช้ชนิดเปลี่ยนแปลงค่าได้ (Variable Resistor) เป็นตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าความต้านทานได้อย่างต่อเนื่องในช่วงค่าความต้านทานที่กำหนดไว้ จะใช้ในงานที่ต้องการปรับค่าความต้านทานบ่อยๆ ตัวต้านทานชนิดนี้จะมีหน้าคอนแท็คสำหรับใช้ในการหมุนเลื่อนหน้าคอนแท็ค ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 ตัวต้านทานที่ใช้ชนิดเปลี่ยนแปลงค่าได้ [6]

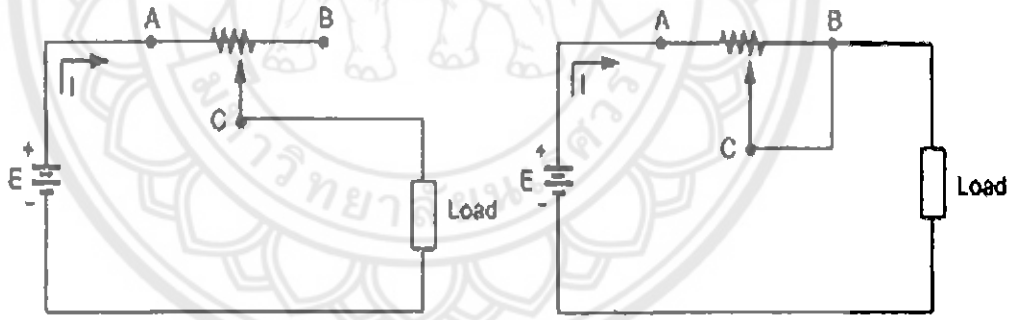
ในการปรับค่าความต้านทานโดยมีแกนยื่นออกมาเพื่อใช้สำหรับหมุนปรับค่า อย่างเช่น วอลุ่มเร่งเสียงแบบธรรมดา หรือ แบบสไลด์ อีกแบบหนึ่งไม่มีแกนหมุนเราเรียกกันว่า วอลุ่มเกือกม้า (Trimpot) ตัวต้านทานที่เปลี่ยนแปลงค่าได้อาจจะทำมาจาก เซรามิคผสมเงินหรือพลาสติกตัวนำ ตัวต้านทานชนิดนี้จะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

2.5.1.1 โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) ตัวต้านทานชนิดนี้ส่วนใหญ่จะมีหน้าสัมผัสเป็นแบบถ่าน (carbon) ดังนั้นจะใช้กับงานที่มีกระแสน้อยๆ เช่น เป็นตัวควบคุมระดับความดังของเสียง ดังรูปที่ 2.18



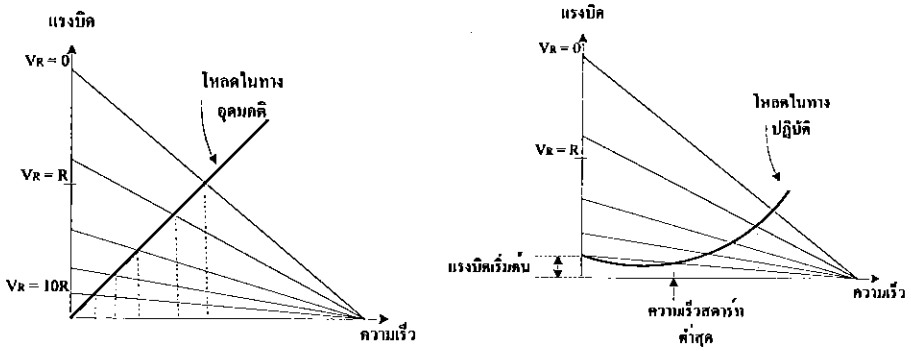
รูปที่ 2.17 แสดงการต่อใช้งานของตัวต้านทานปรับค่าได้แบบโพเทนชิโอมิเตอร์[6]

2.5.1.2 รีโอสตัส (Reostat) ตัวต้านทานชนิดนี้จะมีหน้าสัมผัสเป็นแบบลวดพันดังนั้นจึงใช้กับงานที่มีกระแสมากๆ เช่น ใช้ปรับกระแส หรือแรงดันในเครื่องแหล่งจ่ายไฟ แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงการต่อตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้แบบรีโอสตัส[6]

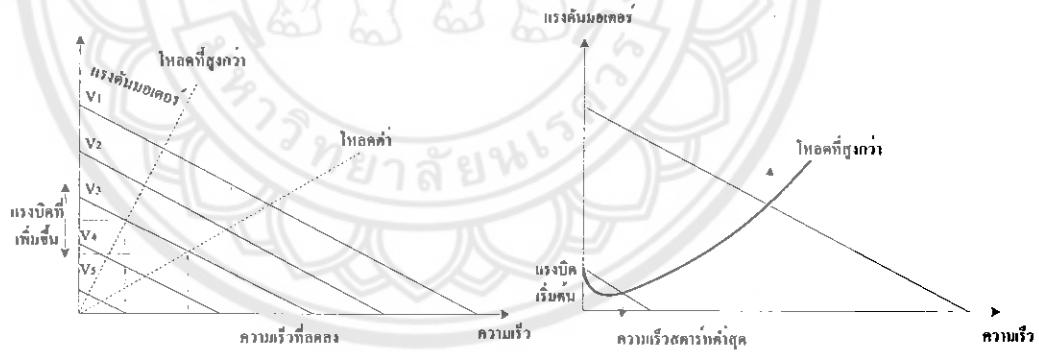
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปที่ 2.19 กราฟแสดงคุณสมบัติของวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัว
ต้านทานอนุกรม[5]

2.5.2 การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

วิธีการนี้ดีกว่าวิธีการแรกแต่จุดซับซ้อนกว่า ต้องใช้อุปกรณ์ อิเล็กทร**อนิกส์ที่อัตราขยาย**กำลังสูงและมอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนค่าได้จากแหล่งจ่ายที่มี**อิมพีแดนซ์ต่ำ ข้อดีของ**การควบคุมวิธีนี้คือ ถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอ**เตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อ**รักษาระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการควบคุมวิธีนี้คือ เมื่อมอเตอร์มีความ**เร็วต่ำแรงดันที่ป้อน**ให้กับมอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน

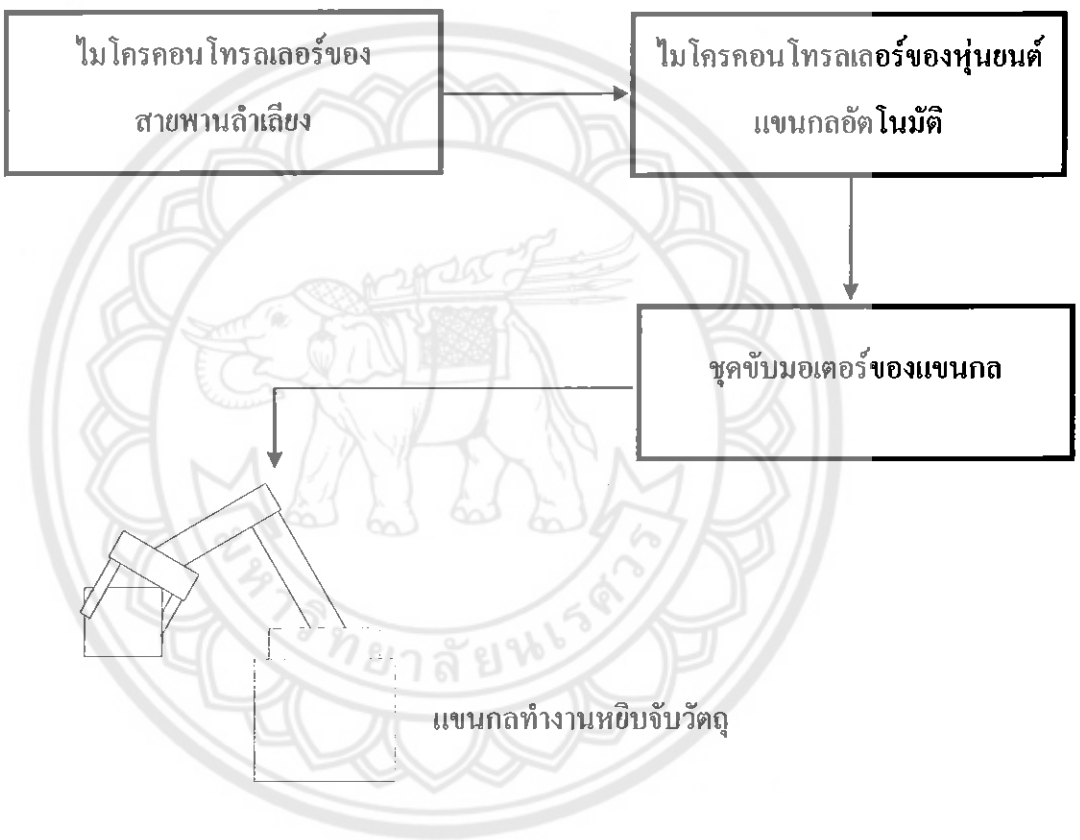


รูปที่ 2.20 กราฟแสดงคุณสมบัติของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงโดยการ
เปลี่ยนค่าแรงดัน[5]

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ

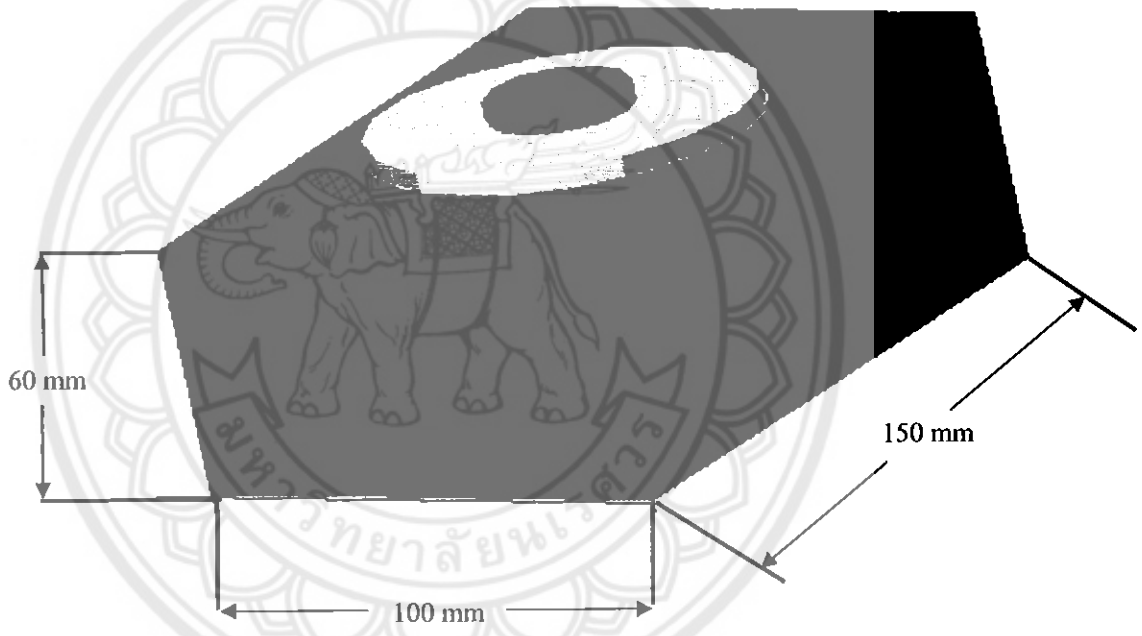
ในบทนี้จะเป็นการบอกถึงการออกแบบขั้นตอนต่างๆในการสร้างหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ รวมไปถึงบอกอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติโดยการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงภาพรวมของระบบ (System Overview Diagram)

