สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# ปริญญานิพนธ์

## หุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2

## WIRELESS ROBOT II

นายเจษฎา พรมมาหล้า
นายเจษฎา พินสุวรรณ
นางสาวทิพวรรณ ฤกษ์ศรี
นายสมจิณ อบอุ่น

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

มพ.
จ755 ห
2547

ลขหมู่.....
ลขทะเบียน.....59532
วัน,เดือน,ปี.....- 7 มิ.ย. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.b.....
.i.....

**ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม**

**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ใบรับรองปริญญานิพนธ์**

**ชื่อหัวข้อ** หุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2

Wireless Robot II

ชื่อนักศึกษา

| | | |
|---|---|---|
| 1. นายเจษฎา พรมมาหล้า | รหัสประจำตัว | 46035574 |
| 2. นายเจษฎา พินสุวรรณ | รหัสประจำตัว | 46035575 |
| 3. นางสาวทิพวรรณ ฤกษ์ศรี | รหัสประจำตัว | 46035579 |
| 4. นายสมจิณ อบอุ่น | รหัสประจำตัว | 46035598 |

**หลักสูตร** ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** ผศ.สุรสิทธิ์ ราตรี

| คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| 1. อาจารย์พิชญ์สินี มะโน | |
| 2. อาจารย์สุชิน อาจหาญ | |
| 3. อาจารย์วรวิทย์ สมหา | |
| 4. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ | |
| 5. อาจารย์อำพล ทองระอา | |

**วัน/เดือน/ปีที่สอบ** วันเสาร์ที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 เวลา 14.15 น.

**สถานที่สอบ** ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.สุรสิทธิ์ ราตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

<BT4710332>
หุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

**เรื่อง** หุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2

Wireless Robot II

**วัตถุประสงค์**

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2
2. เพื่อออกแบบโครงสร้างและแผนการทำงานของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2
3. เพื่อสร้างหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2
4. เพื่อทดลองการทำงานและทดสอบสมรรถนะของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2
5. เพื่อใช้หุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 ในการแข่งขัน

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ได้รับความรู้เรื่องการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ ของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 ระบบ การเก็บกล่องและได้โปรแกรมที่ควบคุมกลไกการทำงานของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2
2. ได้วงจรควบคุมแขนกลของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 วงจรคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้บังคับหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2
3. ได้หุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2
4. ได้ผลการทดลองและทดสอบของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2
5. ได้นำหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 ไปใช้ในการแข่งขัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **ชื่อหัวข้อ** | หุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 | |
| **นักศึกษา** | นายเจษฎา | พรมมาหล้า |
| | นายเจษฎา | พินสุวรรณ |
| | นางสาวทิพวรรณ | ฤกษ์ศรี |
| | นายสมจิณ | อบอุ่น |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผศ.ดร.ธีระพล | เทพหัสดิน ณ อยุธยา |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** | ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ | ราตรี |
| **หลักสูตร** | ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต | |
| **สาขาวิชา** | อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ | |
| **ปีการศึกษา** | 2547 | |


## บทคัดย่อ


ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 โดยได้ออกแบบหุ่นยนต์บังคับขึ้น โดยเริ่มจากการวิเคราะห์การทำงานของหุ่นยนต์บังคับเก็บกล่องอัตโนมัติที่มีอยู่เดิม เพื่อนำข้อดีข้อเสียมาใช้ในการพัฒนาหุ่นยนต์บังคับไร้สายโดยเปลี่ยนเป็นการใช้คลื่นวิทยุมาใช้ในการบังคับหุ่นยนต์แทน โดยหุ่นยนต์บังคับวิทยุที่ออกแบบนี้สามารถเก็บกล่องขนาด 20×20 เซนติเมตรหนัก 0.5 กิโลกรัมได้สามารถทำงานตามการบังคับของผู้บังคับหุ่นยนต์ โดยสามารถเดินหน้าถอยหลังได้

จากการทดลองผลสรุปว่า สามารถเก็บกล่องขนาด 20×20 ได้ในระดับหนึ่ง โดยมีความเร็วเฉลี่ยในการเก็บกล่องอยู่ที่ 1 เมตร ต่อ 5วินาที และมีประสิทธิภาพในการทำงานคิดเป็นร้อยละ 75 ของจำนวนกล่อง ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากการบังคับหุ่นยนต์และพื้นสนามในการแข่งขัน ที่ไม่แน่นอนไม่สามารถควบคุมได้ และมีการติดขัดอยู่บ้าง จึงมีความเหมาะสมที่จะได้รับการพัฒนาต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **Thesis Title** | Wireless robot II | |
| **Students** | Mr. Jessada | Pormmala |
| | Mr. Jessada | Pinsuwan |
| | Miss Tippawan | Rerksri |
| | Mr. Somjin | Op-un |
| **Advisor** | Assit.Prof.Dr.Threraphon Thephasadin Na Ayuthya | |
| **Co – Advisors** | Assit.Prof.Dr.Surasit | Ratree |
| **Education Level** | Bachelor of Science in Industrial Education | |
| **Program in** | Electronics and Computer | |
| **Academic Year** | 2004 | |


## ABSTRACT


This thesis presents a wireless robot II. This design an automatic wireless robot II is developed from use Automatic robot. The development starts from the advantage and disadvantage point of the Automatic robot instead to after wireless robot II. This procedure uses radio. Wave of a radio transmitter 400 $MH_Z$. This design distance transmitter receive 20 meter of length. The arm can leave and to catch boxes dimensions 20×20 centimeters weight 0.5 kilograms. To displace 1 meter per 5 second of time.

As the experiment, the result shows that this wireless per 5 second of time. For overall, this design of a wireless robot II about 75 percents of number tests boxes. It may cause the person to control should skill and professional. So-that, this design a wireless robot should be developed in the further.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดีนั้น เนื่องมาจากความร่วมมือร่วมใจของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา ,ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี และอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านเป็นอย่างมากที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนถึงข้อมูลและอุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทดลองโครงงาน และในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์และสำนักหอสมุดกลางที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณสำหรับพวกเราที่ได้ให้การสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างทางด้านการศึกษาและเป็นผู้ให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และสุดท้ายต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้เสมอมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VII |
| สารบัญรูป | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน | 1 |
| 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 3 |
| 2.1 กล่าวนำ | 3 |
| 2.2 หลักการทั่วไป | 3 |
| 2.3 ที่มาของหุ่นยนต์ | 5 |
| 2.4 สรีระของหุ่นยนต์ | 6 |
| 2.5 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม | 7 |
| 2.5.1ประเภทของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม | 7 |
| 2.5.2 นิยามของหุ่นยนต์ | 8 |
| 2.5.3 การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ | 9 |
| 2.6 ประเภทของหุ่นยนต์ | 13 |
| 2.7 การทำงานเบื้องต้นของหุ่นยนต์ | 14 |
| 2.7.1 หลักการพื้นฐาน | 14 |
| 2.7.2 การใช้ทรานซิสเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง | 15 |
| 2.7.3 โครงสร้างและการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง | 15 |
| 2.8 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง | 18 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 2.8.1 ชนิดของมอเตอร์ | 18 |
| 2.8.2 ระบบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง | 19 |
| 2.8.3 การทำงานของแอมปลิฟลายแบบการมอดูเลต แบบความกว้างของพัลส์ | 19 |
| 2.8.4 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง | 20 |
| 2.9 รายละเอียดเกี่ยวกับมอเตอร์ | 20 |
| 2.9.1 แรงดันไฟฟ้า | 20 |
| 2.9.2 การไหลของกระแสไฟฟ้า | 21 |
| 2.9.3 อัตราเร็ว | 22 |
| 2.10 กติกาการแข่งขันหุ่นยนต์ | 22 |
| บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน | 30 |
| 3.1 กล่าวนำ | 30 |
| 3.2 การออกแบบวงจร | 31 |
| 3.2.1 วงจรควบคุมรีเลย์การยกกล่อง | 31 |
| 3.2.2 วงจรควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ | 32 |
| 3.2.3 วงจรเข้ารหัส | 33 |
| 3.2.4 วงจรถอดรหัส | 34 |
| 3.2.5 วงจรชุดส่งคลื่นวิทยุ | 35 |
| 3.2.5 วงจรชุดรับคลื่นวิทยุ | 36 |
| 3.3 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 | 37 |
| 3.3.1 แขนจับกล่อง | 37 |
| 3.3.2 การออกแบบโครงที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ | 37 |
| 3.3.3 การออกแบบรีโมทควบคุม | 38 |
| 3.3.4 การติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ บนโครงสร้างของหุ่นยนต์ | 39 |
| บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง | 40 |
| 4.1 กล่าวนำ | 40 |
| 4.2 การทดลองการทำงานของวงจร | 41 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 4.2.1 ชุดควบคุมการขับเคลื่อนล้อ | 41 |
| 4.2.2 วงจรควบคุมรีเลย์การจับกล่อง | 42 |
| 4.2.3 วงจรรับ-ส่ง สัญญาณคลื่นวิทยุที่ใช้ในการควบคุม | 43 |
| 4..3 การทดสอบระบบกลไกของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 | 43 |
| 4.3.1 การทดสอบการทำงานของแขนจับกล่อง | 43 |
| 4.3.2 การทดสอบชุดมือจับกล่อง | 44 |
| 4.4 การทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย | 44 |
| 4.4.1 การทดลองชุดขับเคลื่อน | 45 |
| 4.4.2 การทดสอบชุดควบคุมการหนีบกล่อง | 46 |
| 4.4.3 สรุปผลการทดลอง | 46 |
| บทที่ 5 บทสรุป | 48 |
| 5.1 สรุป | 48 |
| 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข | 48 |
| 5.3 แนวทางการพัฒนา | 49 |
| บรรณานุกรม | 51 |
| ภาคผนวก ก หุ่นยนต์เครื่องต้นแบบ | 52 |
| ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์ | 57 |
| ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์ | 68 |
| ภาคผนวก ง แผนผังการทำงาน | 75 |
| ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน | 77 |
| ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ | 82 |
| ภาคผนวก ช การสร้างโครงสร้างของหุ่นยนต์ | 133 |
| ประวัติผู้แต่ง | 140 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 การทำงานของจุดต่อของหุ่นยนต์ | 9 |
| 2.2 ชนิดของหุ่นยนต์ | 9 |
| 4.1 การทดลองวงจรควบคุมรีเลย์ชุดขับเคลื่อนล้อ | 42 |
| 4.2 การทดลองวงจรควบคุมรีเลย์การจับกล่อง | 42 |
| 4.3 การทำงานของตัวรับสัญญาณ | 43 |
| 4.4 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าของหุ่นยนต์ | 45 |
| 4.5 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ถอยหลังของหุ่นยนต์ | 46 |
| 4.6 ผลการทดสอบการจับกล่อง | 47 |
| ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุมรีเลย์การจับกล่อง | 69 |
| ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ | 69 |
| ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรชุดส่ง | 70 |
| ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรชุดรับ | 71 |
| ค.5 รายการอุปกรณ์ของวงจรเข้ารหัส | 72 |
| ค.6 รายการอุปกรณ์ของวงจรถอดรหัส | 73 |
| ค.6 รายการอุปกรณ์ของวงจรถอดรหัส | 74 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 แสดงส่วนต่าง ๆ ของหุ่นยนต์เปรียบเทียบกับสรีระของมนุษย์ | 8 |
| 2.2 Cartesian (gantry) Robot | 10 |
| 2.3 Cylindrical | 11 |
| 2.4 Work envelope of Spherical Robot | 12 |
| 2.5 SCARA Robot | 13 |
| 2.6 Articulated Arm (Revolute) | 13 |
| 2.7 มอเตอร์และล้อที่ติดตั้งทำให้หุ่นยนต์สามารถที่จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถอยหลัง เลี้ยวขวา และเลี้ยวซ้าย | 15 |
| 2.8 การต่อทรานซิสเตอร์ 4 ตัวเพื่อควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ | 16 |
| 2.9 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง | 17 |
| 2.10 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง | 18 |
| 2.11 มอเตอร์ไฟตรงแบบต่างๆ | 19 |
| 2.12 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรง กับโหลดที่เข้ากับเพลาของมอเตอร์ | 22 |
| 3.1 ผังการทำงานของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 | 30 |
| 3.2 วงจรควบคุมรีเลย์การยกกล่อง | 31 |
| 3.3 วงจรควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ | 32 |
| 3.4 วงจรเข้ารหัส | 33 |
| 3.5 วงจรถอดรหัส | 34 |
| 3.6 วงจรชุดส่งคลื่นวิทยุ | 35 |
| 3.7 วงจรชุดรับคลื่นวิทยุ | 36 |
| 3.8 ชุดจับกล่อง | 37 |
| 3.9 โครงที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ | 38 |
| 3.10 รีโมทควบคุม | 38 |
| 3.11 อุปกรณ์ที่ได้นำมาติดตั้งบนโครง | 39 |
| 3.12 หุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 | 40 |
| ก.1 วงจรควบคุมรีเลย์ชุดแขนจับกล่อง | 53 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| ก.2 วงจรควบคุมรีเลย์ชุดควบคุมการขับเคลื่อนล้อ | 53 |
| ก.3 วงจรชุดรับ – ส่ง สัญญาณวิทยุ | 54 |
| ก.4 วงจรชุดเข้ารหัสและวงจรชุดถอดรหัส | 54 |
| ก.5 การติดตั้งล้อ | 55 |
| ก.6 ชุดแขนและมือจับกล่อง | 55 |
| ก.7 มือจับกล่อง | 56 |
| ก.8 ภาพด้านหน้าหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 | 56 |
| ข.1 วงจรควบคุมรีเลย์การยกกล่อง | 58 |
| ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์ควบคุมรีเลย์การยกกล่อง | 59 |
| ข. 3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ควบคุมรีเลย์การยกกล่อง | 59 |
| ข.4 วงจรควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ | 60 |
| ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์ควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ | 61 |
| ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ | 61 |
| ข.5 วงจรส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ | 62 |
| ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์ชุดส่งสัญญาณวิทยุ | 62 |
| ข.7 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ชุดส่งสัญญาณวิทยุ | 63 |
| ข.8 วงจรชุดรับสัญญาณคลื่นวิทยุ | 63 |
| ข.9 แผ่นวงจรพิมพ์ชุดรับสัญญาณวิทยุ | 64 |
| ข.10 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ชุดรับสัญญาณวิทยุ | 64 |
| ข.11 วงจรเข้ารหัส | 65 |
| ข.12 แผ่นวงจรพิมพ์เข้ารหัส | 65 |
| ข.13 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์เข้ารหัส | 66 |
| ข.14 วงจรถอดรหัส | 66 |
| ข.15 แผ่นวงจรพิมพ์ถอดรหัส | 67 |
| ข.16 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ถอดรหัส | 67 |
| ง.1 ผังการทำงานของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 | 76 |
| จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม | 79 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันหุ่นยนต์มีความสำคัญต่อมนุษย์เป็นอย่างมากมนุษย์นั้นได้สร้างเครื่องอำนวยความสะดวกขึ้นมา เพื่อให้ใช้ในชีวิตประจำวัน มนุษย์กับเครื่องจักรจึงเป็นสิ่งที่อยู่ควบคู่กับมาโดยตลอด เพราะว่ามนุษย์ในด้านกายภาพแล้ว มนุษย์จะไม่สามารถทำกิจกรรมที่ซ้ำๆ กันได้เหมือนทุกครั้ง มนุษย์จึงคิดค้นเครื่องจักรหรือกลไกที่ช่วยผ่อนแรงขึ้นมาใช้

แต่เดิมนั้นเครื่องจักรถูกควบคุมโดยมนุษย์ แต่หลังจากมนุษย์ได้สร้างคอมพิวเตอร์ (Computer) ขึ้นมามนุษย์ก็ได้คิดสร้างเครื่องจักรที่สามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติไม่ต้องอาศัยมนุษย์ควบคุมทุกขั้นตอน ซึ่งเครื่องจักรบางประเภทได้ถูกออกแบบให้เลียนแบบการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เครื่องจักรแบบนี้จะเรียกว่า หุ่นยนต์ (Robot) หุ่นยนต์ถูกออกแบบให้เคลื่อนที่โดยการเลียนแบบการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เพื่อให้สามารถทำงานแทนมนุษย์โดยผ่านการควบคุมจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และการเลียนแบบการเคลื่อนไหวและการทำงานจะทำให้ดูคล้ายมนุษย์มากที่สุด

จากปัญหาเดิมของหุ่นยนต์เก็บกล่องอัตโนมัติขนาดใหญ่ ทำให้ได้ทราบส่วนที่บกพร่องซึ่งปัญหาเหล่านี้พึงจะได้รับการแก้ไข โดยหุ่นยนต์บังคับวิทยุไร้สาย โดยใช้หลักการใช้การควบคุมโดยคลื่นวิทยุแทนที่จะให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้เอง แต่เปลี่ยนมาเป็นใช้มนุษย์ในการควบคุมให้ทำการเก็บกล่องที่อยู่ในลักษณะที่ต้องการได้ตามความเหมาะสม โดยหุ่นยนต์บังคับวิทยุไร้สายนี้จะมีข้อแตกต่างจากหุ่นยนต์เก็บกล่องอัตโนมัติขนาดใหญ่ตรงที่ไม่ต้องมีการป้อนโปรแกรมใช้การควบคุมด้วยสัญญาณวิทยุ และไม่ต้องทำการเซนเซอร์เส้นหรือกล่อง แต่สามารถทำงานโดยการบังคับของผู้บังคับให้ปฏิบัติงานตามคำสั่งทางคลื่นวิทยุเพื่อให้หุ่นยนต์บังคับวิทยุทำงานตามคำสั่งที่ต้องการ

## 1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

โครงงานมีขีดความสามารถดังนี้

1. สามารถเก็บกล่องขนาด 20 × 20 เซนติเมตรได้
2. สามารถยกกล่องสี่เหลี่ยมหนัก 0.5 กิโลกรัมได้
3. สามารถทำงานได้โดยคลื่นบังคับวิทยุจากการบังคับโดยผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สามารถวางกล่องไว้ในกรอบที่กำหนดโดยมีรั้วกั้นสูง 10 เซนติเมตรได้

5. สามารถนำกล่องลูกเต๋าไปวางในฝ่ายตรงกันข้ามได้

## 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษา และทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ ขีดความสามารถของโครงงาน และเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วย ทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับเนื้อหาที่นำมาอ้างอิง และใช้เป็นแนวทางการออกแบบวงจรและโปรแกรม

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวกับ แผนผังการทำงานของโครงสร้าง ผังวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงงานตลอดจนการออกแบบ และการสร้างส่วนประกอบต่างๆ เช่น วงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ โครงสร้างของชิ้นงาน พร้อมทั้งการทำงานของส่วนต่างๆ โดยละเอียด

บทที่ 4 ประกอบด้วย การทดลอง ผลการทดลองของวงจรขับรีเลย์ การขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ และผลการทดลองคลื่นความถี่วิทยุ

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจัดทำโครงงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการแก้ไข รวมทั้งแนวทางการพัฒนา

ภาคผนวก ก แสดงภาพหุ่นยนต์ต้นแบบ การติดตั้ง การเชื่อมต่ออุปกรณ์อื่นๆ ขณะใช้งานจริง

ภาคผนวก ข ประกอบด้วยผังรายละเอียดวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้งานในแต่ละวงจร

ภาคผนวก ง แสดงแผนผังการทำงาน

ภาคผนวก จ เป็นคู่มือการใช้หุ่นยนต์บังคับไร้สาย

ภาคผนวก ฉ แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในโครงงาน

ภาคผนวก ช แสดงรายละเอียดในการสร้างโครงสร้างของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและหลักการ

## 2.1 กล่าวนำ

จากที่ได้มีการกล่าวในบทนำนั้น เราสรุปได้ว่าหุ่นยนต์ คือ "เครื่องจักรกลที่สามารถโปรแกรมได้และควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อเคลื่อนที่สิ่งของหรือเครื่องมือเพื่อทำงาน หุ่นยนต์สามารถตัดสินใจและมีการตอบสนองกับสภาพแวดล้อมได้อย่างชาญฉลาด สามารถรับส่งข้อมูลให้กับสิ่งรอบข้าง และอาจเคลื่อนที่ไปยังสถานที่ต่าง ๆ ได้หรือไม่ก็ได้

โครงงานนี้จะนำความรู้ที่ศึกษามาเกือบทั้งหมด มาประยุกต์ใช้งาน โดยรูปธรรมโดยนำเทคนิคและทฤษฎีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในการสร้าง ลักษณะของหุ่นยนต์มอเตอร์ไฟฟ้าก็เป็นส่วนประกอบหนึ่งที่มีน้ำหนักมากที่สุดในตัวหุ่นยนต์จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงตำแหน่งการวางล้อบนตัวหุ่นยนต์ด้วย และจะต้องกระจายน้ำหนักให้เกิดความเหมาะสมมากที่สุด ส่วนใหญ่จะออกแบบหุ่นยนต์จะใช้มอเตอร์จำนวนสองตัวขับเคลื่อนล้อทั้งสองไปข้างหน้าหรือถอยหลัง สำหรับการเลี้ยวสามารถทำได้โดยการหยุดล้อใดล้อหนึ่ง ซึ่งจะทำให้หุ่นยนต์สามารถหมุนไปทิศทางที่ต้องการได้ หรือทำให้ล้อข้างใดข้างหนึ่งหมุนกลับในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งจะทำให้หุ่นยนต์สามารถเลี้ยวได้อย่างรวดเร็วในวงแคบๆ ได้อีกด้วย

## 2.2 หลักการทั่วไป

แต่เดิมนั้นเครื่องจักรถูกควบคุมโดยมนุษย์ แต่หลังจากมนุษย์ได้สร้างคอมพิวเตอร์ (Computer) ขึ้นมามนุษย์ก็ได้คิดสร้างเครื่องจักรที่สามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติไม่ต้องอาศัยมนุษย์ควบคุมทุกขั้นตอน ซึ่งเครื่องจักรบางประเภทได้ถูกออกแบบให้เลียนแบบการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เครื่องจักรแบบนี้จะเรียกว่า หุ่นยนต์ (ROBOT)

หุ่นยนต์ถูกออกแบบให้เคลื่อนที่โดยการเลียนแบบการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เพื่อให้สามารถทำงานแทนมนุษย์โดยผ่านการควบคุมจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์อีก การเลียนแบบการเคลื่อนไหวและการทำงานจะทำให้ดูคล้ายมนุษย์มากที่สุด ดูได้จากเครื่องล้างจานเป็นตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าไม่สามารถเรียกว่า หุ่นยนต์ได้ เพราะงานที่ทำแค่ล้างจานเท่านั้น แต่ไม่ได้วางจานลงในอ่างเอง ไม่ใช้ผ้าเช็ดจาน หรือไม่ได้วางจานลงในที่พักจานเสร็จ จิตนาการของมนุษย์ต่อหุ่นยนต์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบูรณ์ที่สุดคือ “มนุษย์จักรกล” และในปัจจุบันจะพบบ่อยมากขึ้นที่หุ่นยนต์จะดูคล้ายส่วนหนึ่งของมนุษย์จักรกล แขนกลหุ่นยนต์ส่วนใหญ่ก็เป็นอีกสิ่งที่สร้างเลียนแบบแขนมนุษย์นั้นเอง

หุ่นยนต์ประเภทแขนกล (Robot arm) นั้นส่วนใหญ่ใช้ในงานเชื่อม, งานหีบห่อ, งานพ่นสี, งานจับของวางตามตำแหน่ง และงานประกอบผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ผลิตอยู่ในทุกวันนี้ เช่น การวางตำแหน่งของตัวไอซีลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่แม่นยำ หรือการประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ ซึ่งในปัจจุบันบางส่วนของงานหรือทั้งหมดของกระบวนการทำโดยหุ่นยนต์ทั้งสิ้น องค์ประกอบของระบบหุ่นยนต์ที่ดูซับซ้อนสามารถแบ่งอย่างชัดเจนได้เป็น 3 กลุ่ม โดยอ้างอิงกับอวัยวะของมนุษย์ได้ดังนี้

1) ฮาร์ดแวร์ (Hard ware) คือร่างการภายนอก อาทิ แขนกลและกริปเปอร์ (Gripper) คือแขน และมือ

2) ระบบการมองภาพ (Vision system) คือ ตาทั้งสองข้าง

3) คอมพิวเตอร์ คือ สมอง

4) การโปรแกรมของซอร์ฟแวร์ (Soft Ware) คือ การศึกษาหรือประสบการณ์ที่เรียนรู้

ชิ้นส่วนทางกลของหุ่นยนต์ที่ทำงานทางกายภาพถูกออกแบบให้ทำงานได้โดยกลุ่มของงานเฉพาะอย่างและภายในขอบเขตจำกัดที่ขึ้นอยู่กับขนาดของหุ่นยนต์เอง ปริมาณของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่มีอยู่ส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Automatically Guided Vehicles (AGVs) โดยการใช้งานหลักของหุ่นยนต์ประเภทนี้ คือการขนส่งส่วนของวัตถุดิบ โดยมีลักษณะเป็นระบบสายพานลำเลียง (Conveyer) ที่ฉลาดเคลื่อนที่ได้ และสามารถโปรแกรมได้ด้วย

แขนกลหุ่นยนต์คือ ข้อต่อซึ่งต่อเป็นอนุกรมเพื่อทำงานเหมือนสิ่งที่เคลื่อนที่ได้ (Manipulator) อย่างอิสระหรือเปรียบเสมือนแขนมนุษย์ โดยมีมอเตอร์เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของแต่ล่ะข้อต่อ การทำงานของแต่ละข้อต่อไม่จำเป็นต้องเป็นอิสระต่อกันแต่ต้องเป็นส่วนเสริมการทำงานต่างๆ ที่เป็นอิสระต่อกัน ถ้าการทำงานไม่เป็นอิสระต่อกันคอมพิวเตอร์จะโปรแกรมการทำงานที่ต้องการให้ดูเหมือนเป็นอิสระต่อกันได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะทำให้งานของคอมพิวเตอร์หนักมากขึ้นเพราะอาจต้องมีการคำนวณก่อนการเคลื่อนที่ทุกครั้ง ซึ่งเวลาในการคำนวณนี้ไม่มากพอสำหรับการคำนวณในส่วนอื่น ถึงอย่างไรเครื่องจักรกลก็ไม่มีทางเคลื่อนที่ได้อย่างสมบูรณ์ สลับซับซ้อนหรือยืดหยุ่นเท่าแขนของมนุษย์ได้

แขนกลหุ่นยนต์สมัยใหม่ คืออุปกรณ์ที่ตั้งอยู่กับพื้นหรือยึดกับเครื่องจักรที่ใช้งานร่วมกัน ถูกควบคุมการทำงานโดยคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งโดยปกติจะวางไว้ใกล้กับตัวหุ่นยนต์ และภายในส่วนคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์ทางลอจิก (Logic component) และส่วนขยาย (Amplifier) ทั้งหมดที่จำเป็นในการทำงานของหุ่นยนต์ หุ่นยนต์ตั้งพื้นสามารถหยิบชิ้นงานที่หนักเกิน 100 กิโลกรัม (Kilogram) หรือ 200 ปอนด์ (Pound) ได้ และวางลงภายใน 1 มิลลิเมตร หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.04 นิ้ว (Inch) ของตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างง่ายดายสามารถเคลื่อนสิ่งของได้ด้วยความเร็วโดยประมาณ 1 เมตร หรือ 3 ฟุตต่อวินาที และวางของลงได้อย่างนุ่มนวลเท่าที่ต้องการ กริปเปอร์หรือมือหุ่นยนต์ในหลายประเภทสามารถเคลื่อนที่และควบคุมท่าทางของสิ่งต่างๆ ได้

## 2.3 ที่มาของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์หรือโรบอต (Robot) เกิดจากการที่คนหลายๆ คนให้ความเห็นที่ตรงกันว่าจะเรียกสิ่งนั้นว่าเป็น "หุ่นยนต์" หรือมักจะใช้คำว่า "โรโบติก (Robotic)" เพื่ออธิบายถึงเครื่องจักรที่ออกแบบมาเพื่อทำงานโดยอัตโนมัติด้วยตัวมันเอง ถ้าหากมีรถยนต์ที่สามารถวิ่งได้เองโดยอัตโนมัติเราก็สามารถเรียกว่า "โรโบติกจิป (Robotic Jeep)" หรือหุ่นยนต์อุตสาหกรรมถูกเรียกว่าแขนกล หรือ Robotic arm ซึ่งคุณสมบัติอย่างกว้างๆ ของหุ่นยนต์ก็มีพอสังเขปดังนี้

- ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์
- มีส่วนประกอบที่เคลื่อนที่ได้
- มีเซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) เป็นส่วนร่วมในการทำงาน
- มียูสเซอร์อินเตอร์เฟส (User interface) เป็นส่วนติดต่อระหว่างมนุษย์กับตัวหุ่นยนต์
- ตัวอินเตอร์เฟส (Interface) อาจเป็นแค่ปุ่มเริ่มการทำงานหรือกุญแจเปิดปิด (Key switch)
- สามารถโปรแกรมใช้งานต่างๆ ได้
- มีการตอบสนองกับสภาพรอบข้างของหุ่นยนต์โดยสัญญาณอินพุทกับเอาท์พุท
- จับยึดหรือตรวจสอบสิ่งภายนอกบางอย่างให้กับตัวหุ่นยนต์เองด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง

และหากพิจารณาจากคอมพิวเตอร์เล่นหมากรุก จะเห็นว่ามีการฉลาดในการเล่นเกมหมากรุกได้เป็นอย่างดี แต่เราไม่เรียกคอมพิวเตอร์นี้ว่าหุ่นยนต์อย่างไรก็ตาม หากติดแขนหุ่นยนต์เข้าไปและให้คอมพิวเตอร์สั่งงานให้แขนกลขยับตับหมากรุก เกิดการทำงานอย่างต่อเนื่องถึงจะเป็นที่ยอมรับได้ว่าสิ่งนี้ คือหุ่นยนต์เล่นหมากรุกได้ นี่คือการแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ได้ คือส่วนสำคัญในความเห็นโดยทั่วไปของการยอมรับความเป็นหุ่นยนต์ แต่บางครั้งเรายังเรียกระบบของการมองภาพได้ (Vision system) ว่าเป็น "ระบบหุ่นยนต์" (Robotic system) แม้ว่าจะไม่มีการเคลื่อนที่มาเกี่ยวข้องก็ตาม

Robot มาจากคำว่า Crack ซึ่งหมายถึงทาสหรือคนรับใช้ และเข้ามาในศัพท์ภาษาอังกฤษในปี ค.ศ.1921 โดยนักเขียนบทละครชื่อ KAREL KAPEX ในบทละครแนวล้อเลียน โดยละครเรื่องนี้หุ่นยนต์ก็คือ จักรกลที่คล้ายคลึงกับมนุษย์และนำมาทำงานที่น่าเบื่อแทนมนุษย์ แต่ในตอนหลังพวกหุ่นยนต์รวมตัวกันต่อต้านและทำลายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงปลายปี 1940 ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 งานวิจัยหุ่นยนต์อุตสาหกรรมได้เกิดขึ้น ซึ่งเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องจักรกลควบคุมระยะไกลสำหรับการขนถ่ายวัสดุกัมมันตภาพรังสี

ในกลางปี 1950 George C.Devol ได้พัฒนาอุปกรณ์ที่เขาเรียกว่า "Programmed articulated transfer device" ซึ่งเป็นมานิพิวเลเตอร์ (Manipulator) ที่การทำงานของมันสามารถโปรแกรมได้ ซึ่งแนวความคิดนี้ ต่อมาได้นำเข้ามาสู่อุตสาหกรรม โดยบริษัท Unimation Inc ในปี 1959 หัวใจสำคัญของอุปกรณ์ชนิดนี้คือ การใช้ประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ร่วมกับมานิพิวเลเตอร์ เพื่อผลิตเรื่องจักรกลที่สามารถสั่งให้ทำงานหลากหลายได้อย่างอัตโนมัติ โดยการโปรแกรมเข้าไป

ในปี 1968 McCarty และผู้ร่วมงานของเขาที่ The Stanford Artificial Intekkigence Laboratory ได้รายงานการพัฒนาคอมพิวเตอร์กับมือ, ตา, หู (Manipulators, TV cameras, Microphones) โดยระบบนี้จะจดจำข่าวสารในรูปแบบของเสียง และมองวัตถุที่ถูกวางกระจัดกระจายอยู่บนโต๊ะเพื่อโยกย้ายสิ่งของเหล่านั้นตามคำสั่ง

ในปี 1995 บริษัท IBM ได้พัฒนามานิพิวเลเตอร์ ซึ่งควบคุมโดยคอมพิวเตอร์กับเซนเซอร์แรง และสัมผัส

ในวันนี้เราจะพบว่าหุ่นยนต์เป็นสาขาที่มีขอบเขตกว้างมาก ซึ่งประกอบไปด้วย Kinematics, Dynamics, Planning system, Programming languages, Machine intekkigence

มนุษย์สนใจอย่างยิ่งที่จะทำงานให้น้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้แต่ให้งานทำหมดสำเร็จ ในการออกแบบหุ่นยนต์ขึ้นเพื่อเพิ่มลักษณะบวกและจำกัดลักษณะลบของมนุษย์ โดยส่วนใหญ่ความพยายามทั้งหมดอยู่ในทิศทางนี้ ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างเครื่องจักรอัตโนมัติปัจจุบันและอดีตคือ เครื่องจักรปัจจุบันสามารถโปรแกรมได้ ณ วันนี้สิ่งที่หุ่นยนต์ทำจะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในตัวหุ่นยนต์ ในวันหน้าหุ่นยนต์จะเพิ่มความชาญฉลาดและในที่สุดจะมีความฉลาดที่ยิ่งใหญ่ หุ่นยนต์จะสามารถทำงานของตนให้ได้ประโยชน์สูงสุด และตอบสนองสิ่งที่ไม่คาดคิดและสิ่งรบกวนต่างๆ ที่คาดไม่ถึงได้อย่างหลักแหลม ซึ่งสิ่งรบกวนทั้งหลายที่คาดไม่ถึงทั้งหมดจะถูกควบคุมด้วยการปิดเครื่อง, ส่งเสียงเตือน, เรียกหาผู้ปฏิบัติงาน, หรือคัดชิ้นส่วนออก สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากจากวัฏจักรหนึ่งไปวัฏจักรหนึ่ง และชิ้นส่วนหนึ่งไปยังชิ้นส่วนหนึ่งนั้นยากเกินจะควบคุมได้แต่หุ่นยนต์มีความละเอียดอ่อน และแข็งแรงพอที่จะกำหนด, ตรวจจับ และตอบสนองได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 สรีระของหุ่นยนต์

องค์ประกอบพื้นฐานที่ครอบคลุมการเคลื่อนที่และความสามารถของมนุษย์คือ การออกแบบของรูปร่างและความซับซ้อนของซอร์ฟแวร์ หุ่นยนต์ถูกออกแบบมาให้มีรูปแบบและขนาดต่าง ๆ มากมาย และซอฟต์แวร์เป็นส่วนทำให้เกิดผลสูงสุดกับความต้องการในแต่ละลักษณะเฉพาะของหุ่นยนต์ ในสภาพแวดล้อมสามมิติของเราในทุกวันนี้ มีวิธีอันหลากหลายที่จะออกแบบหุ่นยนต์ให้ขยับไปถึงทุกจุดในขอบเขตการทำงานของตน โดยกฎที่ว่าต้องมีมอเตอร์ (Motor) หนึ่งตัวต่อหนึ่งองศาอิสระ (Degree of freedom) ที่ต้องการจะเจาะจงลงไป ดังนั้นอย่างน้อยที่สุดต้องมีมอเตอร์สามตัวเพื่อทำงานตำแหน่งสามมิติ (ระนาบแกน X, Y และ Z) และอีกสามตัวเพื่อหมุนมือในการหมุนมือสามแบบที่เป็นไปได้ (roll, pitch และ yaw) ทั้งหมดนี้คือหุ่นยนต์ที่มีพื้นฐานในแกนสากลทั้งหก (The basic universal six-a six robot) การออกแบบทางกลของรูปร่างแขนมนุษย์ที่ควรจะสังเกตไว้ได้แก่

1) ระยะจากไหล่ไปยังข้อศอกมากกว่าระยะข้อศอกไปข้อมือ ซึ่งมากกว่าระยะจากข้อมือไปข้อนิ้ว ที่มากกว่าระยะข้อต่อแรกของนิ้วไปยังข้อต่อที่สองของนิ้ว โดยระยะจากข้อต่อที่สองของนิ้วไปยังปลายนิ้วเป็นระยะที่สั้นที่สุด

2) ความละเอียดของระบบจะมากขึ้น ขณะที่เราเข้าใกล้กริปเปอร์และเนื้องานมากขึ้น สำหรับแขนมนุษย์นั้นจำนวนประสาทในแขนจะเพิ่มมากขึ้นจากไหล่ไปนิ้วในส่วนหลังจากข้อมือไปความยืดหยุ่นเกิดขึ้นเมื่อกางฝ่ามือออก, การกำหมัด, การเคลื่อนที่ของนิ้วต่างๆออกจากนิ้วและการประทับรอยนิ้วมือ การมีนิ้วที่ยาวไม่เท่ากัน คือการขัดเกลาให้เกิดความละเอียดที่มากยิ่งขึ้น

3) ข้อมูลดังกล่าวให้ขอบข่ายการทำงานของแขนมนุษย์เปรียบเทียบกับลักษณะของแขนมนุษย์เปรียบเทียบกับลักษณะทางกลของหุ่นยนต์ ซึ่งแขนมนุษย์ได้ทำในเกือบทุกสิ่งที่มนุษย์ต้องการมาเป็นเวลาล้านๆ ปี

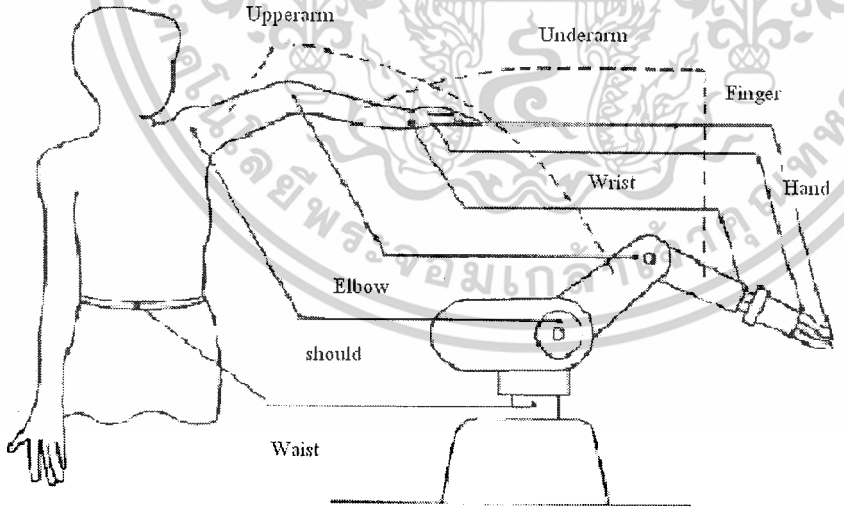
## 2.5 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม