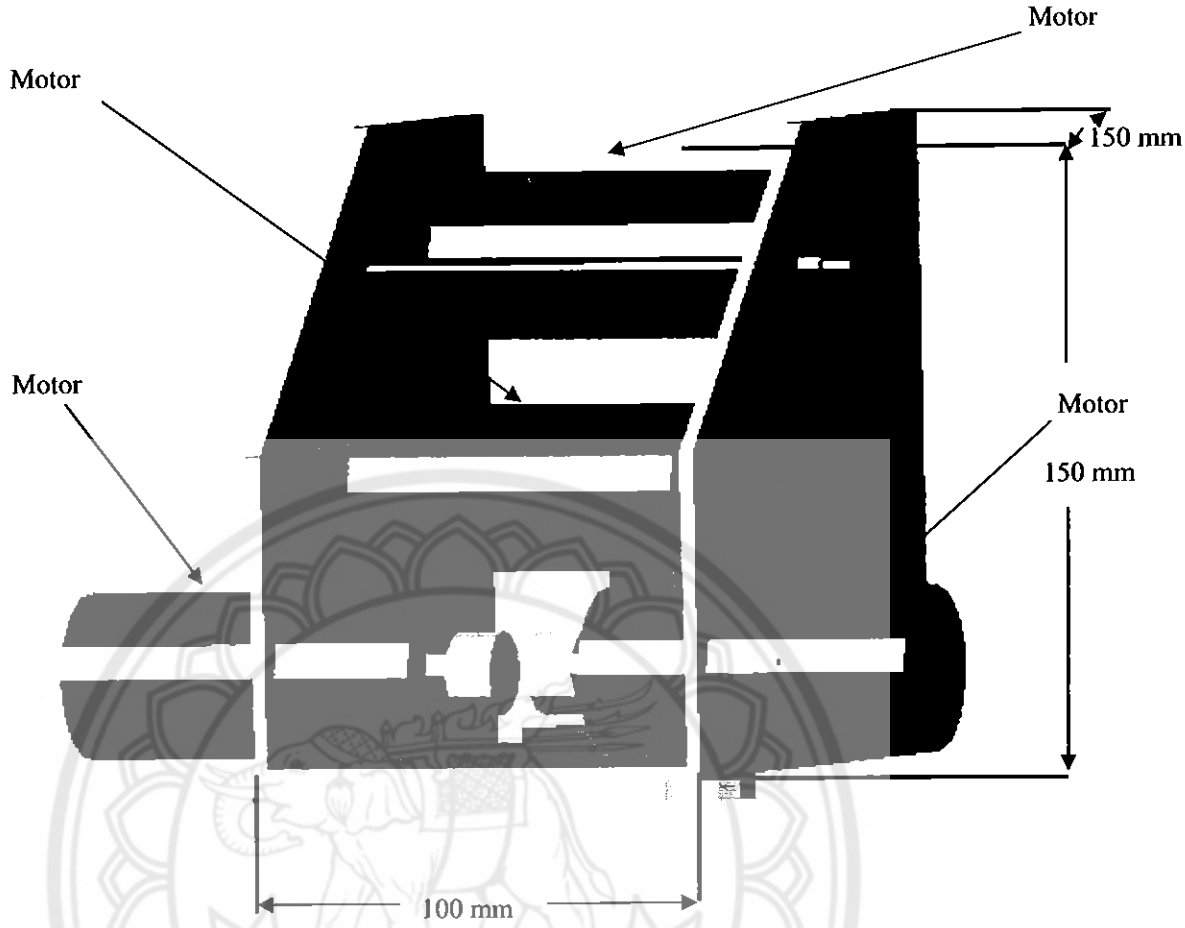
3.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ

การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัตินั้นจะออกแบบหุ่นยนต์มีพื้นที่การทำงานครอบคลุมทุกทิศรอบตัวหุ่นยนต์ซึ่งมีรูปแบบคล้ายกับหุ่นยนต์แบบแขนข้อต่อ (Articulated Arm (Revolute) Robot) โดยการเคลื่อนที่ทุกจุดจะเป็นแบบหมุนซึ่งโครงสร้างของหุ่นยนต์จะประกอบด้วย ช่วงเอว แขนท่อนบน แขนท่อนล่างและมือจับ ในส่วนประกอบแต่ละส่วนจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 1 ตัวเป็นตัวให้กำลังขับเคลื่อนและมีอีกหนึ่งส่วนที่ใช้มอเตอร์ 2 ตัว เพื่อการขับเคลื่อนสองส่วน ในขนาดและรูปแบบแต่ละส่วนได้ถูกออกแบบไว้ดังนี้



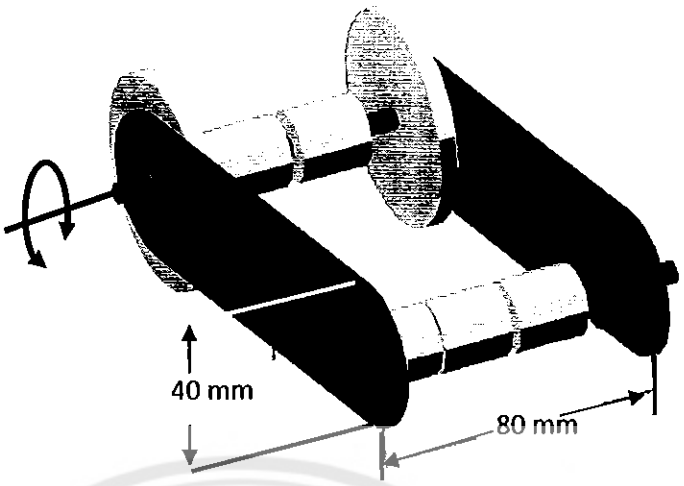
รูปที่ 3.2 รูปแบบและขนาดส่วนฐานของหุ่นยนต์แขนกล

รูปที่ 3.2 เป็นรูปที่แสดงการออกแบบฐานของหุ่นยนต์แขนกลซึ่งออกแบบให้ฐานเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยฐานชั้นล่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 100x150 มิลลิเมตร ซึ่งใช้เป็นพื้นที่สำหรับวางอุปกรณ์และวงจรควบคุมหุ่นยนต์ มีความสูง 60 มิลลิเมตร โดยส่วนกลางเจาะรูเป็นส่วนของเพลาสำหรับยึดติดส่วนฐานกับส่วนเอวของหุ่นยนต์



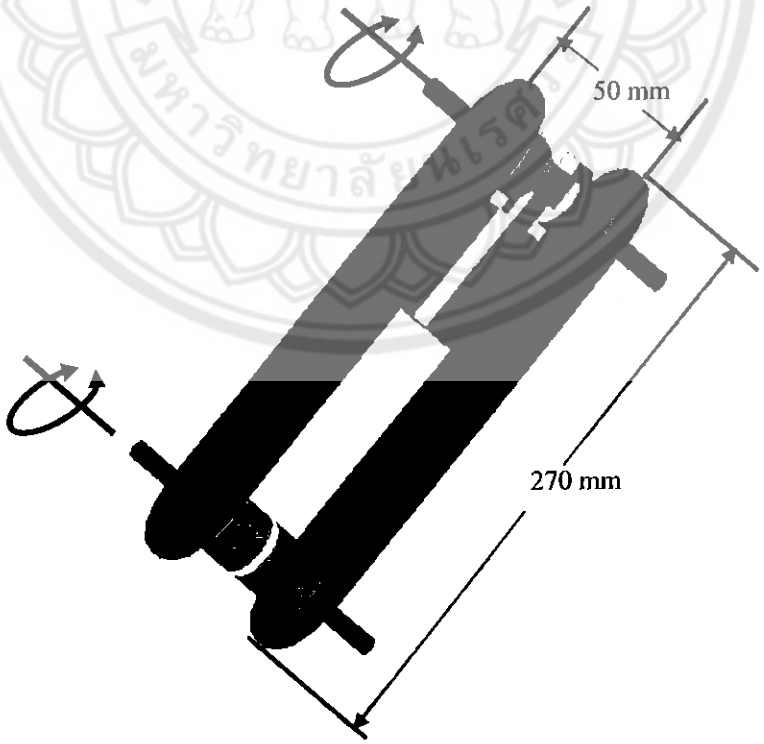
รูปที่ 3.3 รูปแบบและขนาดส่วนเอวของหุ่นยนต์แขนกล

รูปที่ 3.3 เป็นรูปที่แสดงการออกแบบส่วนเอวของหุ่นยนต์แขนกลซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ถัดมาจากด้านบนของส่วนบนฐานหุ่นยนต์โดยจะออกแบบด้านล่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 100x150 มิลลิเมตร และมีความสูงขนาด 150 มิลลิเมตรจะมีการวางมอเตอร์ทั้งหมด 4 ตัว การเคลื่อนที่ของส่วนเอวนั้นจะเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน โดยจะมีจุดหมุนอยู่ตรงกลางของพื้นที่ด่านล่างและเคลื่อนที่ไปพร้อมๆกัน สามารถหมุนได้ 200 องศา



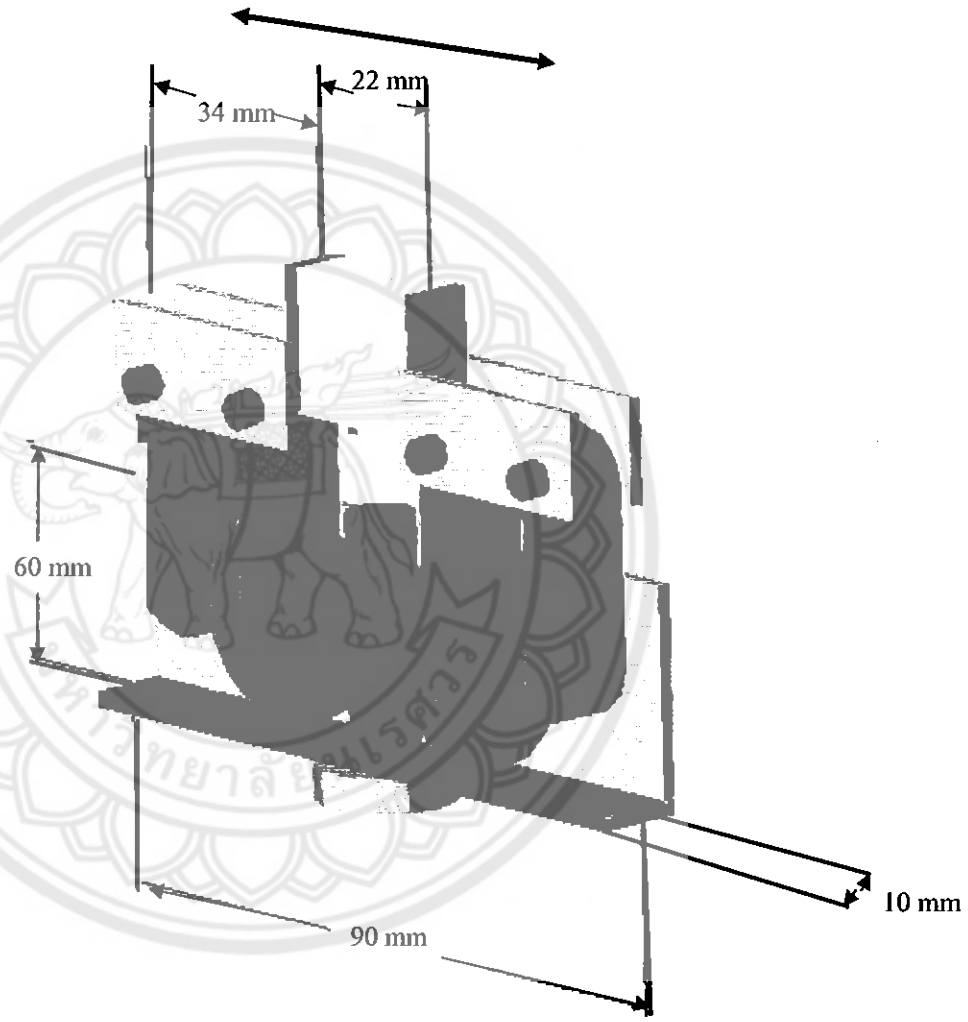
รูปที่ 3.4 รูปแบบและขนาดส่วนแขนท่อนบนของหุ่นยนต์แขนกล

รูปที่ 3.4 เป็นรูปแสดงการออกแบบส่วนของท่อนแขนท่อนบนของหุ่นยนต์แขนกล โดยออกแบบเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมตรงปลายโค้งกลมที่มีขนาดเท่ากันวางขนานการซึ่งแต่ละแผ่นมีขนาด 80x40 มิลลิเมตร และเจาะรูด้านปลายทั้งสองด้านสำหรับแกนของเพลาของเฟืองสายพานและเฟืองขบ ชิ้นส่วนนี้มีจุดหมุนที่แกนที่ต่อกับเฟืองขบกับมอเตอร์ 2 (Motor 2) และสามารถหมุนได้ 180 องศา