### 2.5.1 ประเภทของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

ในยุคเริ่มต้นของการส่งเสริมอุตสาหกรรมในประเทศไทยจะเห็นได้ว่ามีโรงงานต่าง ๆ เข้ามาตั้งฐานผลิตในเมืองไทยจำนวนมากทำให้เกิดนิคมอุตสาหกรรมขึ้นหลายแห่ง ทั้งนี้เนื่องจากรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมอุตสาหกรรมที่ชัดเจน ค่าแรงงานถูก ลดรายจ่ายเนื่องจากภาษีการนำเข้าของสินค้า และวัตถุดิบบางตัว แต่ ณ ปัจจุบันนี้ค่าแรงบ้านเราสูงขึ้นและสูงกว่าประเทศเพื่อนบ้าน เช่น จีน เวียดนาม อินโดนีเซีย ฯลฯ ในขณะเดียวกันคุณภาพแรงงานไม่ได้มาตรฐาน ขาดความรู้และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทักษะจึงทำให้หลายบริษัทได้ย้ายฐานการผลิตไปยังประเทศที่มีค่าแรงงานถูกกว่า และอีกหลายบริษัทที่พยายามปรับตัวเอง โดยมีการนำเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ (Automation Technology) เข้ามาใช้งานเพื่อให้สินค้าสามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ทั้งในเรื่องราคา และคุณภาพ โดยเฉพาะในเรื่องคุณภาพ ปัจจุบันโรงงานที่ผลิตสินค้าส่งออกหรือส่งให้กับลูกค้าที่เป็นบริษัทของต่างประเทศมักจะประสบปัญหาในเรื่องคุณภาพ มีทั้ง ผลิตสินค้าไม่ได้มาตรฐานตามที่ลูกค้ากำหนด หรือ ผลิตสินค้าไม่ทันตามกำหนดเวลา อาจเนื่องจากมีการเปลี่ยนรุ่นผลิตภัณฑ์อยู่บ่อยๆ ต้องใช้เวลาในการ Set up ปัจจุบันจึงมีการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาใช้ หนึ่งในเทคโนโลยีที่มีความยืดหยุ่นสูง ได้แก่ หุ่นยนต์อุตสาหกรรม เนื่องจากการเปลี่ยนการทำงานสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนโปรแกรม นอกจากนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสม่ำเสมอเป็นมาตรฐานเดียวกัน หุ่นยนต์ (Robotics) มีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน เช่น หุ่นยนต์ที่เป็นของเล่น หุ่นยนต์ใช้ในงานการแพทย์ หุ่นยนต์เพื่องานวิจัย หุ่นยนต์สำรวจ และหุ่นยนต์อุตสาหกรรมฯลฯ ในที่นี้จะกล่าวถึงหุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial Robot) การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะเลียนแบบร่างกายของมนุษย์โดยจะเลียนแบบเฉพาะส่วนของร่างกายที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ในอุตสาหกรรมเท่านั้น นั่นคือช่วงแขนของมนุษย์ ดังนั้น บางคนอาจจะได้ยินคำว่าแขนกล ซึ่งก็หมายถึงหุ่นยนต์อุตสาหกรรม การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับแขนมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 2.1




**รูปที่ 2.1** แสดงส่วนต่าง ๆ ของ หุ่นยนต์เปรียบเทียบกับสรีระของมนุษย์

ปัจจุบันและในอนาคตหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมมากขึ้น โดยจะทำงานแทนมนุษย์ในงานต่าง ๆ เหล่านี้งานที่อันตราย เช่น งานยกเหล็กเข้าเตาหลอม งานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวข้องกับสารเคมีงานซ้ำซากน่าเบื่อ เช่น งานยกสินค้าจากสายงานการผลิต งานประกอบ งานบรรจุผลิตภัณฑ์งานที่ต้องการคุณภาพมาตรฐานเดียวกัน เช่น งานเชื่อม งานตัด งานที่ต้องใช้ทักษะความชำนาญสูง เช่น งานเชื่อมแนว เชื่อมเลเซอร์งานที่ต้องใช้ความละเอียดประณีต เช่น งานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ งานตรวจสอบ (Inspection) ฯลฯ

### 2.5.2 นิยามของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์ หรือ ภาษาอังกฤษเขียนว่า Robot มาจากบทละครของ นายคาเรล คาเปก (Karel Kapek) นักแต่งนิยายชาว เช็ก เรื่อง R.U.R (Rossum's Universal Robots) ซึ่งหมายถึงคนงาน คำจำกัดความของ หุ่นยนต์ตามมาตรฐาน ISO 8373 An automatically controlled, reprogrammable, multipurpose, manipulator programmable in three or more axes which may be either fixed in place or mobile for use in industrial automation application หุ่นยนต์ คือ เครื่องจักรที่ถูกควบคุมอัตโนมัติ สามารถเขียนโปรแกรมใหม่ได้ ใช้งานเอนกประสงค์ โปรแกรมการเคลื่อนที่จะต้องสามารถโปรแกรมให้เคลื่อนที่ได้อย่างน้อย 3 แกนหรือมากกว่า หุ่นยนต์อาจจะยึดอยู่กับที่หรือย้ายตำแหน่ง (Mobile) เพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม

### 2.5.3 การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์

โดยทั่วไปการแบ่งชนิดของหุ่นยนต์จะแบ่งตามลักษณะรูปทรงของพื้นที่ทำงาน (Envelope Geometric) แต่ก่อนจะอธิบายชนิดของหุ่นยนต์ขออธิบายการทำงานของจุดต่อ (Joint) ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมซึ่งในขั้นพื้นฐานมี 2 ชนิดด้วยกัน ดังนี้

**ตารางที่ 2.1** การทำงานของจุดต่อของหุ่นยนต์

| ชนิด | สัญลักษณ์ | หมายเหตุ |
|---|---|---|
| Revolute (R) | | เป็นการหมุนรอบแกน (Rotary) |
| Prismatic (P) | | การเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear motion) |

จุดต่อ (Joint) ทั้งสองแบบเมื่อนำมาต่อเข้าด้วยกันอย่างน้อย 3 แกนหลักจะได้พื้นที่ทำงาน (Work envelope) ที่มีลักษณะแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถนำมาแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ได้ดังต่อไปนี้

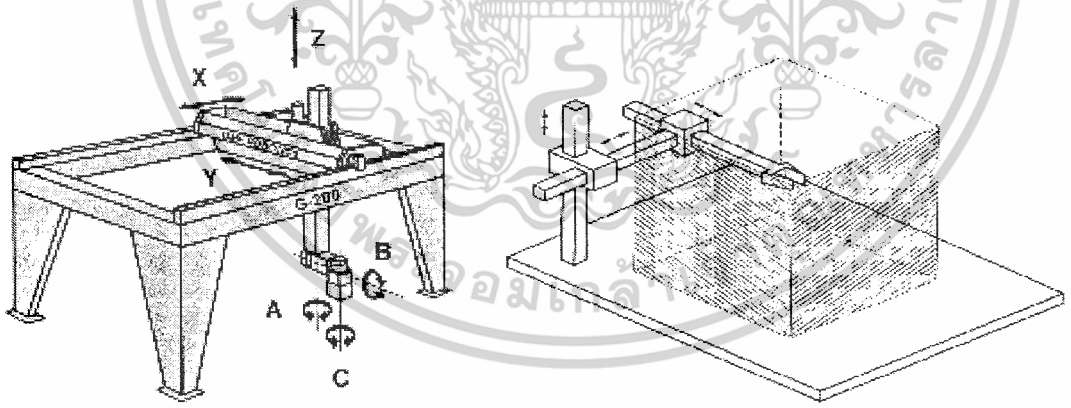
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.2** ชนิดของหุ่นยนต์

| ชนิดของหุ่นยนต์ | แกนที่ 1 (เอว) | แกนที่ 1 (เอว) | แกนที่ 3 (ข้อศอก) |
|---|---|---|---|
| Cartesian (gantry) | P | P | P |
| Cylindrical | R | P | P |
| Spherical (Polar) | R | R | P |
| SCARA | R | P | R |
| Articulated | R | R | R |
| R = Revolute, P = Prismatic | | | |

**1) Cartesian (gantry) Robot**

แกนทั้ง 3 ของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น (Prismatic) ถ้าโครงสร้างมีลักษณะคล้าย Overhead Crane จะเรียกว่าเป็นหุ่นยนต์ชนิด gantry แต่ถ้าหุ่นยนต์ไม่มีขาตั้งหรือขาเป็นแบบอื่น เรียกว่า ชนิด Cartesian




(ก) Gantry Robot (ข) Work envelope of Gantry Robot

**รูปที่ 2.2** Cartesian (gantry) Robot

**ข้อดี** เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงทั้ง 3 มิติ การเคลื่อนที่สามารถทำความเข้าใจง่าย มีส่วนประกอบง่าย โครงสร้างแข็งแรงตลอดการเคลื่อนที่

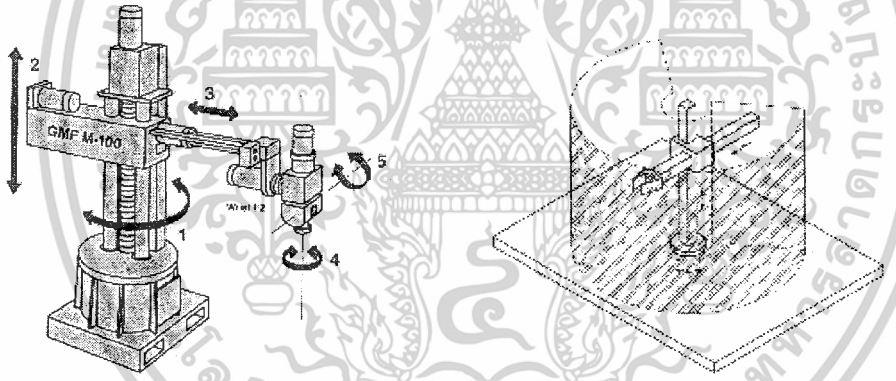
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ข้อเสีย**ต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก บริเวณที่หุ่นยนต์เข้าไปทำงานได้ จะเล็กกว่าขนาดของตัวหุ่นยนต์ ไม่สามารถเข้าถึงวัตถุจากทิศทางข้างใต้ได้ แกนแบบเชิงเส้นจะ Seal เพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลวได้ยาก

**การประยุกต์ใช้งาน** เนื่องจากโครงสร้างมีความแข็งแรงตลอดแนวการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงเหมาะกับงานเคลื่อนย้ายของหนัก ๆ หรือเรียกว่างาน Pick-and-Place เช่นใช้โหลดชิ้นงานเข้าเครื่องจักร (Machine loading), ใช้จัดเก็บชิ้นงาน (Stacking) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานประกอบ (Assembly) ที่ไม่ต้องการเข้าถึงในลักษณะที่มีมุมหมุน เช่น ประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และงาน Test ต่าง ๆ

**2) Cylindrical**

หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีแกนที่ 2 (ไหล่) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) เป็นแบบ prismatic ส่วนแกนที่ 1 (เอว) จะเป็นแบบหมุน (revolute) ทำให้การเคลื่อนที่ได้พื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 2.3




(ก) Cylindrical Robot (ข) Work envelope of Cylindrical Robot

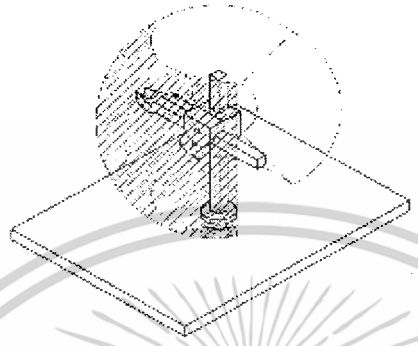
**รูปที่ 2.3** Cylindrical

**ข้อดี** มีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน การเคลื่อนที่สามารถเข้าใจได้ง่าย สามารถเข้าถึงเครื่องจักรที่มีการเปิด-ปิด หรือเข้าไปในบริเวณที่เป็นช่องหรือโพรงได้ง่าย (Loading) เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าเครื่อง CNC**ข้อเสีย** มีพื้นที่ทำงานจำกัด แกนที่เป็นเชิงเส้นมีความยุ่งยากในการ seal เพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลว **การประยุกต์ใช้งาน** โดยทั่วไปจะใช้ในการหยิบยกชิ้นงาน (Pick-and-Place) หรือป้อนชิ้นงานเข้าเครื่องจักร เพราะสามารถเคลื่อนที่เข้าออกบริเวณที่เป็นช่องโพรงเล็ก ๆ ได้สะดวก

**3) Spherical Robot (Polar)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีสองแกนที่เคลื่อนในลักษณะการหมุน (Revolute Joint) คือแกนที่ 1(เอว) และแกนที่ 2 (ไหล่) ส่วนแกนที่ 3 (ข้อศอก) จะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ซึ่งทำให้ได้พื้นที่การทำงาน ดังรูปที่ 2.4



**รูปที่ 2.4** Work envelope of Spherical Robot

**ข้อดี** มีปริมาตรการทำงานมากขึ้นเนื่องจากการหมุนของแกนที่ 2 (ไหล่) สามารถที่จะก้มลงมาจับชิ้นงานบนพื้นได้สะดวก

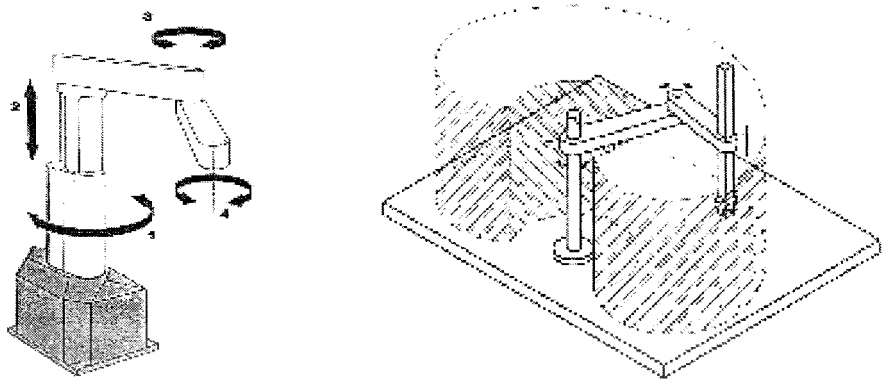
**ข้อเสีย** มีระบบพิกัด(Coordinate)และส่วนประกอบที่ซับซ้อนการเคลื่อนที่และระบบควบคุมมีความซับซ้อนขึ้น

**การประยุกต์ใช้งาน** ใช้ในงานที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical) เพียงเล็กน้อย เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าออกจากเครื่องปั้ม (Press) หรืออาจจะใช้งานเชื่อมจุด (Spot Welding)

**4) SCARA Robot**

หุ่นยนต์ SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) จะมีลักษณะแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) หมุนรอบแกนแนวตั้ง และแกนที่ 2 จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลง (Prismatic) ดังรูปที่ 2.5 (ก) ทำให้ได้พื้นที่การทำงานดัง รูปที่ 2.5 (ข) หุ่นยนต์ SCARA จะเคลื่อนที่ได้รวดเร็วในแนวระนาบ และมีความแม่นยำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Scara Robot (ข) Work envelope of Scara Robot

**รูปที่ 2.5** SCARA Robot

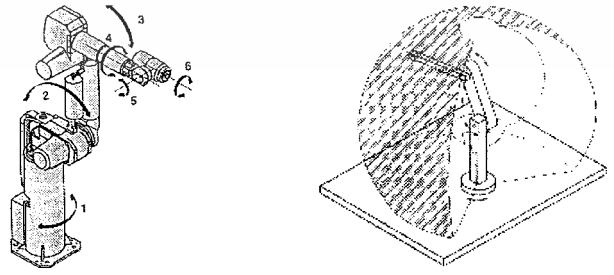
**ข้อดี** สามารถเคลื่อนที่ในแนวระนาบ และขึ้นลงได้รวดเร็ว มีความแม่นยำสูง

**ข้อเสีย**มีพื้นที่ทำงานจำกัด ไม่สามารถหมุน (Rotation) ในลักษณะมุมต่างๆ ได้ สามารถยกน้ำหนัก (Payload) ได้ไม่มากนัก

**การประยุกต์ใช้งาน** เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและขึ้นลงได้รวดเร็วจึงเหมาะกับ งานประกอบชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่ง ต้องการความรวดเร็วและการเคลื่อนที่ก็ไม่ต้องการ การหมุนมากนัก แต่จะไม่เหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนทางกล (Mechanical part) ซึ่งส่วนใหญ่การประกอบจะอาศัยการหมุน (rotation) ในลักษณะมุมต่างๆ นอกจากนี้ Scara robot ยังเหมาะกับงานตรวจสอบ (Inspection) งานบรรจุภัณฑ์ (Packaging)

**5) Articulated Arm (Revolute)**

ทุกแกนการเคลื่อนที่จะเป็นแบบหมุน (Revolute) รูปแบบการเคลื่อนที่จะคล้ายกับแขนคน ซึ่งจะประกอบด้วยช่วงเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง ข้อมือ การเคลื่อนที่ทำให้ได้พื้นที่การทำงานดังรูปที่ 2.6



(ก) Articulated Robot (ข) Work envelope of Articulated Robot

**รูปที่ 2.6** Articulated Arm (Revolute)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ข้อดี** เนื่องจากทุกแกนจะเคลื่อนที่ในลักษณะ ของการหมุนทำให้มีความยืดหยุ่นสูงในการเข้าไปยังจุด ต่าง ๆ บริเวณข้อต่อ (Joint) สามารถ Seal เพื่อป้องกันฝุ่น ความชื้น หรือน้ำ ได้ง่าย มีพื้นที่การทำงานมาก สามารถเข้าถึงชิ้นงานทั้งจากด้านบน ด้านล่าง เหมาะกับการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นชุดขับเคลื่อน

**ข้อเสีย** มีระบบพิกัด (Coordinate) ที่ซับซ้อน การเคลื่อนที่และระบบควบคุมทำความ เข้าใจได้ยากขึ้น ควบคุมให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear) ได้ยาก โครงสร้างไม่มั่นคงตลอดช่วงการเคลื่อนที่ เพราะบริเวณขอบ Work envelope ปลายแขนจะมีการสั่น ทำให้ความแม่ยำลดลง

**การประยุกต์ใช้งาน** หุ่นยนต์ชนิดนี้สามารถใช้งานได้กว้างขวางเพราะสามารถเข้าถึงตำแหน่งต่าง ๆ ได้ดี เช่นงานเชื่อม Spot Welding, Path Welding, งานยกของ, งานตัด, งานทากาว, งานที่มีการเคลื่อนที่ยาก ๆ เช่น งานพ่นสี งาน sealing

## 2.6 ประเภทของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์อาจแยกออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆคือ

**1) Fixed Robots** คือ หุ่นยนต์ที่ถูกตรึงกับฐานที่ถูกยึดคงที่ ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อิสระ

**2) Mobile Robots** คือ หุ่นยนต์ที่ถูกตรึงกับฐานที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ โดยที่ฐานมีล้อหรือ ต้นระบบ

สรุปได้ว่าหุ่นยนต์คือ "เครื่องจักรที่สามารถโปแกรมได้ และควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อเคลื่อนที่สิ่งของผลิตภัณฑ์ต่างๆ และ/หรือเครื่องมือเพื่อทำงาน หุ่นยนต์สามารถตัดสินใจและมีการตอบสนองกับสภาพแวดล้อมได้อย่างชาญฉลาด สามารถรับและส่งข้อมูลให้กับสิ่งรอบข้าง แต่อาจจะเคลื่อนที่ไปยังที่ต่างๆ ได้หรือไม่ได้ก็ได้"

จากทั้งสองประเภทของหุ่นยนต์คือ Fixed Robots และ Mobile Robots หุ่นยนต์ประเภทที่สองค่อนข้างจะเป็นหุ่นยนต์ที่มีความยืดหยุ่นสูงกว่าประเภทแรก ซึ่งในโครงงานนี้ก็จะเป็นเรื่องเกี่ยวกับ Mobile Robot

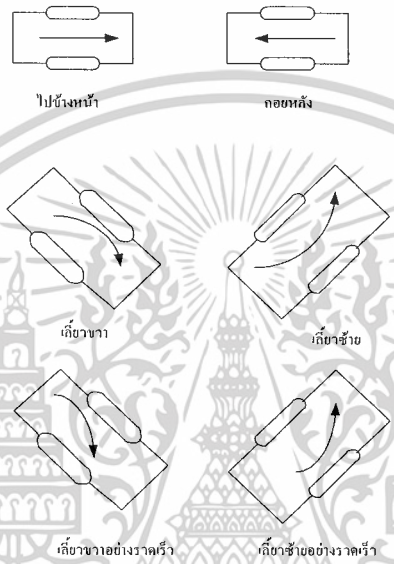
## 2.7 การทำงานเบื้องต้นของหุ่นยนต์

### 2.7.1 หลักการพื้นฐาน

อุปกรณ์ที่เป็นส่วนสำคัญในการทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ถึงแม้ว่าจะมีขนาดเล็ก แต่เมื่อนำมาประกอบเข้ากับล้อโดยผ่านชุดเฟืองทดรอบ จะสามารถให้กำลังได้ถึง 50-100 ปอนด์ การปิด –เปิด โดยใช้สวิตซ์หรือรีเลย์และการกระตุ้นโดยทรานซิสเตอร์จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าจากการหมุนอย่างช้า ๆ ให้เป็นการหมุนอย่างรวดเร็วได้ ส่วนใหญ่ในการออกแบบหุ่นยนต์จะใช้มอเตอร์จำนวน 2 ตัวในการขับเคลื่อนล้อทั้งสองล้อไปข้างหน้าหรือถอยหลังดังรูปที่ 2.7 สำหรับการเลี้ยวนั้นสามารถทำได้โดยการหยุดล้อใดล้อหนึ่ง ซึ่งจะทำให้หุ่นยนต์สามารหมุนไปในทิศทางที่ต้องการได้ หรือทำให้ล้อข้างใดข้างหนึ่งหมุนกลับในทิศทางตรงกันข้ามซึ่งจะทำให้หุ่นยนต์สามารถเลี้ยวได้อย่างรวดเร็วในวงเลี้ยวแคบๆได้




**รูปที่ 2.7** มอเตอร์และล้อที่ติดตั้งทำให้หุ่นยนต์สามารถที่จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถอยหลัง เลี้ยวขวา และเลี้ยวซ้าย

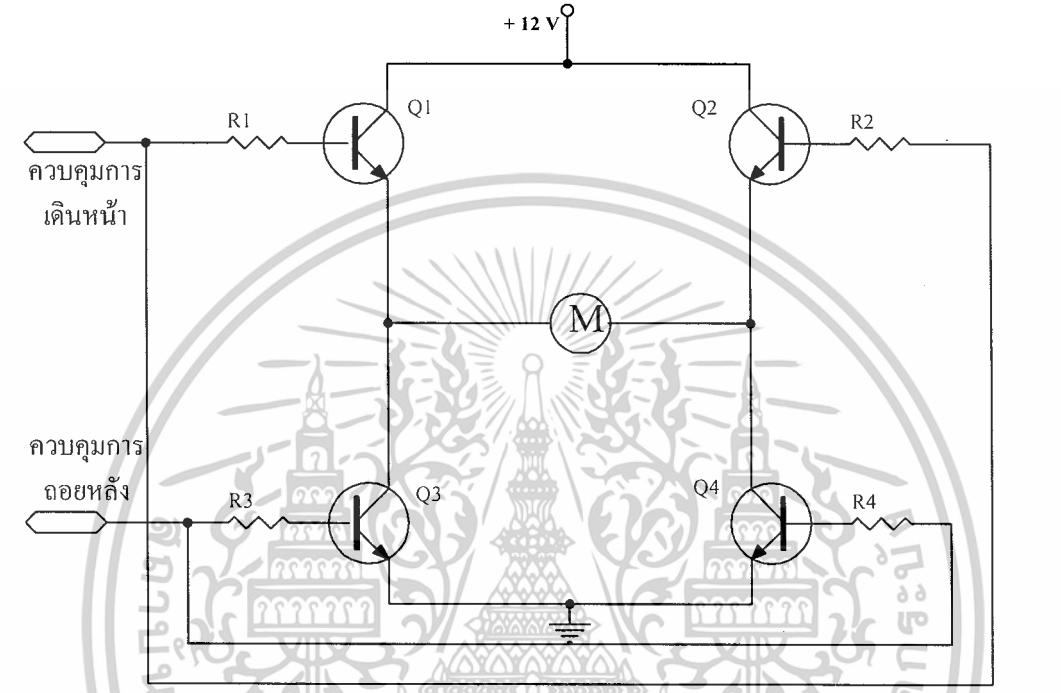
สำหรับตำแหน่งของล้อนั้นสามารถวางตรงตำแหน่งใดก็ได้ตามความเหมาะสมของหุ่นยนต์ ถ้าวางไว้ตรงกลางดังรูปก็จะใช้ลูกกลิ้ง 2 ตัวช่วยในการเพิ่มความสมดุล ถ้าวางล้อไว้ตรงกลางก็จะจำเป็นจะต้องวางตำแหน่งของแบตเตอรี่บนแกนของล้อหรือแนวของเพลาล้อ เพื่อที่จะให้เกิดความสมดุลมากที่สุด

การวางตำแหน่งล้อสามารถวางตำแหน่งที่ปลายด้านหนึ่งของโครงสร้าง ซึ่งในกรณีนี้ควรจะนำลูกกลิ้งที่สามารถหมุนได้ (Swivel Caster) มาติดตั้งเพื่อความสมดุลที่ด้านปลายตรงข้าม จะสังเกตได้ว่าน้ำหนักของโครงสร้างจะตกลงตำแหน่งที่มีมอเตอร์อยู่ จึงควรจะวางแบตเตอรี่เพื่อปรับจุดที่รับน้ำหนักให้อยู่ที่ตำแหน่งที่ติดตั้งล้อ เพื่อให้ล้อเป็นตัวรับน้ำหนักโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.2 การใช้ทรานซิสเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ทรานซิสเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์นั้นเป็นการนำทรานซิสเตอร์มาใช้งาน ในลักษณะของสวิตช์ โดยจะใช้ทรานซิสเตอร์ เพียง 2 ตัวเท่านั้นในการควบคุมการทำงาน มีการต่อวงจรในลักษณะ ดังรูป 2.8




**รูปที่ 2.8** การต่อทรานซิสเตอร์ 4 ตัวเพื่อควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

จากรูปที่ 2.3 การทำงานในช่วงเวลาหนึ่งของเราจะใช้ทรานซิสเตอร์เพียง 2 ตัวเท่านั้นในการนำกระแส คือ Q1 กับ Q4 หรือไม่ก็ Q2 กับ Q3 เท่านั้น ถ้าชุดใดชุดหนึ่งนำกระแสแล้ว อีกชุดต้องหยุดนำกระแส การที่ทรานซิสเตอร์นำกระแสเป็นคู่นี้จะทำให้สามารถบังคับทิศทางกระแสที่ไหลผ่านตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ ส่งผลให้บังคับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้ด้วย

### 2.7.3 โครงสร้างและการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

-โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

หลักการของมอเตอร์คือ การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เพื่อนำพลังงานกลที่ได้ไปขับเคลื่อนสิ่งต่างๆ ตามที่ต้องการ อาการทางกลที่เกิดขึ้นนี้จะอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในตัวนำซึ่งขณะนั้นอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะทำให้เกิดแรงขึ้นในทิศทางที่สามารถหาได้จากกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ขนาดของแรงที่เกิดขึ้นคำนวณได้จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



$$F = B_{il} \qquad (Newton) \qquad \ldots (2.1)$$

เมื่อ $F$ = แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำตัวหนึ่ง (นิวตัน)

$B$ = ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก (เวเบอร์/เมตร$^2$)

$i$ = กระแสที่ไหลในตัวนำ (แอมป์)

$I$ = ความยาวของตัวนำ (เมตร)

แรง F ที่เกิดขึ้นบนตัวนำ จะเกิดขึ้นในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำนั้นๆ

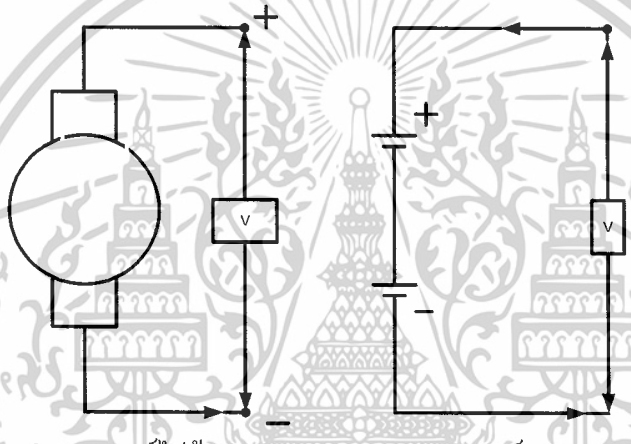
**รูปที่ 2.9** หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 2.9 แสดงส่วนหนึ่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีหลายขั้วแม่เหล็ก เมื่อป้อนไฟเข้าไปที่สนามกระตุ้น จะทำให้เกิดอำนาจที่ขั้วแม่เหล็กเมื่อทำการป้อนกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านในตัวนำที่อาร์เมเจอร์(Armature) ก็จะทำให้เกิดแรงขึ้นซึ่งอยู่ในตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็กนั้นคือทำให้อาร์เมเจอร์หมุน ในที่นี้ได้กำหนดให้กระแสที่ไหลในตัวนำของอาร์เมเจอร์ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ N มีทิศทางของกระแสพุ่งออกมาข้างนอกดังหัวลูกศรที่เป็นจุด เมื่อเป็นเช่นนี้จึงหาการเคลื่อนที่ของตัวนำทุกๆตัวที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กทั้ง N และ S โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง วิธีหาก็คือกางมือซ้ายออก โดยให้หัวแม่มือ นิ้วชี้และนิ้วกลางตั้งฉากซึ่งกันและกัน (ทำแบบเดียวกับกฎมือขวาซึ่งใช้หาทิศแรงเคลื่อนที่ไฟที่เกิดขึ้น) จากนั้นให้นิ้วชี้ ชี้ไปทิศทางสนามแม่เหล็ก คือชี้ที่ขั้ว N ไป S ให้นิ้วกลางชี้ไปตามทิศทางการไหลของกระแส ณ ตัวนำต้องการหาทิศทางนั้นๆ นั้น คือ นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศการเคลื่อนที่ของตัวนำนั้นๆ จะพบแรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำทุกๆ ตัวภายใต้ขั้วแม่เหล็กเดียวกัน จะมีทิศทางไปในทางเดียวกัน และจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์เมเจอร์นั้นๆ อีกทั้งยังพบว่าแรงที่เกิดขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็ก ทุกขั้วที่สลับกันไปนั้นจะมีทิศทางไปในทางเดียวกันทั้งสิ้น โดยแต่ละแรงจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้น รอบวงของอาร์เมเจอร์นั้นคือ ภายใต้ขั้วแม่เหล็กของแต่ละขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
59532

ก็เกิดแรงลัพธ์ขึ้นแรงหนึ่ง ฉะนั้นเมื่อมีหลายขั้วก็เกิดแรงขึ้นหลายแรง และทุกๆ แรงก็รวมกันเป็นแรงบิดขึ้นมาแรงหนึ่ง ดังนั้นจึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้จากแรงที่เกิดขึ้น

ความสำคัญของแรงเคลื่อนไฟฟ้าส่วนกลับ เมื่ออาร์เมเจอร์เริ่มหมุนจะทำให้ตัวนำที่อยู่อาร์เมเจอร์ตัดเส้นแรงแม่เหล็กที่มาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหลัก หรือสนามแม่เหล็กลัพธ์ที่เกิดอยู่ในมอเตอร์นั้น นั้นคือเกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นบนตัวนำภายในอาร์เมเจอร์ ซึ่งเป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า ในการหาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้สามารถทำการหาโดยการใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่งและพบว่ามีทิศทางสวนกลับกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปให้กับตัวมอเตอร์ ดังนั้น จึงเรียกแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าสวนกลับ (Back e.m.f. =$E_b$) ดังรูปที่ 2.10 (ก)




(ก) วงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (ข) วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

**รูปที่ 2.10** มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากการที่เกิด $E_b$ ขึ้นนี้จึงเขียนวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ได้ดังรูปที่ 2.5 (ก) ซึ่งเหมือนกับว่า มีแบตเตอรี่ $E_b$ ต่อคร่อมอยู่กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า โวลต์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ นั้นคือในการที่จะให้ $I_a$ ไหลได้ในอาร์เมเจอร์นั้น จะต้องมีกำลังไฟฟ้าจำนวนหนึ่งที่ต้องการเอาชนะการสวนนี้ กำลังไฟฟ้าที่เอาชนะกำลังที่สวนนี้ได้ คือ $E_bI_a$ ในกรณีที่เป็นเซลล์หรือแบตเตอรี่นั้น กำลังที่เอาชนะการสวนนี้ก็คือกำลังที่เปลี่ยนไปเป็นพลังงานทางเคมีแต่ในมอเตอร์นั้น กำลังที่เอาชนะการสวนกระนี้คือ กำลังที่เปลี่ยนไปเป็นกำลังกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

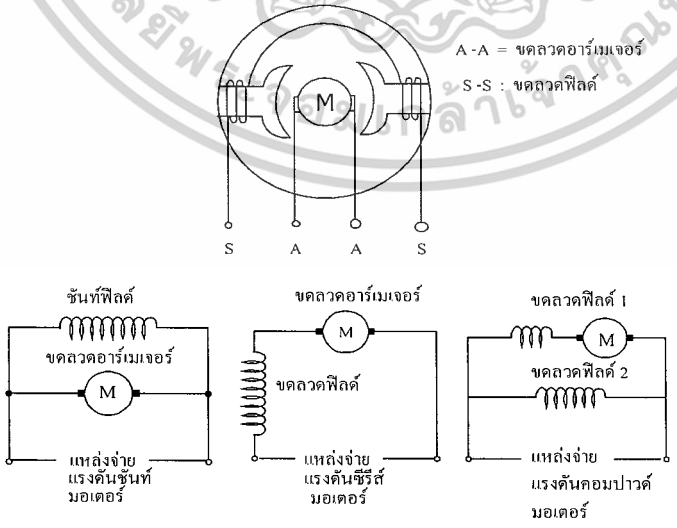
## 2.8 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล โดยอาศัยหลักการดูด และผลักของสนามแม่เหล็ก มอเตอร์ได้เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องต่อการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมโดยตรง มอเตอร์เป็นแหล่งต้นกำลังที่สามารถได้รับการควบคุมได้โดยง่ายด้วยขบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์จึงทำให้มอเตอร์แพร่หลาย ภายในโรงงานจะมีมอเตอร์มากมายหลายแบบตั้งแต่แบบเล็กๆ ที่ใช้ในงาน ควบคุมจนถึงมอเตอร์ต้นกำลังขนาดใหญ่โตหลายร้อยแรงม้า

อุปกรณ์ทางด้านโซลิดสเตทโดยเฉพาะอย่างยิ่งไทริสเตอร์ได้มีบทบาทที่สำคัญควบคุมมอเตอร์ สามารถควบคุมการเริ่มต้นของมอเตอร์ การหมุนเดินหน้า ถอยหลัง การปรับตัวเร็ว ควบคุมความเร็วให้คงที่ ควบคุมแรงบิด เป็นต้น

### 2.8.1 ชนิดของมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปแยกได้เป็นสองชนิด คือ มอเตอร์ไฟตรง และมอเตอร์ไฟสลับ ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะมอเตอร์ไฟตรงเท่านั้น สำหรับส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีขั้วแม่เหล็กอยู่ ส่วนตรงข้ามจะเป็นขั้วที่ต่างกัน เรียกว่า โพล (Pole) ซึ่งจะให้สนามแม่เหล็กออกมาเรียกว่า ฟิลด์ฟลักซ์ (Field Flux) ส่วนแท่งเหล็ก ที่พันรอบด้วยเส้นลวดอาบฉนวน ที่ติดอยู่กับแกนหมุน หรือทุ่นอาร์เมเจอร์ (Armature) จะให้สนามแม่เหล็กออกมา เรียกว่า อาร์เมเจอร์ฟลักซ์ (Armature Flux) เมื่อเราต่อมอเตอร์ในลักษณะของขดลวดเหล่านี้ผสมกันแล้วจะได้ชนิดของมอเตอร์ไฟตรงเป็น 3 ชนิดคือ ชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor) ซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor) และคอมปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor) ลักษณะของมอเตอร์ทั้งสามแบบนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.11




**รูปที่ 2.11** มอเตอร์ไฟตรงแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับมอเตอร์ไฟตรงนั้น มีข้อดีในแง่การควบคุมซึ่งเราสามารถควบคุมความเร็วได้โดยง่าย แต่ปัญหาในแง่แหล่งจ่ายไฟตรง และราคาของมอเตอร์ไฟตรงเป็นข้อจำกัดที่ทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีผู้ใช้งานน้อยลง

### 2.8.2 ระบบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวควบคุม เป็นส่วนของระบบที่ทำให้เกิดสัญญาณควบคุม ไปบังคับดีซีมอเตอร์และโหลด ซึ่งอาจจะเป็นแอนะลอกหรือดิจิตอลก็ได้

กำลังขยาย หรือส่วนภาคขับ ทำหน้าที่ปรับปรุงและขยายสัญญาให้เหมาะสมก่อนที่จะป้อนไปขับดีซีมอเตอร์ ซึ่งอาจแบ่งแยกเป็นลิเนียร์เพาเวอร์แอมปลิฟลาย และพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น

1) ลิเนียร์เพาเวอร์แอมปลิฟลาย เป็นการควบคุมมอเตอร์ (Control Motor) แบบต่อเนื่อง แต่จะมีความสูญเสียทางเพาเวอร์สูงเนื่องจากกำลังงานส่วนใหญ่จะสูญเสียในเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ (Output Transistor) เป็นจำนวนมาก เพราะขณะมอเตอร์ไม่ทำงานทรานซิสเตอร์ส่วนนี้ก็ต้องแบกภาระเนื่องจากมีกระแสไหลผ่านตัวมัน

2) การมอดูเลตแบบความกว้างของพัลส์ เป็นสวิทชิ่งแอมปลิฟลาย คือ การควบคุมแรงดันของมอเตอร์ โดยการปรับดิวตี้ไซเคิลของแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ และให้มันทำงานทุกๆ ภาวะอิ่มตัวหรือภาวะไม่นำกระแสด้วยเหตุนี้กำลังสูญเสียน้อย เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส แรงดันตกคร่อมตัวมันจะน้อยจนตัดทิ้งได้และเมื่อหยุดนำกระแสแรงดันตกคร่อมจะประมาณ VCC ดังนั้นกระแสไหลผ่านจึงน้อยมากประมาณศูนย์ แต่จะใช้กับความถี่สูงได้ไม่ดี และความถี่ต้องคงที่ ถ้าไม่เช่นนั้นอาจเกิดออสซิสเลตขึ้นได้

ดีซีมอเตอร์และโหลด คือ ระบบที่ถูกควบคุมหรือส่วนที่ออกแรงทำงานซึ่งจะเป็นเครื่องจักรกล

การเข้ารหัส หรือฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์ ใช้รับรู้หรือดีเทคสัญญาณที่ต้องการโดยไม่มีผลของการโหลดดิ้ง สัญญาณที่ดีตรวจจับได้นี้จะป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง เพื่อควบคุมมอเตอร์อีกที ฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์แบ่งเป็น แบบแอนะลอกและแบบดิจิตอล

### 2.8.3 การทำงานของแอมปลิฟลายแบบการมอดูเลตแบบความกว้างของพัลส์

แอมปลิฟลายแบบการมอดูเลตแบบความกว้างของพัลส์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะการทำงาน คือ ไบโพล่าร์ ยูนิโพล่าร์ และลิมิตยูนิโพล่าร์ ซึ่งทั้ง 3 ชนิดสามารถอธิบายด้วยวงจรพื้นฐานนี้ได้โดยทั้ง 3 ชนิด ต่างกันตรงการ ควบคุมการเปิด-ปิด ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งในที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะกล่าวเฉพาะแบบไบโพลาร์ เพราะเป็นแบบที่ควบคุม และ เข้าใจได้ง่าย คือ เมื่อให้มอเตอร์อยู่ใน เฟส เปิด ก็ให้ T1 กับ T4 เปิด และ T2 กับ T3 ปิด ดังนั้น กระแสไหลจาก VS ผ่าน T1, มอเตอร์และ T4 ลงกราวด์ ดัง VM=VS (มอเตอร์หมุนตามเข็ม) เมื่อให้มอเตอร์อยู่ใน Phase OFF ก็ให้ T2 กับ T3 เปิด และ T1 กับ T4 ปิด ดังนั้น กระแสไหลจาก VS ผ่าน T3 ขั้วลบมอเตอร์, T2 ลงกราวด์ ดังนั้น $V_a$ = VS (มอเตอร์หมุนทวนเข็ม)

### 2.8.4 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำได้ 2 วิธี คือ

1) การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของอาร์เมเจอร์ เนื่องจากความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะแปรผันตรงกับแรงดันที่ใส่ให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังนั้นเราจึงสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยการควบคุมแรงดันของอาร์เมเจอร์ วิธีการนี้จะใช้ในช่วงความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วที่กำหนด (Base Speed) หรือ n base การควบคุมแบบนี้จะทำให้แรงบิดสูงสุดส่วนกำลังออกของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วเป็นเส้นตรง โดยจะมีกำลังออกสูงสุดความเร็วที่กำหนด การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงโดยทั่วไปจะใช้วิธีนี้เพราะให้แรงบิดสูง

2) การควบคุมความเข้มของสนามแม่เหล็ก การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงในย่านความเร็วที่สูงกว่าความเร็วที่กำหนดจะทำได้โดยการควบคุมกระแสของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ เมื่อต้องการเพิ่มความเร็วจะต้องลดขนาดของกระแสของขดลวดลง การลดความเข้มของสนามแม่เหล็กของมอเตอร์จะมีผลทำให้แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ลดลง ขณะที่กำลังออกสูงสุดของมอเตอร์จะไม่เปลี่ยนแปลง วิธีนี้จะใช้กับโหลดที่ต้องการความเร็วสูงโดยที่แรงบิดของโหลดจะต้องลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ไม่เช่นนั้นจะเป็นการเกินกำลังของมอเตอร์

## 2.9 รายละเอียดเกี่ยวกับมอเตอร์

มอเตอร์มีลักษณะและรายละเอียดอยู่มากมาย จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการใช้งานบางอย่างนั้นสามารถเห็นได้ชัด แต่หลาย ๆ อย่างสังเกตได้ยาก รายละเอียดพื้นฐานของมอเตอร์ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า การไหลของกระแสไฟฟ้า ความเร็ว และแรงบิด

### 2.9.1 แรงดันไฟฟ้า

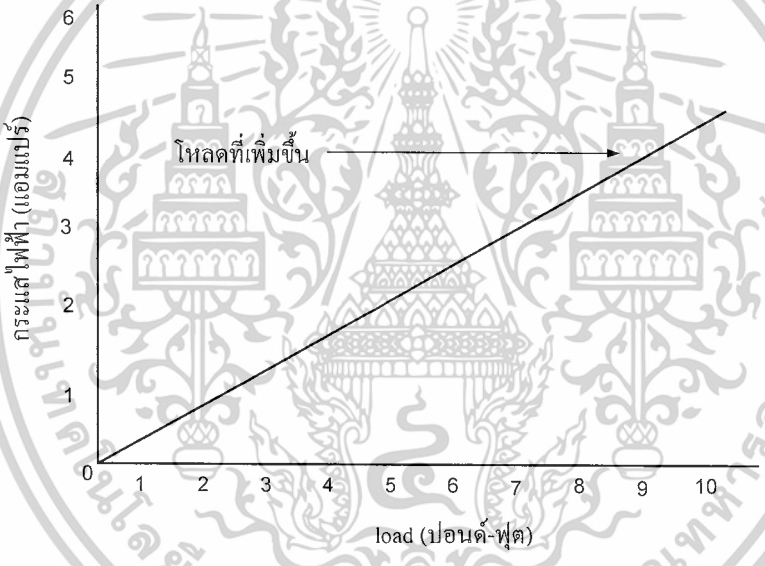
มอเตอร์ทุกตัวจะถูกจำแนกตามแรงดันไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กจะมีค่าอัตราแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.5 – 6 โวลต์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงคุณภาพสูงบางชนิดถูกออกแบบมาสำหรับค่าแรงดันไฟฟ้าเฉพาะค่าหนึ่ง มอเตอร์ที่ได้รับความสนใจจากนักสร้างหุ่นยนต์มากที่สุดเป็นมอเตอร์ที่มีค่าแรงดันฟ้าต่ำที่อยู่ในช่วง 1.2 – 1.2 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ส่วนใหญ่สามารถทำงานได้ในช่วงแรงดันไฟฟ้าที่สูงหรือต่ำกว่ากำหนดไว้ มอเตอร์ 12 โวลต์มักจะใช้งานที่ 8 โวลต์ ซึ่งต่ำกว่าที่กำหนดไว้ แต่จะให้กำลังน้อยกว่าปกติและจะหมุนช้า

### 2.9.2 การไหลของกระแสไฟฟ้า

มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ ปริมาณกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 500 หรือ 1,000 % ของมอเตอร์ตัวที่ไม่มีโหลดอยู่ สำหรับมอเตอร์แม่เหล็กถาวรซึ่งเป็นที่นิยม ปริมาณกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามโหลดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ จากรูปที่ 2.12 เมื่อมีงานที่มอเตอร์ต้องหมุนเพลามากขึ้นเท่าใด ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ก็ต้องยิ่งมากขึ้นตาม หากโหลดที่บริษัทผู้ผลิตใช้ทดลองนั้นไม่ได้มาตรฐาน เมื่อนำมาใช้กับงานจริง ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานจึงมากหรือน้อยกว่าที่กำหนดไว้




**รูปที่ 2.12** ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับโหลดที่เข้ากับเพลาของมอเตอร์

เมื่อถึงจุดหนึ่งที่มอเตอร์ทำงานเต็มที่ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจะไม่เพิ่มขึ้น และเพลาจะหยุดหมุน กำลังของมอเตอร์ก็จะตก ดังนั้นถ้าระบบมีการออกแบบให้จัดการกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสภาวะหยุดกลางคันได้ ปัญหาต่างๆ ก็จะแก้ไขได้ไม่ยาก มอเตอร์ที่กำหนดอัตราการไหลของกระแสไฟฟ้าในขณะที่หยุดกลางคันไว้จะมีป้ายหรือรายละเอียดกำกับอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อติดตั้งมอเตอร์เข้ากับหุ่นยนต์ ก็ควรจะทราบค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโดยประมาณ เมื่อต่อเข้ากับโหลดด้วยการอ่านจากมิเตอร์ โวลต์-โอห์ม มิเตอร์ส่วนใหญ่ก็ใช้วัดกระแสไฟฟ้าได้ และแอมมิเตอร์บางชนิดก็ถูกสร้างมาเพื่อทำงานนี้

### 2.9.3 อัตราเร็ว

อัตราเร็วในการหมุนของมอเตอร์จะถูกกำหนดให้เป็นหน่วยรอบต่อนาที มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงส่วนใหญ่มีอัตราเร็วปกติอยู่ในช่วง 4,000 – 7,000 รอบต่อนาที และจะมีมอเตอร์ที่ออกแบบมาให้ใช้กับวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง

สำหรับมอเตอร์ที่ใช้กับหุ่นยนต์ ควรลดความเร็วลงเหลือ 150 รอบต่อนาที โดยใช้เฟืองหลายตัวต่อเข้าด้วยกัน หรือใช้การลดอัตราเร็วลงโดยการควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ อัตราเร็วของสเตปมอเตอร์ไม่มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที แต่เป็นจังหวะต่อวินาทีซึ่งจะเท่ากับจำนวนสเตปที่ต้องการในการหมุนครบหนึ่งรอบ คูณกับจำนวนสเตปที่จ่ายให้มอเตอร์ในแต่ละวินาที จากการเปรียบเทียบความเร็วของสเตปมอเตอร์จะอยู่ในช่วง 100-400 รอบต่อนาที

## 2.10 อะลูมิเนียม

อะลูมิเนียม (Aluminium หรือ Aluminum) เป็นโลหะที่พบในชีวิตประจำวันและใช้ในงานต่าง ๆ รองจากเหล็กและทองแดง เช่น ใช้ทำภาชนะในครัวเรือน ของใช้อื่น ๆ และวัสดุก่อสร้าง อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่นำไปใช้แทนเหล็กและทองแดงมากขึ้นทุกที ข้อดีของอะลูมิเนียมคือเป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบากว่าเหล็กและทองแดง (เหล็กมีความหนาแน่น 7,852 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร อะลูมิเนียมมีความหนาแน่น 2,643 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) มีราคาถูกและเนื่องจากน้ำหนักเบา จึงใช้อะลูมิเนียมทำลำตัวของเครื่องบินและอากาศยานแต่เดิมอะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีความแข็งแรงต่ำ แต่ปัจจุบันมีอะลูมิเนียมผสมโดยผสมกับทองแดง แมกนีเซียม แมงกานีส หรือซิลิคอน ซึ่งโลหะผสมเหล่านี้ มีความแข็งแรง และความแข็ง (Hardness) สูงกว่าอะลูมิเนียมบริสุทธิ์มาก เนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นโลหะที่ไวต่อการรวมตัวกับออกซิเจนมาก แร่อะลูมิเนียมจึงมีอะลูมิเนียมในรูปออกไซด์ทั้งสิ้นทำให้การถลุงอะลูมิเนียมไม่สามารถใช้เตาต่าง ๆ ที่ใช้ถลุงเหล็กหรือทองแดงหรือโลหะอื่นได้ เพราะอะลูมิเนียมเมื่อถลุงออกมาได้จะกลายเป็นออกไซด์ทันที อะลูมิเนียมปนอยู่ทั่วไปบนผิวโลกในรูปของดินเหนียว แร่ที่ใช้ผลิตอะลูมิเนียมคือแร่บอกไซด์ สูตรทางเคมีคือ $Al_2O_3$ $X(H)_2O$ โดยปนอยู่กับออกไซด์ของเหล็ก ซิลิคอน และไทเทเนียม (Titanium) ออกไซด์ของอะลูมิเนียมมีชื่อเรียกว่า อะลูมินา (Alumina) แร่อะลูมิเนียมจึงเป็นแร่ที่มีราคาถูกเพราะหาได้ง่าย

การผลิตอะลูมิเนียมแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนแรกเป็นการแยกให้ได้ออกไซด์อะลูมีเนียมอย่างเดียว (pure $Al_2O_3$ ) จากแร่บอกไซด์ โดยอะลูมินาได้มาจากการแปรสภาพของสินแร่บอกไซท์ (Bauxite) ด้วยโซดาไฟภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอลปานกลาง (Hydrothermal condition) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแยก $Al_2O_3$ ออกจากสินแร่ ความสามารถในการละลายของ $Al_2O_3$ ในโซดาไฟขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ องค์ประกอบทั้งหมดที่อยู่ในสินแร่อะลูมิเนียมเป็นสารค่อนข้างทำปฏิกริยาได้ยาก และซิลิกาที่ละลายในโซดาไฟกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก สิ่งเหล่านี้ส่งผลให้เกิดการฟอร์มตัวของสารละลายโซเดียมอะลูมิเนตที่สามารถแยกเอาสิ่งปนเปื้อนออก และการตกตะกอนของ $Al(OH)_3$ บริสุทธิ์ในสารละลายหลังจากที่เย็นตัวลงแล้ว

กระบวนการแปรสภาพของสินแร่บอกไซท์ เริ่มจากการเตรียมสินแร่บอกไซท์ โดยการผสมองค์ประกอบให้ได้ส่วน และนำไปบดเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน สินแร่บอกไซท์ถูกบดในขณะที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายที่ใช้กระบวนการ เกิดเป็นส่วนผสมของแข็งกับของเหลวที่ข้น นำไปผสมกับสารละลายโซดาไฟที่ได้รับความร้อนในระดับที่เหมาะสม และนำไปปรับสภาพในถังย่อย ณ ความดันมากกว่าหนึ่งบรรยากาศ

ส่วนผสมของแข็งกับของเหลวข้นที่ได้นี้ถูกนำออกจากถังย่อย และสินแร่ที่ตกค้างถูกแยกออกจากสารละลายโซเดียมอะลูมิเนต ในสองขั้นตอนเพื่อดำเนินการส่วนที่หยาบแยกกับส่วนที่ละเอียด เศษที่เหลือทั้งสองส่วนนี้ถูกล้าง และทิ้งออกไป หลังจากผ่านอีกหลายขั้นตอนแล้ว จึงเกิดเป็นอะลูมินา $Al_2O_3$ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นอะลูมิเนียม ใน Hall-Heroult Electrolysis Cell

ขั้นตอนที่สองผลิตอะลูมิเนียมโดยการแยกอะลูมิเนียมที่หลอมละลายด้วยไฟฟ้า การแยกอะลูมิเนียมจากแร่ใช้กรรมวิธีของไบเยอร์ (Bayer process) คือล้างแร่บอกไซด์ให้สะอาด ตากแห้งบดละเอียด ทำปฏิกิริยากับโซดาไฟ (NaOH) ในตู้อบ ได้สารละลายโซเดียมอะลูมิเนต (Sodium Aluminate; $NaAlO_2$) สารที่เจือปนในแร่บอกไซด์ เช่น เหล็ก ซิลิกาจะไม่ทำปฏิกิริยากับโซดาไฟ และตกเป็นตะกอนสีแดง (red mud) กรองสารละลายออกแล้วทิ้งสารละลายไว้จนเกิดตะกอนของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium Hydroxide; $Al(OH)_3$ กรองเอาตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ออก แล้วนำไปเผากับหินปูนในเตาเผาแบบหมุนชนิดเดียวกับที่ใช้เผาซีเมนต์ (Rotary kiln) จะได้ออกไซด์อะลูมิเนียมที่บริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 กติกาการแข่งขันหุ่นยนต์ Education Engineering Robot Fighter 2004

วันที่ 3 กันยายน 2547

ณ สนามบาสเก็ตบอลคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

การแข่งขัน

เป้าหมายของการแข่งขันหุ่นยนต์คือ การสร้างหุ่นยนต์ควบคุมด้วยสัญญาณวิทยุจากแบบที่คิดค้นขึ้นมา เพื่อที่จะแข่งขันเก็บกล่องที่มีสีแดงและคะแนนแตกต่างกันไปใส่ถังเพื่อเก็บคะแนนให้ได้มากที่สุดจึงจะเป็นผู้ชนะ โดยการแข่งขันแต่ละคู่กำหนดใช้เวลา 15 นาที

### 2.11.1 สนามแข่งขัน

1) พื้นสนามคอนกรีตทาสีของสนามบาสเก็ตบอล พื้นที่แข่งขันขนาดกว้าง 8000 มิลลิเมตร ยาว 8000 มิลลิเมตร

2) เขตสนามใช้เทปกาวขนาด 3 นิ้ว

3) พื้นสนามประกอบด้วย เขตล่อยตัวหุ่นยนต์ทีม A, เขตปล่อยตัวหุ่นยนต์ทีม B, ถังเก็บกล่องสีแดงและสีน้ำเงิน และเขตวางกล่องสีต่าง ๆ

4) เขตปล่อยตัวหุ่นยนต์ทีม A และ B

4.1) พื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตรอยู่บริเวณกึ่งกลางชิดขอบสนามในแต่ละด้าน โดยแบ่งเป็นด้านหนึ่งสำหรับทีม A พื้นปูด้วยกระดาษสีเหลือง และอีกด้านหนึ่งสำหรับทีม B มีพื้นปูด้วยกระดาษสีเขียว

4.2) ขอบเขตทั้งสี่ด้านใช้เทปกาวขนาด 3 นิ้ว

4.3) มีกล่องสีแดง 9 กล่อง,สีน้ำเงิน 9 กล่อง และสีขาว 1 กล่อง วางตามจุดต่างๆ ทั่วบริเวณสนาม

4.4) รายละเอียดต่าง ๆ ของตำแหน่งและรูปร่าง ส่วนประกอบต่างๆ ดูได้จากแบบสนาม

5) ถังเก็บกล่องสีแดงและน้ำเงิน

5.1) พื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร อยู่บริเวณกึ่งกลางชิดขอบนอกสนามแต่ละด้าน โดยแบ่งถังเก็บกล่องแต่ละด้านออกเป็น 2 ส่วน คือถังสำหรับทีม A และสำหรับทีม B แต่ละถังมีขนาดกว้าง 500 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตร ถังสำหรับกล่องสีแดงมีพื้นปูด้วยกระดาษสีแดงและถังสำหรับก่องสีน้ำเงินมีพื้นปูด้วยกระดาษสีน้ำเงิน

5.2) ขอบถังทุกด้านกั้นด้วยรั้วสูง 100 มิลลิเมตร และหนา 10 มิลลิเมตร

5.3) ถังเก็บกล่องของแต่ละทีมจะอยู่ด้านฝั่งตรงข้ามกับเขตปล่อยตัวหุ่นยนต์ของแต่ละทีม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.2 สมาชิกในทีม

1) แต่ละทีมประกอบด้วยนักศึกษาไม่เกิน 15 คน

2) ผู้เข้าแข่งขันหนึ่งทีมประกอบด้วยนักศึกษา 4 คน

2.1) ผู้บังคับหุ่นยนต์ 1 คน

2.2) ผู้ช่วยบังคับหุ่นยนต์ 1 คน

2.3) ผู้ช่วยเคลื่อนย้ายหุ่นยนต์ตอนเริ่มและเมื่อเกิดปัญหา จำนวน 2 คน

### 2.11.3 หุ่นยนต์

แต่ละทีมสามารถสร้างหุ่นยนต์บังคับด้วยมือและหุ่นยนต์อัตโนมัติ (ถ้ามี) ทั้งสองแบบโดยไม่จำกัดจำนวน แต่ชุดควบคุมหุ่นยนต์ด้วยมือต้องมีชุดเดียวสำหรับผู้บังคับหุ่นยนต์เพียง 1 คน เท่านั้น

1) หุ่นยนต์บังคับด้วยมือ

1.1) หุ่นยนต์บังคับด้วยมือจะต้องควบคุมโดยใช้คลื่นวิทยุในการควบคุม ไม่อนุญาตให้ใช้สายเคเบิลต่อเข้ากับหุ่นยนต์โดยตรงและผู้ควบคุมจะต้องไม่นั่งขับขี่บนหุ่นยนต์บังคับด้วยมือ

1.2) หุ่นยนต์บังคับด้วยมือหรือผู้ควบคุมหุ่นยนต์ ไม่สามารถไปสัมผัสพื้นหรือยื่นล้ำเข้าไปในถังเก็บกล่องของทีมผู้แข่งขัน

1.3) หุ่นยนต์บังคับด้วยมือไม่สามารถออกนอกเขตสนามได้ อาจยื่นล้ำบางส่วนออกนอกเขตสนามได้แต่ต้องมีส่วนของหุ่นยนต์ยังอยู่ในเขตสนาม

1.4) หุ่นยนต์ทุกประเภทของแต่ละทีมสามารถสัมผัสกันได้ ในกรณีที่หุ่นยนต์ของฝ่ายตรงข้ามกีดขวางจนไม่สามารถทำคะแนนได้ ทั้งนี้ต้องไม่รุนแรงจนเกินสมควรหรือหุ่นยนต์ของอีกทีมได้รับความเสียหาย

1.5) ผู้เข้าแข่งขันหุ่นยนต์ไม่สามารถสัมผัสหุ่นยนต์บังคับด้วยมือ หลังจากที่เริ่มการแข่งขันแล้ว

1.6) หุ่นยนต์บังคับด้วยมือที่เข้าแข่งขันแต่ละทีมสามารถ Retry ได้ 3 ครั้งโดยนำกลับมาตั้งที่จุดสตาร์ท

2) หุ่นยนต์อัตโนมัติ

2.1) หุ่นยนต์อัตโนมัติต้องทำงานอย่างอัตโนมัติด้วยตัวของหุ่นยนต์เองหลังจากสตาร์ทแล้ว

2.2) หุ่นยนต์ที่แยกตัวออกมาจากหุ่นยนต์อัตโนมัติถือเป็นหุ่นยนต์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3) หุ่นยนต์อัตโนมัติๆไม่สามารถไปสัมผัสพื้นหรือยื่นล้ำเส้นไปในถังเก็บกล่องของทีมคู่แข่ง

2.4) ไม่จำกัดเวลาของการสตาร์ทหุ่นยนต์อัตโนมัติสามารถสตาร์ทหุ่นยนต์อัตโนมัติแต่ละตัวเมื่อใดก็ได้

2.5) ผู้เข้าแข่งขันไม่สามรถสัมผัสหุ่นยนต์อัตโนมัติหลังจากสตาร์ทแล้ว

2.6) หุ่นยนต์อัตโนมัติที่เข้าแข่งขันแต่ละทีมสามารถ Retry ได้ 3 ครั้ง โดยนำกลับมาตั้งที่จุดสตาร์ท

3) วิธีการควบคุมหุ่นยนต์

3.1) อนุญาตให้มีผู้ควบคุมหุ่นยนต์บังคับมือทีมละ 1 คนเท่านั้น

3.2) หุ่นยนต์อัตโนมัติแต่ละทีมต้องสตาร์ทโดยการกระทำเพียงครั้งเดียว

3.3) จะเปลี่ยนผู้ควบคุมหุ่นยนต์เป็นผู้ช่วยควบคุมเมื่อผู้ควบคุมที่ปฏิบัติหน้าที่อยู่ยกมือขอเปลี่ยนตัวและคณะกรรมการอนุญาตให้เปลี่ยนได้

4) แหล่งพลังงาน

4.1)แต่ละทีมต้องจัดหาและเตรียมแหล่งพลังงานสำหรับหุ่นยนต์ทุกตัวให้พอเพียงระหว่างการแข่งขัน

4.2) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับหุ่นยนต์แต่ละตัวจำกัดสูงสุดไม่เกิน 24 โวลต์

4.3) แหล่งพลังงานที่คณะกรรมการพิจารณาว่าไม่เหมาะสม เป็นอันตรายจะไม่อนุญาตให้ใช้แข่งขัน

5) น้ำหนักหุ่นยนต์

5.1) น้ำหนักโดยรวมของหุ่นยนต์ทั้งหมด แต่ละทีมไม่ได้กำหนดแต่ต้องไม่ทำให้พื้นสนามคอนกรีตเสียหายจากน้ำหนักของหุ่นยนต์

5.2) น้ำหนักโดยรวมของหุ่นยนต์ทั้งหมด แต่ละทีมจะรวมน้ำหนักของแหล่งพลังงานแผงควบคุมและส่วนประกอบอื่นๆ ของหุ่นยนต์

6) ขนาดหุ่นยนต์

6.1) ขนาดรวมของหุ่นยนต์ทุกตัววาง ณ จุดสตาร์ทก่อนการแข่งขัน ต้องมีขนาดไม่เกินที่ความกว้าง 1000 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตร และสูง 1500 มิลิเมตร

6.2) เมื่อเริ่มการแข่งขันหุ่นยนต์แล้วหุ่นยนต์สามารถแยกตัว เปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่าง ได้อย่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.4 วัสดุ (ชิ้นส่วนกล่องสีต่างๆ)

1) เป็นกล่องรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาดกว้าง 2000 มิลลิเมตร ยาว 2000 มิลลิเมตร สูง 2000 มิลิเมตร และหนัก 0.5 กิโลกรัม ทำจาก EPS (Expandable Polystyrene)

2) แบ่งเป็นกล่องสีแดงจำนวน 9 กล่อง สีน้ำเงิน 9 กล่องและสีขาว 1 กล่อง

### 2.11.5 การแข่งขัน

1) เกมส์การแข่งขัน

1.1) เป็นการแข่งขันแบบพบกันหมด ทีมที่มีคะแนนมากที่สุด 2 ทีมจะต้องแข่งกันเพื่อชิงชนะเลิศ

1.2) การแข่งขันจะใช้เวลาทั้งหมด 5 นาที สำหรับ 1 คู่ของการแข่งขัน อย่างไรก็ตามเกมส์จะจบลงทันที หากมีทีมใดสามารถทำคะแนนได้ไม่ต่ำกว่า 10 คะแนน และนำกล่องสีขาวไปวางในเขตปล่อยตัวของฝ่ายตรงข้ามได้สำเร็จ

1.3) การเซ็ตหุ่นยนต์เพื่อเตรียมพร้อมก่อนเริ่มแข่งขัน แต่ละทีมใช้เวลา 2 นาทีหลังจากได้รับสัญญาณจากกรรมการตัดสิน

2) คะแนนที่ได้จากการจากการแข่งขัน คิดจากสิ้นส่วนกล่องสีแดงและสีน้ำเงินที่นำไปวางในถังเก็บคะแนน และกล่องสีขาวที่นำไปวางในเขตปล่อยตัวของฝ่ายตรงข้ามได้สำเร็จ

2.1) กล่องสีน้ำเงินกล่องละ 1 คะแนน

2.2) กล่องสีแดงกล่องละ 2 คะแนน

2.3) กล่องสีขาวทั้ง 6 ด้านจะมีคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 6 คะแนน โดยนับคะแนนที่อยู่ด้านบนเมื่อนำมาวางเท่านั้น

3) การตัดสินผู้ชนะ จะตัดสินตามเงื่อนไขดังนี้

3.1) ทีมที่ทำคะแนนได้มากกว่า

3.2) กรณีที่ทำคะแนนได้เท่ากันให้ทีมที่วางกล่องขาวได้เป็นผู้ชนะ

3.3) กรณีที่คะแนนเท่ากันแต่ไม่มีทีมใดวางกล่องขาวได้ ต้องแข่งใหม่

3.4) กรณีที่ไม่สามารถหาผู้ชนะจากเงื่อนไขที่กล่าวมาได้ คณะกรรมการตัดสินเป็นผู้ชี้ขาดหาผู้ชนะ

### 2.11.6 การทำผิดกติกาและการหักคะแนน

การกระทำต่อไปนี้ถือว่าเป็นการทำผิดกติกาและจะถูกหัก 1 คะแนน

1) หุ่นยนต์บังคับด้วยมือหรือผู้ควบคุมหุ่นยนต์ ไปสัมผัสพื้นหรือยื่นล้ำเข้าไปในถังเก็บกล่องของทีมคู่แข่งขัน

2) หุ่นยนต์บังคับด้วยมือออกนอกเขตสนาม (หุ่นยนต์อยู่นอกเขตสนามทุกส่วน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) หุ่นยนต์ทุกประเภทของแต่ละทีมสามารถสัมผัสกัน รุนแรงจนเกินสมควรหรือหุ่นยนต์ของอีกทีมได้รับความเสียหาย

4) ผู้เข้าแข่งขันหุ่นยนต์สัมผัสหุ่นยนต์ใดๆ หลังจากที่เริ่มการแข่งขันแล้ว

5) หุ่นยนต์ใดๆถือกล่องสีขาวไว้แล้วไม่นำไปวางในเขตทำคะแนนภายในเวลา 15 วินาที จะถูกตัดคะแนนทุกๆ 3 วินาที

6) หุ่นยนต์บังคับด้วยมือหยิบกล่องสีขาวหลังจากวางกล่องสีขาวก่อน 10 วินาที

**2.11.7 การหมดคุณสมบัติในฐานะผู้เข้าร่วมการแข่งขัน**

การกระทำต่อไปนี้จะถือว่าเป็นการผิดกติกา และทีมนั้นมีสิทธิจะถูกตัดสินให้แพ้ทันที

1) การพยายามทำให้เกิดความเสียหายกับสนามแข่งขันและอุปกรณ์ต่างๆ (เช่นกล่อง) หรือหุ่นยนต์ของฝ่ายตรงข้าม

2) การกระทำใดๆ ที่ไม่เป็นไปตามกฎกติกา และขาดน้ำใจนักกีฬา

**2.11.8 ความปลอดภัย**

1) ผู้ประดิษฐ์ต้องประดิษฐ์หุ่นยนต์ที่มีความปลอดภัย ไม่เป็นอันตรายต่อผู้เข้าแข่งขัน กรรมการและผู้ชม

2) กรณีที่ใช้แสงเลเซอร์ ต้องติดตั้งในที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้เข้าแข่งขัน กรรมการและผู้ชม

**2.11.9 อื่นๆ**

1) การกระทำใดๆ ที่ไม่ได้ระบุในกติกา ให้คณะกรรมการมีอำนาจในการตัดสินใจอีกครั้งสุดท้าย

2) ในกรณีที่มีการโต้แย้งเกิดขึ้น การตัดสินของคณะกรรมการถือว่าเป็นที่สิ้นสุด

3) คณะกรรมการแข่งขัน จะเป็นผู้แจ้งการแก้ไขกฎกติกาใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ภายหลัง

4) หุ่นยนต์ที่สร้างต้องหลีกเลี่ยงการทำให้สนามแข่งขันและชิ้นส่วนอุปกรณ์เสียหาย

**2.11.10 รางวัลการแข่งขัน**

1) รางวัลชนะเลิศ

2) รางวัลรองชนะเลิศอันดับหนึ่ง

3) รางวัลรองชนะเลิศอันดับสอง

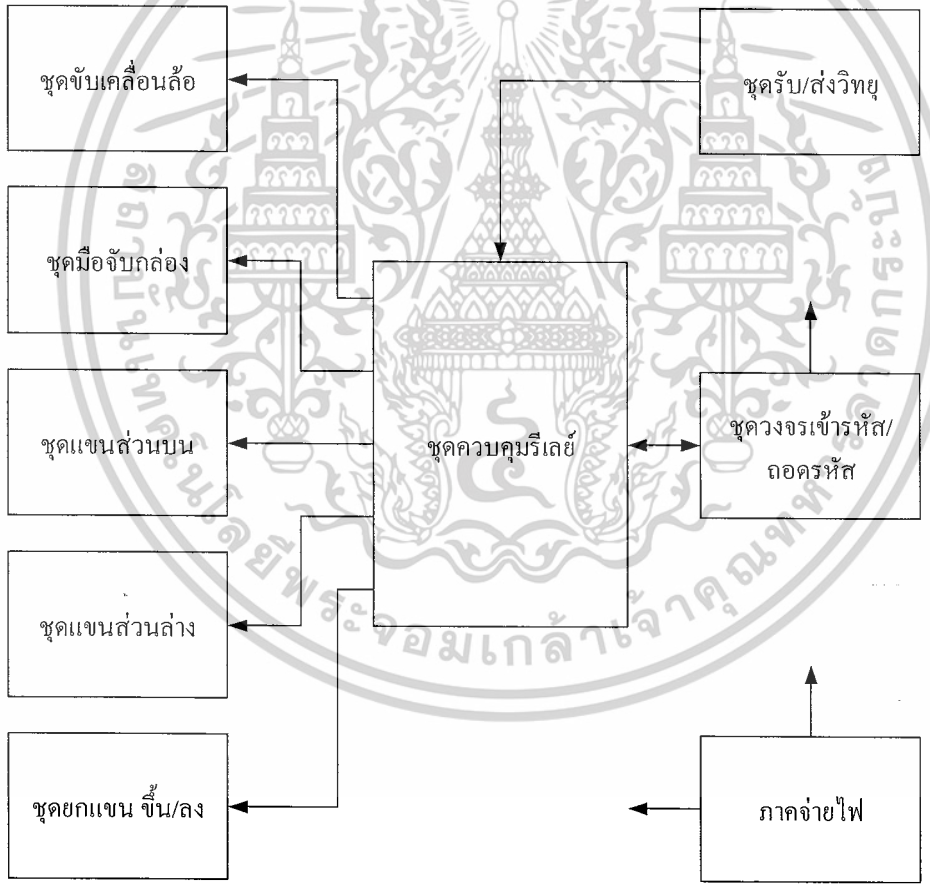
4) รางวัลรองชนะเลิศอันดับสาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

## 3.1 กล่าวนำ

การออกแบบและการสร้างเครื่องหุ่นยนต์บังคับไร้สายได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกันคือ ส่วนที่ 1 เป็นส่วนของการออกแบบวงจรที่ใช้ในการควบคุมแขนหุ่นยนต์ ส่วนที่ 2 คือ ส่วนของการออกแบบวงจรที่ใช้บังคับการขับเคลื่อนของล้อ และส่วนที่ 3 คือ ส่วนของการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 ผังการทำงานรวมของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 ดังในรูปที่ 3.1




**รูปที่ 3.1** ผังการทำงานของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

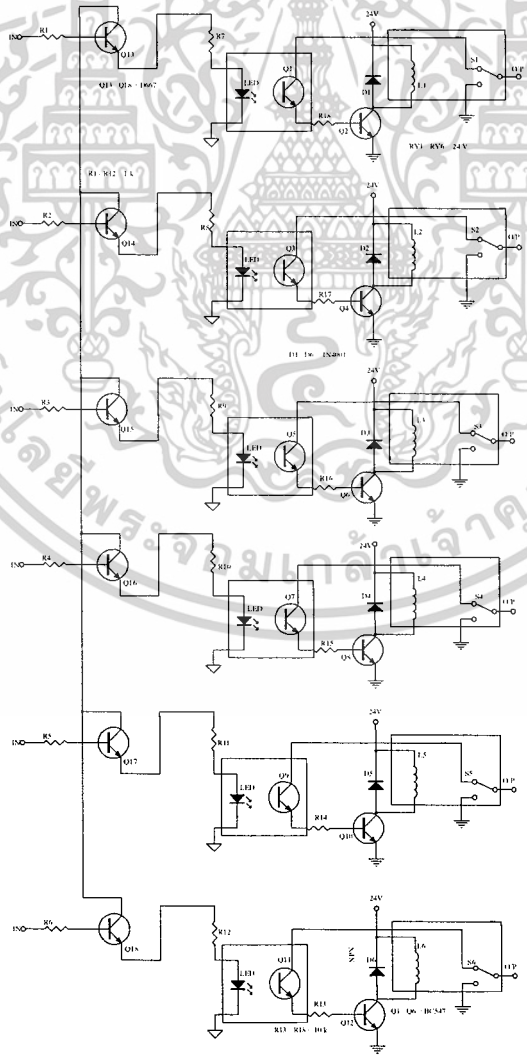
โดยหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 ประกอบด้วยส่วนของวงจรต่างๆ ดังนี้ คือ ส่วนของ วงจรควบคุมรีเลย์ วงจรชุดส่งและชุดรับคลื่นวิทยุ วงจรชุดเข้ารหัสและถอดรหัส ชุดแขนจับกล่อง ชุดขับเคลื่อนล้อ ซึ่งมีการออกแบบ การสร้าง และการทำงานดังนี้

## 3.2 การออกแบบวงจร

### 3.2.1 วงจรควบคุมรีเลย์การยกกล่อง

**1) การออกแบบและการสร้าง**

วงจรควบคุมรีเลย์เป็นวงจรในส่วนที่รับคำสั่งจากวงจรประมวลผลกลาง เพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ แขนของหุ่นยนต์ มือจับกล่อง แสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีการทำงานดังนี้



**รูปที่ 3.2** วงจรควบคุมรีเลย์การยกกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

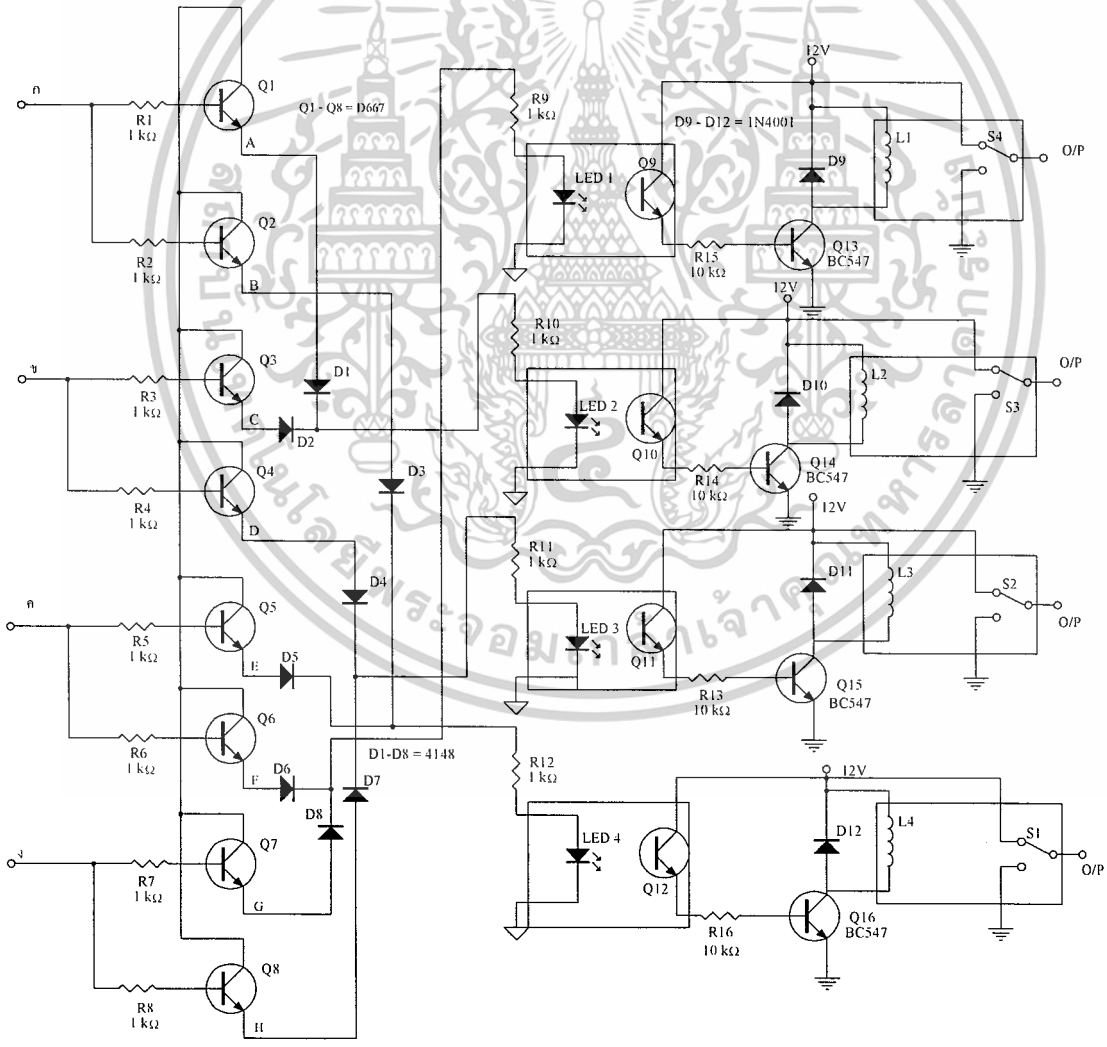
**2) การทำงาน**

เมื่อทำการจ่ายไฟให้กับวงจรและวงจรได้รับสัญญาณมาจากชุดรับคำสั่งมาจากชุดวิทยุ จะพบว่าที่ $Q_1$ เบอร์ D667 จะเป็นเหมือนสวิตซ์ที่คอยจ่ายไฟส่งต่อไปยังตัวออปโตแล้วส่งผ่านไปยังรีเลย์ เพื่อให้รีเลย์ทำการสับสวิตซ์เพื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์มอเตอร์จึงจะสามารถทำงานได้