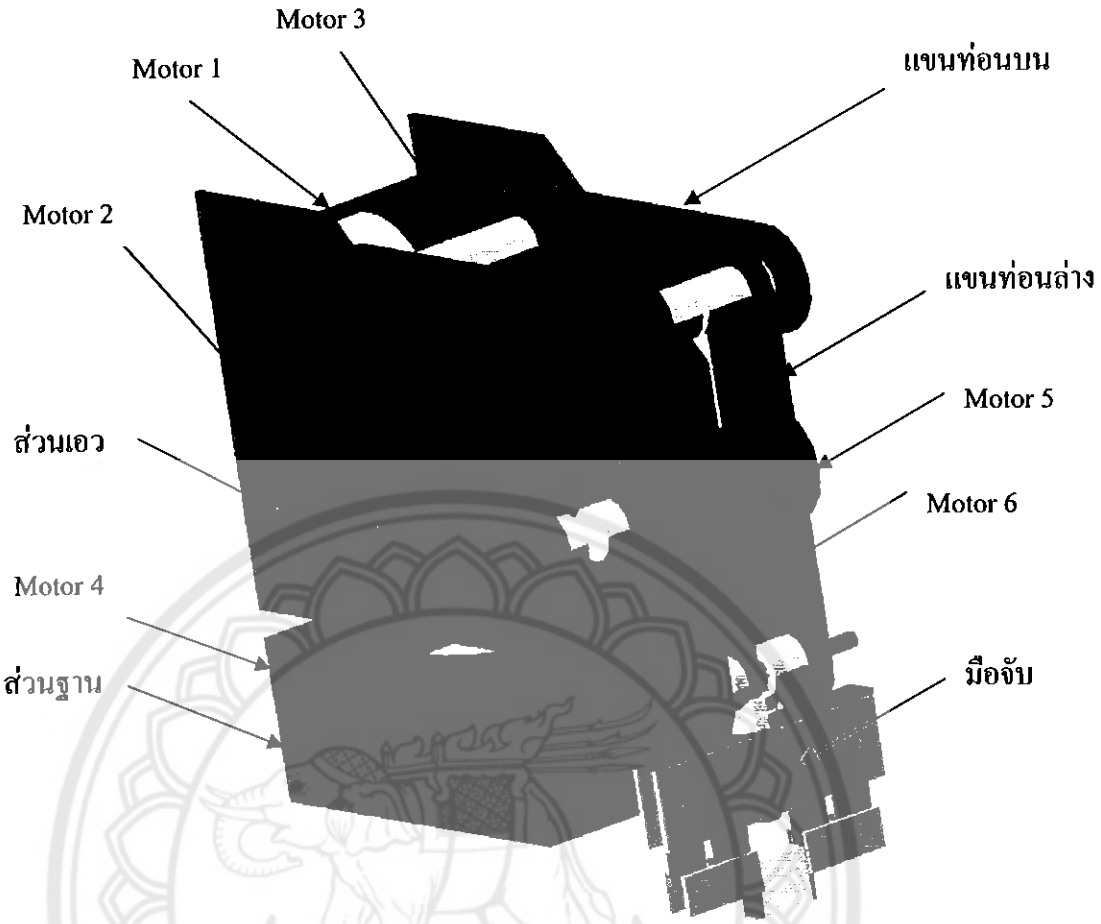
รูปที่ 3.5 รูปแบบและมีขนาดส่วนแขนท่อนล่างของหุ่นยนต์แขนกล

รูปที่ 3.5 เป็นรูปแสดงการออกแบบส่วนของแขนท่อนล่างของหุ่นยนต์แขนกลในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าปลายโค้งกลมขนาดเท่ากัน 2 แผ่นวางขนาดกัน โดยมีขนาด 270x50 มิลลิเมตรและเจาะรูด้านปลายทั้งสองด้านสำหรับแกนของเพลาของเฟืองสายพาน ซึ่งด้านปลายส่วนนี้จะมีเฟืองดอกจอกที่ใช้ขับเคลื่อนมือจับสามารถหมุนขึ้นลงได้ 180 องศา



รูปที่ 3.6 รูปแบบและขนาดของมือจับของหุ่นยนต์แขนกล

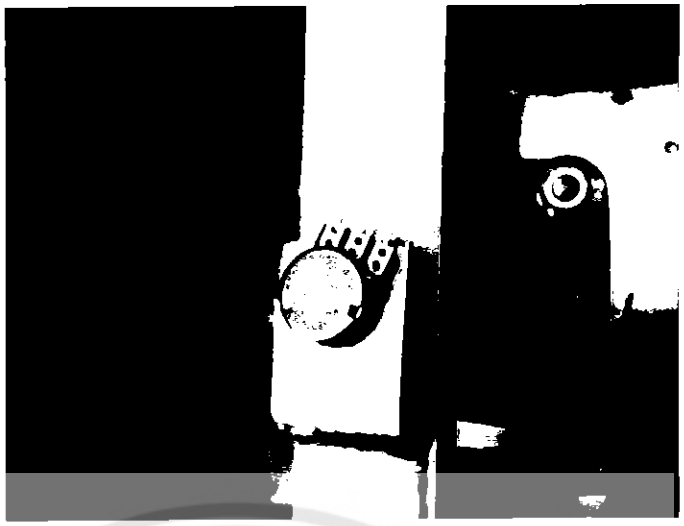
รูปที่ 3.6 เป็นรูปแสดงการออกแบบเครื่องมือจับของหุ่นยนต์โดยจะออกแบบให้ส่วนที่เป็นกลไกการเคลื่อนที่มีขนาด 90x10x60 มิลลิเมตร ความกว้างของมือที่ใช้จับมีขนาด 80 มิลลิเมตร ซึ่งส่วนหน้าสัมผัสสามารถเลื่อนเข้าออกได้และจับวัตถุที่มีขนาด 0-80 มิลลิเมตร เมื่อนำแต่ละชิ้นส่วนมาต่อกันจะได้ลักษณะหุ่นยนต์แขนกลดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 รูปแบบของหุ่นยนต์แขนกล

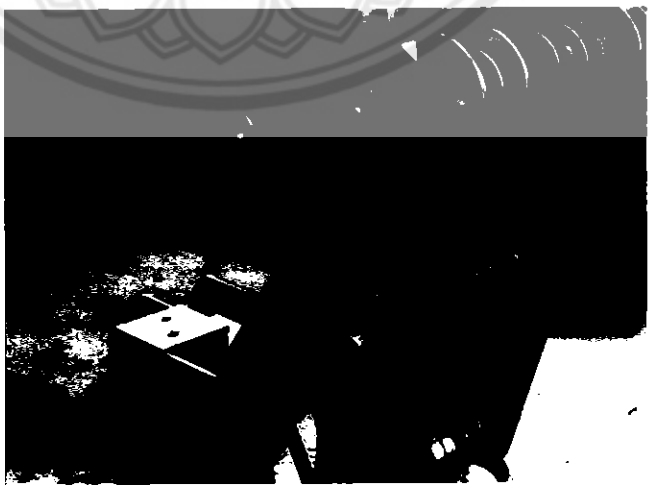
3.2 การสร้างหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ

การสร้างหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติจะสร้างให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชิ้นส่วนของโครงสร้างนั้นจะใช้อะลูมิเนียมแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร ตัดและประกอบให้ได้สัดส่วนที่ออกแบบไว้เป็นส่วนๆและนำแต่ละส่วนมาประกอบกันโดยแต่ละส่วนประกอบแล้วจะสามารถเคลื่อนย้ายได้ ส่วนของมอเตอร์จะติดตั้งในส่วนของฐานจะขับเคลื่อนผ่านเฟือง ดังรูปที่ 3.8 รูปที่ 3.9 มอเตอร์จะขับเคลื่อนส่วนท่อนแขนบนผ่านเฟือง รูปที่ 3.10 มอเตอร์จะขับเคลื่อนส่วนท่อนแขนล่างผ่านสายพานไทมิ่งในส่วนของข้อมือมอเตอร์จะขับเคลื่อนผ่านสายพานไทม์มิ่งดังรูปที่ 3.11 ส่วนรูปที่ 3.12 เป็นรูปแสดงการติดตั้งมอเตอร์ในส่วนมือจับและโครงสร้างกลไกของมือจับหุ่นยนต์

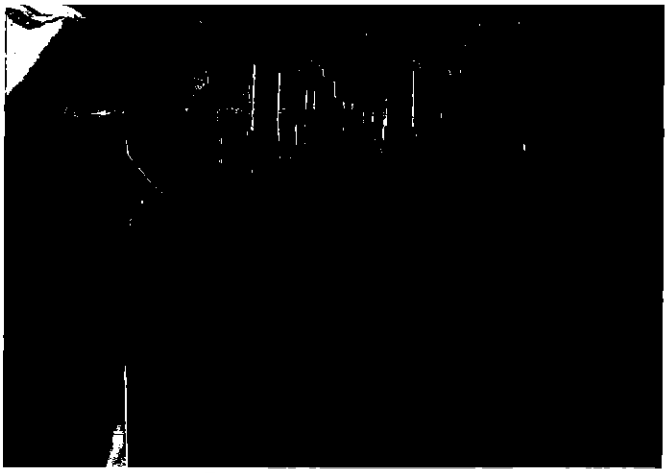


รูปที่ 3.8 การติดตั้งมอเตอร์ในส่วนของฐานขับเคลื่อนผ่านเฟือง

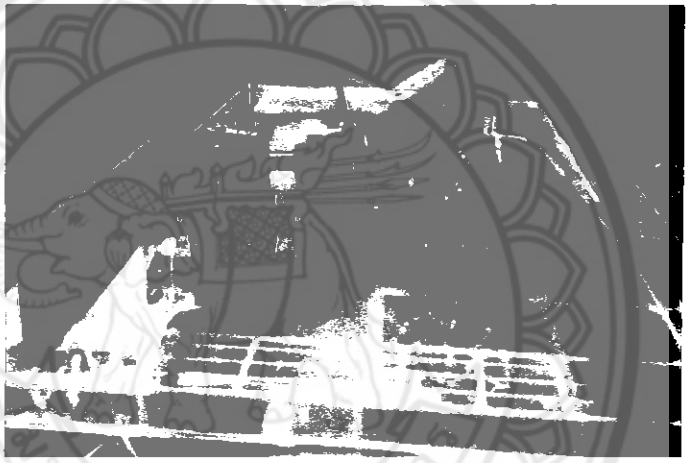
รูปที่ 3.9 การติดตั้งมอเตอร์ขับเคลื่อนส่วนท่อนแขนบนผ่านเฟือง



รูปที่ 3.10 การติดตั้งมอเตอร์ขับเคลื่อนส่วนท่อนแขนล่างผ่านสายพานไทม์มิ่ง



รูปที่ 3.11 การติดตั้งมอเตอร์ในส่วนของข้อมือจะขับเคลื่อนผ่านสายพานไทม์มิ่ง



รูปที่ 3.12 มือจับและการติดตั้งมอเตอร์ในมือจับ

เมื่อทำการติดตั้งมอเตอร์ในแต่ละส่วนเสร็จจากนั้นนำแต่ละส่วนมาประกอบโดยเริ่มจากฐานก่อน จากนั้นจะติดตั้งในส่วนของเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่างและมือจับตามลำดับ เมื่อประกอบทุกส่วนแล้ว ต่อจากนั้นจะเป็นการติดตั้ง ชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดัน(R-potentiometer) โดยจะติดตั้งชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดันทั้งหมด 5 ตัว ซึ่งหลักการทำงานของชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดันได้กล่าวไปแล้วข้างต้นในบทที่ 2

ลักษณะการติดตั้งชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดัน จะใช้แกนของชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดันต่อกับแกนของแต่ละแขน โดยการติดตั้งชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดันแสดงดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 ชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดัน

3.3 วงจรที่ใช้ในหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ

วงจรที่ใช้ในการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลนี้จะแบ่งออกเป็น วงจรส่วนจ่ายไฟ วงจรส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ และส่วนการควบคุมสัญญาณป้อนกลับ โดยวงจรที่ใช้มีดังนี้

3.3.1 วงจรส่วนจ่ายไฟ

ในส่วนของวงจรภาคจ่ายไฟนั้นจะใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ต่อผ่านหม้อแปลงเป็นกระแสสลับ 12 โวลต์ ผ่านวงจรเรียงกระแสและต่อเข้าวงจรรักษาแรงดันเพื่อนจ่ายไฟให้กับส่วนต่างๆของหุ่นยนต์แขนกล

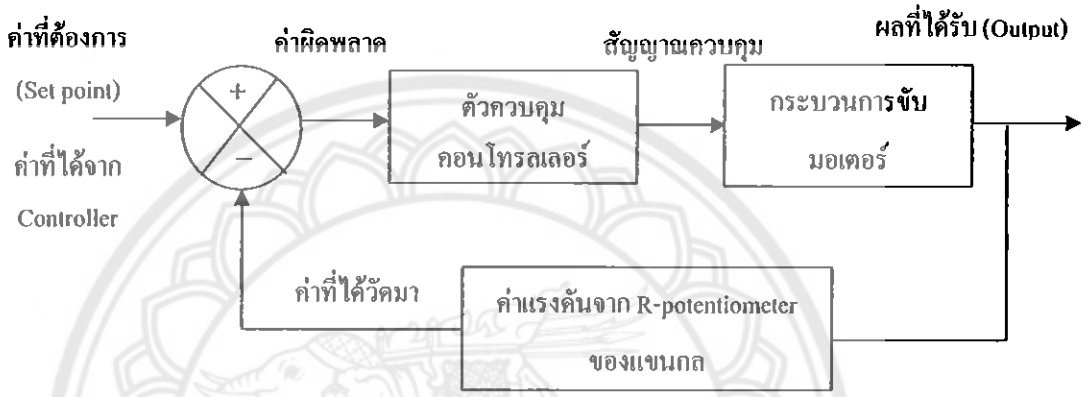
3.3.2 วงจรส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์

ในส่วนของวงจรขับเคลื่อนจะใช้วงจร L298 ซึ่งในวงจรรวมหนึ่งตัวสามารถขับมอเตอร์ได้สองตัวโดยวงจรขับมอเตอร์

3.3.3 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

เป็นระบบควบคุมโดยจะเริ่มจากการป้อนค่าเป้าหมาย (Set point) ที่ต้องการ ซึ่งก็คือค่าแรงดันที่รับมาชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดันของคอนโทรลเลอร์ 1 เข้ามายังซัมมิ่งพอยท์ (Summing point) ทางด้านบวก ส่วนทางด้านลบของซัมมิ่งพอยท์จะรับค่าจากเอาท์พุตของกระบวนการ ในที่นี้คือค่าที่รับมาจากชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดันของแขนกล ซึ่งได้จากการประมวลผลและส่งสัญญาณไปยังชุดขับมอเตอร์เพื่อไปขับมอเตอร์ที่แขนกลค่าทั้ง 2 ที่เข้ามายังซัมมิ่งพอยท์จะถูกหักล้างกันจนออกมาเป็นค่าความผิดพลาด ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบค่า ถ้าค่าไม่ตรงกับค่าเป้าหมายให้ทำการควบคุมค่าแรงดันที่ออกทางเอาท์พุต ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงค่าไปเรื่อยๆ การทำงานจะวนลูปแบบนี้ไป

เรื่อยๆจนกระทั่งค่าแรงดันที่รับมาจากชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดันของคอนโทรลเลอร์และค่าที่รับมาจากชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดันของคอนโทรลเลอร์เท่ากันเมื่อนำมาหักล้างกันค่าเออเร่อก็จะเหลือศูนย์ นั่นหมายความว่ากระบวนการการทำงานได้ตรงตามค่าเป้าหมายที่ต้องการพอดี ดังรูปที่ 3.13

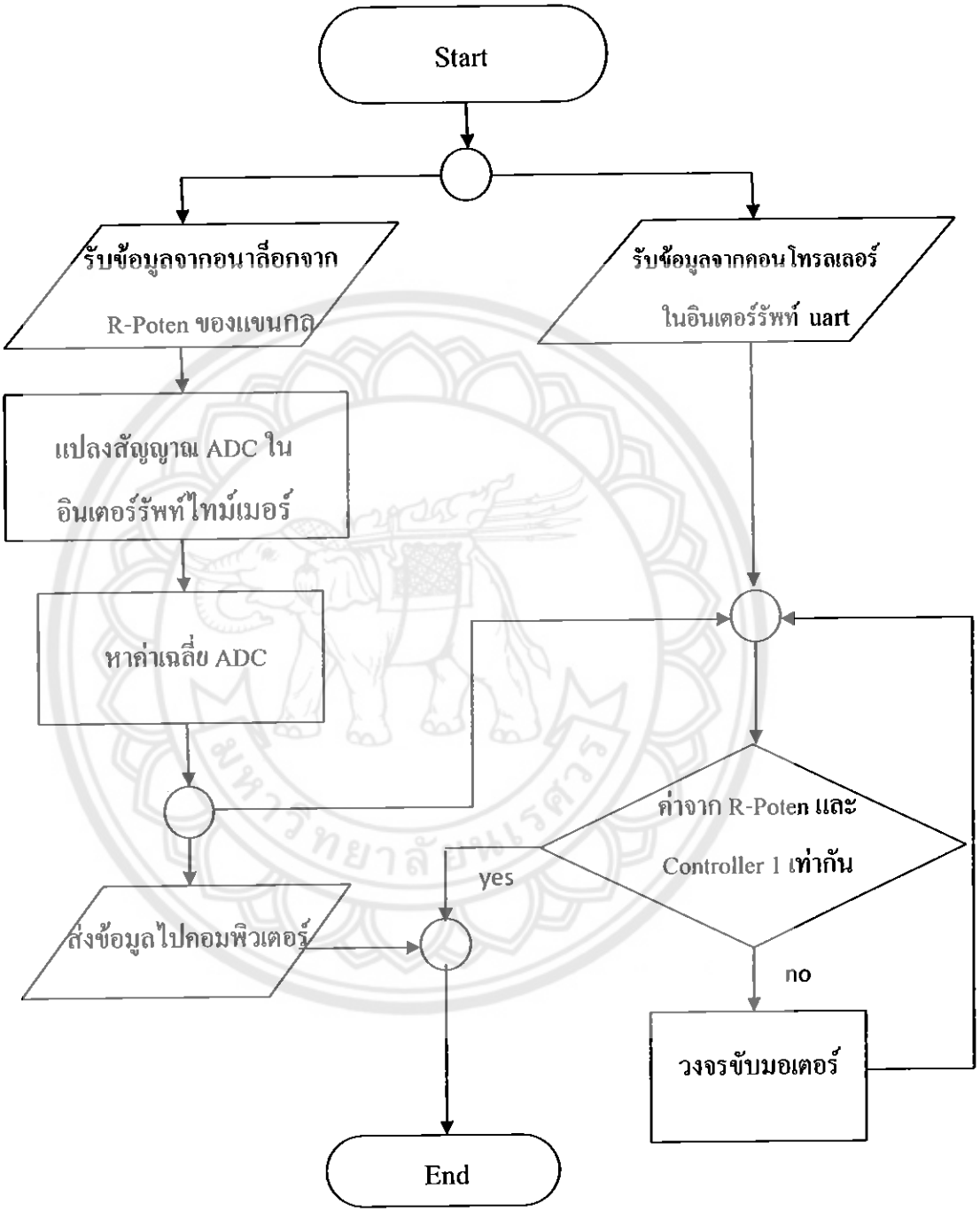


รูปที่ 3.14 แสดงระบบควบคุมแบบย้อนกลับของตัวคอนโทรลเลอร์

3.4 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์แขนกล

ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลจะทำงานจับวัตถุจากจุดหนึ่งแล้วนำไปวางอีกจุดหนึ่งให้ถูกต้องโดยให้หุ่นยนต์ทำงานตามโปรแกรมที่เขียนไว้กับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยขณะที่หุ่นยนต์กำลังทำงานนั้นจะมีการตรวจสอบแรงดันจากชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดันว่าเคลื่อนย้ายไปตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่โดยในส่วนของแขนกลจะมีการทำงานดังนี้

คอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.15 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของคอนโทรลเลอร์

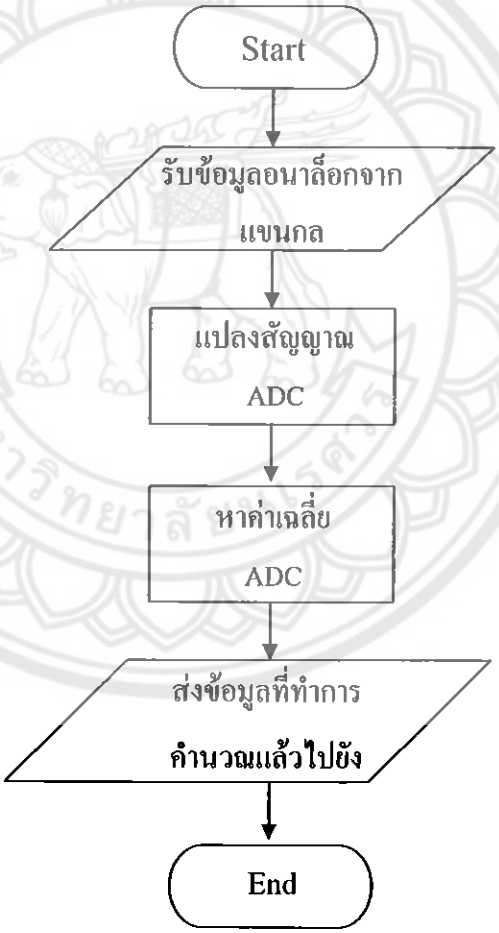
จากรูปที่ 3.15 แสดงการทำงานของคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะรับข้อมูลมาจาก 2 ส่วนได้แก่

ส่วนแรก - รับข้อมูลมาจากคอนโทรลเลอร์โดย UART

ส่วนที่สอง - รับข้อมูลจากแขนกลในรูปแบบแรงดันอนาล็อกมาแปลงให้อยู่ในดิจิตอล

เมื่อได้ค่าทั้ง 2 ค่าแล้วคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลเปรียบเทียบค่าแต่ละตำแหน่งถ้าค่าที่ได้ออกมาไม่เท่ากันคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งผลลัพธ์ออกไปวงจรขับมอเตอร์ที่แขนกลจนกว่าค่าที่ได้จะเท่ากันคอนโทรลเลอร์จะสั่งล็อกมอเตอร์

คอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.16 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 3.15 แสดงการทำงานของคอนโทรลเลอร์เริ่มจากการรับแรงดันจากชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดันทั้ง 3 ตำแหน่ง ที่แขนกลมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบดิจิตอลและหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้ค่าที่ได้ออกมาไม่เปลี่ยนแปลงรวดเร็วเกินไปจากนั้นทำการเข้ารหัสแล้วจะส่งค่าที่แปลงให้อยู่ในรูปแบบดิจิตอลต่อไปยังคอมพิวเตอร์

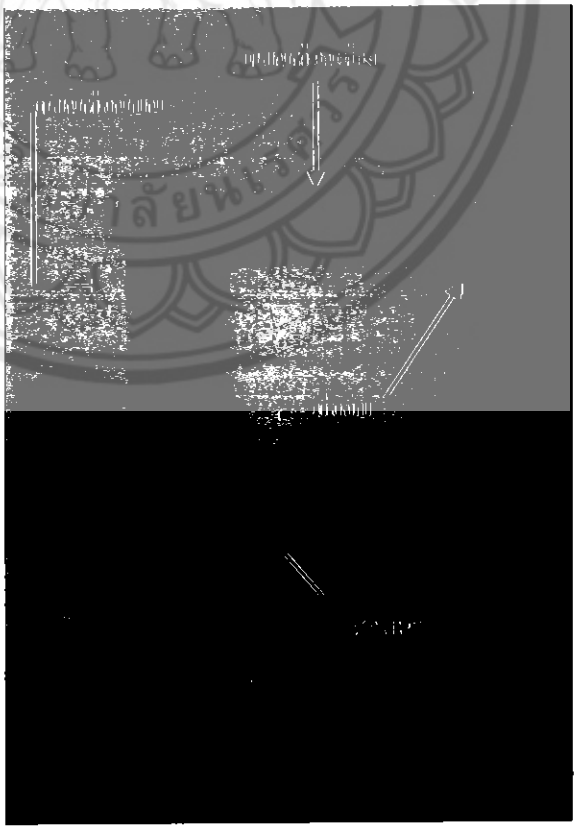
บทที่ 4

ผลการดำเนินการโครงงาน

4.1 กระบวนการการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ

ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติดังที่กล่าวแล้วในบทที่ 3 คือ เขียนโปรแกรมควบคุมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานตามโปรแกรม โดยขณะที่หุ่นยนต์กำลังทำงานนั้นจะมีการตรวจสอบแรงดันจากชุดควบคุมเปลี่ยนค่าแรงดันว่าเคลื่อนย้ายไปตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่ โดยในส่วนของแขนกลนี้จะมีการควบคุมการทำงานโดยคอนโทรลเลอร์

กระบวนการทำงานของหุ่นยนต์จะเริ่มจากที่หุ่นยนต์อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น โดยแขนท่อนบนอยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับฐานของหุ่นยนต์ แขนท่อนล่างอยู่ที่ตำแหน่งตั้งฉากกับแขนท่อนบน หันด้านมือจับไปด้านหน้าและมือจับอยู่ในตำแหน่งที่หน้าสัมผัสของมือจับสัมผัสกันสนิทซึ่งลักษณะของตำแหน่งเริ่มต้นการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะตำแหน่งเริ่มต้นการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ

จากนั้นโปรแกรมจะสั่งให้หุ่นยนต์เริ่มทำงานโดยเริ่มจากการหมุนมอเตอร์ส่วนฐานไปยังตำแหน่งวัตถุที่ตั้งไว้แล้วทำการเคลื่อนส่วนแขนท่อนบน แขนท่อนล่างและมือจับเพื่อทำการจับวัตถุ จากนั้นแขนท่อนบนและแขนท่อนล่างจะยกวัตถุขึ้นแล้วมอเตอร์ส่วนฐานจะหมุนให้วัตถุไปยังตำแหน่งที่ต้องการแล้วแขนท่อนและแขนท่อนล่างจะวางวัตถุลงแล้วมือจับก็จะปล่อยวัตถุนั้นออก แล้วจึงยกแขนขึ้นแล้วส่วนทั้งหมดก็จะกลับมาอยู่ในสถานะเริ่มต้นแล้วจึงเริ่มทำงานใหม่ไปเรื่อย ๆ ขึ้นอยู่กับการออกแบบโปรแกรมควบคุม

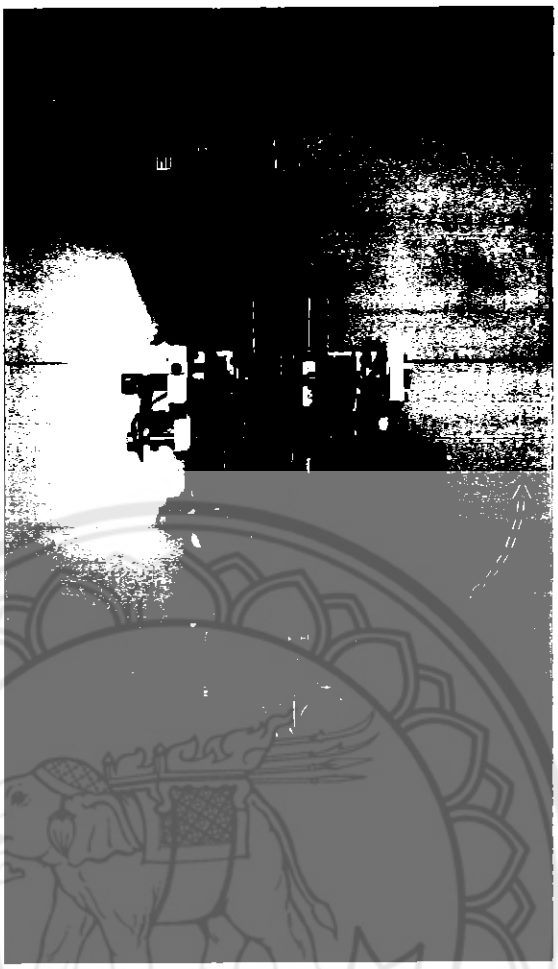
4.2 ผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ

ในการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ ได้ทำการตั้งขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์โดยให้หุ่นยนต์โดยให้หุ่นยนต์จับวัตถุจากตำแหน่งหนึ่งไปวางอีกตำแหน่งหนึ่งโดยมีระห่างกัน 180 องศาการหมุนของมอเตอร์ตัวที่ติดกับฐานหุ่นยนต์ ซึ่งเกณฑ์ในการวัดความสามารถของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ความแม่นยำในการหมุนของมอเตอร์ ความแม่นย่ำในการเคลื่อนย้ายวัตถุ ความเร็วในการเคลื่อนย้ายวัตถุ โดยได้ทำการทั้งหมด 4 การทดลองดังต่อไปนี้

1) การทดลองความแม่นยำในการหมุนของมอเตอร์ในแนวระนาบ
2) การทดลองความสามารถของมือจับหุ่นยนต์
3) การทดความแม่นยำในการจับสิ่งของที่เลื่อนมาบนสายพาน
4) การทดลองความแม่นยำในการเคลื่อนย้ายวัตถุจากแนวระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง

4.2.1 การทดลองความแม่นยำในการหมุนของมอเตอร์ในแนวระนาบ

การทดลองเป็นการทดลองโดยวัดความแม่นยำในการหมุนของมอเตอร์ตัวที่ติดกับส่วนฐานโดยระยะการหมุนที่จะทำการทดลองคือ 45 องศา 90 องศาและ 180 องศา ซึ่งจะทำซ้ำกัน 5 รอบ โดยลักษณะการหมุนแสดงดังรูปที่ 4.2 และผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.2 ลักษณะการหมุนในแนวระนาบ

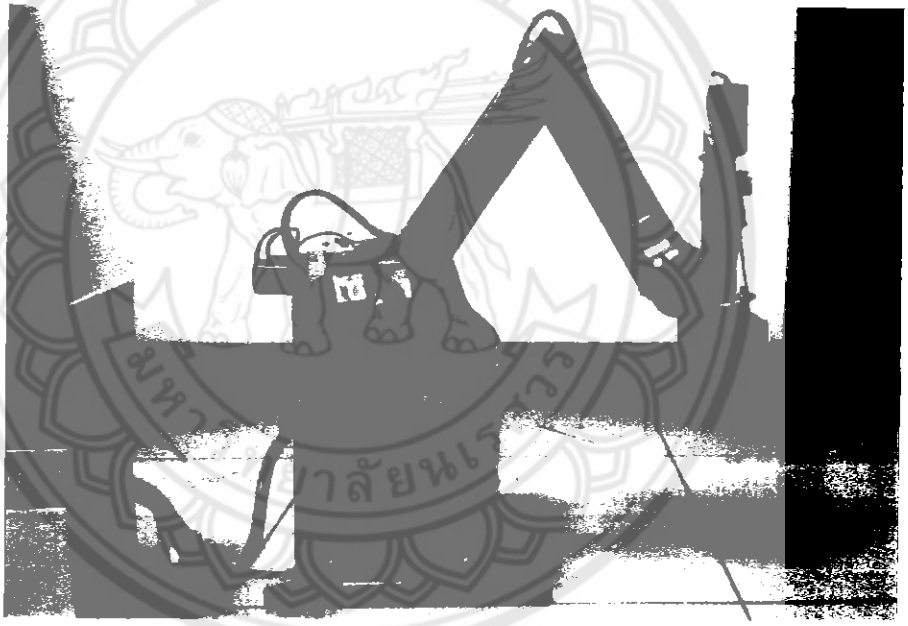
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองความแม่นยำในการหมุนของฐานหุ่นยนต์ในแนวระนาบ

รอบที่	ระยะความคลาดเคลื่อน(องศา)		
	45	90	180
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0

จากการทดลองความแม่นยำในการหมุนของมอเตอร์ จะเห็นได้ว่าการหมุนของมอเตอร์ในแนวระนาบนั้นมีความแม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการทดลองทั้งหมดทั้ง 5 ครั้งสามารถหมุนและกลับมาที่เดิมได้แม่นยำทุกครั้ง

4.2.2 การทดลองความสามารถของมือจับหุ่นยนต์

การทดลองนี้เป็นการทดลองความสามารถในการทำงานของมือจับหุ่นยนต์ โดยจะทดสอบความสามารถในการจับวัตถุขนาดต่างๆ โดยวัตถุแต่ละชนิดจะมีรูปทรง ขนาด น้ำหนัก ที่แตกต่างกันออกไปโดยจะทำการทดสอบว่ามือจับของหุ่นยนต์จะสามารถจับสิ่งของที่มีรูปทรง ขนาด น้ำหนัก ใดได้บ้าง โดยเริ่มต้นให้มือจับหุ่นยนต์จับสิ่งของแล้วทำการยกขึ้นค้างไว้ โดยลักษณะการจับแสดงดังรูปที่ 4.3 และผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.3 การทดลองจับสิ่งของของมือจับ

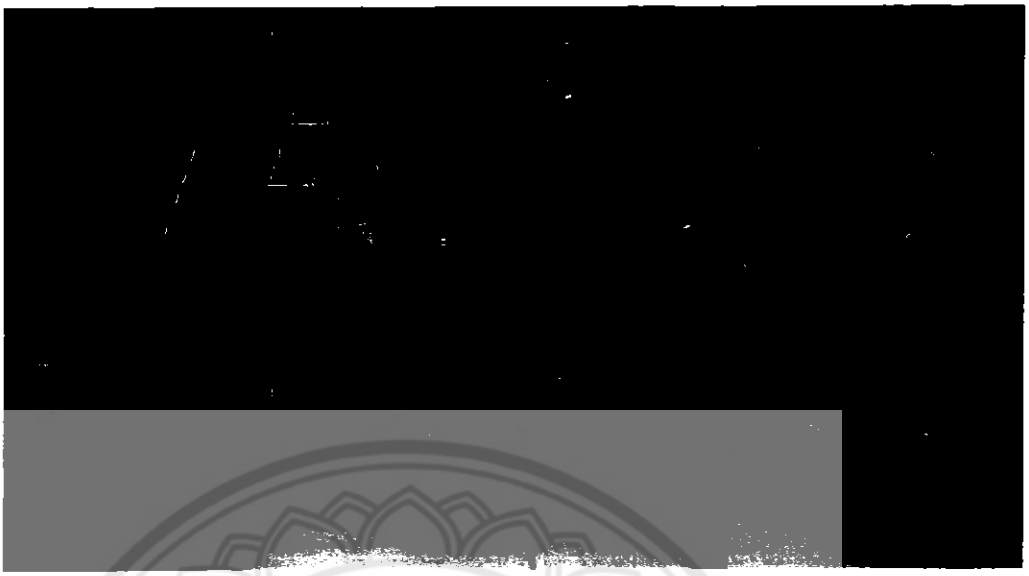
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการจับสิ่งของของมือจับหุ่นยนต์

วัตถุที่ทำการทดลอง	รูปทรงของวัตถุ	น้ำหนัก (กรัม)	ผมได้ทดลอง (ได้/ไม่ได้)
กล่องกระดาษ	สี่เหลี่ยม	50	ได้
กระป๋องสีสเปรย์	ทรงกระบอก	260	ได้
ม้วนสติ๊กเกอร์	วงกลม	320	ได้
กระป๋องกาว	ทรงกระบอก	240	ได้
น้ำตาลทราย	ทรงกระบอก	1000	ได้
เครื่องเจียร์ไฟฟ้า	ทรงกระบอก	1200	ได้
ขวดน้ำ (มีน้ำ)	ทรงกระบอก	1500	ไม่ได้
กระน้ำอัดลม(มีน้ำ)	ทรงกระบอก	350	ได้
อิฐ	สี่เหลี่ยม	700	ได้
ขวดชาเขียว	ทรงกระบอก	350	ได้

จากการทดลองการจับสิ่งของของมือจับจะเห็นได้ว่ามือจับจะสามารถจับสิ่งที่มีน้ำหนักไม่เกิน 1.2 กิโลกรัม และจากการทดลองมือจับจะสามารถจับสิ่งของที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมได้ดีกว่ารูปทรงกระบอก

4.2.3 การทดลองความแม่นยำในการจับสิ่งของบนสายพานลำเลียง

การทดลองนี้เป็นการทดลองความสามารถการทำงานความแม่นยำในการจับสิ่งของบนสายพานมาวางในไว้อีกตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งจะทำการทดลอง 5 ครั้งโดยจะเซตให้หุ่นยนต์อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นทุกครั้งและจะทำการจับสิ่งของบนสายพานมาวางไว้ในตำแหน่งที่ต้องการรวมทั้งในแต่ละรอบจะมีการจับระยะเวลาการทำงานของหุ่นยนต์ในแต่ระรอบ โดยลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.4 และผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.4 การทำงานของหุ่นยนต์ในการจับสิ่งของบนสายพานลำเลียง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองความแม่นยำในการจับสิ่งของบนสายพาน

ครั้งที่	ระยะความคลาดเคลื่อนในแนวระดับ(เซนติเมตร)	เวลาการทำงาน(วินาที)
1	1.2	48.21
2	0.5	48.05
3	1.3	48.35
4	0.8	48.43
5	0.6	48.13

จากการทดลองความแม่นยำในการจับสิ่งของบนสายพานลำเลียงปรากฏว่าในการจับวัตถุแต่ละครั้งมีความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากกล้องบนสายพานลำเลียงมีความระเอียดสูงจึงให้คอมพิวเตอร์มีการประมวลช้าบางครั้งก็หยุดก่อนจุดที่กำหนดบางครั้งก็หยุดหลังจุดที่กำหนดทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนบ้างเล็กน้อยจึงส่งผลทำให้จับวัตถุแต่ละครั้งมีความคลาดเคลื่อนตามมา

4.2.4 การทดลองความแม่นยำในการเคลื่อนย้ายวัตถุจากแนวระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง

การทดลองนี้เป็นการทดลองการเคลื่อนย้ายวัตถุโดยให้หุ่นยนต์จับวัตถุจากจุดหนึ่งแล้วนำไปวางอีกตำแหน่งหนึ่งซึ่งอยู่ต่างระดับกัน (20เซนติเมตร) และระยะการกระจัดในแนวระดับห่างกัน 60 เซนติเมตร ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง โดยจะรีเซตหุ่นยนต์ให้อยู่ในสถานะตำแหน่งเริ่มต้นทุกครั้ง โดยแสดงดังรูปที่ 4.5 - 4.6 และผลการทดลองแสดงในตางรางที่ 4.4

รูปที่ 4.5 การทำงานของหุ่นยนต์ในการจับสิ่งของต่างระดับ

รูปที่ 4.6 การทำงานของหุ่นยนต์ในการวางสิ่งของต่างระดับ

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการเคลื่อนย้ายวัตถุจากแนวระดับหนึ่งไปยังแนวระดับหนึ่ง

ครั้งที่	ระยะความคลาดเคลื่อนในแนวระดับ(เซนติเมตร)	เวลาการทำงาน(วินาที)
1	0.3	52.36
2	0.5	52.48
3	0.4	52.23
4	0.4	52.39
5	0.4	52.40

จากการทดลองเคลื่อนย้ายวัตถุในตำแหน่งที่ต่างระดับจะเห็นได้ว่าระยะความคลาดเคลื่อนของการวางวัตถุอยู่ระหว่าง 0.3-0.5 เซนติเมตร ซึ่งเกิดมากจากความคลาดเคลื่อนในการหมุนของฐานหุ่นยนต์ทำให้ส่งผลเกิดกาคลาดเคลื่อนจากจุดที่กำหนดไปเล็กน้อย

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ศึกษา ออกแบบ ทดสอบ และทำการปรับปรุงชิ้นงานขึ้นเป็นหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติโดยใช้ระยะเวลาดำเนินโครงงาน 2 ภาคการศึกษาทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำหุ่นยนต์แขนกลในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองโครงงาน พร้อมเสนอแนะแนวทางในการดำเนินโครงงานนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลองการทำงานหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ

โครงงานหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติเป็นการออกแบบและสร้างต้นแบบหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติขึ้นมาเพื่อทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างและหลักการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติและการพัฒนาหุ่นยนต์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยหุ่นยนต์แขนกลสามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติโดยการเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ซึ่งหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติสามารถจับวัตถุจากจุดไปยังอีกจุดหนึ่งได้โดยอัตโนมัติและยังสามารถเคลื่อนย้ายวัตถุทั้งในระนาบเดียวกันหรือย้ายวัตถุจากแนวระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่งได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรมควบคุม โดยพื้นที่การทำงานสามารถหมุนได้ 200 องศารอบตัวเองในแนวระดับและหมุนได้ 150 องศาในแนวดิ่ง ทั้งนี้การทดลองได้ลองเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติเคลื่อนที่ในแนวระนาบ การทดลองจับสิ่งของบนสายพานลำเลียงและอีกการทดลองคือการจับสิ่งของจากระนาบหนึ่งไปวางยังอีกระนาบหนึ่งผลที่ได้คือ หุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติสามารถจับวัตถุไปวางในตำแหน่งที่ต้องการได้ตามโปรแกรมที่ตั้งเอาไว้ แต่เนื่องจากการควบคุมการหมุนของมอเตอร์มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างจึงทำเกิดความคลาดเคลื่อนในการจับและวางกล่องบ้างเป็นบางครั้ง

ผลการทดลองที่ได้ทำให้สามารถรู้ขอบเขตการทำงานหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติว่าหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ในพื้นที่รอบๆตัวหุ่นยนต์โดยการกำหนดขอบเขตและระยะเวลาการทำงานขึ้นอยู่การเขียนโปรแกรมควบควบซึ่งจากผลการทดลองนั้นหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติยังมีผิดพลาดบ้างบางจุดด้วยกัน ดังนั้นจึงมีการศึกษาและพัฒนาข้อด้อยของหุ่นยนต์เพื่อให้หุ่นยนต์มีศักยภาพที่สามารถเป็นต้นแบบในการสร้างหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติเพื่อใช้งานจริงได้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปัญหาที่พบจากการทำโครงงาน

จากการเริ่มออกแบบสร้างและการทำการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลอัตโนมัติ เกิดปัญหาที่ทำการดำเนินโครงงานต้องบกพร่องหลายปัญหาด้วยกันซึ่งสามารถจำแนกเป็นข้อๆได้ดังนี้

1) อุปกรณ์ที่ทำตัวโครงสร้างของหุ่นยนต์หาได้ยากตามท้องตลาดและมีราคาแพงจึงทำให้เสียเวลาในหาวัสดุมาทำตัวโครงสร้างพอสมควรจึงทำให้โครงงานล่าช้า

2) เรื่องของตัวขับเคลื่อนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีปัญหาในเรื่องมอเตอร์ไม่สามารถรับน้ำหนักของโครงสร้างของหุ่นยนต์ได้ จึงทำให้ต้องเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ให้มีการรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

3) เรื่องของมือจับหุ่นยนต์เป็นชิ้นส่วนที่มีปัญหาเยอะที่สุดในการทำงานเพราะมีชิ้นส่วนขนาดเล็กสร้างได้ยากและยังต้องมีความแข็งแรงในการบีบจับสิ่งของ

4) ปัญหาช่วงฐานของหุ่นยนต์เนื่องจากช่วงฐานของหุ่นยนต์ต้องใช้ลูกปืนหลังเต่าทำให้เกิดการโยกของตัวส่วนฐานส่งผลทำให้ตัวฐานเคลื่อนที่เอียงบ้างเป็นบางครั้ง

5.5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

1) ควรวางแผนก่อนการทำงานว่าจะใช้อุปกรณ์อะไรในการทำโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์แล้วควรเตรียมอุปกรณ์ไว้ก่อนที่จะเริ่มทำโครงสร้างให้ครบหรือเลือกใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด

2) ในเรื่องการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ เราควรใช้มอเตอร์ที่มีแรงบิดที่เหมาะสมกับน้ำหนักของชิ้นงาน

3) ควรหาอุปกรณ์ที่ง่ายต่อการขึ้นรูปและมีความแข็งแรงในการทำมือจับ

4) ควรใช้ลูกปืนชนิดอื่นในการทำส่วนฐานของหุ่นยนต์และควรทำที่ยึดลูกปืนให้แข็งแรง

เอกสารอ้างอิง

[1] http://www.theoldrobots.com/scorbot.html สืบค้นเมื่อ มิถุนายน 2555

[2] เดชฤทธิ์ มณีธรรม, ดร. , สำเริง เต็มราม "คัมภีร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC (Microcontroller PIC)" สำนักพิมพ์ เคทีพี คอมพ์ แอนด์คอนซัลท์, บจก.

[3] http://www.technicnan.ac.th/nan_ntc/adisak51/page21.html, สืบค้นเมื่อ สิงหาคม 2555

[4] www.ee.buu.ac.th/~acitl/project/2011/.../13_บทที่%202.doc, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2555

[5] http://www.datasheetarchive.com/10K%20potentiometer-datasheet.html, สืบค้นเมื่อ ธันวาคม 2555

[6] http://www.nawattakam.com/talk/index.php?topic=1269.0, สืบค้นเมื่อ ธันวาคม 2555

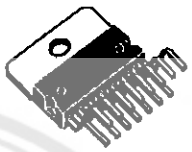
ภาคผนวก ก

รายละเอียดของไอซีหมายเลข L298N

L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

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



Multiwatt15

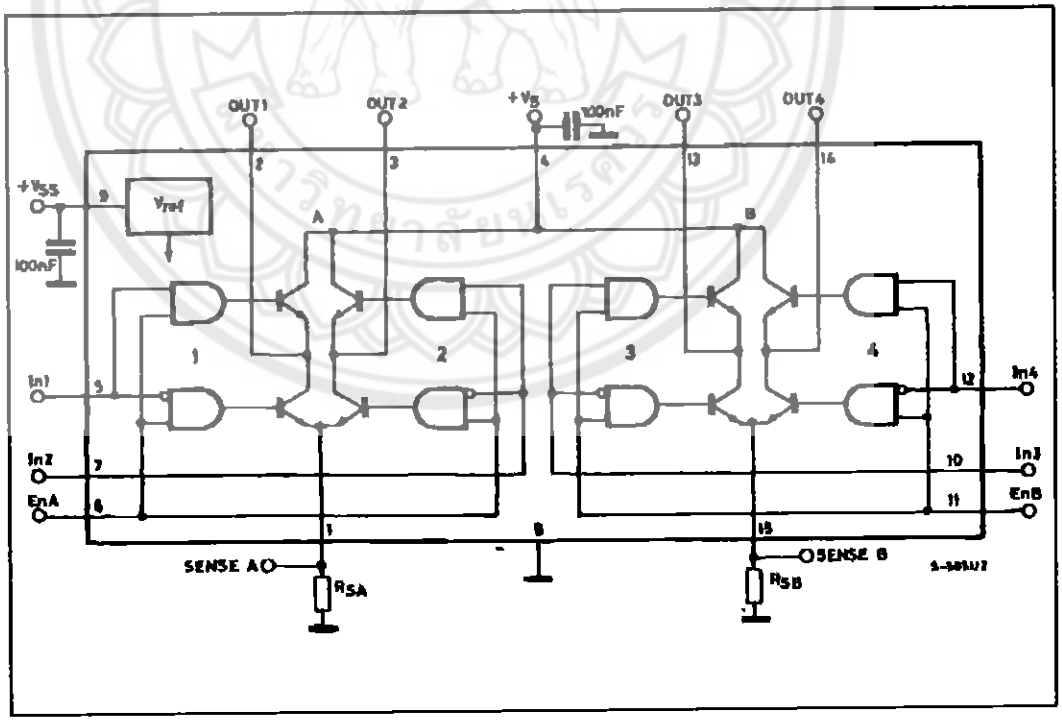
PowerSO20

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

DESCRIPTION

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

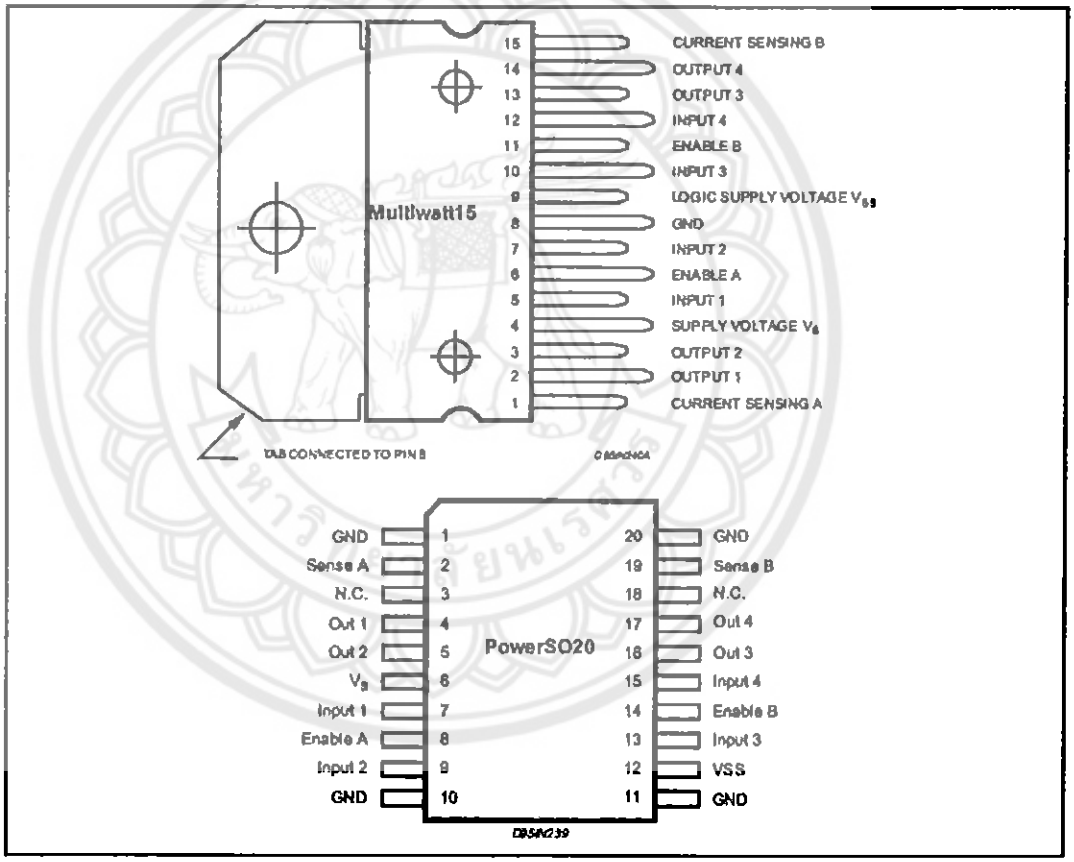
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

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

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

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

(*) Mounted on aluminum substrate

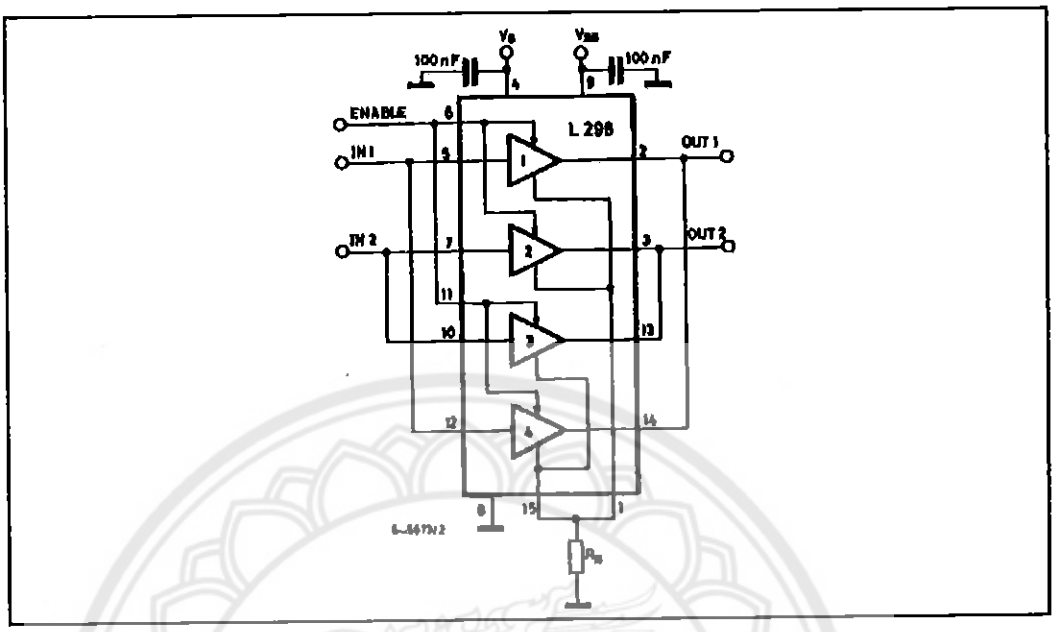
PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V_S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