## 3.2.2 วงจรควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ

**1) การออกแบบและการสร้าง**

วงจรควบคุมรีเลย์เป็นวงจรในส่วนที่รับคำสั่งจากชุดวิทยุ เพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของล้อที่ใช้วิ่งของหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งมีการทำงานดังนี้




**รูปที่ 3.3** วงจรควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ

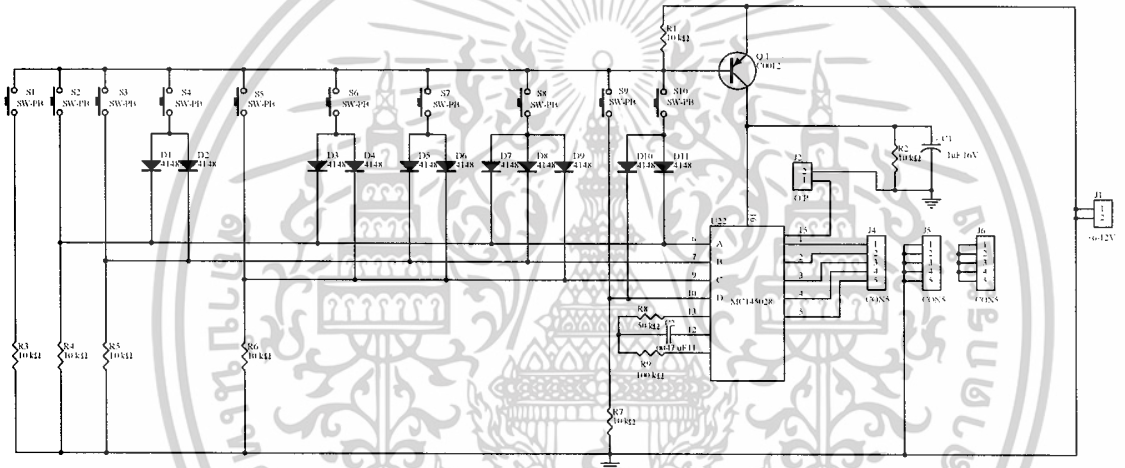
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2) การทำงาน**

วงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชุดขับเคลื่อนล้อนี้ได้รับคำสั่งมาจากการกดสวิตซ์ที่ชุดส่งสัญญาณ โดยการทำงานจะทำงานเหมือนวงจรขับรีเลย์การยกกล่อง แต่มีข้อแตกต่างที่ วงจรควบคุมชุดขับเคลื่อนล้อนี้จะทำงานเป็นคู่ จากกวงจรที่ (ก) จะเป็นการสั่งให้ล้อหมุนไปด้านหน้าชุดที่ควบคุมคือ F,G ที่ (ข) ทำการเลี้ยวซ้าย ชุดที่ควบคุมคือ A,C ที่ (ค) เป็นการสั่งให้เลี้ยวขวาชุดที่ควบคุมคือ D,H ที่ (ง) เป็นการสั่งให้ถอยหลัง ชุดที่ควบคุมคือ B,E เพื่อให้มอเตอร์ทำงานตามคำสั่ง

### 3.2.3 วงจรเข้ารหัส

**1) การออกแบบและการสร้าง**



**รูปที่ 3.4** วงจรเข้ารหัส

**2) การทำงาน**

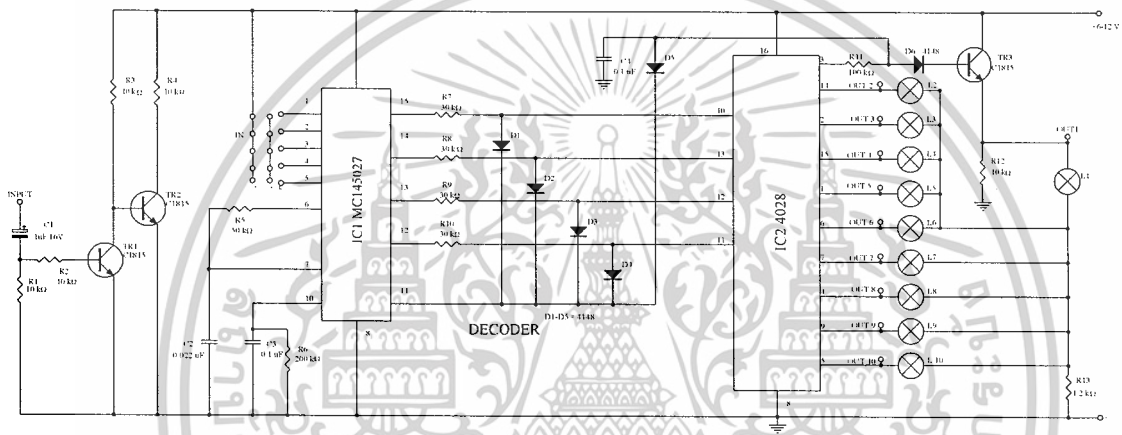
อุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ในการเข้ารหัสสัญญาณควบคุมของวงจรเครื่องส่งรีโมทคอนโทรลเป็นไอซีเบอร์ MC145026 การตั้งรหัสให้กับขาไอซี ทำได้ด้วยการจัดสถานะที่ขาแอดเดรส A1-A9 การจัดสถานะที่ขาแอดเดรสแต่ละขามี 3 แบบคือ สถานะ 1 (ต่อเข้ากับไฟบวก) สถานะ 0 (ต่อเข้ากับกราวด์) และสถานะเปิดวงจรคือเว้นว่างไว้ ไอซีเบอร์ MC145026 มีขาแอดเดรส 9 ขาคือ 1,2,3,4,5,6,7,9,10 และมีขาสัญญาณออก 1 ขา ไอซีเบอร์นี้ทำงานด้วยการส่งข้อมูลแบบขนานที่ถูกกำหนดด้วยการตั้งรหัสทางขาแอดเดรส ให้ปรากฏเรียงลำดับออกเป็นข้อมูลอนุกรมทางขาสัญญาณออก ขา 14 เป็นขาควบคุมการทานของไอซี เมื่อใดที่ขานี้มีสถานะเป็นลอจิก “1” ไอซีนี้จะหยุดการส่งข้อมูลออก จากการต่อวงจรที่ขาแอดเดรสร่วมกันระหว่างไดโอด D1-D11 และตัวต่านทาน R6-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R9 จะมีผลทำให้การกำหนดสถานะเปิดวงจรที่ขาแอดเดรสเป็น “0” เนื่องจากขาแอดเดรสจะถูกต่อลงกราวด์โดยผ่านตัวต้านทานค่า 10 kΩ ถ้ามีการกดปุ่มสวิตซ์ ขาแอดเดรสจะมีสถานะเป็นลอจิก “1” ทันทีเพราะได้รับแรงดันไฟบวกโดยผ่านไดโอด การกดสวิตซ์ในเครื่องส่งเพื่อกำหนดรหัสช่องควบคุมหลักการของรหัสเลขฐานสอง เพื่อนำค่าน้ำหนักประจำบิตที่ตรงสวิตซ์กดติด-ปล่อยดับและตำแหน่งมาบวกกัน ผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าลำดับของช่องบังคับควบคุมที่ต้องการ

### 3.2.4 วงจรถอดรหัส

**1) การออกแบบและการสร้าง**




**รูปที่ 3.5** วงจรถอดรหัส

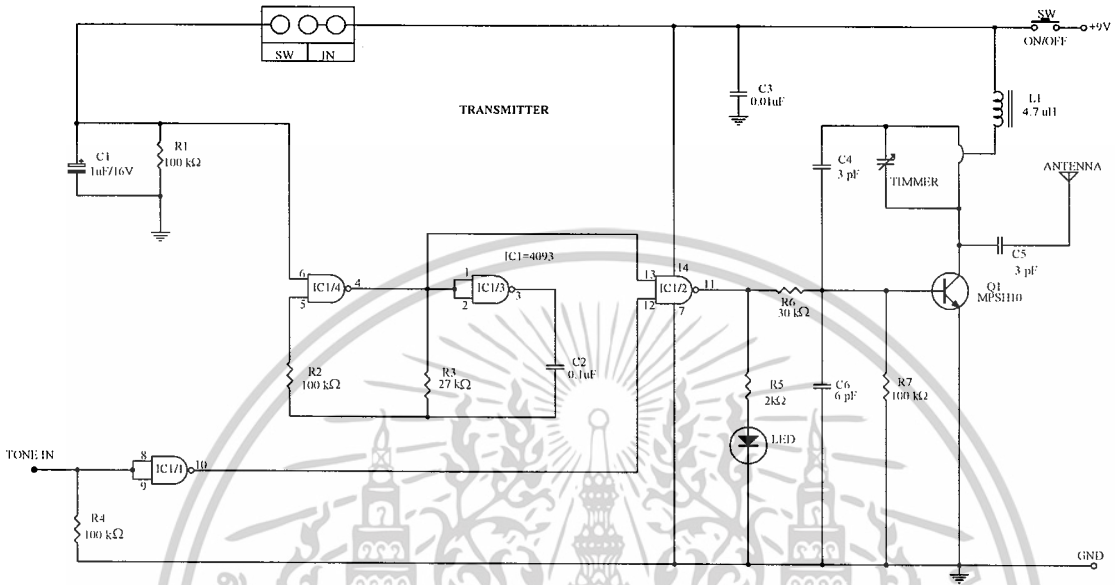
**2) การทำงาน**

ในวงจรถอดรหัสนี้ได้ใช้ไอซีเบอร์ MC145027 ทำหน้าที่เป็นวงจรถอดรหัสซึ่งจะทำการถ่ายข้อมูล 4บิตสุดท้ายจาก 9 บิต ของชุดข้อมูลดิจิตอลที่มีรหัสตรงกับที่ตั้งไว้ให้ปรากฏออกทางขาข้อมูลออกไปเข้าวงจรถอดรหัส ในขณะเดียวกันที่ขา VT ของไอซีเบอร์ MC145027 จะเปลี่ยนสถานะจากลอจิก “0” ไปเป็นลอจิก “1” และถูกส่งเข้าไปยังวงจรรีเซต สัญญาณสถานะลอจิก “1” ที่ส่งเข้ามากระตุ้นวงจรขับรีเลย์จะต้องคงสถานะลอจิก “1” อยู่เป็นเวลา 2 วินาทีจึงจะทำให้วงจรนี้ทำงานขับรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 วงจรชุดส่งคลื่นวิทยุ

**1) การออกแบบและการสร้าง**




**รูปที่ 3.6** วงจรชุดส่งคลื่นวิทยุ

**2) การทำงาน**

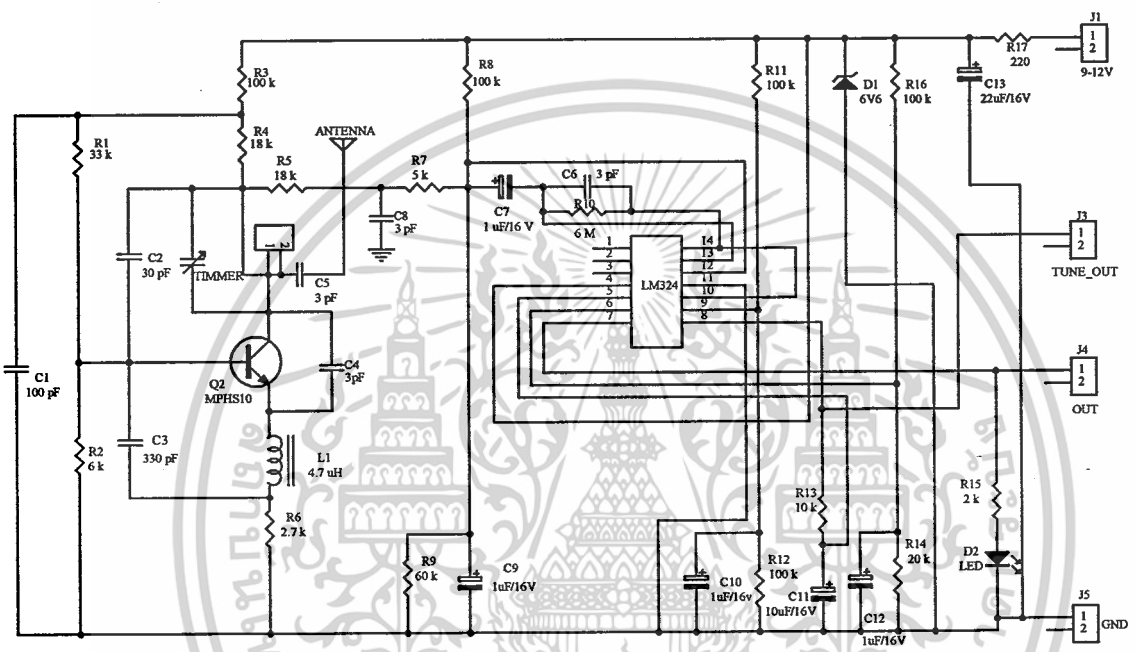
เครื่องส่งรีโมทคอนโทรล 10 ช่องนี้ใช้แรงดันไฟจากแหล่งจ่ายซึ่งเป็นถ่านแบตเตอรี่ 9 โวลต์ขนาดเล็ก ได้ใช้ไอซีเบอร์ 4093 ทำงานร่วมกับวงจรทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม โดยมีคาบเวลาของสัญญาณพัลส์ในช่วงสถานะลอจิก “1” และช่วงสถานะลอจิก “0” สลับกันไปตลอด และมีไดโอดเปล่งแสง ทำหน้าที่เป็นตัวแสดงการสลับสถานะกัน โดยสามารถสั่งงานบังคับควบคุมได้ไกลประมาณ 20 เมตรในที่โล่งแต่ในการใช้งานทั่วไปรัศมีการทำงานของเครื่องรีโมทคอนโทรลอาจเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสภาพแวดล้อมของการใช้งานในแต่ละแห่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.6 วงจรชุดรับคลื่นวิทยุ

**1) การออกแบบและการสร้าง**

วงจรชุดรับสัญญาณนี้จะทำงานร่วมกับวงจรชุดส่งสัญญาณทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับการตัดผ่านของคลื่นสัญญาณ เมื่อมีการส่งเข้ามา ทำให้เกิดแรงไฟสัญญาณของวงจรถอดรหัสเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของชุดส่งสัญญาณ




**รูปที่ 3.7 วงจรชุดรับคลื่นวิทยุ**

**2) การทำงาน**

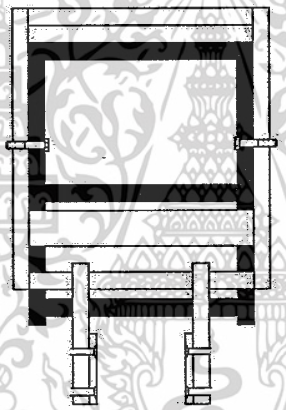
ทรานซิสเตอร์เบอร์ MPHS10 และอุปกรณ์ร่วมทำหน้าที่เป็นวงจรรับสัญญาณจากคลื่นวิทยุโดยมีทริมเมอร์ทำหน้าที่เป็นวงจรจูนรับคลื่นวิทยุย่าน UHF ความถี่ประมาณ 400 เมกะเฮิรตซ์ ให้เข้ามายังวงจรภาครับ วงจรภาครับสัญญาณคลื่นวิทยุจะดีเทคเตอร์สัญญาณออกทางเอาต์พุตและส่งสัญญาณออกผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ไปเข้าวงจรขยายสัญญาณที่หนึ่งโดยมี IC1/1 และอุปกรณ์ร่วมทำหน้าที่ขยายสัญญาณและส่งสัญญาณออกไปขยายต่อที่วงจรขยายสัญญาณที่สอง ซึ่งมี IC1/2 และอุปกรณ์ร่วมทำหน้าที่ขยายกลับเฟสของสัญญาณอีกครั้ง สัญญาณออกจากวงจรนี้ก็จะถูกส่งออกไปยังวงจรกลับสัญญาณเนื่องจากสัญญาณที่ถูกส่งเข้ามาอาจจะเกิดการผิดเพี้ยนเนื่องจากสัญญาณรบกวน แล้วส่งต่อไปยังวงจรถอดรหัสต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2

### 3.3.1 แขนจับกล่อง

แขนจับกล่องถูกออกแบบและจัดทำขึ้นเพื่อทำหน้าที่ในการเก็บกล่องที่วางอยู่ เพื่อให้ง่ายต่อการเก็บกล่อง ได้ใช้วัสดุที่อลูมิเนียม เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เบา มีความทน ในส่วนของมือจับกล่องนั้น ได้เพิ่มยางพาราไว้ที่มือจับเนื่องจากยางพารามีความหนืดสูง สามารถที่จะยึดกล่องที่จับไว้ได้นาน เพราะในขณะที่มีการเก็บกล่องนั้น กล่องมีพื้นผิวที่เรียบยากต่อการหยิบจับได้ จึงเลือกใช้วัสดุที่เป็นยางพาราในการมือจับกล่อง โดยได้ออกแบบเป็นสองตรงข้ามกันและมีทิศทางการหมุนเข้าหากัน ในส่วนของแขนนั้นให้มีลักษณะการยืดตัวและหดตัวได้ เพื่อที่จะทำการหยิบกล่องที่อยู่ออกไกลหรืออยู่นอกสนามได้ และสามารถที่จะยื่นส่วนมือจับกล่องวางกล่องในรั้วที่กั้นสูง 10 เซนติเมตรได้

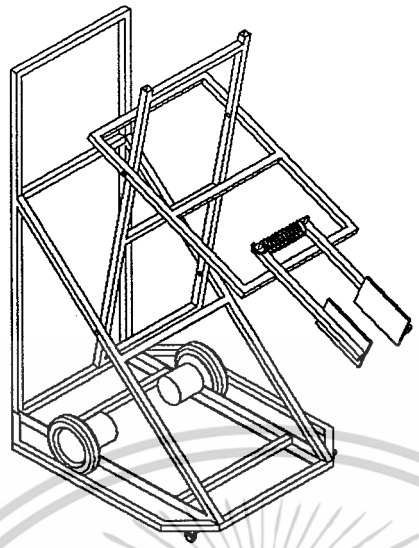


**รูปที่ 3.8 ชุดจับกล่อง**

### 3.3.2 การออกแบบโครงที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์

การออกแบบและจัดทำโครงที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ จะเลือกใช้วัสดุและออกแบบให้สามารถรองรับอุปกรณ์ทั้งหมดที่จะนำมาทำการติดตั้งบนตัวโครงได้เป็นอย่างดี มีความคงทนและแข็งแรง เนื่องจากอุปกรณ์บางอย่างมีน้ำหนักมาก ซึ่งหุ่นยนต์บังคับวิทยุไร้สายนี้ได้เลือกใช้วัสดุที่เป็นอลูมิเนียม มาเป็นวัสดุในการทำโครงเนื่องจากมีคุณสมบัติที่แข็งแรงคงทน น้ำหนักเบา และรับน้ำหนักได้ดี ซึ่งลักษณะและขนาดของการออกแบบเป็นดังรูปที่ 3.9

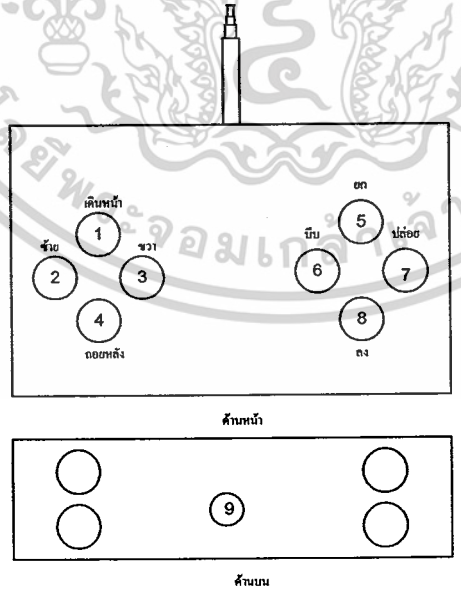
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.9** โครงที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์

### 3.3.3 การออกแบบรีโมทควบคุม

การออกแบบรีโมทควบคุมการทำงานหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 นี้มีลักษณะและขนาดของการออกแบบดังรูปที่ 3.10




**รูปที่ 3.10** รีโมทควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบและหน้าที่ของปุ่มควบคุมการทำงานบนรีโมทควบคุมมีดังนี้

① หน้าที่ปุ่มกดเดินหน้า

② หน้าที่ปุ่มกดเลี้ยวซ้าย

③ หน้าที่ปุ่มกดเลี้ยวขวา

④ หน้าที่ปุ่มกดถอยหลัง

⑤ หน้าที่ปุ่มกดให้แขนยกขึ้น

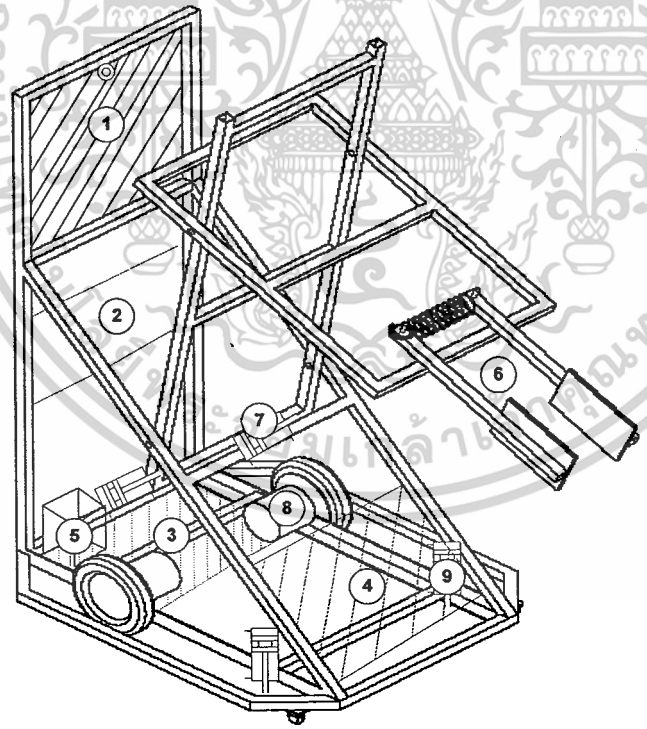
⑥ หน้าที่ปุ่มกดให้แขนลง

⑦ หน้าที่ปุ่มกดสั่งให้มือบีบกล่องไว้

⑧ หน้าที่ปุ่มกดสั่งให้ปล่อยกล่อง

⑨ สายอากาศส่งสัญญาณ

### 3.3.4 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ บนโครงสร้างของหุ่นยนต์




**รูปที่ 3.11** อุปกรณ์ที่ได้นำมาติดตั้งบนโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.11 อุปกรณ์ที่ได้นำมาติดตั้งบนโครงที่ได้ออกแบบและจัดทำ ประกอบด้วย

① คำอธิบายการใช้งานของหุ่นยนต์

② รายชื่อผู้จัดทำโครงงาน

③ วงจรควบคุมการทำงานต่างๆ ได้แก่ วงจรควบคุมรีเลย์, วงจรชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของล้อ วงจรชุดควบคุมการจับกล่อง และวงจรชุดรับสัญญาณ

④ บอร์ดแสดงชื่อของหุ่นยนต์

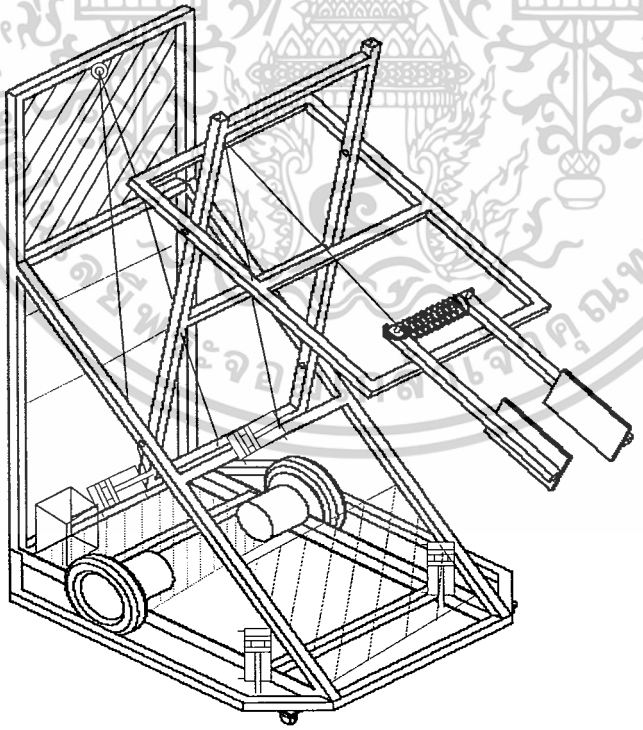
⑤ ส่วนที่ติดตั้งแบตเตอรี่ มีอยู่ 2 ก้อนทั้งฝั่งซ้ายและขวา

⑥ ส่วนของมือจับกล่องโดยจะมีสปริงเป็นตัวช่วยในการกางมือและบีบเข้า

⑦ มอเตอร์ที่ใช้ในการดึงสลิงเพื่อควบคุมแขนส่วนบนและมือจับกล่อง

⑧ ส่วนมอเตอร์และล้อที่ติดตั้ง

⑨ มอเตอร์ปีก



**รูปที่ 3.12** หุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# การทดลองและผลการทดลอง

## 4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของวงจรในส่วนต่างๆ ของโครงงานหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 ที่ได้ออกแบบและจัดสร้างขึ้นนี้ว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ในตอนต้นหรือไม่ เนื่องจากการทดลองเป็นสิ่งที่ทำให้มองเห็นภาพการทำงานอย่างชัดเจน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นรวมทั้งได้ทราบผลที่ได้จากการทดลองว่าตรงตามเงื่อนไขและขอบเขตที่กำหนดหรือไม่ สามารถทำการแก้ไขก่อนที่จะนำไปประกอบเป็นตัวหุ่นยนต์ ซึ่งจะทำให้หาสาเหตุของปัญหาได้ยาก โดยในการทดลองจะแบ่งการทดลองวงจรออกเป็นส่วนๆ ทีละวงจร ได้แก่ ชุดควบคุมการขับเคลื่อนล้อ ชุดควบคุมการยกกล่อง วงจรควบคุมรีเลย์ วงจรรับ-ส่งคลื่นวิทยุ และวงจรเข้ารหัส-ถอดรหัส

## 4.2 การทดลองการทำงานของวงจร

### 4.2.1 วงจรรีเลย์ชุดควบคุมการขับเคลื่อนล้อ

การทดลองนี้เป็นการทดลองการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ โดยใช้รีเลย์ เป็นตัวควบคุมและติดต่อกับระบบการทำงานต่างๆ คือ จะรับค่าจากสวิตช์เริ่มต้น จากนั้นทำการส่งสัญญาณเอาต์พุตยังวงจรควบคุมรีเลย์ เป็นแรงดัน 4.6 โวลต์ เพื่อสั่งการไปยังวงจรควบคุมรีเลย์เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ โดยวงจรควบคุมรีเลย์นี้จะใช้รีเลย์ในการตัดต่อแรงดันไฟ 12 โวลต์ จ่ายให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ตามคำสั่ง โดยมีลำดับขั้นการทดลองดังนี้

1) ประกอบวงจรตามรูปที่ 3.3
2) ต่อแรงดันไฟตรง 12 โวลต์ ให้กับวงจร
3) ทำการกดสวิตช์ที่ปุ่มรีโมท
4) วัดแรงดันไฟที่เอาต์พุตแต่ละตัวบันทึกผลที่ได้
5) วัดแรงดันไฟขณะที่ไม่มีการกดสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** การทดลองวงจรควบคุมรีเลย์ชุดขับเคลื่อนล้อ

| สถานะของสวิตช์ที่พอร์ต P1 | แรงดันเอาต์พุต |
|---|---|
| ไม่มีการกดสวิตช์ | 0 โวลต์ |
| มีการกดสวิตช์ | 4.6โวลต์ |

จากการทดลองเมื่อทำการกดสวิตช์เริ่มต้น ก็จะเกิดส่งสัญญาณเอาต์พุตไปจ่ายให้แก่วงจรควบคุมรีเลย์ เป็นแรงดันไฟ 4.6 โวลต์ ทำให้วงจรควบคุมรีเลย์สามารถทำงานได้ โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตไปทริกให้รีเลย์ตัดต่อแรงดันไฟ 12 โวลต์ที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ให้ทำงานตามที่ได้ตั้งไว้

### 4.2.2 วงจรควบคุมรีเลย์การจับกล่อง

การทดลองนี้เป็นการทดลองการทำงานของวงจรควบคุมรีเลย์การจับกล่อง โดยวงจรควบคุมรีเลย์นี้จะทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อที่จะนำค่าที่ได้นี้ไปใช้งานในการควบคุมการทำงานของมือจับกล่อง โดยมีลำดับขั้นในการทดลองดังนี้

1) ประกอบวงจรตามรูปที่ 3.2

2) ต่อแรงดันไฟตรง 24 โวลต์ ให้กับวงจรควบคุมรีเลย์

3) วัดแรงดันไฟด้านเอาต์พุตของรีเลย์ และบันทึกผลที่ได้

**ตารางที่ 4.2** การทดลองวงจรควบคุมรีเลย์การจับกล่อง

| สัญญาณอินพุต | แรงดันไฟด้านเอาต์พุต |
|---|---|
| ลอจิก “0” | 0 โวลต์ |
| ลอจิก “1” | 24โวลต์ |

จากการทดลอง เมื่อทำการป้อนสัญญาณอินพุต ลอจิก “1” ให้กับวงจรควบคุมรีเลย์นี้ จะทำให้วงวงควบคุมรีเลย์ทำงาน โดยรีเลย์จะทำหน้าที่ตัดต่อแรงดันไฟ 24 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ มอเตอร์แขนยก และมอเตอร์ที่ใช้หนีบกล่อง โดยการทำงานของอุปกรณ์นี้จะขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุตที่มาทริกจะต้องเป็น ลอจิก “1” เท่านั้น อุปกรณ์จึงจะสามารถทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 วงจรรับ – ส่ง คลื่นสัญญาณวิทยุที่ใช้ในการควบคุม

การทดลองในส่วนนี้ เป็นการทดลองการทำงานของตัวตรวจจับการส่งสัญญาณวิทยุความถี่ 400 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้ในการควบคุม โดยมีลำดับขั้นการทดลองดังนี้

1) ประกอบวงจรตามรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7

2) วางอุปกรณ์ตัวรับและตัวส่งสัญญาณความถี่ให้ห่างกันเพื่อทดสอบ จากนั้นต่อแหล่งจ่ายไฟ 9 โวลต์ให้กับตัวรีโมทควบคุมและจ่ายไฟให้กับตัวรับสัญญาณ

3) สังเกตไฟแสดงสถานการณ์ทำงานของชุดรับสัญญาณ ในกรณีที่ไม่มีวัตถุมากั้นคลื่นสัญญาณ นำมัลติมิเตอร์ไปวัดทางด้านเอาต์พุตของตัวรับสัญญาณ บันทึกผลลงในตารางที่ 4.3

4) นำวัตถุมากั้นสัญญาณ(โดยได้อยู่นอกห้องซึ่งมีกำแพงกั้น) ของตัวรับสัญญาณคลื่นวิทยุสังเกตการเปลี่ยนแปลงของไฟแสดงสถานะการทำงาน นำมัลติมิเตอร์ไปวัดทางด้านเอาต์พุตของตัวรับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และบันทึกผลลงในตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** การทำงานของตัวรับสัญญาณ

| การทดลอง | แรงดันไฟทางด้านเอาต์พุต |
|---|---|
| ไม่มีวัตถุกั้น | 5 โวลต์ |
| มีวัตถุกั้น | 4.7 โวลต์ |

จากการทดลองพบว่าเมื่อมีวัตถุมากั้นตัวรับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ จะมีแรงดันทางด้านเอาต์พุต 5โวลต์ แสดงว่าเมื่อมีการส่งสัญญาณ ที่ชุดรับจะตรวจจับและจะส่งสัญญาณไปให้กับวงจร แต่ในกรณีที่ไม่มีวัตถุมากั้นสัญญาณ ไม่มีผลต่อการส่งมากนัก นอกจากจะทำการส่งสัญญาณระยะไกลเกินกว่า 20 เมตร ทำให้สัญญาณส่งถึงกันได้

## 4.3 การทดสอบระบบกลไกของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2

### 4.3.1 การทดสอบการทำงานของแขนจับกล่อง

ในส่วนของการทดสอบการทำงานของแขนที่ใช้ในการจับกล่องนี้จะเป็นการทดสอบความเร็วในการยื่นแขนเพื่อทำการเก็บกล่องและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บกล่องแต่ละกล่องว่ามีความเร็วว่าเป็นเท่าใดจึงจะเหมาะสมและทำให้หุ่นยนต์บังคับวิทยุไร้สายนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบพบว่าความเร็วในการยื่นแขนออกเพื่อทำการหยิบกล่อง ในการยื่นแขนที่เหมาะสมที่สุดคือ ความเร็วรอบของมอเตอร์แขนอยู่ที่ 120 รอบ ต่อ นาที ใช้เวลาในการบีบมือเข้าเพื่อไม่ให้กล่องเคลื่อนที่เป็นเวลา 30 วินาทีจึงจะทำให้สามารถเก็บกล่องได้เพียงพอกับเวลาที่ได้กำหนดไว้ เพื่อที่จะทำการเก็บกล่องได้อย่างมีประสิทธิภาพและทันเวลา โดยถ้าแขนจับกล่องมีความเร็วในการยื่นแขนออกน้อยกว่านี้ก็จะทำให้เก็บกล่องได้ไม่ทันเวลาตามที่ได้กำหนดไว้ได้ หรือจะต้องใช้เวลาในการเก็บกล่องมากขึ้น แขนจับกล่องมีความเร็วรอบในการหมุนมากกว่านี้จะมีผลทำให้ไม่สามารถหยิบหรือจับกล่องไว้ได้เพราะมีแรงเหวี่ยงสูง มีผลทำให้กล่องเคลื่อนที่ออกไปยังจุดต่างๆ ทำให้เกิดการเก็บกล่องล่าช้าและผิดพลาดได้

### 4.3.2 การทดสอบชุดมือจับกล่อง

ในส่วนของการทดสอบวัสดุที่นำมาทำเป็นมือจับใช้ในการจับกล่องไว้นั้นวัสดุที่ใช้จะต้องมีความหนืดพอที่จะสามารถจับกล่องได้อยู่ไม่ลื่นเพราะกล่องมีพื้นผิวที่เรียบลื่น อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงความความปลอดภัยของกล่องอีกด้วย จากการทดลองนำยางชนิดต่างๆ มาใช้เป็นวัสดุในการทำชุดมือจับกล่อง ซึ่งได้แก่ยางที่ทำจากโฟม ยางที่ทำจากพลาสติก และยางที่ทำจากยางพารา พบว่ายางที่ทำจากยางพารามีความหนืดสูงที่สุด สามารถที่จะจับกล่องไว้ได้เป็นเวลานาน และมีความปลอดภัยต่อกล่องคือเนื้อของยางพาราจะติดกันแน่น ทำให้ไม่มีการเคลื่อนที่ของกล่องขณะที่ทำการจับกล่องอยู่แล้ว จึงเริ่มทำการหล่อยางพาราทำเป็นแผ่นที่ใช้ในการปูพื้นผิวมือจับจำนวน 2 แผ่น แล้วนำไปติดตั้งที่มือจับโดยในครั้งแรกจะให้มือเคลื่อนที่เข้าเพียงอันเดียว โดยอีกอันจะยึดติดอยู่กับที่ทำให้ต้องติดตั้งยางพาราที่มือให้ส่วนปลายมือมีความหนากว่าตรงกลางเล็กน้อย เพื่อให้มือจับสามารถจับได้ได้โดยไม่ติดขัด ทำให้ในขณะที่กล่องวางอยู่ในมือ จะสามารถทำการบีบเพื่อให้มือเกิดการจับที่แน่นขึ้น เนื่องจากถ้าไม่ทำการบีบมือจับกล่องเข้าอาจทำให้กล่องหล่นได้เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่

## 4.4 การทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย

ในส่วนนี้เป็นการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์บังคับวิทยุไร้สาย หลังจากที่ได้ทำการติดตั้งส่วนของกลไก วงจร และอุปกรณ์ต่างๆ บนตัวโครงเหล็กที่ได้ออกแบบและจัดทำขึ้น เพื่อทดสอบว่าเครื่องหุ่นยนต์บังคับวิทยุไร้สายนี้สามารถทำงานได้จริงตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ในตอนต้นของโครงงานหรือไม่ ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการทดลองเก็บกล่องเป็นชุดๆ ชุดละ 1, 2, 3, 4 และ5 กล่อง และดูความสามารถในการเคลื่อนที่และหยิบกล่องของหุ่นยนต์ว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ยังทดลองจับเวลาในเก็บกล่องไป ณ จุดใส่กล่องด้วย เพื่อนำผลที่ได้มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าเฉลี่ยของการเก็บกล่องว่าสามารถเก็บกล่องได้มีประสิทธิภาพเพียงใด และใช้เวลาในการเก็บกล่องมากน้อยเพียงใด ซึ่งมีลำดับขั้นการทดลองดังหัวข้อที่ 4.4.1

### 4.4.1 การทดลองชุดขับเคลื่อน

**1) ลำดับขั้นการทดลอง**

1.1) นำล้อที่จัดเตรียมมาประกอบเข้ากับมอเตอร์ 2 ตัว

1.2) ประกอบชุดล้อเข้ากับตัวหุ่นยนต์ในตำแหน่งที่ต้องการ

1.3) ต่อชุดขับมอเตอร์เข้ากับมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว

1.4) ทำการจ่ายไฟให้กับวงจรเพื่อทำการทดสอบ

1.5) ทำการทดสอบการวิ่งของล้อพร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง

**2) ผลการทดลอง**

จากการทดลองการวิ่งของหุ่นยนต์เมื่อไม่ต้องมีการจับกล่องได้ผลสรุปดังตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

**ตารางที่ 4.4** ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าของหุ่นยนต์

| ระยะทาง/วินาที | จำนวนครั้งที่ทดสอบ (วินาที) | | | ค่าเฉลี่ย (วินาที) |
|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | |
| 1 เมตร | 01.66 | 01.29 | 01.78 | 01.53 |
| 5 เมตร | 05.00 | 04.98 | 04.60 | 4.62 |
| 10 เมตร | 10.24 | 10.98 | 10.58 | 10.62 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.5** ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ถอยหลังของหุ่นยนต์

| ระยะทาง/ วินาที | จำนวนครั้งที่ทดสอบ (วินาที) | | | ค่าเฉลี่ย (วินาที) |
|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | |
| 1 เมตร | 01.00 | 00.99 | 01.03 | 01.006 |
| 5 เมตร | 05.00 | 04.28 | 04.43 | 04.62 |
| 10 เมตร | 10.26 | 10.02 | 10.58 | 10.626 |

### 4.4.2 การทดลองชุดควบคุมการหนีบกล่อง

**1) ลำดับขั้นการทดลอง**

1.1) ประกอบสลิงค์ให้กับสปริง

1.2) ต่อมอเตอร์เข้ากับแขนของหุ่นยนต์

1.3) จ่ายไฟให้กับมอเตอร์เพื่อทดสอบการทำงาน

1.4) นำกล่องมาทดสอบการหนีบกล่อง สังเกตและบันทึกผลการทดลอง

**2) ผลการทดลอง**

เมื่อทำการทดสอบการหนีบกล่องโดยทดสอบทีละ 1 กล่องจนครบ 4 กล่องผลปรากฏว่าสามารถหนีบกล่องได้ดีโดยสามารถหนีบกล่องได้ตั้งแต่ 1 กล่อง จนถึง 2 กล่อง ได้ภายในครั้งเดียว และระยะเวลาในการหนีบเข้า และหนีบออกของชุดหนีบขณะมีกล่อง 1- 2 ใบ และไม่มีกล่องโดยทำการทดสอบใช้หน่วย การจับเวลาเป็น วินาที ในการทดสอบโดยแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.6** ผลการทดสอบการจับกล่อง

| การทดสอบ | เวลาที่ใช้ (วินาที) |
|---|---|
| บีบมือเข้าขณะไม่มีกล่อง | 00.93 |
| กางมือออกขณะไม่มีการจับกล่อง | 00.63 |
| บีบกล่อง 1 ใบ | 00.78 |
| ปล่อยกล่อง 1 ใบ | 00.37 |
| บีบกล่อง 2 ใบ | 00.76 |
| ปล่อยกล่อง 2 ใบ | 00.37 |

**4.4.3 สรุปผลการทดลอง**

จากการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 มีการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าเฉลี่ยเร็ว 04.62 เมตร/วินาที มีประสิทธิภาพในการจับกล่องอยู่ที่ 00.76 วินาที จึงจะสามารถทำการเก็บกล่องได้คะแนนตามที่ต้องการแต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับผู้บังคับหุ่นยนต์ว่ามีความชำนาญมากน้อยเพียงใดจึงจะทำให้การทำงานของหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# บทสรุป

## 5.1 สรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 เพื่อใช้ในการเก็บกล่องขนาด 20 × 20 เซนติเมตร หนัก 0.5 กิโลกรัม ตัวหุ่นยนต์วิ่งด้วยความเร็ว 1 เมตร ต่อ 5 วินาที ซึ่งใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นตัวควบคุมการทำงานและการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ มีหลักการทำงานคือ เมื่อผู้ใช้งานจ่ายไฟให้กับวงจร และทำการบังคับหุ่นยนต์ให้เก็บกล่องครั้งละ 1 กล่องแล้วนำไปวางในถังคะแนน โดยสามารถทำการบังคับหุ่นยนต์ให้เดินหน้า ถอยหลังได้ตามต้องการ หลังจากเก็บคะแนนจากกล่องแดงและน้ำเงินได้แล้ว ให้ทำการเก็บกล่องสีขาวซึ่งเป็นกล่องลูกเต๋าไว้ในแดนตนเอง เป็นอันสิ้นสุด

จากการสร้างหุ่นยนต์ไร้สาย นี้ทำให้รู้และเข้าใจถึงรายละเอียด คุณสมบัติและหลักการทำงานของการส่งความถี่วิทยุในย่าน UHF ความถี่ 400 เมกะเฮิรตซ์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หลักการทำงานของมอเตอร์ ชุดขับเคลื่อน วงจรที่ใช้ในการควบคุม และสิ่งที่ได้จากการทำโครงงานชิ้นนี้คือ ได้พบปัญหาต่างๆ ในระหว่างการลงมือทำโครงงาน เมื่อพบปัญหาก็ต้องหาวิธีแก้ไขปัญหาและการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม

อย่างไรก็ตาม หุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 ที่ได้จัดทำขึ้นมานี้ยังมีข้อบกพร่องอยู่บ้าง คณะผู้จัดทำได้รวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้น แนวทางแก้ไข และแนวทางการพัฒนา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงงานพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

**1. ปัญหา** มือจับกล่องไม่เหมาะสม มีขนาดความกว้างแคบเกินไปทำให้การเข้าสวมเก็บกล่องเป็นไปได้ยากและยังเป็นการเปลืองเวลาในการเก็บกล่อง

**แนวทางแก้ไข** ขยายขนาดความกว้างของมือจับกล่องให้กว้างขึ้น เพื่อให้สามารถเก็บกล่องได้ตามขีดความสามารถที่กำหนดไว้

**2. ปัญหา** สลิงค์ตกร่อง รอกที่ทำหน้าที่ดึงสลิงค์มีขอบของตัวรอกตื้นทำให้สลิงค์เลื่อนออกมานอกตัวรอก ส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการเลื่อนชุดแขนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แนวทางแก้ไข** เสริมรอกให้มีขอบที่สูงขึ้นให้มากพอกับจำนวนรอบของที่สลิงค์จะไม่ตกร่อง ซึ่งจะไม่ทำให้เสียเวลาในการเลื่อนชุดแขนมากนัก

**3. ปัญหา** มอเตอร์ไม่เสถียร เนื่องจากมอเตอร์ที่จัดหานำมาทำเป็นชุดขับเคลื่อนนั้น เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะของแกนเหมือนกันทำให้เมื่อนำมาใช้งานจริงแกนมอเตอร์จะไม่ตรงกันทั้ง 2 ฝั่ง จึงมีการดัดแปลงให้แกนตรงกันทั้ง 2 ข้าง ส่งผลให้โครงสร้างของมอเตอร์ไม่มั่นคงและเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ จึงไม่สมดุลเท่าที่ควร

**แนวทางแก้ไข** จัดหามอเตอร์ใหม่ให้มีแกนตรงกันทั้ง 2 ฝั่ง จะทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความสมดุล

**4. ปัญหา** สวิตช์ยากต่อการบังคับ ชุดของสวิตช์ที่ใช้บังคับหุ่นยนต์กดแล้วไม่ทำงาน

**แนวทางแก้ไข** ฉีดน้ำยาเพื่อให้สวิตซ์มีหน้าสัมผัสที่สะอาดปราศจากฝุ่นละออง

**5. ปัญหา** วงจรชุดรับ – ส่ง จากเดิมใช้เป็นสัญญาณรีโมท 16 ช่องและไม่สามารถทำการจูนหาสัญญาณที่ต้องการได้ เนื่องจากขาดประสบการณ์ และประกอบรวมไปถึงการออกแบบวงจร ทำให้เสียงบประมาณในการทดลองค่อนข้างสูง และสิ้นเปลืองเวลาในการทดลองทำค่อนข้างมาก

**แนวทางแก้ไข** ปรึกษาผู้ที่มีประสบการณ์ก่อนลงมือปฏิบัติจริงและได้เปลี่ยนมาใช้สัญญาณรีโมท 10 ช่อง แทน

**6. ปัญหา** วงจรภาคขับรีเลย์ส่วนล้อมีปัญหา ทำให้ล้อไม่วิ่ง

**แนวทางแก้ไข** เปลี่ยนรีเลย์จาก 12 โวลต์เป็น รีเลย์ 24 โวลต์

**7. ปัญหา** ล้อฟรี เนื่องจากน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์ ค่อนข้างเบาจึงทำให้ไม่มีแรงไปกดที่ชุดขับเคลื่อนและประกอบกับพื้นสนามไม่เรียบเท่าที่ควรจึงทำให้เวลาแข่งขันเกิดอาการล้อฟรี

**แนวทางแก้ไข** เพิ่มน้ำหนักของหุ่นยนต์ให้มากขึ้น โดยการติดตั้งแบตเตอรี่ไว้ทางด้านหลังของหุ่นยนต์ เพื่อให้สมดุลกับแขนขณะยืดสุดแขนทำให้หุ่นยนต์ไม่ล้มคว่ำไปด้านหน้า

## 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. หุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 ที่ถูกออกแบบมานี้ ยังมีขนาดใหญ่ เคลื่อนย้ายลำบาก ควรพัฒนาตัวเครื่องให้มีขนาดเล็กลง และน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก

2. ออกแบบให้สามารถเก็บกล่องได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่ต้องรอให้วางกล่องชุดแรกลงในถังก่อนแล้วจึงทำการหยิบกล่องชิ้นต่อไป

3. ออกแบบชุดแขนและมือจับกล่องให้สามารถทำการเก็บกล่องได้จำนวนมากในครั้งเดียวและต่อเนื่องโดยที่ไม่เกิดการติดขัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พัฒนาเป็นหุ่นยนต์เก็บกล่องที่มีขนาดเล็กกว่าเดิม น้ำหนักน้อยกว่าเดิม โดยออกแบบชุดแขนและมือจับให้สามารถทำการเก็บกล่องได้มากกว่า 1 กล่องในครั้งเดียว

5. พัฒนาให้เป็นหุ่นยนต์กู้ภัย, เสี่ยงภัย โดยนำไปใช้ในด้านการเสี่ยงภัยและอันตรายต่างๆ แทนมนุษย์ โดยเป็นการป้องกันภัยอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับมนุษย์

6. สร้างหุ่นยนต์อัตโนมัติ เพิ่มขึ้นจากเดิมโดยอาจนำมาช่วยในการเก็บกล่อง หรืออาจใช้ในการกีดขวางการเก็บกล่องของหุ่นยนต์คู่แข่ง จะเป็นผลทำให้เกิดความได้เปรียบในการแข่งขัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม

ดำรง ภัณฑารักษ์สกุล และคณะ.**"หุ่นยนต์รับส่งเอกสารชนิดเคลื่อนที่ตามเส้น."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.สาขาวิชาโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ทวี เลิศปัญญาอนันต์ และคณะ. **"การ์ดแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณดิจิตอลกับอนาล็อก."** อิเล็กทรอนิกส์แอนด์คอนโทรล.หน้า 54.2545

วาที ปริยพงศ์.**เส้นทางสู่นักประดิษฐ์หุ่นยนต์**.ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ: ส.ส.ท..2547

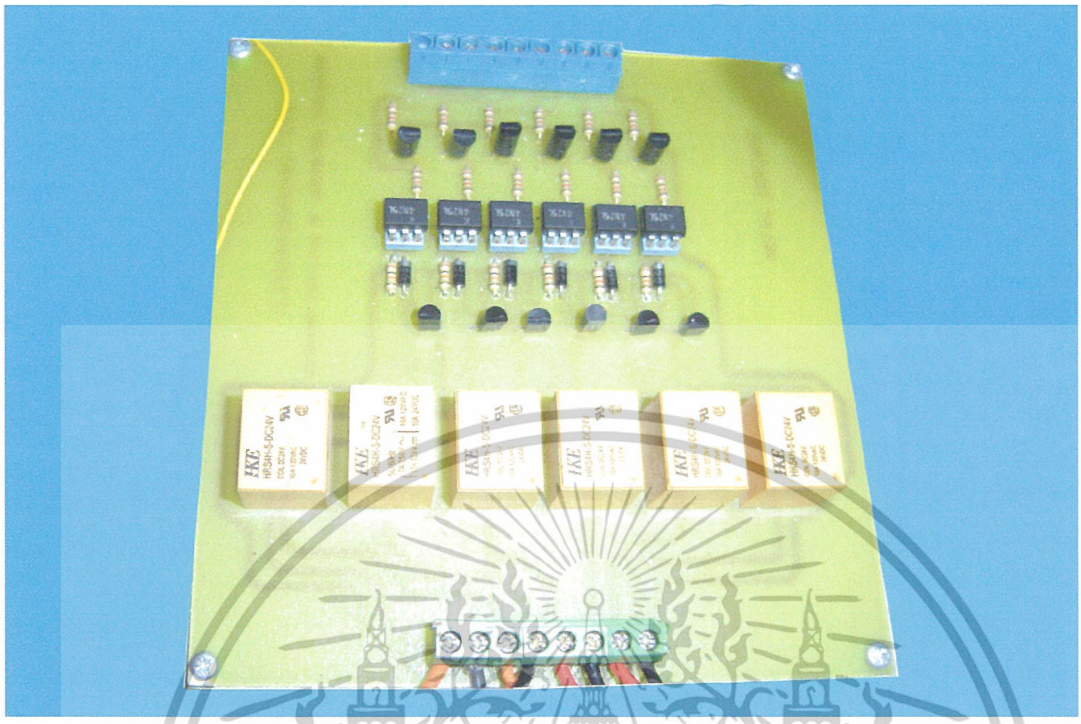
อรรณนพ พีรชาติ.ธันวาคม "รถกระป๋อง(วิทยุบังคับ)." **ฮอบบี้อิเล็กทรอนิกส์**.หน้า 60.2545

ฤทธิ์ ธีระโกเมน. **รวมบทความทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.2538

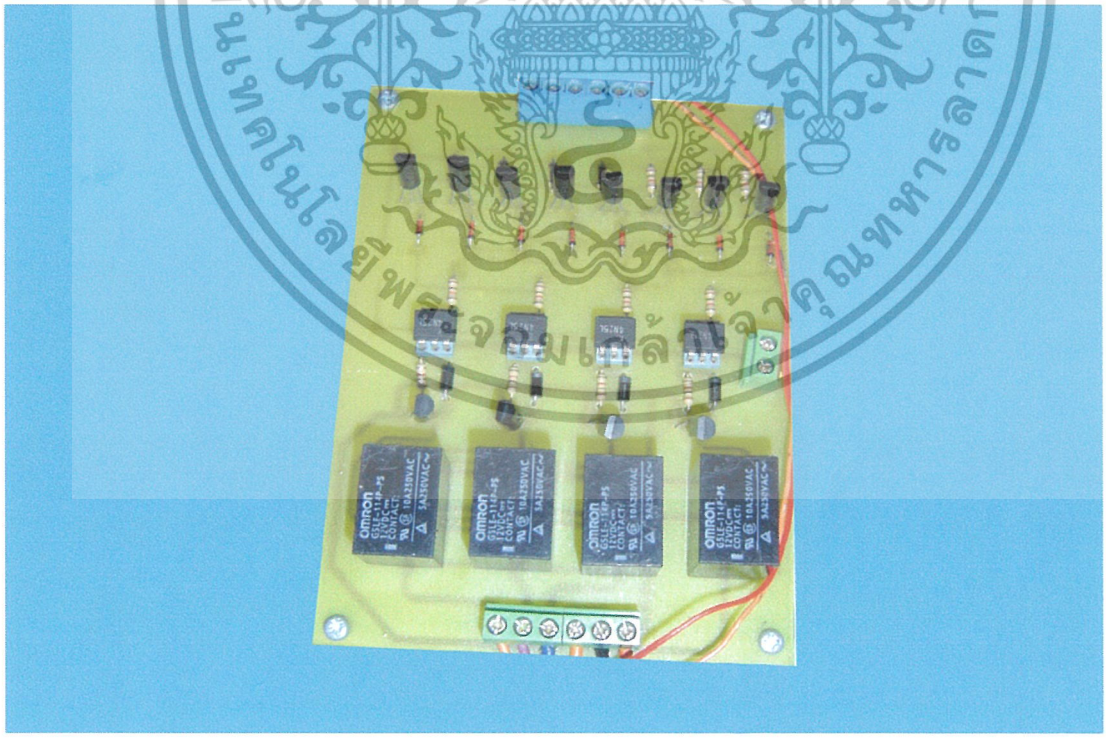
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก
# เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

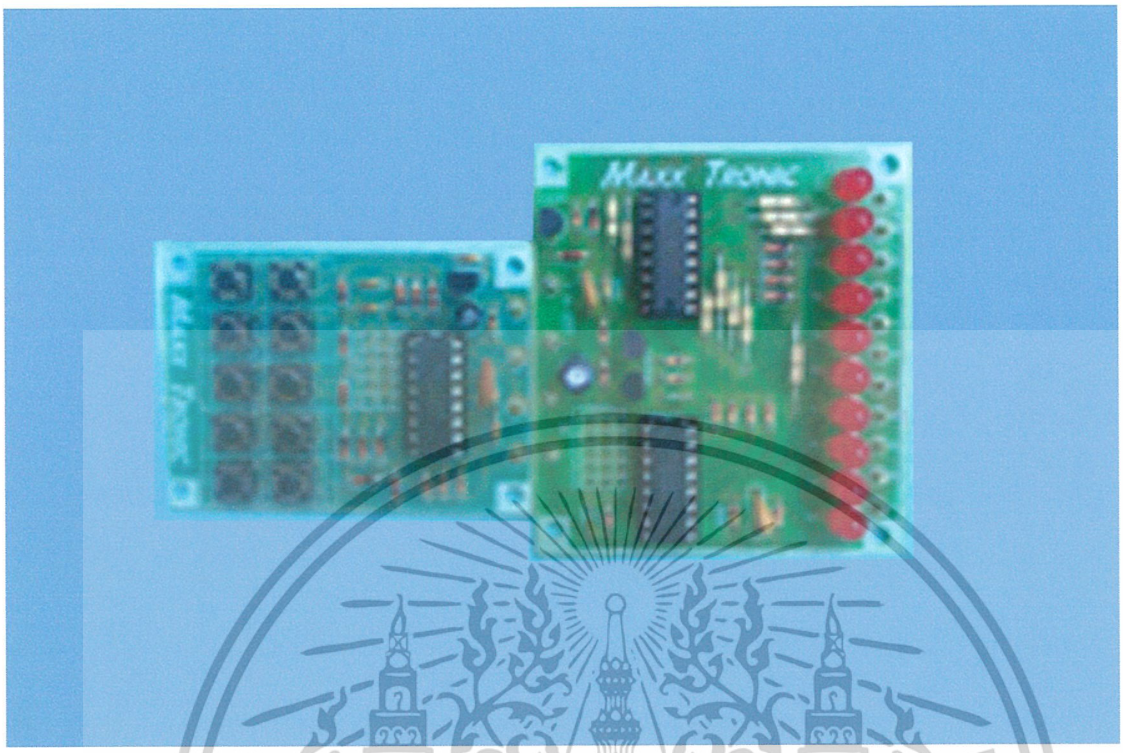


**รูปที่ ก.1 วงจรควบคุมรีเลย์ชุดแขนจับกล่อง**

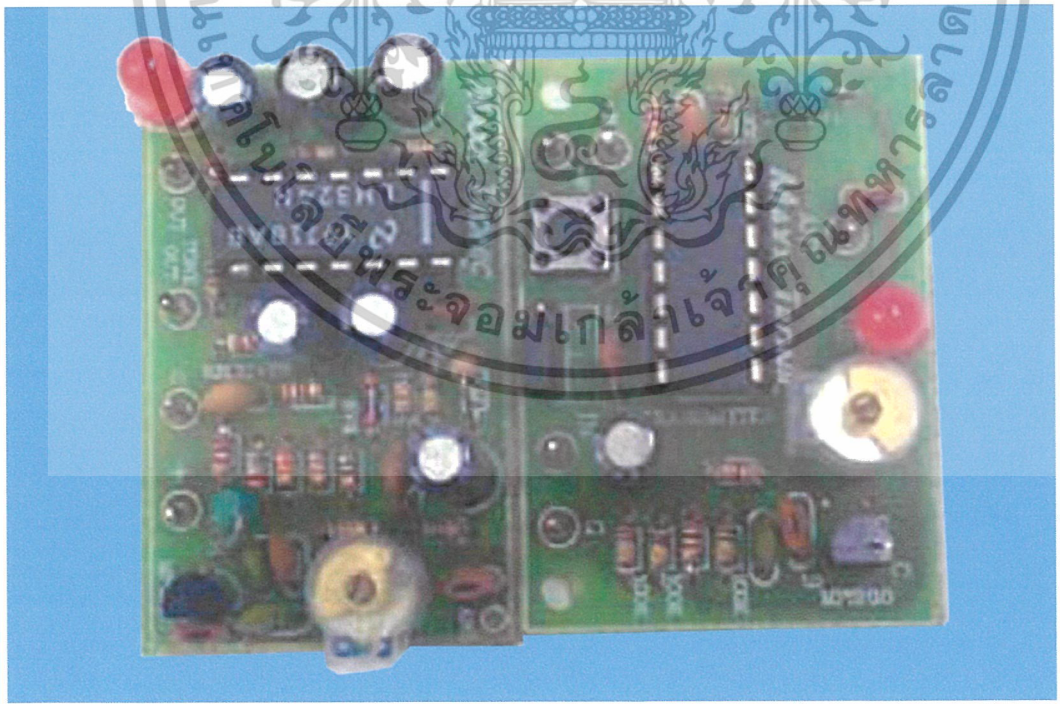


**รูปที่ ก.2 วงจรควบคุมรีเลย์ชุดควบคุมการขับเคลื่อนล้อ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

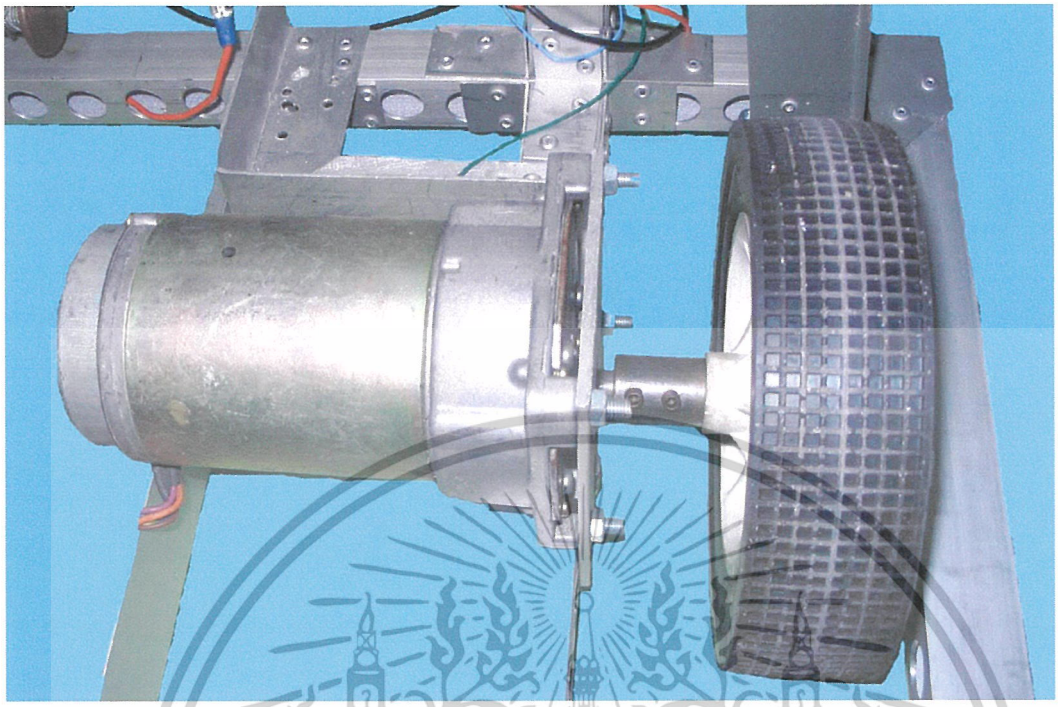



**รูปที่ ก.3** วงจรชุดรับ – ส่ง สัญญาณวิทยุ

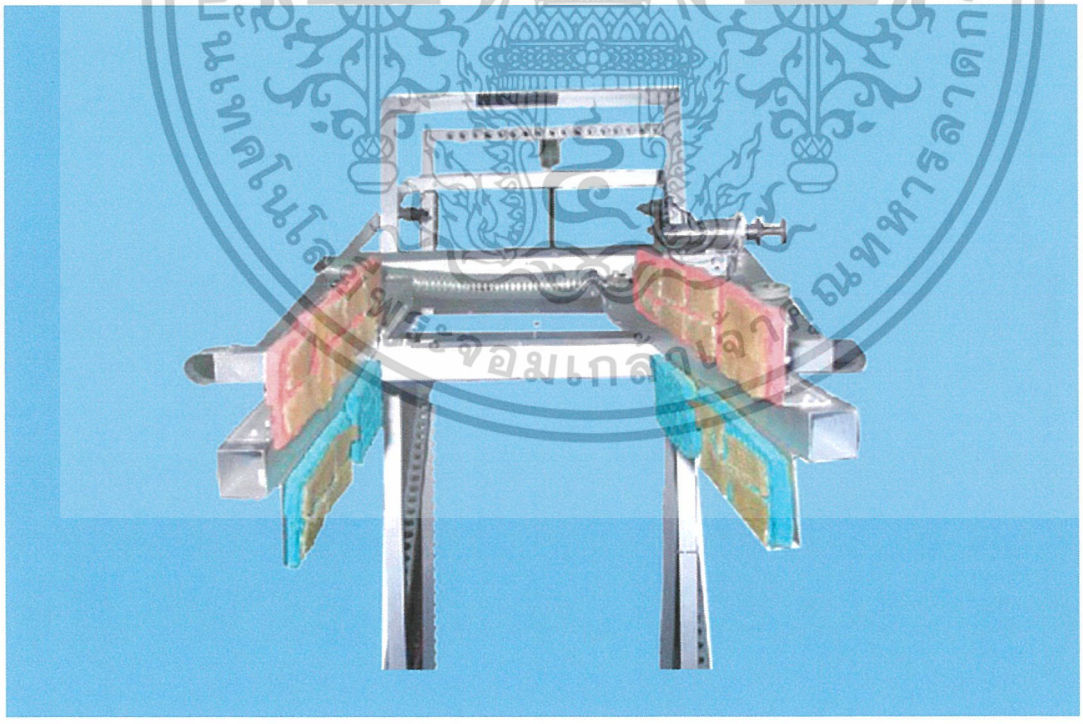


**รูปที่ ก.4** วงจรชุดเข้ารหัสและวงจรชุดถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

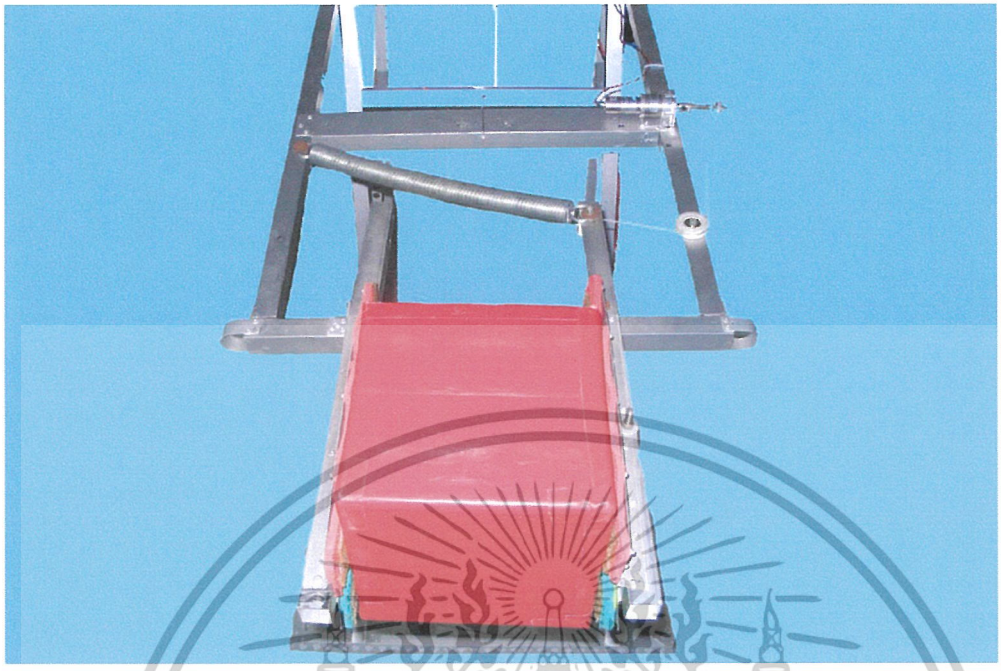


**รูปที่ ก.5** การติดตั้งล้อ



**รูปที่ ก.6** ชุดแขนและมือจับกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



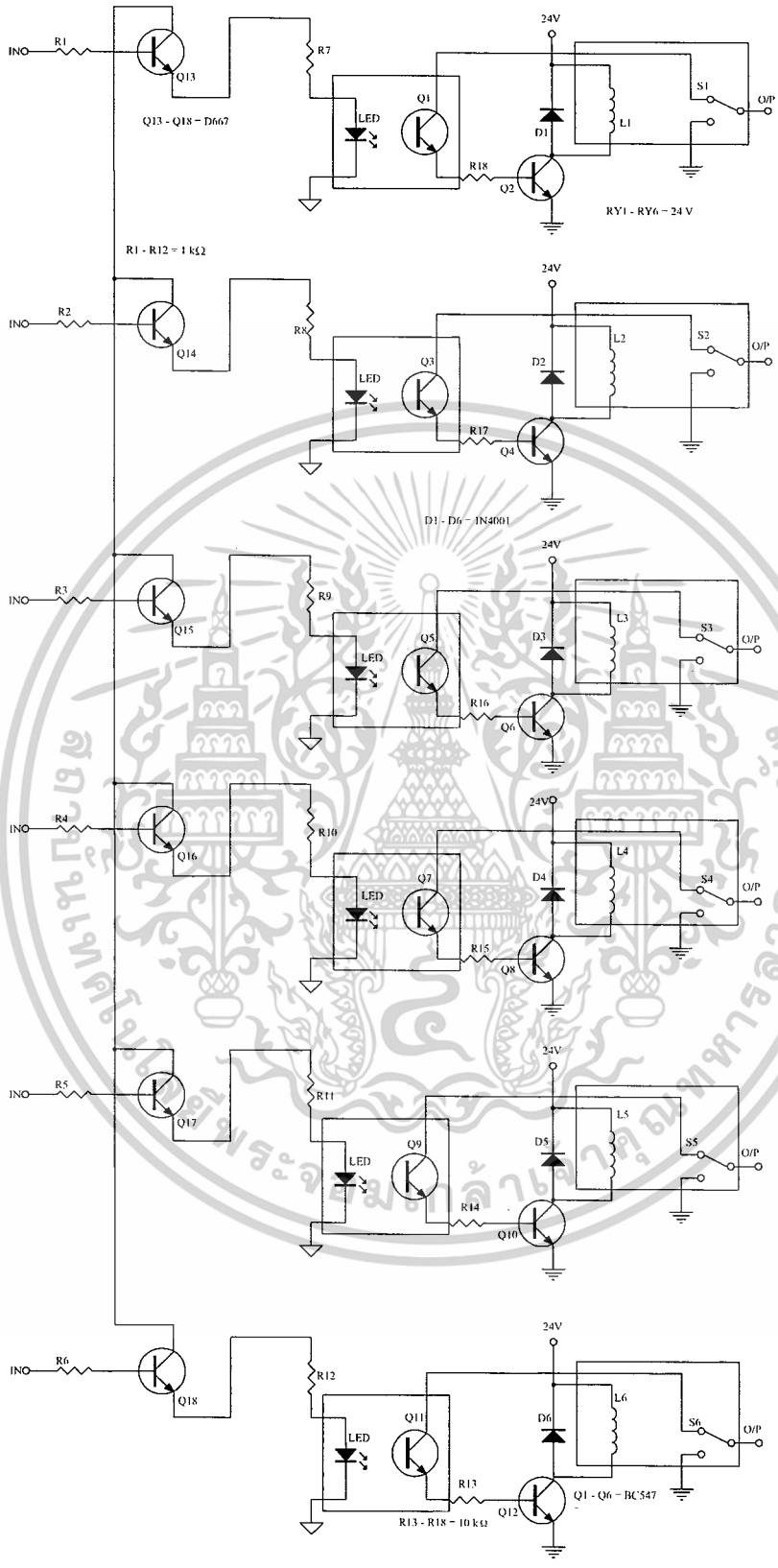
**รูปที่ ก.7 มือจับกล่อง**

**รูปที่ ก.8 ภาพด้านหน้าหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

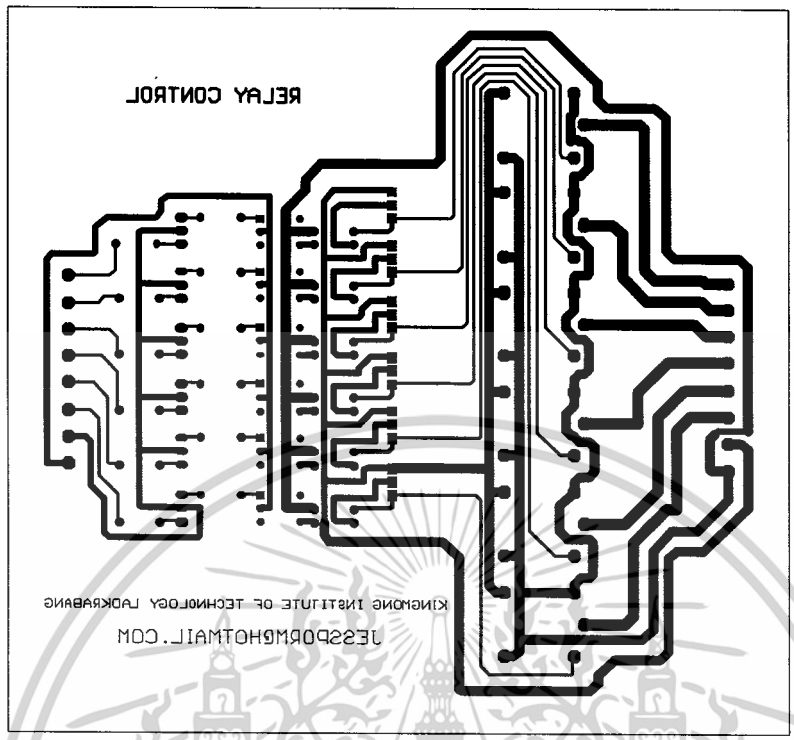
# ภาคผนวก ข
# วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

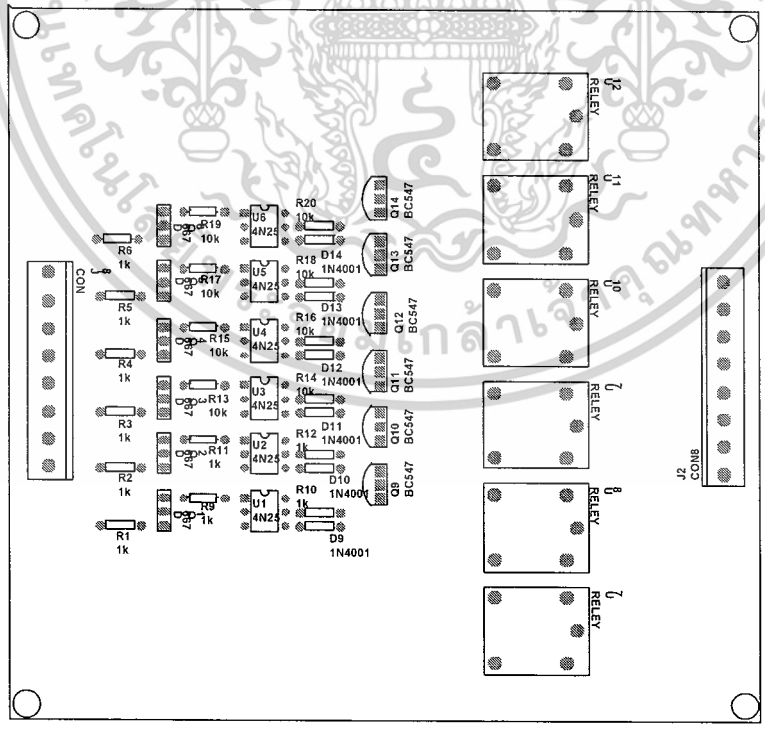



**รูปที่ ข.1** วงจรควบคุมรีเลย์การยกกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

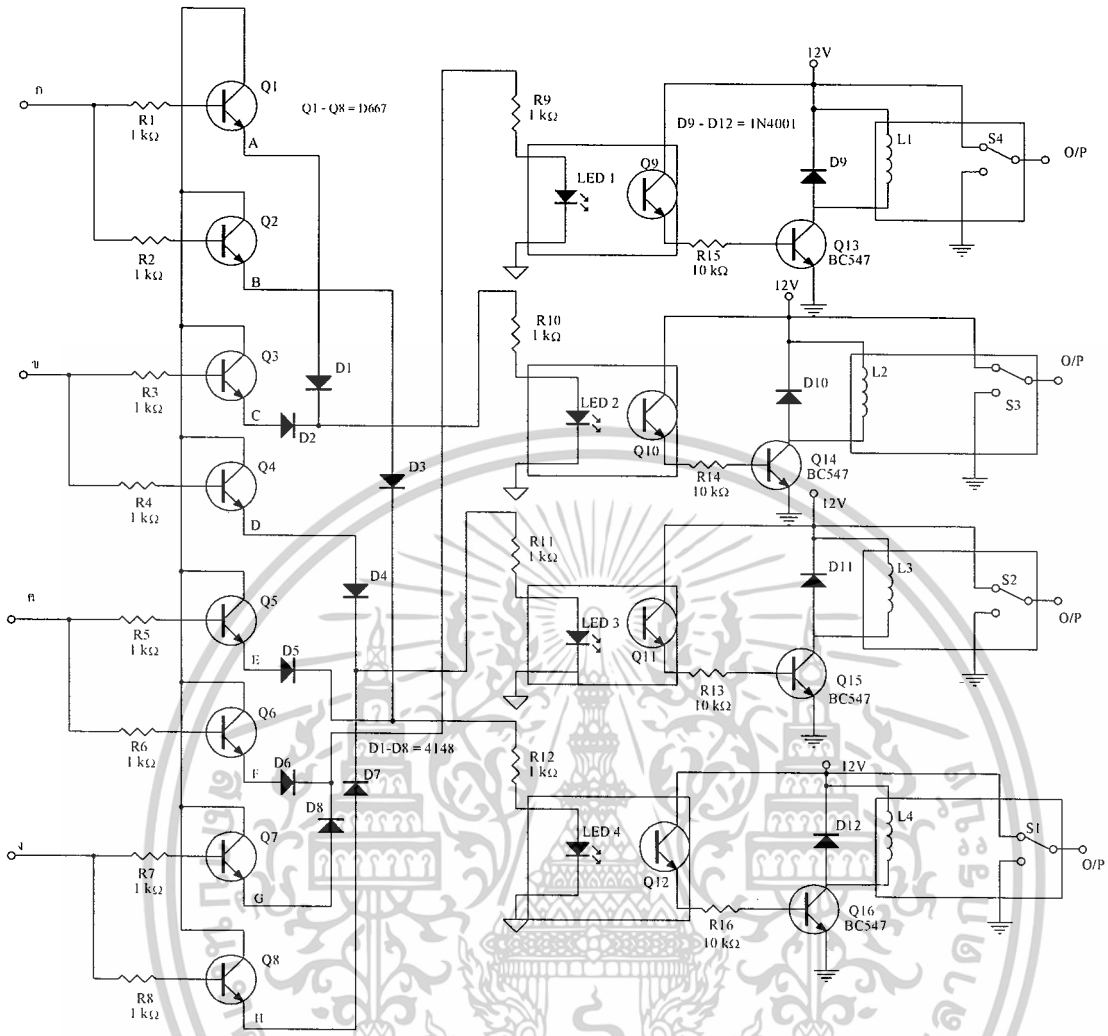



**รูปที่ ข.2** แผ่นวงจรพิมพ์ควบคุมรีเลย์การยกกล่อง



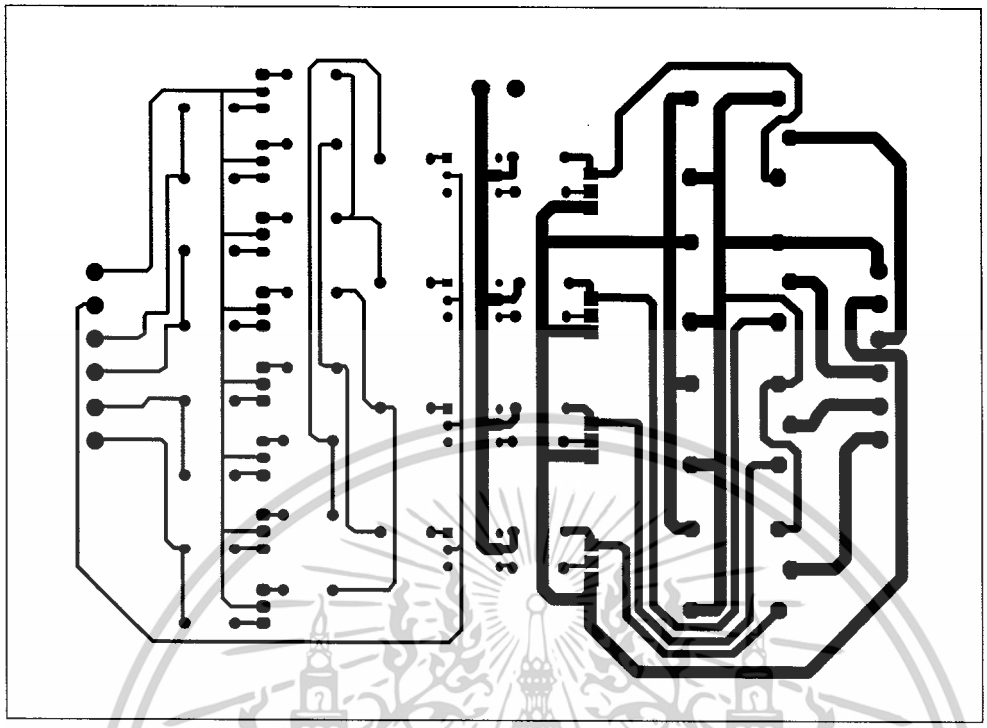

**รูปที่ ข. 3** ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ควบคุมรีเลย์การยกกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