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

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

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



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

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

1.2. INPUT STAGE

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

2. SUGGESTIONS

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

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

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

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

3. APPLICATIONS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

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

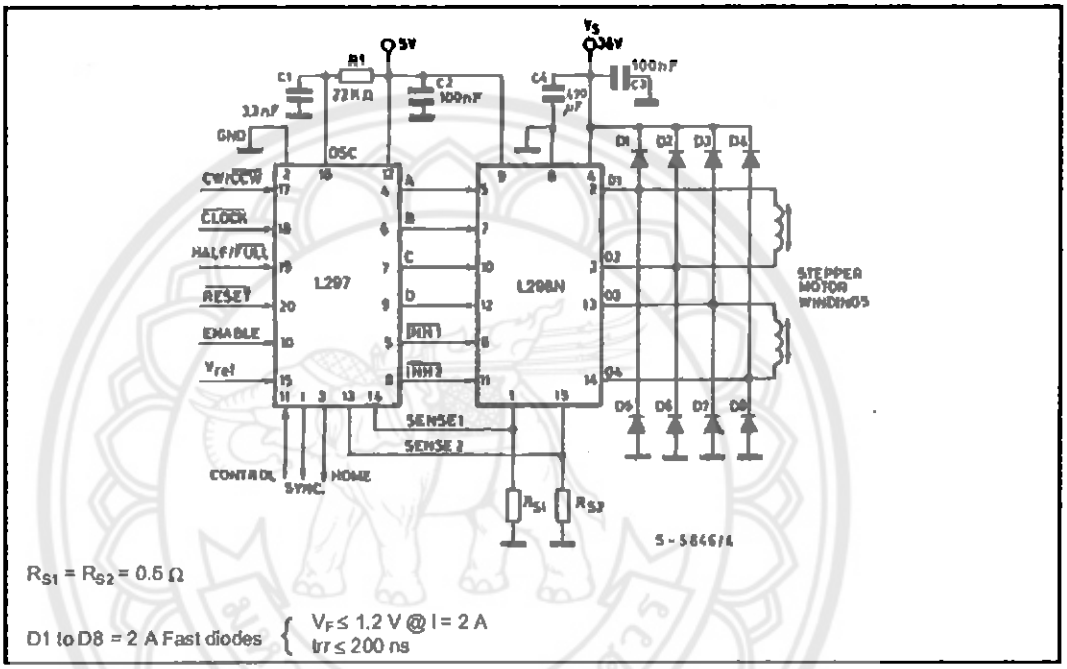


Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

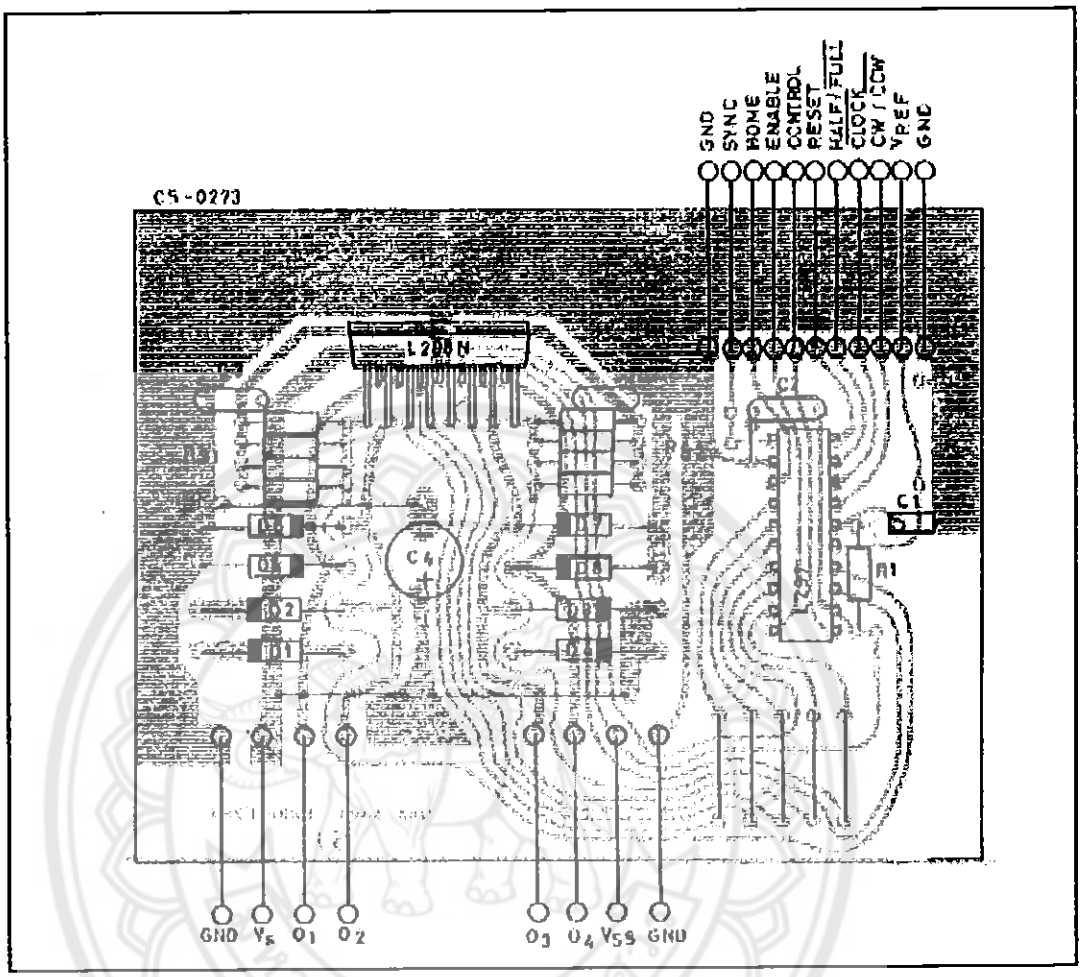
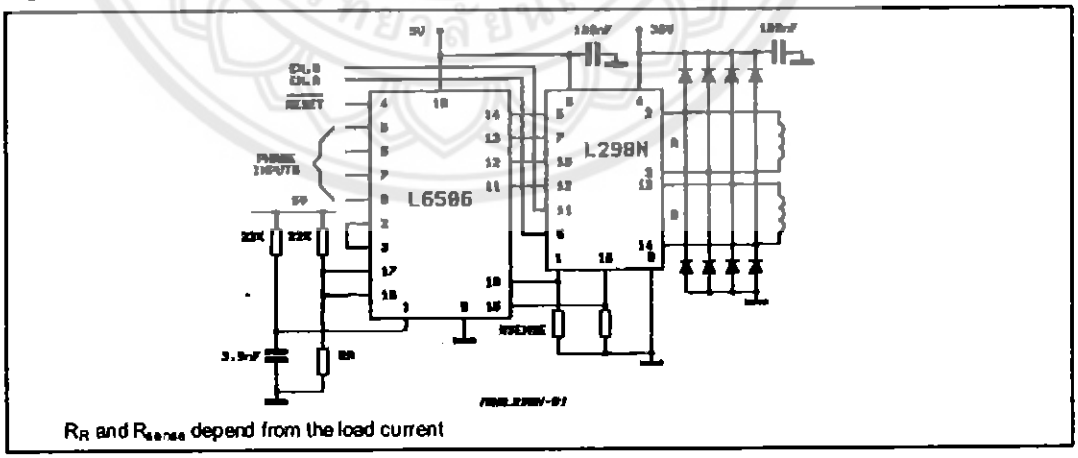


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.



R_B and R_{sense} depend from the load current

ภาคผนวก ข

รายละเอียดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F887

Pin Diagrams – PIC16F884/887, 44-Pin QFN

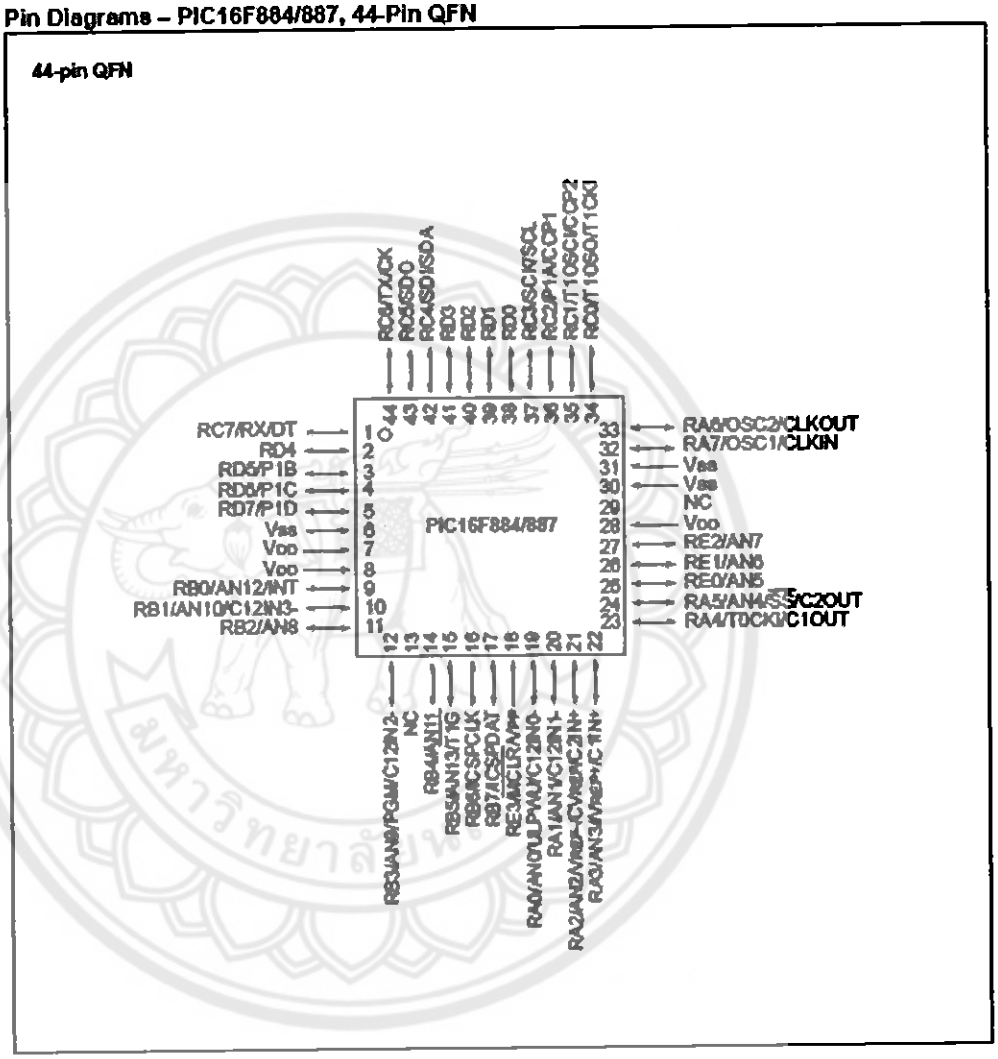


TABLE 4: PIC16F884/887 44-PIN SUMMARY (QFN)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	19	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	20	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	21	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	22	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	23	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	24	AN4	C2OUT	—	—	—	$\overline{SS}$	—	—	—
RA6	33	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	32	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	9	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	10	AN10	C12IN3-	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB2	11	AN8	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB3	12	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	14	AN11	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB5	15	AN13	—	$\overline{T1G}$	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	16	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	17	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	34	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	35	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	36	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	37	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	42	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	43	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	44	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	1	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RD0	38	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD1	39	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD2	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD3	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD4	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD5	3	—	—	—	P1B	—	—	—	—	—
RD6	4	—	—	—	P1C	—	—	—	—	—
RD7	5	—	—	—	P1D	—	—	—	—	—
RE0	25	AN5	—	—	—	—	—	—	—	—
RE1	26	AN6	—	—	—	—	—	—	—	—
RE2	27	AN7	—	—	—	—	—	—	—	—
RE3	18	—	—	—	—	—	—	—	Y(1)	$\overline{MCLR}$/VPP
—	7	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	28	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	30	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	31	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	13	—	—	—	—	—	—	—	—	NC (no connect)
—	29	—	—	—	—	—	—	—	—	NC (no connect)

Note 1: Pull-up activated only with external $\overline{MCLR}$ configuration.