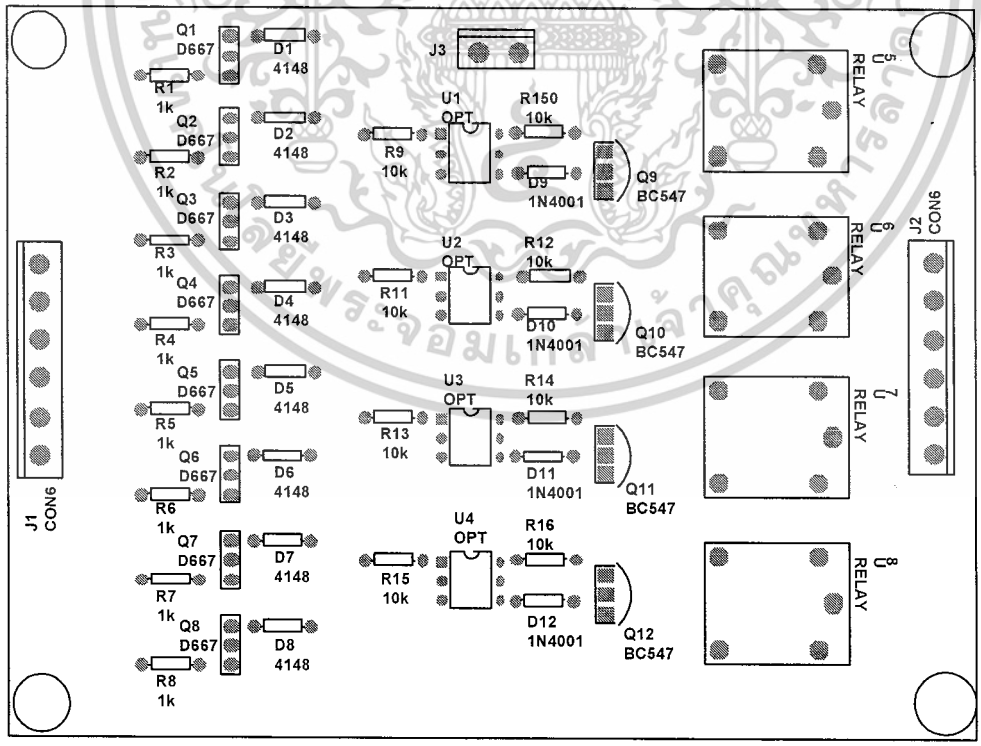



**รูปที่ ข.4** วงจรควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

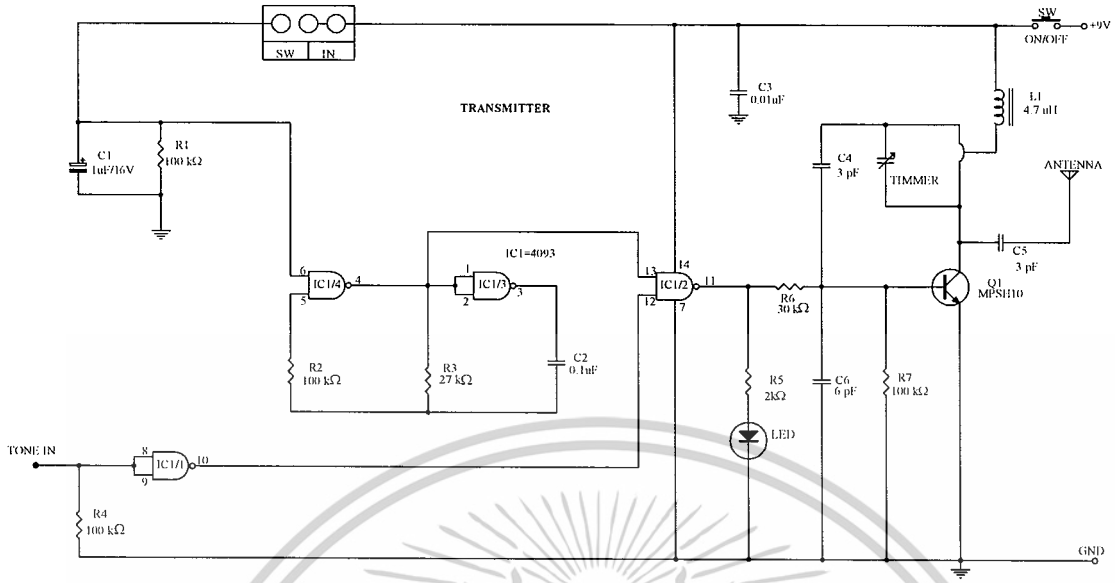


**รูปที่ ข.5** แผ่นวงจรพิมพ์ควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ

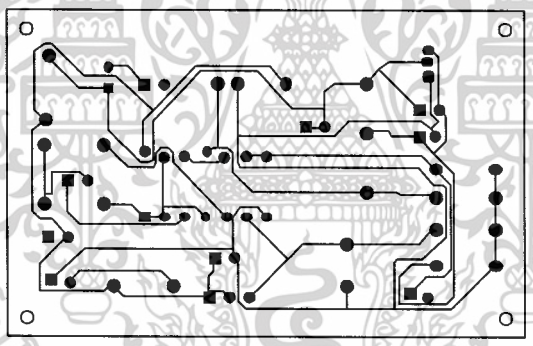



**รูปที่ ข.6** ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ

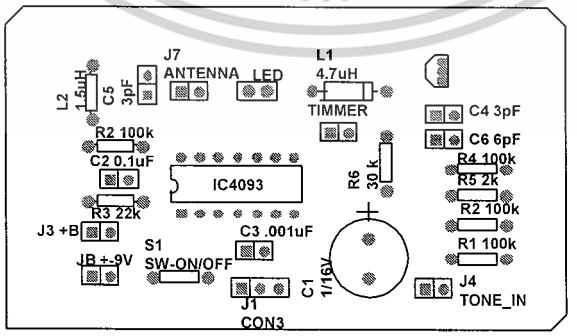
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ข.5** วงจรส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ

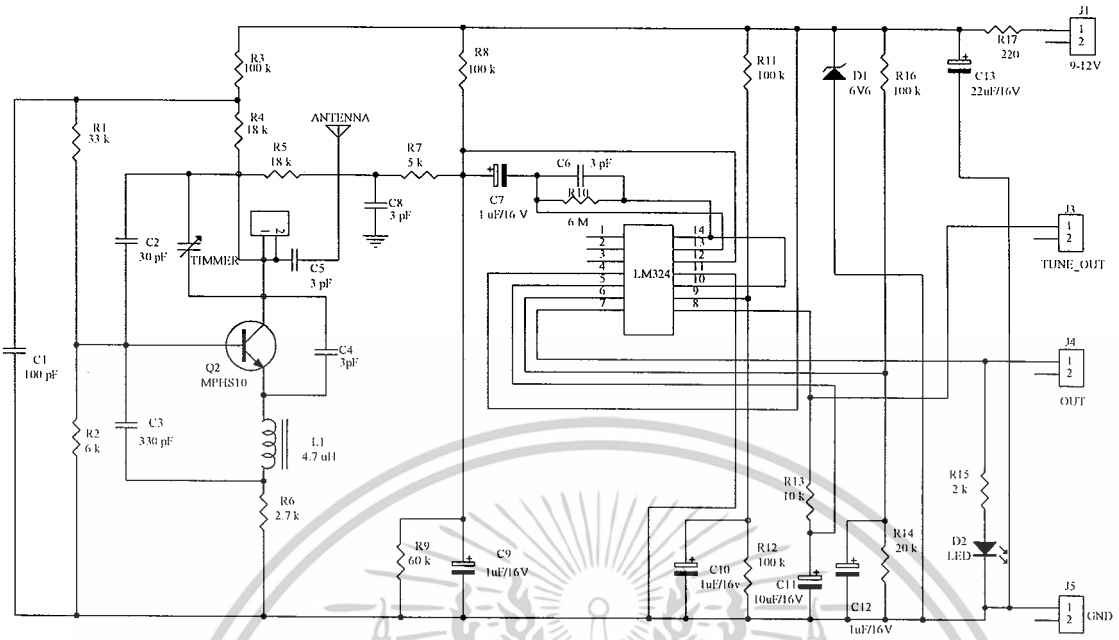


**รูปที่ ข.6** แผ่นวงจรพิมพ์ชุดส่งสัญญาณวิทยุ

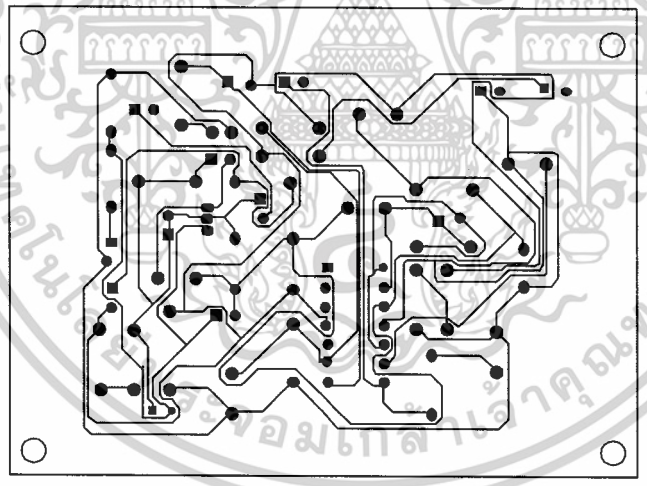



**รูปที่ ข.7** ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ชุดส่งสัญญาณวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

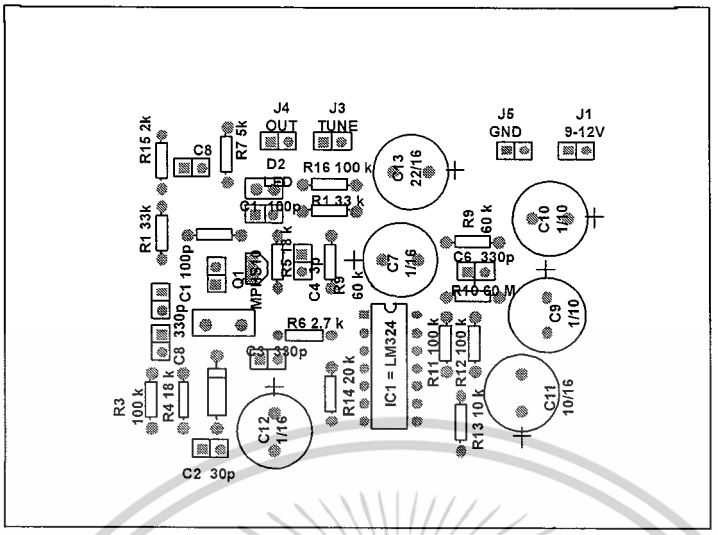



**รูปที่ ข.8** วงจรชุดรับสัญญาณคลื่นวิทยุ

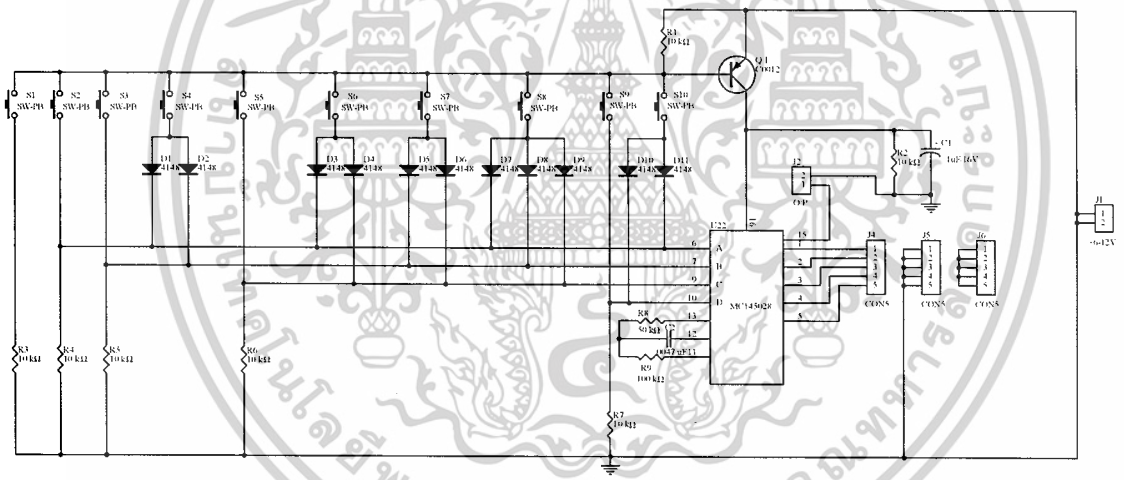


**รูปที่ ข.9** แผ่นวงจรพิมพ์ชุดรับสัญญาณวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

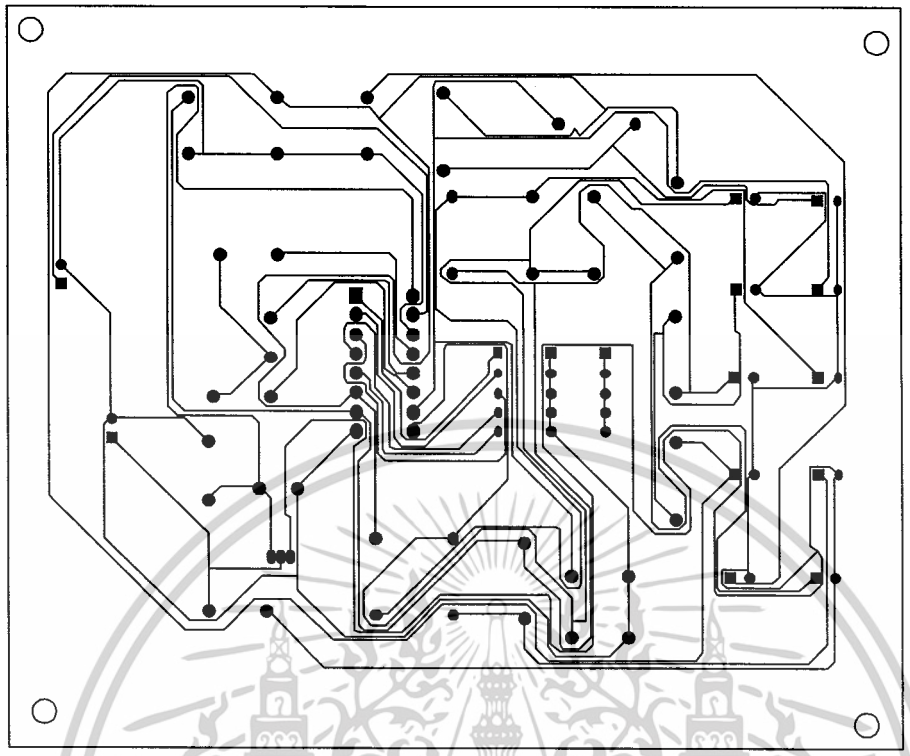



**รูปที่ ข.10** ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ชุดรับสัญญาณวิทยุ

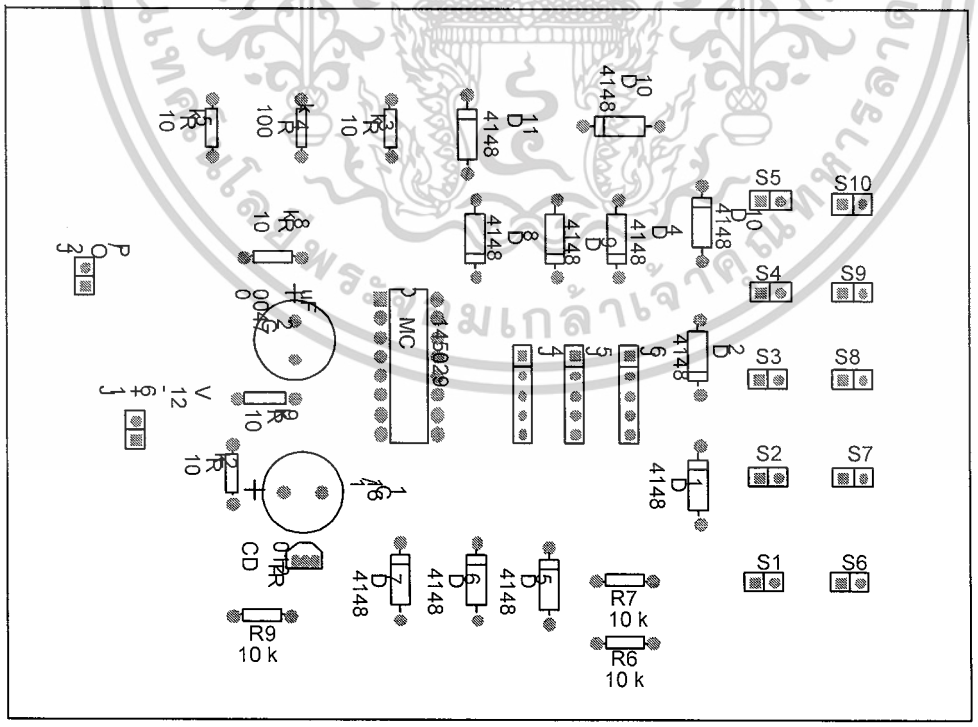


**รูปที่ ข.11** วงจรเข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

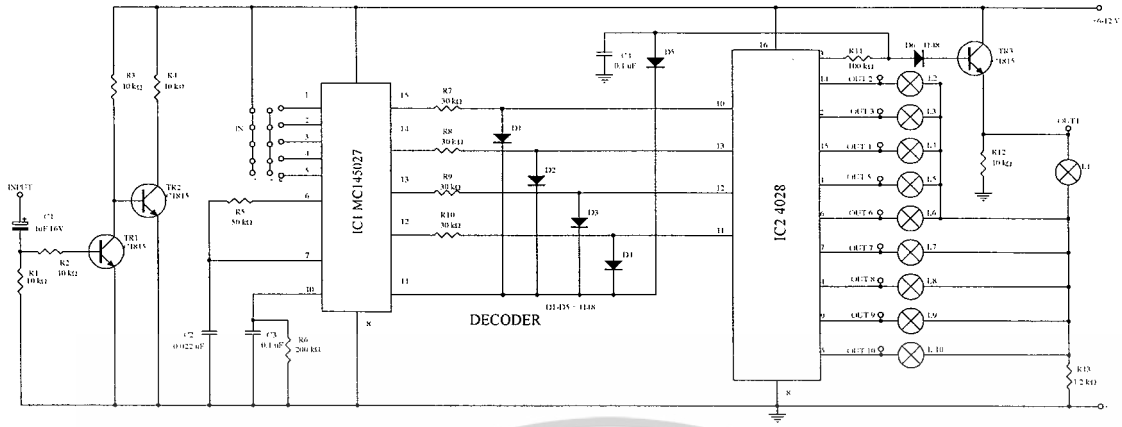


**รูปที่ ข.12** แผ่นวงจรพิมพ์เข้ารหัส

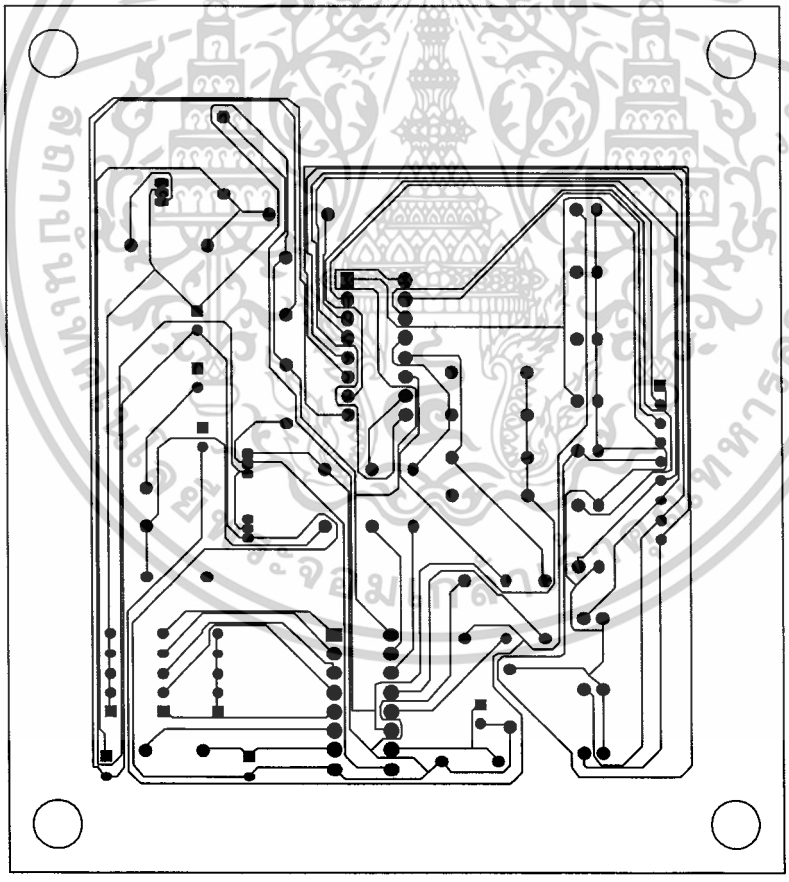



**รูปที่ ข.13** ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์เข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

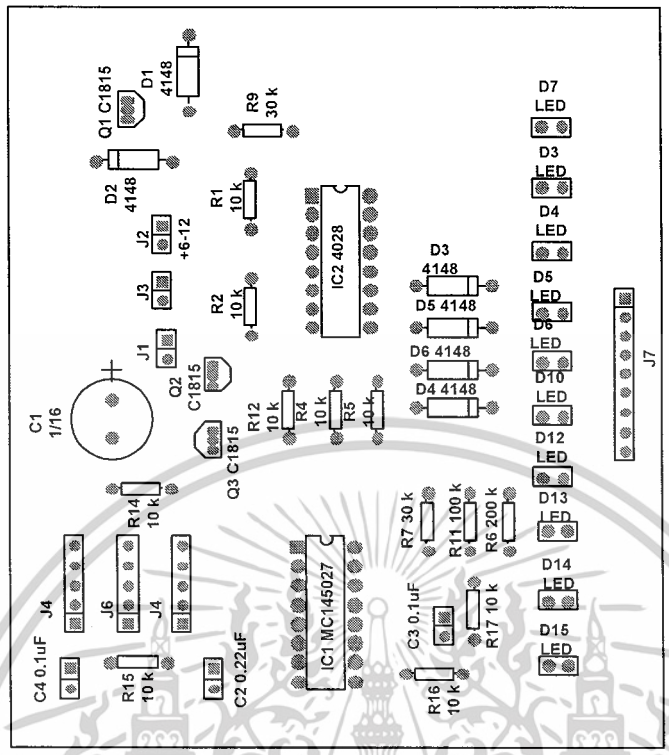



**รูปที่ ข.14** วงจรถอดรหัส



**รูปที่ ข.15** แผ่นวงจรพิมพ์ถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ข.16** ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค

# รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค.1** รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุมรีเลย์การจับกล่อง

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---|---|---|
| **อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ** | | |
| $Q_1$-$Q_6$ | BC547 | 6 ตัว |
| $Q_7$-$Q_{12}$ | D667 | 6 ตัว |
| Opto Isolator | 4N25L | 6 ตัว |
| $D_1$-$D_6$ | 1N4001 | 6 ตัว |
| **ตัวความต้านทาน** | | |
| $R_1$-$R_{12}$ | 1 kΩ ¼ W | 12 ตัว |
| $R_{13}$,$R_{18}$ | 10 kΩ ¼ W | 6 ตัว |
| **อุปกรณ์อื่นๆ** | | |
| $RY_1$-$RY_6$ | 24 V | 6 ตัว |
| $J_1$.$J_2$ | คอนเน็คเตอร์ 8 pin | 2 ตัว |

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---|---|---|
| **อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ** | | |
| Opto Isolator | 4N25L | 6 ตัว |
| $D_1$-$D_8$ | 4148 | 8 ตัว |
| $D_9$ – $D_{12}$ | 1N4001 | 4 ตัว |
| $Q_1$ – $Q_4$ | BC547 | 6 ตัว |
| $Q_5$-$Q_{12}$ | D667 | 8 ตัว |
| **ตัวความต้านทาน** | | |
| R1, R12 | 1 kΩ ¼ W | 12 ตัว |
| R13, R16 | 10 kΩ¼ W | 4 ตัว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค.2 (ต่อ)** รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุมรีเลย์การขับเคลื่อนล้อ

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---|---|---|
| **อุปกรณ์อื่นๆ** | | |
| RY1 - RY6 | รีเลย์ 12 V | 4 ตัว |
| J1-J2 | คอนเนคเตอร์ 6 pin | 2 ตัว |

**ตารางที่ ค.3** รายการอุปกรณ์ของวงจรชุดส่ง

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---|---|---|
| **วงจรรวม** | | |
| $IC_1$ | 4093 | 1 ตัว |
| **อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ** | | |
| LED | สีเขียว | 1 ตัว |
| $Q_1$ | MPSH10 | 1 ตัว |
| **ตัวเก็บประจุ** | | |
| $C_1$ | 100 µF 16 V | 1 ตัว |
| $C_2$ | 0.1µFเซรามิค | 1 ตัว |
| $C_3$ | 0.01uF เซรามิค | 1 ตัว |
| $C_4$,$C_5$ | 3 pF เซรามิค | 2 ตัว |
| $C_6$ | 6 pF เซรามิค | 1 ตัว |
| **อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ** | | |
| $R_1$, $R_2$,$R_4$,R7 | 100 kΩ ¼ W | 4 ตัว |
| $R_3$ | 27 kΩ ¼ W | 1 ตัว |
| $R_5$ | 2 kΩ ¼ W | 1 ตัว |
| $R_6$ | 30 kΩ ¼ W | 1 ตัว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค.3 (ต่อ)** รายการอุปกรณ์ของวงจรชุดส่ง

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---|---|---|
| **อุปกรณ์อื่น ๆ** | | |
| Antenna | ขนาด 2 mm ยาว 13-30 cm | **1 ตัว** |
| Connector | คอนเนคเตอร์ 3 ขา | **1 ตัว** |
| Conductor | 4.7 uF | **1 ตัว** |
| SW1 | กดติดปล่อยดับ | **1 ตัว** |
| Timmer | | **1 ตัว** |

**ตารางที่ ค.4** รายการอุปกรณ์ของวงจรชุดรับ

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---|---|---|
| **วงจรรวม** | | |
| $IC_1$ | LM324 | 1 ตัว |
| **อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ** | | |
| $Q_1$ | MPHS10 | 1 ตัว |
| LED | สีแดง | 1 ตัว |
| **ตัวเก็บประจุ** | | |
| $C_1$ | 100 pF เซรามิค | 1 ตัว |
| $C_2$ | 30 pF เซรามิค | 1 ตัว |
| $C_3$,$C_4$,$C_5$ | 330 pF เซรามิค | 3 ตัว |
| $C_6$ | 3 pF เซรามิค | 1 ตัว |
| $C_7$,$C_9$,$C_{10}$,$C_{12}$ | 1 µF 16 V | 4 ตัว |
| $C_{11}$ | 10 µF 16 V | 1 ตัว |
| $C_{13}$ | 22 uF 16 V | 1 ตัว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค.4 (ต่อ)** รายการอุปกรณ์ของวงจรชุดรับ

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---|---|---|
| **ตัวความต้านทาน** | | |
| **R1** | 33 kΩ 1/4 W | 1 ตัว |
| **R2,R7** | 5 kΩ 1/4W | 2 ตัว |
| **R3** | 270Ω 1/4 W | 1 ตัว |
| **R4,R5** | 18 kΩ 1/4 W | 2 ตัว |
| **R6** | 6 kΩ1/4 W | 1 ตัว |
| **R8,R11,R16** | 100 kΩ1/4 W | 3 ตัว |
| **R9** | 60 kΩ1/4 W | 1 ตัว |
| **R10** | 5 MΩ1/4 W | 1 ตัว |
| **R12,R16** | 100 kΩ1/4 W | 2 ตัว |
| **R13** | 10 kΩ1/4 W | 1 ตัว |
| **R14** | 20 kΩ1/4 W | 1 ตัว |
| **R15** | 2 kΩ1/4 W | 1 ตัว |
| **อุปกรณ์อื่นๆ** | | |
| Antenna | ขนาด 2 mm ยาว 13-30 cm | 1 ตัว |
| Timmer | | 1 ตัว |

**ตารางที่ ค.5** รายการอุปกรณ์ของวงจรเข้ารหัส

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---|---|---|
| **วงจรรวม** | | |
| $IC_1$ | MC145028 | 1 ตัว |
| **อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ** | | |
| $Q_1$ | C9012 | 1 ตัว |
| $D_1$–$D_{11}$ | 4148 | 11 ตัว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค.5 (ต่อ)** รายการอุปกรณ์ของวงจรเข้ารหัส

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---|---|---|
| **ตัวความต้านทาน** | | |
| $R_1$,$R_2$,$R_5$,$R_6$,$R_7$,$R_8$ | 10 kΩ ¼ W | 6 ตัว |
| $R_3$ | 50 kΩ ¼ W | 1 ตัว |
| $R_4$ | 100 kΩ ¼ W | 1 ตัว |
| **อุปกรณ์อื่นๆ** | | |
| Connector | คอนเน็คเตอร์ 15 pin | 1 ตัว |
| $SW_1$-$SW_{10}$ | กดติดปล่อยดับ | 10 ตัว |

**ตารางที่ ค.6** รายการอุปกรณ์ของวงจรถอดรหัส

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---|---|---|
| **วงจรรวม** | | |
| $IC_1$ | MC145027 | 1 ตัว |
| $IC_2$ | 4028 | 1 ตัว |
| **อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ** | | |
| $Q_1$,$Q_2$,$Q_3$ | C1815 | 3 ตัว |
| $D_1$–$D_6$ | 4148 | 6 ตัว |
| **ตัวเก็บประจุ** | | |
| $C_1$ | 1 uF 16 V | 1 ตัว |
| $C_2$ | 0.022 uF เซรามิค | 1 ตัว |
| $C_3$,$C_4$ | 0.1 uF เซรามิค | 2 ตัว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

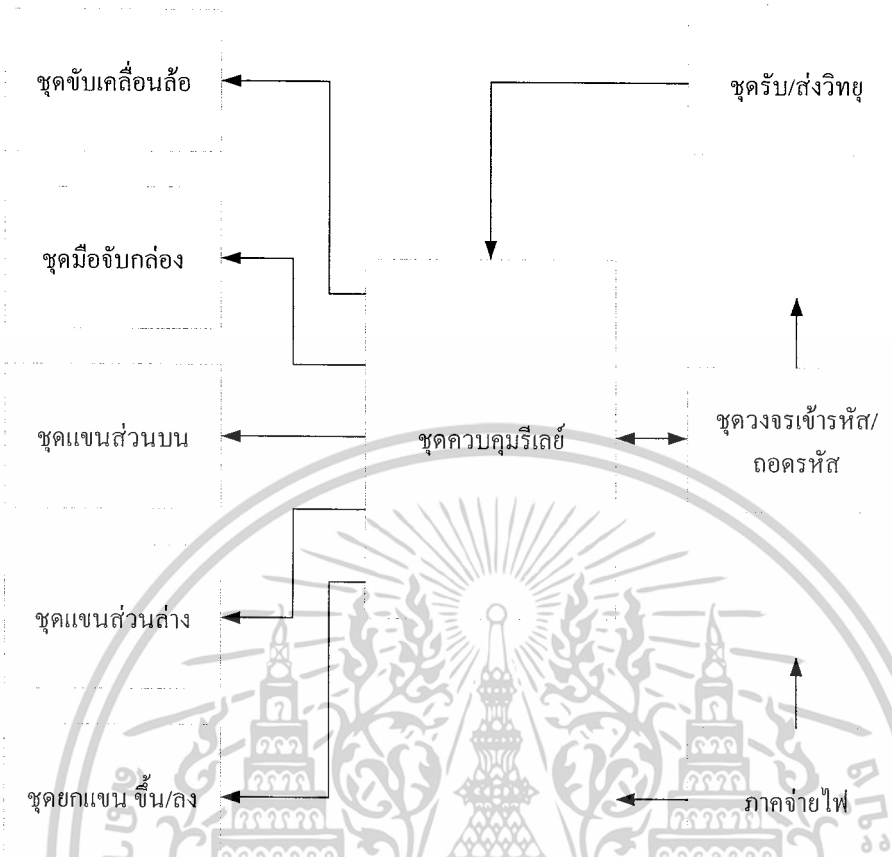
**ตารางที่ ค.6** รายการอุปกรณ์ของวงจรถอดรหัส

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---|---|---|
| **ตัวความต้านทาน** | | |
| $R_1,R_2,R_3,R_4,R_{12}$ | 10 kΩ ¼ W | 6 ตัว |
| $R_5$ | 50 kΩ ¼ W | 1 ตัว |
| $R_{11}$ | 100 kΩ ¼ W | 1 ตัว |
| $R_{13}$ | 1 kΩ ¼ W | 1 ตัว |
| $R_6$ | 200 kΩ ¼ W | 1 ตัว |
| $R_7,R_8,R_9,R_{10}$ | 30 kΩ ¼ W | 4 ตัว |
| **อุปกรณ์อื่นๆ** | | |
| Connector | คอนเน็คเตอร์ 15 pin | 1 ตัว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง
# แผนผังการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



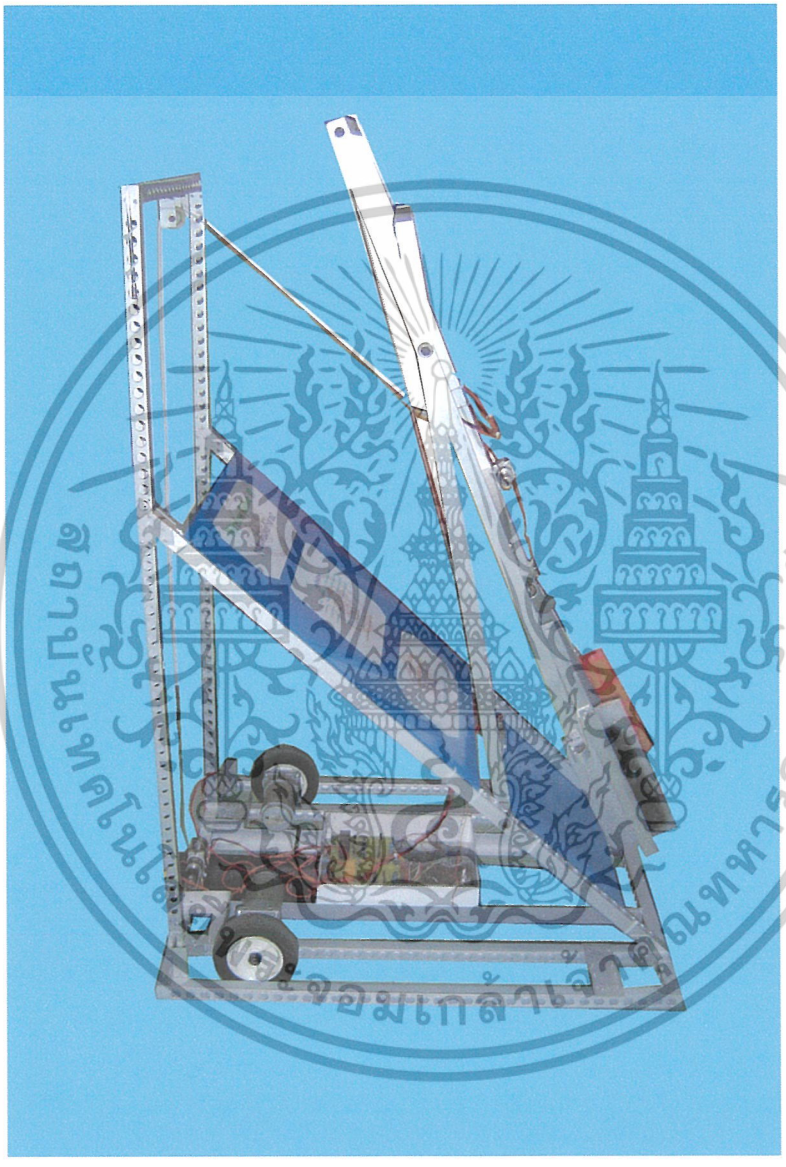

**รูปที่ ง.1** ผังการทำงานของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก จ
# คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คู่มือการใช้งาน
# หุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2



**ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม**

**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

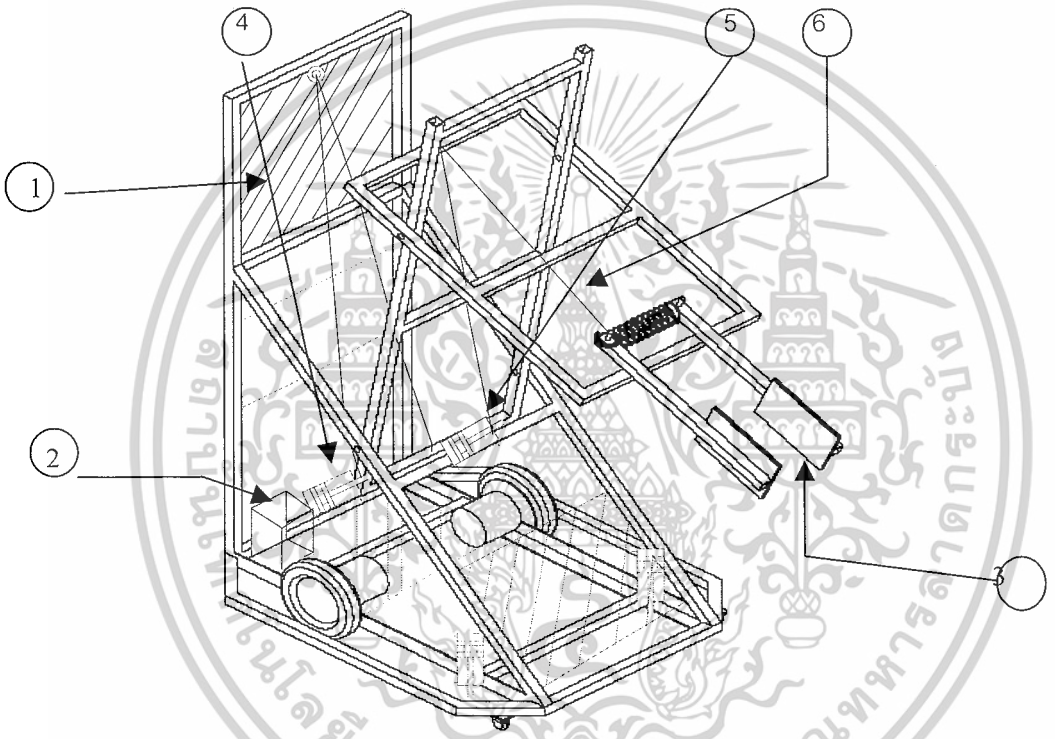
**ปีการศึกษา 2547**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะใช้งานหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 ควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือหรือการใช้งานเบื้องต้นด้านหลังของหุ่นยนต์ให้เข้าใจเพื่อการใช้งานที่ถูกต้อง และเป็นการป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 หรือทรัพย์สินผู้ใช้งาน

## 2. ส่วนประกอบและรีโมทควบคุม




**รูปที่ จ.1** ส่วนประกอบของหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2

จากรูปที่ 1 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

(1) การใช้งานเบื้องต้น

(2) จุดต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 12 และ 24 โวลต์ดีซี

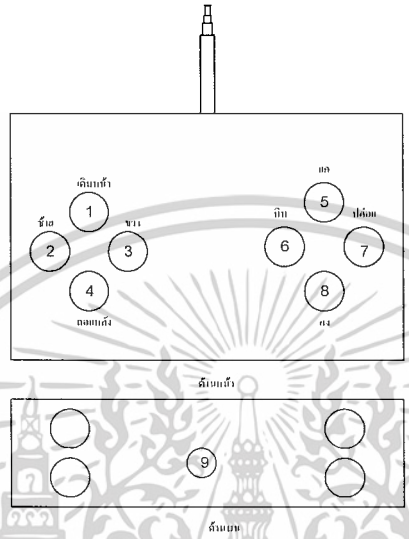
(3) มือจับอยู่ในสภาพพร้อมการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

④ มอเตอร์แขนส่วนที่ 1

⑤ มอเตอร์แขนส่วนที่2

⑥ สลิงมือจับ




**รูปที่ จ.2** รีโมทควบคุม

ส่วนประกอบและหน้าที่ของปุ่มควบคุมการทำงานบนรีโมทควบคุมมีดังนี้

① หน้าที่ปุ่มกดเดินหน้า

② หน้าที่ปุ่มกดเลี้ยวซ้าย

③ หน้าที่ปุ่มกดเลี้ยวขวา

④ หน้าที่ปุ่มกดถอยหลัง

⑤ หน้าที่ปุ่มกดให้แขนยกขึ้น

⑥ หน้าที่ปุ่มกดให้แขนลง

⑦ หน้าที่ปุ่มกดสั่งให้มือบีบกล่องไว้

⑧ หน้าที่ปุ่มกดสั่งให้ปล่อยกล่อง

⑨ สายอากาศส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. การติดตั้งและการใช้งาน

3.1 ทำการต่อไฟให้กับวงจรโดยจะมีไฟกระแสตรง 12 โวลต์ให้กับชุดล้อและจ่ายไฟ 24 โวลต์ให้กับชุดแขนกล

3.2 ก่อนการทำงานติดตั้งลวดสลิงที่ (4) และ (5) ให้เรียบร้อยตรวจสอบว่าตกร่องหรือไม่

3.3 กดสวิตซ์เริ่มการทำงานที่รีโมทควบคุมการทำงาน

3.4 ทำการบังคับหุ่นยนต์ให้วิ่งไปเก็บกล่องตามจุดที่กำหนดไว้แล้วนำไปวางในถังคะแนน

## 4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานหุ่นยนต์บังคับไร้สาย 2 สามารถตรวจสอบแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางข้างล่างนี้

| อาการ | สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข |
|---|---|
| หุ่นยนต์ไม่ทำงาน | ตรวจสอบแบตเตอรี่ที่จ่ายให้กับวงจร,มอเตอร์และทำการตรวจสอบว่าชุดขับรีเลย์มีปัญหาหรือไม่ |
| ปุ่มกดไม่ทำงาน | ตรวจสอบแบตเตอรี่ 9 โวลต์ที่อยู่ในกล่องควบคุม |
| ชุดแขนกลไม่ทำงาน | ตรวจสอบดูว่ามอเตอร์ในส่วนแขนชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 มีอาการทดรบหรือลวดสลิง ขาดหรือไม่ |

## 5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

### 5.1 การดูแลรักษา

- ทำความสะอาดชุดมือจับและหมั่นตรวจสอบแผ่นยางเพื่อไม่ให้เกิดการสึกกร่อนจากการทำงาน

-ตรวจสอบชุดรับส่ง ที่ใช้ในการรับ-ส่ง สัญญาณ ไม่ให้มีฝุ่นจับ

- ตรวจสอบสายไฟและปลั๊กไฟให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ พร้อมที่จะใช้งานอยู่เสมอ เพื่อความปลอดภัย

- ควรเช็ดทำความสะอาดตัวหุ่นยนต์เป็นระยะ

- เมื่อไม่ใช้งาน ควรใช้ผ้าหรือพลาสติกคลุมที่ตัวเครื่อง เพื่อป้องกันฝุ่นละอองเข้าไปภายใน

### 5.2 ข้อควรระวัง

-ระวังมิให้มีสิ่งแปลกปลอมตกลงไปในส่วนของแผ่นวงจร เพราะอาจทำให้ตัวเครื่องได้รับความเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพื่อป้องกันอุบัติเหตุหรือการบาดเจ็บที่อาจจะเกิดขึ้น ควรอ่านคู่มือการใช้งานก่อน
- อย่าสอดมือหรือปลายไขควงเข้าขวางชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว

## 6. ข้อมูลจำเพาะ

| คุณสมบัติ | รายละเอียด |
|---|---|
| การเก็บกล่องไว้ในมือ | สามารถเก็บกล่องได้คราวละ 1 กล่อง |
| ชุดมือจับ | ใช้แกนอะลูมิเนียมติดด้วยยางพารา |
| ชุดแขนกล | ยืดได้ยาว 137 เซนติเมตร |
| ความกว้าง | 74 เซนติเมตร |
| ความยาว | 90 เซนติเมตร |
| ความสูง | 135 เซนติเมตร |
| ประสิทธิภาพในการเก็บกล่อง | คิดเป็นร้อยละ 75 |
| ความเร็วเฉลี่ยในการเก็บกล่อง* | 1 กล่อง ต่อ นาที |
| ค่าความผิดพลาด | 1 กล่อง ต่อ 3 กล่อง |
| แหล่งจ่ายพลังงาน | ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ และ 24 โวลต์ |

* ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานที่ทำการบังคับหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ฉ

# รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM124
# LM224 - LM324

## LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375µA
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max. (for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max.)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE : SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V DUAL SUPPLIES : ±1.5V TO ±15V

N
DIP14
(Plastic Package)

D
SO14
(Plastic Micropackage)

P
TSSOP14
(Thin Shrink Small Outline Package)

### DESCRIPTION

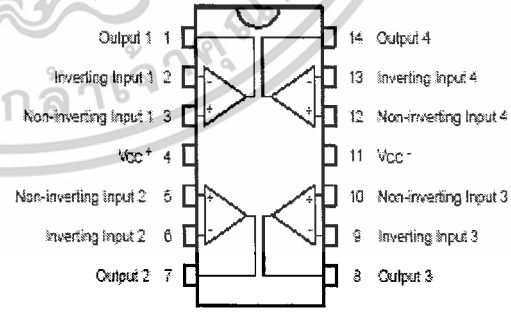
These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

### ORDER CODE

| Part Number | Temperature Range | Package | | |
|---|---|---|---|---|
| | | N | D | P |
| LM124 | -55°C, +125°C | • | • | • |
| LM224 | -40°C, +105°C | • | • | • |
| LM324 | 0°C, +70°C | • | • | • |
| **Example :** LM224N | | | | |

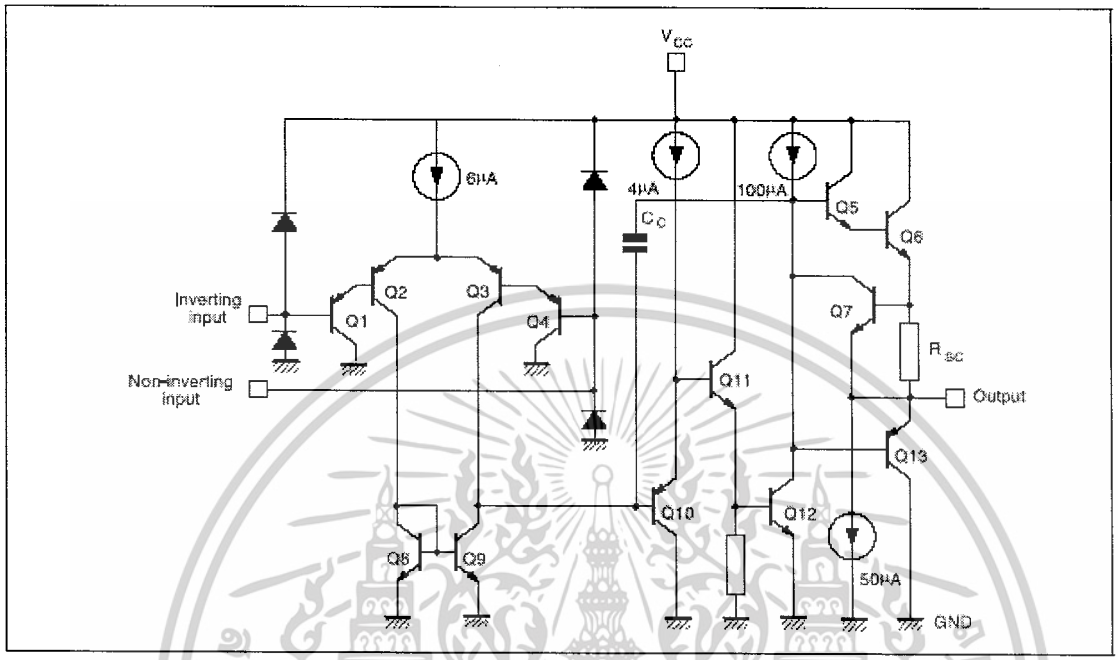
N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape &Reel (PT)

### PIN CONNECTIONS (top view)




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM124)




## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol | Parameter | LM124 | LM224 | LM324 | Unit |
|---|---|---|---|---|---|
| $V_{CC}$ | Supply voltage | ±16 or 32 | | | V |
| $V_i$ | Input Voltage | -0.3 to +32 | | | V |
| $V_{id}$ | Differential Input Voltage [1] | +32 | | | V |
| $P_{tot}$ | Power Dissipation N Suffix<br>D Suffix | 500 | 500<br>400 | 500<br>400 | mW<br>mW |
| | Output Short-circuit Duration [2] | Infinite | | | |
| $I_{in}$ | Input Current [3] | 50 | 50 | 50 | mA |
| $T_{oper}$ | Opearting Free-air Temperature Range | -55 to +125 | -40 to +105 | 0 to +70 | °C |
| $T_{stg}$ | Storage Temperature Range | -65 to +150 | | | °C |

1. Either or both input voltages must not exceed the magnitude of $V_{CC}^+$ or $V_{CC}^-$.
2. Short-circuits from the output to VCC can cause excessive heating if $V_{CC}$ > 15V. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of $V_{CC}$. Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diodes clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. this transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the $V_{CC}$ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative.
This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC}^+$ = +5V, $V_{CC}^-$= Ground, $V_o$ = 1.4V, $T_{amb}$ = +25°C (unless otherwise specified)

| Symbol | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---|---|---|---|---|---|
| $V_{io}$ | Input Offset Voltage - note [1]<br>$T_{amb}$ = +25°C<br>LM324<br>$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$<br>LM324 | | 2 | 5<br>7<br>7<br>9 | mV |
| $I_{io}$ | Input Offset Current<br>$T_{amb}$ = +25°C<br>$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ | | 2 | 30<br>100 | nA |
| $I_{ib}$ | Input Bias Current - note [2]<br>$T_{amb}$ = +25°C<br>$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ | | 20 | 150<br>300 | nA |
| $A_{vd}$ | Large Signal Voltage Gain<br>$V_{CC}^+$ = +15V, $R_L$ = 2kΩ, $V_o$ = 1.4V to 11.4V<br>$T_{amb}$ = +25°C<br>$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ | 50<br>25 | 100 | | V/mV |
| SVR | Supply Voltage Rejection Ratio ($R_s \le 10k\Omega$)<br>$V_{CC}^+$ = 5V to 30V<br>$T_{amb}$ = +25°C<br>$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ | 65<br>65 | 110 | | dB |
| $I_{CC}$ | Supply Current, all Amp, no load<br>$T_{amb}$ = +25°C $V_{CC}$ = +5V<br>$V_{CC}$ = +30V<br>$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ $V_{CC}$ = +5V<br>$V_{CC}$ = +30V | | 0.7<br>1.5<br>0.8<br>1.5 | 1.2<br>3<br>1.2<br>3 | mA |
| $V_{icm}$ | Input Common Mode Voltage Range<br>$V_{CC}$ = +30V - note [3]<br>$T_{amb}$ = +25°C<br>$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ | 0<br>0 | | $V_{CC}$ -1.5<br>$V_{CC}$ -2 | V |
| CMR | Common Mode Rejection Ratio ($R_s \le 10k\Omega$)<br>$T_{amb}$ = +25°C<br>$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ | 70<br>60 | 80 | | dB |
| $I_{source}$ | Output Current Source ($V_{id}$ = +1V)<br>$V_{CC}$ = +15V, $V_o$ = +2V | 20 | 40 | 70 | mA |
| $I_{sink}$ | Output Sink Current ($V_{id}$ = -1V)<br>$V_{CC}$ = +15V, $V_o$ = +2V<br>$V_{CC}$ = +15V, $V_o$ = +0.2V | 10<br>12 | 20<br>50 | | mA<br>µA |
| $V_{OH}$ | High Level Output Voltage<br>$V_{CC}$ = +30V<br>$T_{amb}$ = +25°C $R_L$ = 2kΩ<br>$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$<br>$T_{amb}$ = +25°C $R_L$ = 10kΩ<br>$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$<br>$V_{CC}$ = +5V, $R_L$ = 2kΩ<br>$T_{amb}$ = +25°C<br>$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ | 26<br>26<br>27<br>27<br>3.5<br>3 | 27<br><br>28 | | V |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Symbol | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---|---|---|---|---|---|
| $V_{OL}$ | Low Level Output Voltage ($R_L$ = 10kΩ)<br>$T_{amb}$ = +25°C<br>$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$ | | 5 | 20<br>20 | mV |
| SR | Slew Rate<br>$V_{CC}$ = 15V, $V_i$ = 0.5 to 3V, $R_L$ = 2kΩ, $C_L$ = 100pF, unity Gain | | 0.4 | | V/µs |
| GBP | Gain Bandwidth Product<br>$V_{CC}$ = 30V, f =100kHz,$V_{in}$ = 10mV, $R_L$ = 2kΩ, $C_L$ = 100pF | | 1.3 | | MHz |
| THD | Total Harmonic Distortion<br>f = 1kHz, $A_V$ = 20dB, $R_L$ = 2kΩ, $V_o$ = $2V_{pp}$, $C_L$ = 100pF, $V_{CC}$ = 30V | | 0.015 | | % |
| $e_n$ | Equivalent Input Noise Voltage<br>f = 1kHz, $R_s$ = 100Ω, $V_{CC}$ = 30V | | 40 | | $\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$ |
| $DV_{io}$ | Input Offset Voltage Drift | | 7 | 30 | µV/°C |
| $DI_{io}$ | Input Offset Current Drift | | 10 | 200 | pA/°C |
| $V_{o1}/V_{o2}$ | Channel Separation - note 4)<br>1kHz ≤ f ≤ 20kHZ | | 120 | | dB |

1. $V_o$ = 1.4V, $R_s$ = 0Ω, 5V < $V_{CC}$ < 30V, 0 < $V_{ic}$ < $V_{CC}$ - 1.5V
2. The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
3. The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC}$ - 1.5V, but either or both inputs can go to +32V without damage.
4. Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequences.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MOTOROLA**
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by MC145026/D

# Encoder and Decoder Pairs
## CMOS

**MC145026**
**MC145027**
**MC145028**

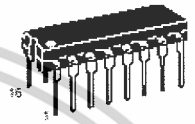
These devices are designed to be used as encoder/decoder pairs in remote control applications.

The MC145026 encodes nine lines of information and serially sends this information upon receipt of a transmit enable ($\overline{TE}$) signal. The nine lines may be encoded with trinary data (low, high, or open) or binary data (low or high). The words are transmitted twice per encoding sequence to increase security.

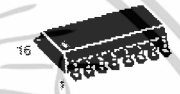
The MC145027 decoder receives the serial stream and interprets five of the trinary digits as an address code. Thus, 243 addresses are possible. If binary data is used at the encoder, 32 addresses are possible. The remaining serial information is interpreted as four bits of binary data. The valid transmission (VT) output goes high on the MC145027 when two conditions are met. First, two addresses must be consecutively received (in one encoding sequence) which both match the local address. Second, the 4 bits of data must match the last valid data received. The active VT indicates that the information at the Data output pins has been updated.

The MC145028 decoder treats all nine trinary digits as an address which allows 19,683 codes. If binary data is encoded, 512 codes are possible. The VT output goes high on the MC145028 when two addresses are consecutively received (in one encoding sequence) which both match the local address.

- Operating Temperature Range: – 40 to + 85°C
- Very–Low Standby Current for the Encoder: 300 nA Maximum @ 25°C
- Interfaces with RF, Ultrasonic, or Infrared Modulators and Demodulators
- RC Oscillator, No Crystal Required
- High External Component Tolerance; Can Use ± 5% Components
- Internal Power–On Reset Forces All Decoder Outputs Low
- Operating Voltage Range: MC145026 = 2.5 to 18 V*
  MC145027, MC145028 = 4.5 to 18 V
- For Infrared Applications, See Application Note AN1016/D



P SUFFIX
PLASTIC DIP
CASE 648



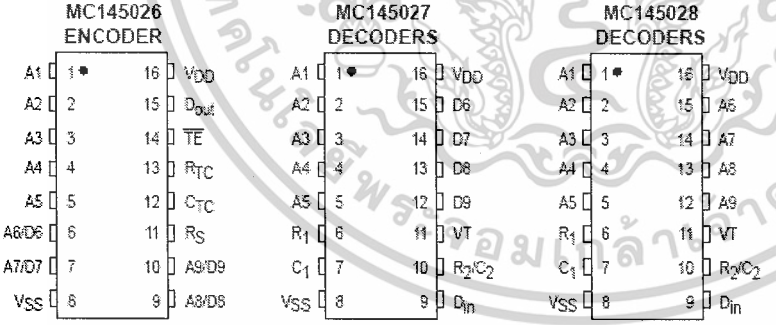
D SUFFIX
SOG PACKAGE
CASE 751B

DW SUFFIX
SOG PACKAGE
CASE 751G

**ORDERING INFORMATION**

| | |
|---|---|
| MC145026P<br>MC145026D | Plastic DIP<br>SOG Package |
| MC145027P<br>MC145027DW | Plastic DIP<br>SOG Package |
| MC145028P<br>MC145028DW | Plastic DIP<br>SOG Package |

**PIN ASSIGNMENTS**




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS — MC145026*, MC145027, and MC145028** (Voltage Referenced to $V_{SS}$)

| Symbol | Characteristic | $V_{DD}$ V | Guaranteed Limit | | | | | | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | −40°C | | 25°C | | 85°C | | |
| | | | Min | Max | Min | Max | Min | Max | |
| $V_{OL}$ | Low–Level Output Voltage ($V_{in}$ = $V_{DD}$ or 0) | 5.0 | — | 0.05 | — | 0.05 | — | 0.05 | V |
| | | 10 | — | 0.05 | — | 0.05 | — | 0.05 | |
| | | 15 | — | 0.05 | — | 0.05 | — | 0.05 | |
| $V_{OH}$ | High–Level Output Voltage ($V_{in}$ = 0 or $V_{DD}$) | 5.0 | 4.95 | — | 4.95 | — | 4.95 | — | V |
| | | 10 | 9.95 | — | 9.95 | — | 9.95 | — | |
| | | 15 | 14.95 | — | 14.95 | — | 14.95 | — | |
| $V_{IL}$ | Low–Level Input Voltage | | | | | | | | V |
| | ($V_{out}$ = 4.5 or 0.5 V) | 5.0 | — | 1.5 | — | 1.5 | — | 1.5 | |
| | ($V_{out}$ = 9.0 or 1.0 V) | 10 | — | 3.0 | — | 3.0 | — | 3.0 | |
| | ($V_{out}$ = 13.5 or 1.5 V) | 15 | — | 4.0 | — | 4.0 | — | 4.0 | |
| $V_{IH}$ | High–Level Input Voltage | | | | | | | | V |
| | ($V_{out}$ = 0.5 or 4.5 V) | 5.0 | 3.5 | — | 3.5 | — | 3.5 | — | |
| | ($V_{out}$ = 1.0 or 9.0 V) | 10 | 7.0 | — | 7.0 | — | 7.0 | — | |
| | ($V_{out}$ = 1.5 or 13.5 V) | 15 | 11 | — | 11 | — | 11 | — | |
| $I_{OH}$ | High–Level Output Current | | | | | | | | mA |
| | ($V_{out}$ = 2.5 V) | 5.0 | −2.5 | — | −2.1 | — | −1.7 | — | |
| | ($V_{out}$ = 4.6 V) | 5.0 | −0.52 | — | −0.44 | — | −0.36 | — | |
| | ($V_{out}$ = 9.5 V) | 10 | −1.3 | — | −1.1 | — | −0.9 | — | |
| | ($V_{out}$ = 13.5 V) | 15 | −3.6 | — | −3.0 | — | −2.4 | — | |
| $I_{OL}$ | Low–Level Output Current | | | | | | | | mA |
| | ($V_{out}$ = 0.4 V) | 5.0 | 0.52 | — | 0.44 | — | 0.36 | — | |
| | ($V_{out}$ = 0.5 V) | 10 | 1.3 | — | 1.1 | — | 0.9 | — | |
| | ($V_{out}$ = 1.5 V) | 15 | 3.6 | — | 3.0 | — | 2.4 | — | |
| $I_{in}$ | Input Current — $\overline{TE}$ | 5.0 | — | — | 3.0 | 11 | — | — | µA |
| | (MC145026, Pull–Up Device) | 10 | — | — | 16 | 60 | — | — | |
| | | 15 | — | — | 35 | 120 | — | — | |
| $I_{in}$ | Input Current | 15 | — | ± 0.3 | — | ± 0.3 | — | ± 1.0 | µA |
| | $R_S$ (MC145026), $D_{in}$ (MC145027, MC145028) | | | | | | | | |
| $I_{in}$ | Input Current | | | | | | | | µA |
| | A1 – A5, A6/D6 – A9/D9 (MC145026), | 5.0 | — | — | — | ± 110 | — | — | |
| | A1 – A5 (MC145027), | 10 | — | — | — | ± 500 | — | — | |
| | A1 – A9 (MC145028) | 15 | — | — | — | ± 1000 | — | — | |
| $C_{in}$ | Input Capacitance ($V_{in}$ = 0) | — | — | — | — | 7.5 | — | — | pF |
| $I_{DD}$ | Quiescent Current — MC145026 | 5.0 | — | — | — | 0.1 | — | — | µA |
| | | 10 | — | — | — | 0.2 | — | — | |
| | | 15 | — | — | — | 0.3 | — | — | |
| $I_{DD}$ | Quiescent Current — MC145027, MC145028 | 5.0 | — | — | — | 50 | — | — | µA |
| | | 10 | — | — | — | 100 | — | — | |
| | | 15 | — | — | — | 150 | — | — | |
| $I_{dd}$ | Dynamic Supply Current — MC145026 | 5.0 | — | — | — | 200 | — | — | µA |
| | ($f_c$ = 20 kHz) | 10 | — | — | — | 400 | — | — | |
| | | 15 | — | — | — | 600 | — | — | |
| $I_{dd}$ | Dynamic Supply Current — MC145027, MC145028 | 5.0 | — | — | — | 400 | — | — | µA |
| | ($f_c$ = 20 kHz) | 10 | — | — | — | 800 | — | — | |
| | | 15 | — | — | — | 1200 | — | — | |

* Also see next Electrical Characteristics table for 2.5 V specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

February 1988

# CD4028BM/CD4028BC BCD-to-Decimal Decoder

## General Description

The CD4028BM/CD4028BC is a BCD-to-decimal or binary-to-octal decoder consisting of 4 inputs, decoding logic gates, and 10 output buffers. A BCD code applied to the 4 inputs, A, B, C, and D, results in a high level at the selected 1-of-10 decimal decoded outputs. Similarly, a 3-bit binary code applied to inputs A, B, and C is decoded in octal at outputs 0–7. A high level signal at the D input inhibits octal decoding and causes outputs 0–7 to go low.

All inputs are protected against static discharge damage by diode clamps to $V_{DD}$ and $V_{SS}$.

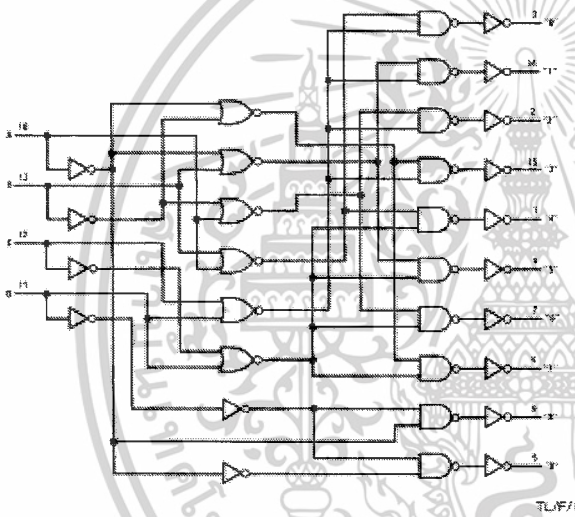
## Features

- Wide supply voltage range — 3.0V to 15V
- High noise immunity — 0.45 $V_{DD}$ (typ.)
- Low power TTL compatibility — fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS
- Low power
- Glitch free outputs
- "Positive logic" on inputs and outputs

## Applications

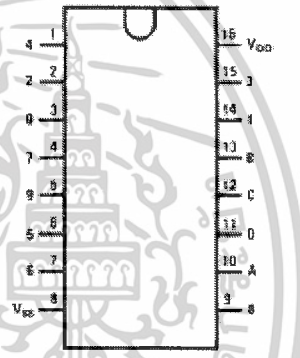
- Code conversion
- Address decoding
- Indicator-tube decoder

## Logic and Connection Diagrams



TL/F/5959–1

Dual-In-Line Package




TL/F/5959–2

Top View

Order Number CD4028B

## Truth Table

| D | C | B | A | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

BCD States

Extraordinary States

1 = High Level
0 = Low Level

©1988 National Semiconductor Corporation TL/F/5959

RRD-B30M105/Printed in U. S. A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

**If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.**

| | |
|---|---|
| Supply Voltage ($V_{DD}$) | −0.5 to +18V |
| Input Voltage ($V_{IN}$) | −0.5 to $V_{DD}$ +0.5V |
| Storage Temperature Range ($T_S$) | −65°C to +150°C |
| Power Dissipation ($P_D$) | |
| Dual-In-Line | 700 mW |
| Small Outline | 500 mW |
| Lead Temperature ($T_L$) | |
| (Soldering, 10 seconds) | 260°C |

## Recommended Operating Conditions (Note 2)

| | |
|---|---|
| Supply Voltage ($V_{DD}$) | 3 to 15V |
| Input Voltage ($V_{IN}$) | 0 to $V_{DD}$V |
| Operating Temperature Range ($T_A$) | |
| CD4026BM | −55°C to +125°C |
| CD4026BC | −40°C to +185°C |

## DC Electrical Characteristics CD4026BC (Note 2)

| Symbol | Parameter | Conditions | −55°C | | +25°C | | | +125°C | | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Min | Max | Min | Typ | Max | Min | Max | |
| $I_{DD}$ | Quiescent Device Current | $V_{DD}$ = 5V, $V_{IN}$ = $V_{DD}$ or $V_{SS}$ | | 5 | | 0.01 | 5 | | 150 | μA |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_{IN}$ = $V_{DD}$ or $V_{SS}$ | | 10 | | 0.01 | 10 | | 300 | μA |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_{IN}$ = $V_{DD}$ or $V_{SS}$ | | 20 | | 0.02 | 20 | | 600 | μA |
| $V_{OL}$ | Low Level Output Voltage | $\|I_O\|$ < 1 μA, $V_{IL}$ = 0V, $V_{IH}$ = $V_{DD}$ | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| $V_{OH}$ | High Level Output Voltage | $\|I_O\|$ < 1 μA, $V_{IL}$ = 0V, $V_{IH}$ = $V_{DD}$ | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V | 4.95 | | 4.95 | 5 | | 4.95 | | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V | 9.95 | | 9.95 | 10 | | 9.95 | | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V | 14.95 | | 14.95 | 15 | | 14.95 | | V |
| $V_{IL}$ | Low Level Input Voltage | $\|I_O\|$ < 1 μA | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V, $V_O$ = 0.5V or 4.5V | | 1.5 | | 2.25 | 1.5 | | 1.5 | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_O$ = 1V or 9V | | 3.0 | | 4.5 | 3.0 | | 3.0 | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_O$ = 1.5V or 13.5V | | 4.0 | | 6.75 | 4.0 | | 4.0 | V |
| $V_{IH}$ | High Level Input Voltage | $\|I_O\|$ < 1 μA | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V, $V_O$ = 0.5V or 4.5V | 3.5 | | 3.5 | 2.75 | | 3.5 | | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_O$ = 1V or 9V | 7.0 | | 7.0 | 5.5 | | 7.0 | | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_O$ = 1.5V or 13.5V | 11.0 | | 11.0 | 8.25 | | 11.0 | | V |
| $I_{OL}$ | Low Level Output Current (Note 3) | $V_{IL}$ = 0V, $V_{IH}$ = $V_{DD}$ | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V, $V_O$ = 0.4V | 0.64 | | 0.51 | 1.0 | | 0.36 | | mA |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_O$ = 0.5V | 1.6 | | 1.3 | 2.6 | | 0.9 | | mA |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_O$ = 1.5V | 4.2 | | 3.4 | 6.8 | | 2.4 | | mA |
| $I_{OH}$ | High Level Output Current (Note 3) | $V_{IL}$ = 0V, $V_{IH}$ = $V_{DD}$ | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V, $V_O$ = 4.6V | −0.25 | | −0.2 | −0.4 | | −0.14 | | mA |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_O$ = 9.5V | −0.62 | | −0.5 | −1.0 | | −0.35 | | mA |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_O$ = 13.5V | −1.8 | | −1.5 | −3.0 | | −1.1 | | mA |
| $I_{IN}$ | Input Current | $V_{DD}$ = 15V, $V_{IN}$ = 0V | | −0.1 | | $-10^{-5}$ | −0.1 | | −1.0 | μA |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_{IN}$ = 15V | | 0.1 | | $10^{-5}$ | 0.1 | | 1.0 | μA |

## DC Electrical Characteristics CD4026BC (Note 2)

| Symbol | Parameter | Conditions | −40°C | | +25°C | | | +85°C | | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Min | Max | Min | Typ | Max | Min | Max | |
| $I_{DD}$ | Quiescent Device Current | $V_{DD}$ = 5V, $V_{IN}$ = $V_{DD}$ or $V_{SS}$ | | 20 | | 0.01 | 20 | | 150 | μA |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_{IN}$ = $V_{DD}$ or $V_{SS}$ | | 40 | | 0.01 | 40 | | 300 | μA |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_{IN}$ = $V_{DD}$ or $V_{SS}$ | | 80 | | 0.02 | 80 | | 600 | μA |
| $V_{OL}$ | Low Level Output Voltage | $\|I_O\|$ < 1 μA, $V_{IL}$ = 0V, $V_{IH}$ = $V_{DD}$ | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

February 1993

# CD4093BM/CD4093BC Quad 2-Input NAND Schmitt Trigger

## General Description

The CD4093B consists of four Schmitt-trigger circuits. Each circuit functions as a 2-input NAND gate with Schmitt-trigger action on both inputs. The gate switches at different points for positive and negative-going signals. The difference between the positive ($V_{T}^{+}$) and the negative voltage ($V_{T}^{-}$) is defined as hysteresis voltage ($V_H$).

All outputs have equal source and sink currents and conform to standard B-series output drive (see Static Electrical Characteristics).

## Features

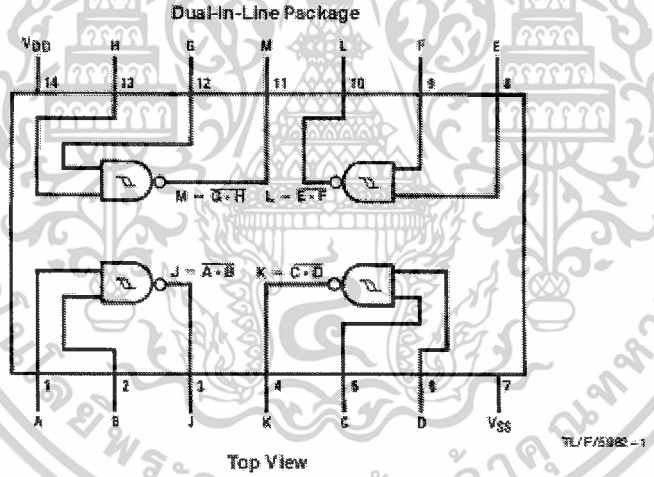
- Wide supply voltage range 3.0V to 15V
- Schmitt-trigger on each input with no external components
- Noise immunity greater than 50%
- Equal source and sink currents
- No limit on input rise and fall time
- Standard B-series output drive
- Hysteresis voltage (any input) $T_A = 25°C$

| | | |
|---|---|---|
| Typical | $V_{DD} = 5.0V$ | $V_H = 1.5V$ |
| | $V_{DD} = 10V$ | $V_H = 2.2V$ |
| | $V_{DD} = 15V$ | $V_H = 2.7V$ |
| Guaranteed | | $V_H = 0.1\ V_{DD}$ |

## Applications

- Wave and pulse shapers
- High-noise-environment systems
- Monostable multivibrators
- Astable multivibrators
- NAND logic

## Connection Diagram




Top View

Order Number CD4093B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

**If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.**

| | |
|---|---|
| DC Supply Voltage ($V_{DD}$) | −0.5 to +18 $V_{DC}$ |
| Input Voltage ($V_{IN}$) | −0.5 to $V_{DD}$ +0.5 $V_{DC}$ |
| Storage Temperature Range ($T_S$) | −65°C to +150°C |
| Power Dissipation ($P_D$) | |
| Dual-In-Line | 700 mW |
| Small Outline | 500 mW |
| Lead Temperature ($T_L$) (Soldering, 10 seconds) | 260°C |

## Recommended Operating Conditions (Note 2)

| | |
|---|---|
| DC Supply Voltage ($V_{DD}$) | 3 to 15 $V_{DC}$ |
| Input Voltage ($V_{IN}$) | 0 to $V_{DD}$ $V_{DC}$ |
| Operating Temperature Range ($T_A$) | |
| CD4093BM | −55°C to +125°C |
| CD4093BC | −40°C to +85°C |

## DC Electrical Characteristics CD4093BM (Note 2)

| Symbol | Parameter | Conditions | −55°C | | +25°C | | | +125°C | | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Min | Max | Min | Typ | Max | Min | Max | |
| $I_{DD}$ | Quiescent Device Current | $V_{DD}$ = 5V | | 0.25 | | | 0.25 | | 7.5 | µA |
| | | $V_{DD}$ = 10V | | 0.5 | | | 0.5 | | 15.0 | µA |
| | | $V_{DD}$ = 15V | | 1.0 | | | 1.0 | | 30.0 | µA |
| $V_{OL}$ | Low Level Output Voltage | $V_{IN}$ = $V_{DD}$, $\|I_O\|$ < 1 µA | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| $V_{OH}$ | High Level Output Voltage | $V_{IN}$ = $V_{SS}$, $\|I_O\|$ < 1 µA | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V | 4.95 | | 4.95 | 5 | | 4.95 | | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V | 9.95 | | 9.95 | 10 | | 9.95 | | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V | 14.95 | | 14.95 | 15 | | 14.95 | | V |
| $V_T^-$ | Negative-Going Threshold Voltage (Any Input) | $\|I_O\|$ < 1 µA | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V, $V_O$ = 4.5V | 1.3 | 2.25 | 1.5 | 1.8 | 2.25 | 1.5 | 2.3 | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_O$ = 9V | 2.85 | 4.5 | 3.0 | 4.1 | 4.5 | 3.0 | 4.65 | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_O$ = 13.5V | 4.35 | 6.75 | 4.5 | 6.3 | 6.75 | 4.5 | 6.9 | V |
| $V_T^+$ | Positive-Going Threshold Voltage (Any Input) | $\|I_O\|$ < 1 µA | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V, $V_O$ = 0.5V | 2.75 | 3.65 | 2.75 | 3.3 | 3.5 | 2.65 | 3.5 | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_O$ = 1V | 5.5 | 7.15 | 5.5 | 6.2 | 7.0 | 5.35 | 7.0 | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_O$ = 1.5V | 8.25 | 10.65 | 8.25 | 9.0 | 10.5 | 8.1 | 10.5 | V |
| $V_H$ | Hysteresis ($V_T^+ - V_T^-$) (Any Input) | $V_{DD}$ = 5V | 0.5 | 2.35 | 0.5 | 1.5 | 2.0 | 0.35 | 2.0 | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V | 1.0 | 4.30 | 1.0 | 2.2 | 4.0 | 0.70 | 4.0 | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V | 1.5 | 6.30 | 1.5 | 2.7 | 6.0 | 1.20 | 6.0 | V |
| $I_{OL}$ | Low Level Output Current (Note 3) | $V_{IN}$ = $V_{DD}$ | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V, $V_O$ = 0.4V | 0.64 | | 0.51 | 0.88 | | 0.36 | | mA |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_O$ = 0.5V | 1.6 | | 1.3 | 2.25 | | 0.9 | | mA |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_O$ = 1.5V | 4.2 | | 3.4 | 8.8 | | 2.4 | | mA |
| $I_{OH}$ | High Level Output Current (Note 3) | $V_{IN}$ = $V_{SS}$ | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V, $V_O$ = 4.6V | −0.64 | | 0.51 | −0.88 | | −0.36 | | mA |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_O$ = 9.5V | −1.6 | | −1.3 | −2.25 | | −0.9 | | mA |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_O$ = 13.5V | −4.2 | | −3.4 | −8.8 | | −2.4 | | mA |
| $I_{IN}$ | Input Current | $V_{DD}$ = 15V, $V_{IN}$ = 0V | | −0.1 | | $-10^{-5}$ | −0.1 | | −1.0 | µA |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_{IN}$ = 15V | | 0.1 | | $10^{-5}$ | 0.1 | | 1.0 | µA |

**Note 1:** "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed; they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

**Note 2:** $V_{SS}$ = 0V unless otherwise specified.

**Note 3:** $I_{OH}$ and $I_{OL}$ are tested one output at a time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DC Electrical Characteristics CD4093BC (Note 2)

| Symbol | Parameter | Conditions | −40°C | | +25°C | | | +85°C | | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Min | Max | Min | Typ | Max | Min | Max | |
| $I_{DD}$ | Quiescent Device Current | $V_{DD}$ = 5V | | 1.0 | | | 1.0 | | 7.5 | μA |
| | | $V_{DD}$ = 10V | | 2.0 | | | 2.0 | | 15.0 | μA |
| | | $V_{DD}$ = 15V | | 4.0 | | | 4.0 | | 30.0 | μA |
| $V_{OL}$ | Low Level Output Voltage | $V_{IN}$ = $V_{DD}$, $\|I_O\|$ < 1 μA | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V | | 0.05 | | 0 | 0.05 | | 0.05 | V |
| $V_{OH}$ | High Level Output Voltage | $V_{IN}$ = $V_{SS}$, $\|I_O\|$ < 1 μA | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V | 4.95 | | 4.95 | 5 | | 4.95 | | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V | 9.95 | | 9.95 | 10 | | 9.95 | | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V | 14.95 | | 14.95 | 15 | | 14.95 | | V |
| $V_T^-$ | Negative-Going Threshold Voltage (Any Input) | $\|I_O\|$ < 1 μA | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V, $V_O$ = 4.5V | 1.3 | 2.25 | 1.5 | 1.8 | 2.25 | 1.5 | 2.3 | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_O$ = 9V | 2.85 | 4.5 | 3.0 | 4.1 | 4.5 | 3.0 | 4.65 | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_O$ = 13.5V | 4.35 | 6.75 | 4.5 | 6.3 | 6.75 | 4.5 | 6.9 | V |
| $V_T^+$ | Positive-Going Threshold Voltage (Any Input) | $\|I_O\|$ < 1 μA | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V, $V_O$ = 0.5V | 2.75 | 3.6 | 2.75 | 3.3 | 3.5 | 2.65 | 3.5 | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_O$ = 1V | 5.5 | 7.15 | 5.5 | 6.2 | 7.0 | 5.35 | 7.0 | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_O$ = 1.5V | 8.25 | 10.65 | 8.25 | 9.0 | 10.5 | 8.1 | 10.5 | V |
| $V_H$ | Hysteresis ($V_T^+ - V_T^-$) (Any Input) | $V_{DD}$ = 5V | 0.5 | 2.35 | 0.5 | 1.5 | 2.0 | 0.35 | 2.0 | V |
| | | $V_{DD}$ = 10V | 1.0 | 4.3 | 1.0 | 2.2 | 4.0 | 0.70 | 4.0 | V |
| | | $V_{DD}$ = 15V | 1.5 | 6.3 | 1.5 | 2.7 | 6.0 | 1.20 | 6.0 | V |
| $I_{OL}$ | Low Level Output Current (Note 3) | $V_{IN}$ = $V_{DD}$ | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V, $V_O$ = 0.4V | 0.52 | | 0.44 | 0.88 | | 0.36 | | mA |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_O$ = 0.5V | 1.3 | | 1.1 | 2.25 | | 0.9 | | mA |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_O$ = 1.5V | 3.6 | | 3.0 | 8.8 | | 2.4 | | mA |
| $I_{OH}$ | High Level Output Current (Note 3) | $V_{IN}$ = $V_{SS}$ | | | | | | | | |
| | | $V_{DD}$ = 5V, $V_O$ = 4.6V | −0.52 | | 0.44 | −0.88 | | −0.36 | | mA |
| | | $V_{DD}$ = 10V, $V_O$ = 9.5V | −1.3 | | −1.1 | −2.25 | | −0.9 | | mA |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_O$ = 13.5V | −3.6 | | −3.0 | −8.8 | | −2.4 | | mA |
| $I_{IN}$ | Input Current | $V_{DD}$ = 15V, $V_{IN}$ = 0V | | −0.3 | | $-10^{-5}$ | −0.3 | | −1.0 | μA |
| | | $V_{DD}$ = 15V, $V_{IN}$ = 15V | | 0.3 | | $10^{-5}$ | 0.3 | | 1.0 | μA |

## AC Electrical Characteristics*

$T_A$ = 25°C, $C_L$ = 50 pF, $R_L$ = 200k, Input $t_r$, $t_f$ = 20 ns, unless otherwise specified

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_{PHL}$, $t_{PLH}$ | Propagation Delay Time | $V_{DD}$ = 5V | | 300 | 450 | ns |
| | | $V_{DD}$ = 10V | | 120 | 210 | ns |
| | | $V_{DD}$ = 15V | | 80 | 160 | ns |
| $t_{THL}$, $t_{TLH}$ | Transition Time | $V_{DD}$ = 5V | | 90 | 145 | ns |
| | | $V_{DD}$ = 10V | | 50 | 75 | ns |
| | | $V_{DD}$ = 15V | | 40 | 60 | ns |
| $C_{IN}$ | Input Capacitance | (Any Input) | | 5.0 | 7.5 | pF |
| $C_{PD}$ | Power Dissipation Capacitance | (Per Gate) | | 24 | | pF |

*AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

**Note 2:** $V_{SS}$ = 0V unless otherwise specified.

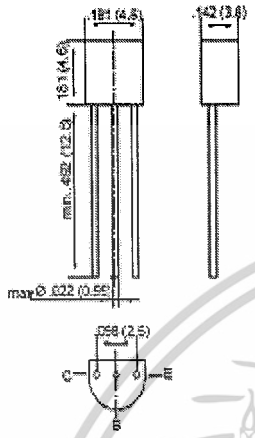
**Note 3:** $I_{OH}$ and $I_{OL}$ are tested one output at a time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# BC546 THRU BC549

## Small Signal Transistors (NPN)

TO-92




*Dimensions in inches and (millimeters)*

### FEATURES

- NPN Silicon Epitaxial Planar Transistors
- These transistors are subdivided into three groups A, B and C according to their current gain. The type BC546 is available in groups A and B, however, the types BC547 and BC548 can be supplied in all three groups. The BC549 is a low-noise type and available in groups B and C. As complementary types, the PNP transistors BC556 ... BC559 are recommended.

- On special request, these transistors are also manufactured in the pin configuration TO-18.

### MECHANICAL DATA

**Case:** TO-92 Plastic Package
**Weight:** approx. 0.18 g

### MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified

| | | Symbol | Value | Unit |
|---|---|---|---|---|
| Collector-Base Voltage | BC546 | $V_{CBO}$ | 80 | V |
| | BC547 | $V_{CBO}$ | 50 | V |
| | BC548, BC549 | $V_{CBO}$ | 30 | V |
| Collector-Emitter Voltage | BC546 | $V_{CES}$ | 80 | V |
| | BC547 | $V_{CES}$ | 50 | V |
| | BC548, BC549 | $V_{CES}$ | 30 | V |
| Collector-Emitter Voltage | BC546 | $V_{CEO}$ | 65 | V |
| | BC547 | $V_{CEO}$ | 45 | V |
| | BC548, BC549 | $V_{CEO}$ | 30 | V |
| Emitter-Base Voltage | BC546, BC547 | $V_{EBO}$ | 6 | V |
| | BC548, BC549 | $V_{EBO}$ | 5 | V |
| Collector Current | | $I_C$ | 100 | mA |
| Peak Collector Current | | $I_{CM}$ | 200 | mA |
| Peak Base Current | | $I_{BM}$ | 200 | mA |
| Peak Emitter Current | | $-I_{EM}$ | 200 | mA |
| Power Dissipation at $T_{amb}$ = 25 °C | | $P_{tot}$ | 500[1] | mW |
| Junction Temperature | | $T_j$ | 150 | °C |
| Storage Temperature Range | | $T_S$ | –65 to +150 | °C |

[1] Valid provided that leads are kept at ambient temperature at a distance of 2 mm from case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIODES INCORPORATED

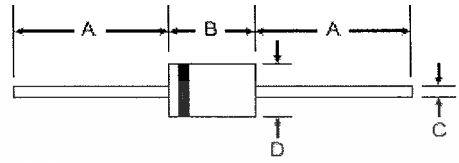
# 1N4001/L - 1N4007/L

## 1.0A RECTIFIER

SPICE MODELS: 1N4001 1N4002 1N4003 1N4004 1N4005 1N4006 1N4007

## Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- Plastic Material: UL Flammability Classification Rating 94V-0




## Mechanical Data

- Case: Molded Plastic
- Terminals: Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Weight: DO-41 0.30 grams (approx)
  A-405 0.20 grams (approx)
- Mounting Position: Any
- Marking: Type Number

| | DO-41 Plastic | | A-405 | |
|---|---|---|---|---|
| Dim | Min | Max | Min | Max |
| A | 25.40 | — | 25.40 | — |
| B | 4.06 | 5.21 | 4.10 | 5.20 |
| C | 0.71 | 0.864 | 0.53 | 0.64 |
| D | 2.00 | 2.72 | 2.00 | 2.70 |
| All Dimensions in mm | | | | |

'L' Suffix Designates A-405 Package
No Suffix Designates DO-41 Package

## Maximum Ratings and Electrical Characteristics @ $T_A$ = 25°C unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

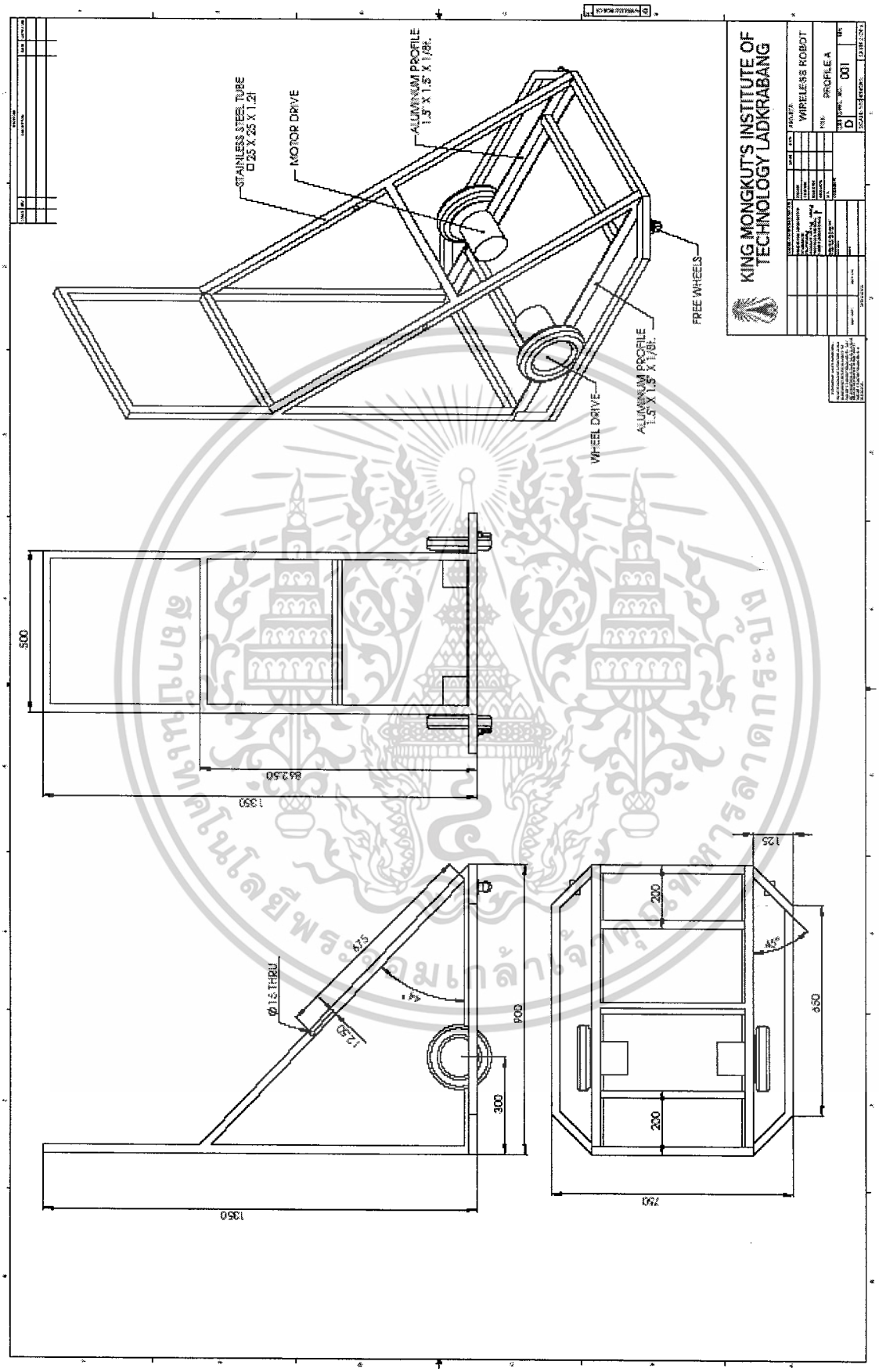
| Characteristic | Symbol | 1N 4001/L | 1N 4002/L | 1N 4003/L | 1N 4004/L | 1N 4005/L | 1N 4006/L | 1N 4007/L | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Peak Repetitive Reverse Voltage<br>Working Peak Reverse Voltage<br>DC Blocking Voltage | $V_{RRM}$<br>$V_{RWM}$<br>$V_R$ | 50 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | V |
| RMS Reverse Voltage | $V_{R(RMS)}$ | 35 | 70 | 140 | 280 | 420 | 560 | 700 | V |
| Average Rectified Output Current (Note 1) @ $T_A$ = 75°C | $I_O$ | 1.0 | | | | | | | A |
| Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method) | $I_{FSM}$ | 30 | | | | | | | A |
| Forward Voltage @ $I_F$ = 1.0A | $V_{FM}$ | 1.0 | | | | | | | V |
| Peak Reverse Current @ $T_A$ = 25°C<br>at Rated DC Blocking Voltage @ $T_A$ = 100°C | $I_{RM}$ | 5.0<br>50 | | | | | | | μA |
| Typical Junction Capacitance (Note 2) | $C_j$ | 15 | | | | 8 | | | pF |
| Typical Thermal Resistance Junction to Ambient | $R_{\theta JA}$ | 100 | | | | | | | K/W |
| Maximum DC Blocking Voltage Temperature | $T_A$ | +150 | | | | | | | °C |
| Operating and Storage Temperature Range (Note 3) | $T_J$, $T_{STG}$ | -55 to +175 | | | | | | | °C |

Notes: 1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
2. Measured at 1. MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
3. JEDEC Value

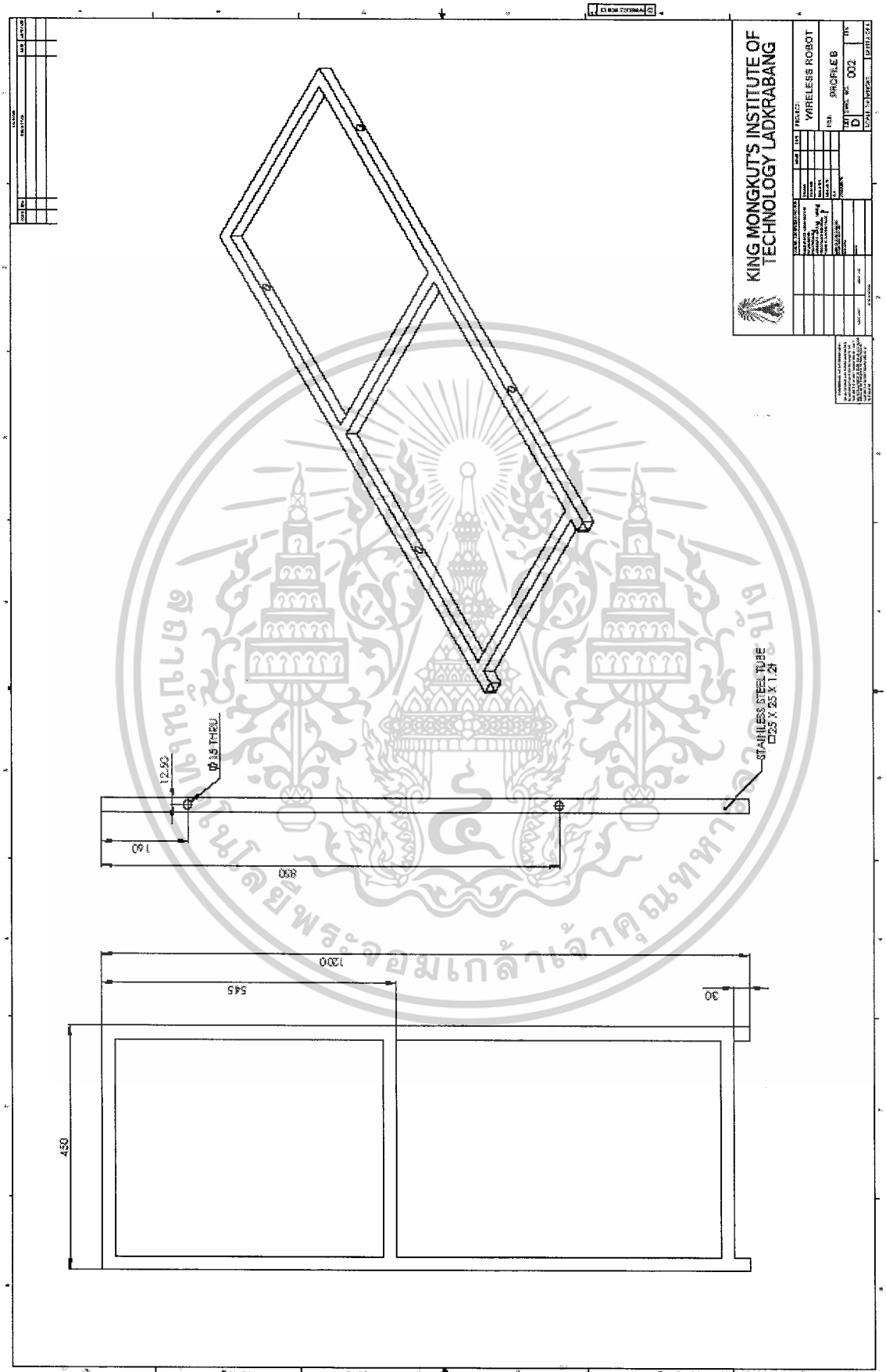
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ช
# การสร้างโครงสร้างหุ่นยนต์

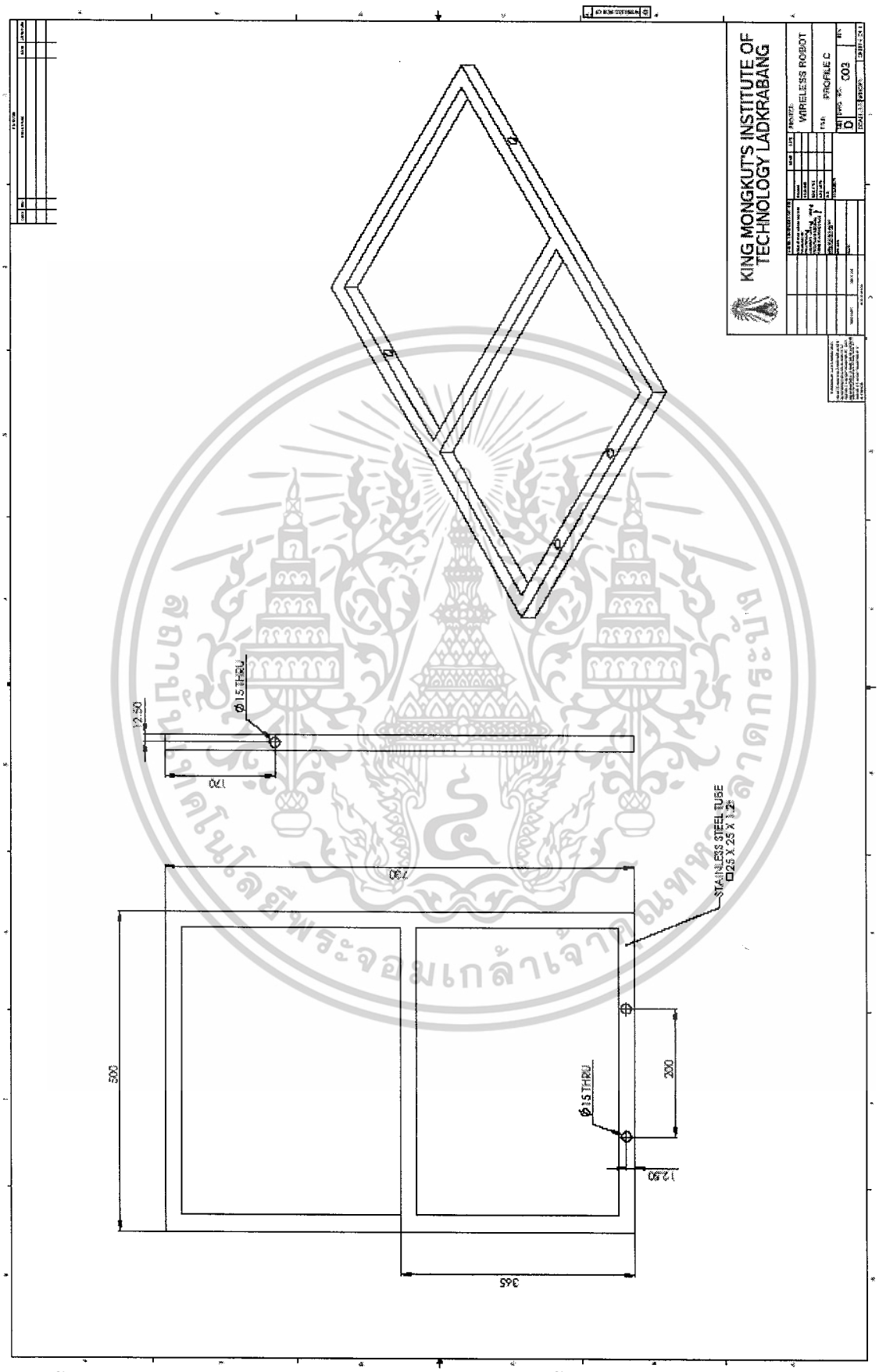
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



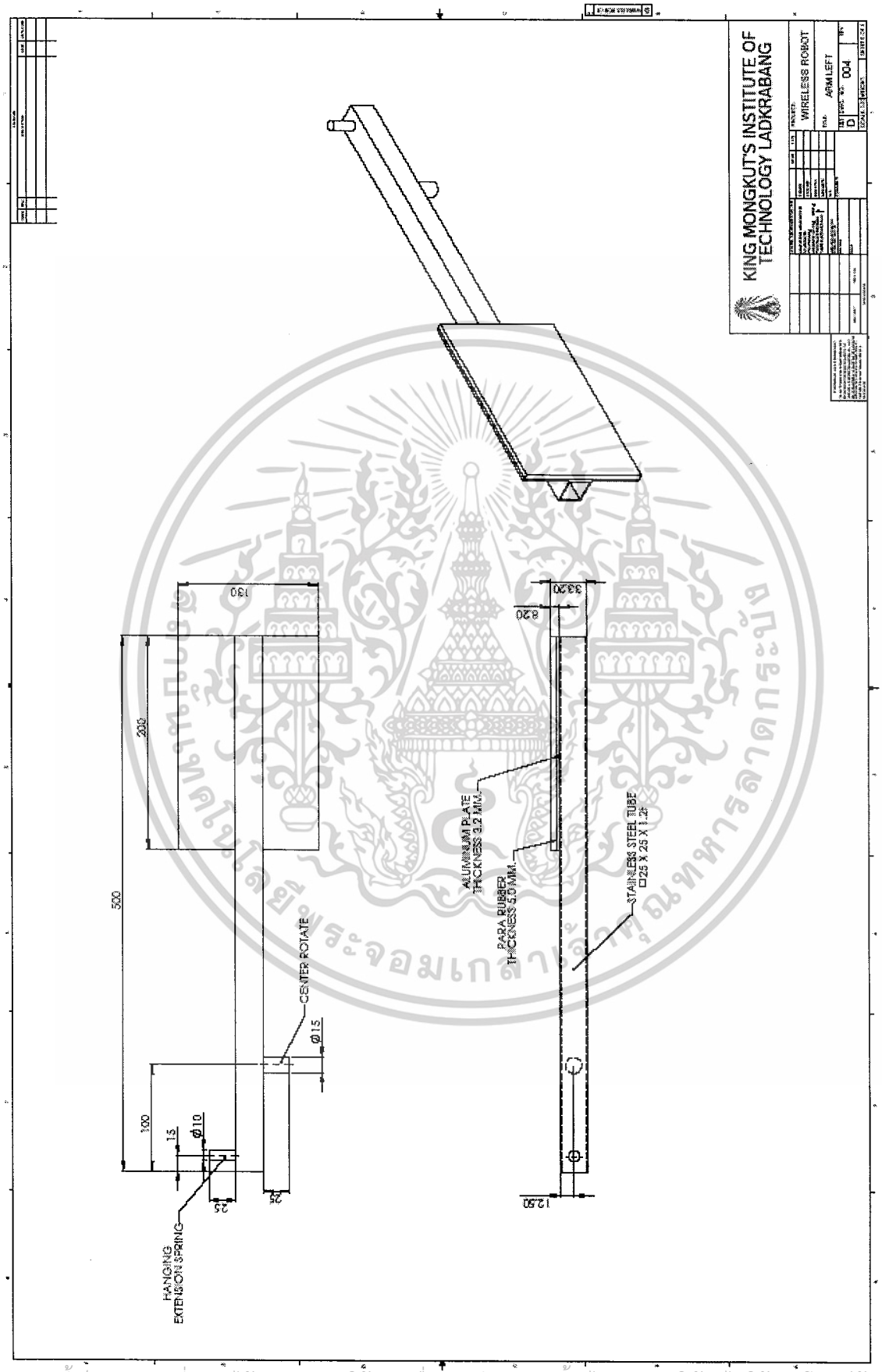

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



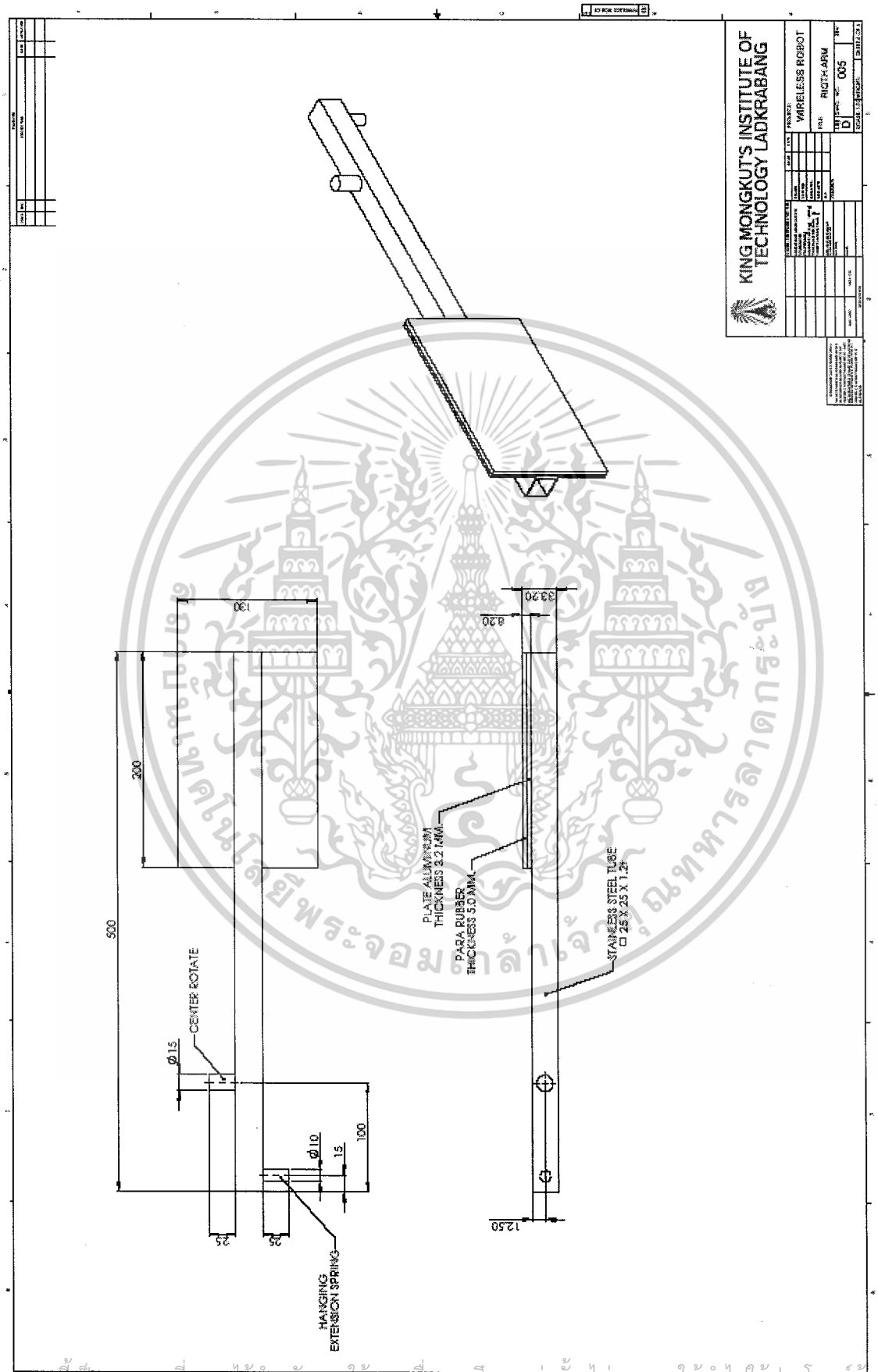

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



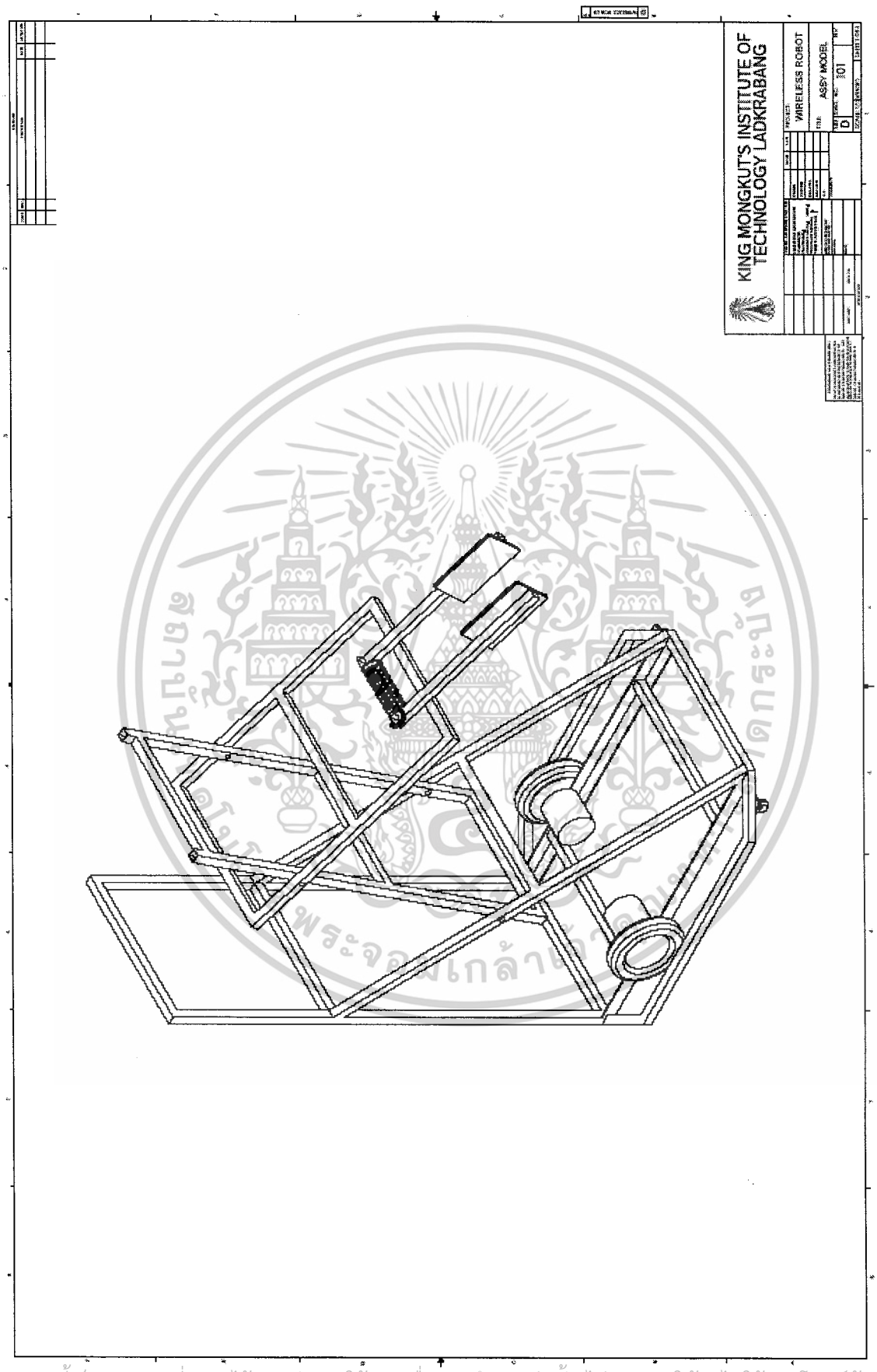

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้แต่ง

**ชื่อ-สกุล** นายเจษฎา พรมมาหล้า

**วัน เดือน ปีเกิด** 28 กันยายน พ.ศ. 2525

**ภูมิลำเนา** 4 หมู่ที่ 1 ตำบลบ้านเป้า อำเภอเกษตรสมบูรณ์
จังหวัดชัยภูมิ 36120
โทรศัพท์ 0-1509-0457

**ประวัติการศึกษา**

ประถมศึกษา โรงเรียนบ้านเป้าสำราญไชยวิทยา จังหวัดชัยภูมิ

มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนภูเวียงวิทยาคม จังหวัดขอนแก่น

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ

ปริญญาตรี สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

**คติพจน์** หากตะวันยังเคียงคู่ฟ้า จะมัวมาสิ้นหวังทำไม
รับวันใหม่ที่เป็นชัยชนะของเรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้แต่ง

**ชื่อ-สกุล** นายเจษฎา พินสุวรรณ

**วัน เดือน ปีเกิด** 13 กันยายน พ.ศ. 2525

**ภูมิลำเนา** 172/4 ถนนหน้าสถานี ตำบลหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่
จังหวัดสงขลา 90110
โทรศัพท์ 0-9737-8569

**ประวัติการศึกษา**

ประถมศึกษา โรงเรียนหาดใหญ่อำนวยวิทย์

มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนหาดใหญ่อำนวยวิทย์

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคใต้ จังหวัดสงขลา

ปริญญาตรี สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

**คติพจน์** ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้แต่ง

**ชื่อ-สกุล** นางสาวทิพวรรณ ฤกษ์ศรี

**วัน เดือน ปีเกิด** 3 เมษายน พ.ศ. 2525

**ภูมิลำเนา** 36 หมู่ 6 ตำบลจอมพระ
อำเภอจอมพระ จังหวัดสุรินทร์ 32180
โทรศัพท์ 0-4020-7827

**ประวัติการศึกษา**

ประถมศึกษา โรงเรียนบ้านกระทุ่ม จังหวัดสุรินทร์

มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนจอมพระประชาสรรค์ จังหวัดสุรินทร์

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

ปริญญาตรี สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

**คติพจน์** อีกก้าวของความสำเร็จ อยู่ที่การให้ ไม่ใช่ครอบครอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้แต่ง

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | นายสมจิณ อบอุ่น |
| **วัน เดือน ปีเกิด** | 26 สิงหาคม พ.ศ. 2522 |
| **ภูมิลำเนา** | 113/1 หมู่ 7 ตำบลบ้านเกาะ |
| | อำเภอบ้านเกาะ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80320 |
| | โทรศัพท์ 0-9662-2777 |
| **ประวัติการศึกษา** | |
| ประถมศึกษา | โรงเรียนชุมชนวัดอินทรีย์พระคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช |
| มัธยมศึกษาตอนต้น | โรงเรียนเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพ | วิทยาลัยเทคนิคสตูล จังหวัดสตูล |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง | วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช |
| ปริญญาตรี | สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ |
| | ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม |
| | คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. |
| **คติพจน์** | **คนเราเลือกเกิดไม่ได้ แต่เลือกที่จะเป็นคนดีได้** |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้