Pin Diagrams – PIC16F884/887, 40-Pin PDIP

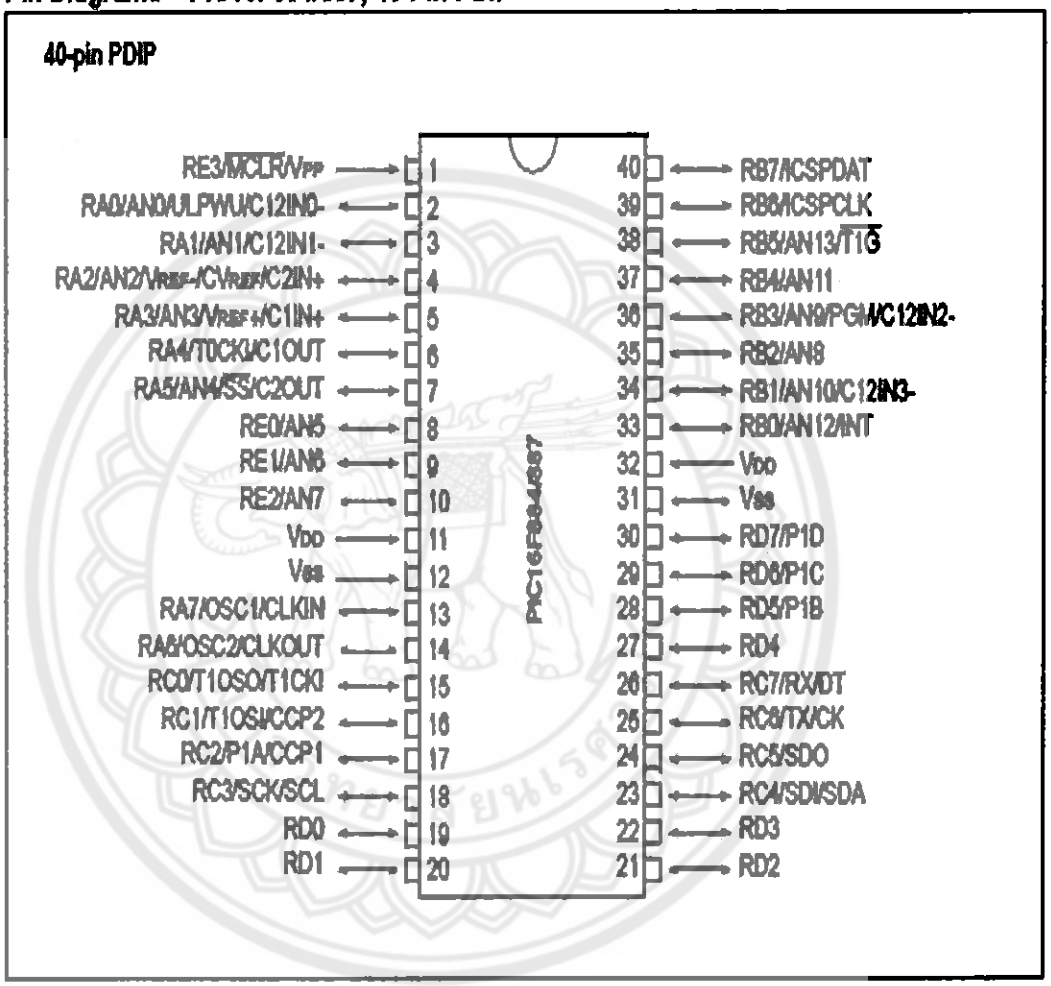


TABLE 3: PIC16F884/887 40-PIN SUMMARY (PDIP)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	2	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	3	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	4	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	5	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	6	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	7	AN4	C2OUT	—	—	—	$\overline{SS}$	—	—	—
RA6	14	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	13	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	33	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	34	AN10	C12IN3-	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB2	35	AN8	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB3	36	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	37	AN11	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB5	38	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	39	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	40	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	15	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	16	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	17	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	18	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	23	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	24	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	25	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	26	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RD0	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD1	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD2	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD3	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD4	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD5	28	—	—	—	P1B	—	—	—	—	—
RD6	29	—	—	—	P1C	—	—	—	—	—
RD7	30	—	—	—	P1D	—	—	—	—	—
RE0	8	AN5	—	—	—	—	—	—	—	—
RE1	9	AN6	—	—	—	—	—	—	—	—
RE2	10	AN7	—	—	—	—	—	—	—	—
RE3	1	—	—	—	—	—	—	—	Y(1)	$\overline{MCLR}$/VPP
—	11	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	32	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	31	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: Pull-up activated only with external $\overline{MCLR}$ configuration.

Pin Diagrams – PIC16F884/887, 44-Pin TQFP

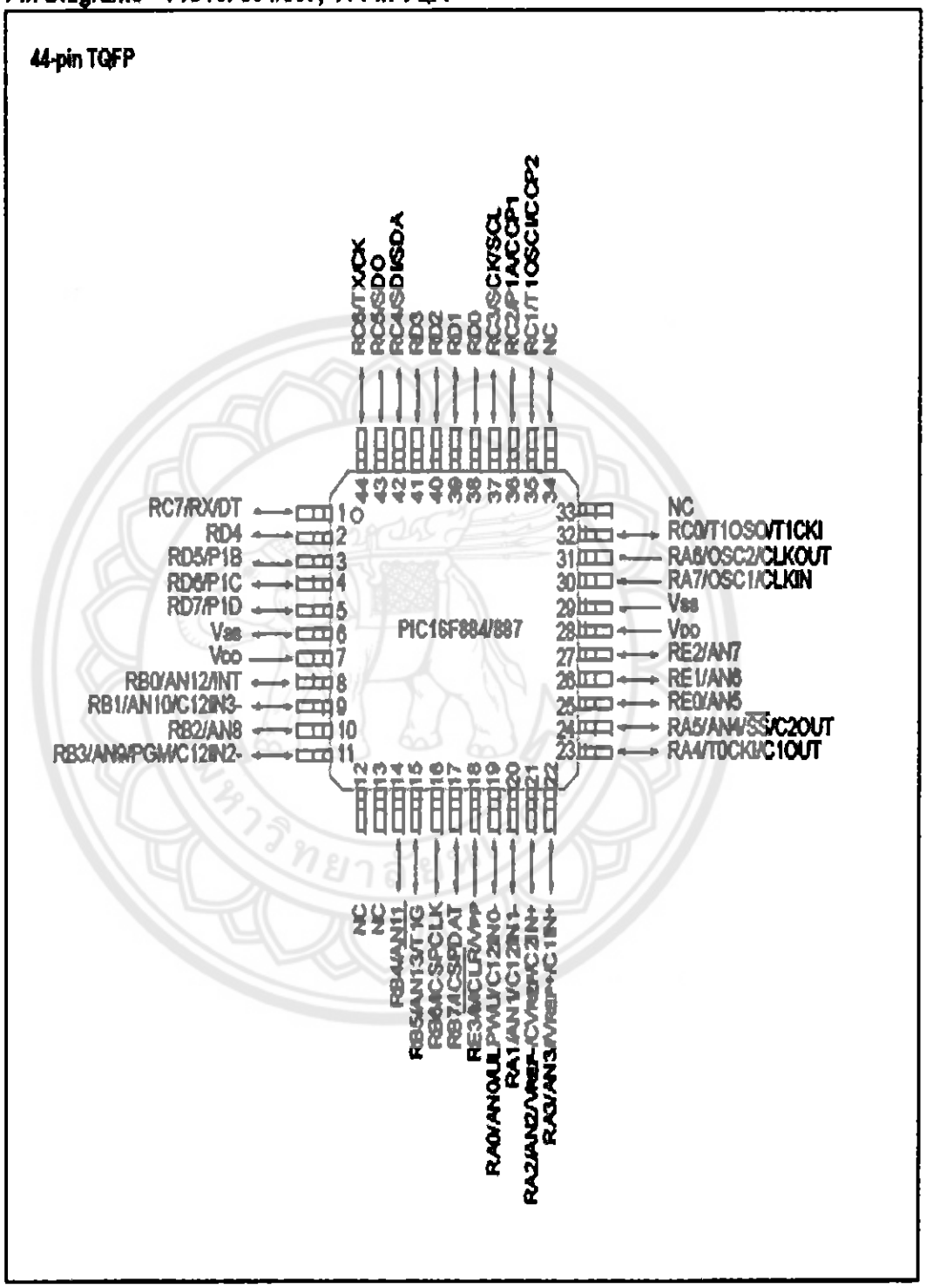


TABLE 5: PIC16F884/887 44-PIN SUMMARY (TQFP)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	19	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	20	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	21	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	22	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	23	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	24	AN4	C2OUT	—	—	—	$\overline{SS}$	—	—	—
RA6	31	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	30	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	8	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	9	AN10	C12IN3-	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB2	10	AN8	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB3	11	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	14	AN11	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB5	15	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	16	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	17	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	32	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	35	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	36	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	37	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	42	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	43	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	44	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	1	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RD0	38	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD1	39	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD2	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD3	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD4	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD5	3	—	—	—	P1B	—	—	—	—	—
RD6	4	—	—	—	P1C	—	—	—	—	—
RD7	5	—	—	—	P1D	—	—	—	—	—
RE0	25	AN5	—	—	—	—	—	—	—	—
RE1	26	AN6	—	—	—	—	—	—	—	—
RE2	27	AN7	—	—	—	—	—	—	—	—
RE3	18	—	—	—	—	—	—	—	Y(1)	$\overline{MCLR}$/VPP
—	7	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	28	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	13	—	—	—	—	—	—	—	—	NC (no connect)
—	29	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	34	—	—	—	—	—	—	—	—	NC (no connect)
—	33	—	—	—	—	—	—	—	—	NC (no connect)
—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	NC (no connect)

Note 1: Pull-up activated only with external $\overline{MCLR}$ configuration.

ภาคผนวก ค

รายละเอียด Potentiometer

Electrical Characteristics

Taper ..... Audio, linear
Standard Resistance
..... from 10K to 1M ohms
Standard Resistance Tolerance... ±15 %

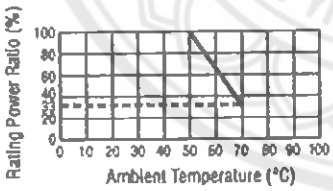
Environmental Characteristics

Operating Temperature
..... -10 °C to +70 °C
Power Rating
Linear Taper ..... 0.5 watt
Audio Taper ..... 0.25 watt
Maximum Operating Voltage
Linear Taper ..... 500 V
Audio Taper ..... 250 V
Rotational Noise ..... 100 mV max.

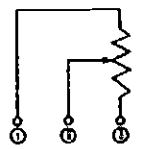
Mechanical Characteristics

Mechanical Angle ..... 300 ° ±5 °
Rotational Torque
Standard ..... 20 to 40 g-cm
High ..... 70 to 100 g-cm
Stop Strength ..... 7 kg-cm min.
Rotational Life
..... 200,000 shaft revolutions
Soldering Condition
Manual Soldering
..... 300 °C within 3 seconds
Wave Soldering
..... 260 °C within 5 seconds
Hardware ..... One flat washer and mounting nut supplied per potentiometer with bushing

Derating Curve

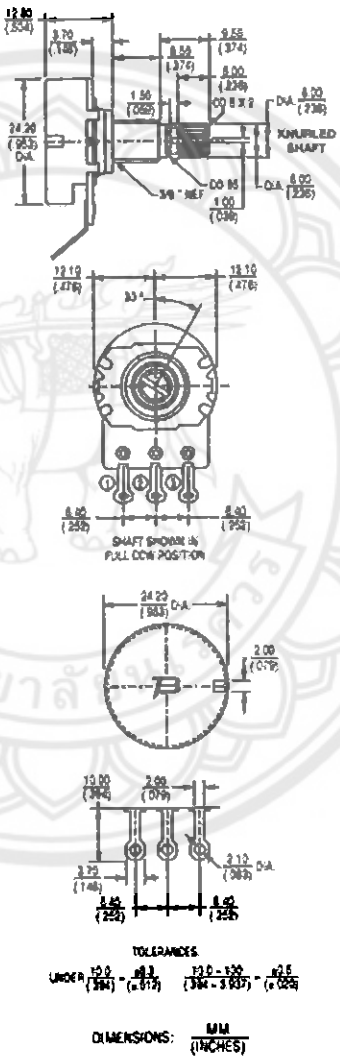


Circuit

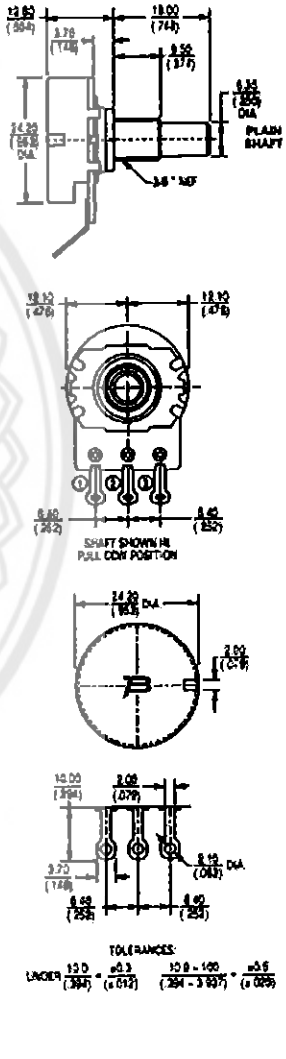


Product Dimensions

PDA241-xxx00,
PDA241-xxx01



PDA241-xxx02



Electrical characteristics: 電氣的性能:

Total resistance 總阻值	B:5K Ω ~1M Ω other than B:5K Ω ~500K Ω (B以外)
Total resistance tolerance 總阻偏差	± 20% more than 1M Ω ± 30%
Rated power 額定功率	B:0.08W other than B:0.04W (B以外)
Max. operating voltage 最高使用電壓	B:150V AC other than B:100V AC (B以外)
Resistance taper 阻值規律	A, B, C
Residual resistance 殘留阻值	R≥R250K Ω 0.1% max. of total resistance 10K Ω <R<250K Ω 20 Ω max. R≤10K Ω 10 Ω max.
Insulation resistance 絶緣電阻	more than 50M Ω at DC 500V
Gang error 同步誤差	-40 ~ 0dB ≤ ± 3dB

Mechanical characteristics:機械的性能:

Total rotational angle 總旋轉角度	300°± 10°
Rotational torque 旋轉力矩	2～20mN.m (20～204gf.cm)
Rotation stopper strength 止擋強度	0.3N.m (3kgf.cm)
Push pull strength 軸推拉強度	80N (8kgf) max.
Click torque C.C. 扭力	5~30mN.m (51~305gf.cm)