สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์หุ่นยนต์และระบบรถเคลื่อนที่อัตโนมัติสำหรับงานบริการ

Application Robot and AGVs for Service

นางสาวกรกช สิงห์สัตย์

Miss Korrakod Singsat

นางสาวณัฐนันท์ โกอุดมวิทย์

Miss Nattanun Koudomvit

นายพงษ์สิทธิ์ เดชกำจรกุล

Mr. Pongsit Detkamjornkun

นางสาวภณิษฎา วิริยะธีรกิจ

Miss Panitsada Wiriyateerakij

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42426
วัน, เดือน, ปี 23 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์หุ่นยนต์และระบบรถเคลื่อนที่อัตโนมัติสำหรับงานบริการ Application Robot and AGVs for Service		
นักศึกษา	นางสาวกรกช สิงห์สัตย์	รหัสประจำตัว	40010008
	นางสาวณัฐนันท์ โกอุดมวิทย์	รหัสประจำตัว	40010122
	นายพงษ์สิทธิ์ เดชกำจรกุล	รหัสประจำตัว	40010482
	นางสาวภณิษฎา วิริยะธีรกิจ	รหัสประจำตัว	40010541
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2543		

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(อ.อุดม จันทร์จรัสสุข)

(อ.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประยุกต์หุ่นยนต์ และระบบรถเคลื่อนที่อัตโนมัติสำหรับงานบริการ		
นักศึกษา	นางสาวกรกช	สิงห์สัตย์	รหัสประจำตัว 40010008
	นางสาวณัฐนันท์	โกอุดมวิทย์	รหัสประจำตัว 40010122
	นายพงษ์สิทธิ์	เดชกำจรกุล	รหัสประจำตัว 40010482
	นางสาวภณิษฎา	วิริยะธีรกิจ	รหัสประจำตัว 40010541
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2543		
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์			
	อาจารย์อุดม	จันทร์จรัสสุข	
	อาจารย์เอกพจน์	ตันตราภิวัฒน์	

บทคัดย่อ

ในส่วนของโครงงานนี้จะทำการศึกษา ออกแบบ และสร้างระบบหุ่นยนต์อัตโนมัติที่มีความสามารถในการชงเครื่องดื่มสำเร็จรูป และขนย้ายไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ได้ โดยระบบจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนแขนกลสำหรับชงเครื่องดื่ม (Manipulator Robot) และส่วนตัวรถเคลื่อนที่ (AGV Robot) สำหรับขนย้ายเครื่องดื่มที่ชงเสร็จแล้วมาจากแขนกล โดยโครงงานนี้จะเป็นการจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ในระบบอุตสาหกรรม และใช้เป็นแนวทางเพื่อนำไปประยุกต์การทำงานในลักษณะอื่นๆ ต่อไป เช่น การเชื่อมประสานชิ้นงาน หรือ การพ่นสีชิ้นงาน ที่ระบบสามารถนำชิ้นงานที่เสร็จแล้วไปส่งยังตำแหน่งที่ต้องการต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	APPLICATION ROBOT AND AGVs FOR SERVICE		
Student	Miss Korrakod	Singsat	ID.Student 40010008
	Miss Nattanun	Koudomvit	ID.Student 40010122
	Mr. Pongsit	Detkamjornkun	ID.Student 40010482
	Miss Panitsada	Wiriyateerakij	ID.Student 40010541
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Industrial Engineering		
Year	2000		
Thesis Advisor	Mr. Udom	Janjarussuk	
	Mr. Akkapoj	Tuntrapiwat	

ABSTRACT

In the present study , a robot automation system is designed and constructed for mixing beverage and then move it to a target position. There are three main parts which are manipulator robot that mixes beverage , beverage powder machine , and the Automatic Guided Vehicle (AGV) brings the beverage to the target position. The aims of this project are to simulate the operating system of an actual industrial robot and to study the principle applications which can use in the other industrial applications such as welding , spraying and processing assembly line.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี ขอบคุณความเมตตาและความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 2 ท่าน คือ อ.อุดม จันทร์จรัสสุข (พี่ดม) และ อ.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ (พี่เป้า) ที่คอยให้คำปรึกษา ดูแล และเอาใจใส่ กับพวกเราตลอดการทำโครงงานนี้ ตั้งแต่วันแรกจนถึงวันสุดท้าย

ขอขอบคุณ ดร. สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ (พี่เต่า) ที่ให้คำแนะนำ กำลังใจ คอยเติมเต็มส่วนที่ขาดหายไป และที่ขาดไม่ได้ คือ เสบียงอันอิ่มหนำสำราญที่ช่วยเติมพลังและแรงให้กับพวกเราเสมอมา

ขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่น้องที่ให้กำลังใจ ดูแล และสนับสนุนในการลงทุนทุกๆ ด้าน

ขอบคุณอาจารย์ภาคอุตสาหการทุกท่านที่ทำให้มีวันนี้ และพี่โก้ (นายนิรุตต์ ร่วมกระโทก) พี่ชายใจดีของภาคเครื่องกลที่ให้ความสะดวกในการทำงานต่างๆ

ขอบคุณเป็นพิเศษ สำหรับพี่สาวที่น่ารัก ดร. วิภา เจียรไนวชิระ (พี่หวั่น) ที่เสียสละเวลาอันมีค่ามาช่วยแก้บทคัดย่อฉบับภาษาอังกฤษ ให้ถูกต้องและดูดีขึ้นกว่าเดิม

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ชาววิศวะอุตสาหการทุกท่านที่ร่วมทุกข์ร่วมสุข คอยให้เสียงหัวเราะ ความช่วยเหลือต่างๆ ด้วยความจริงใจ และขอบคุณกำลังใจที่มีให้กันเสมอมา

เค้ก , เอ๋ , นุ่น , สิทธิ์

มีนาคม 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อฉบับภาษาไทย I

บทคัดย่อฉบับภาษาอังกฤษ II

สารบัญ III

สารบัญภาพ VI

สารบัญตาราง IX

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน (Statement) 1

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา (Goal and Objective) 1

1.3 ขอบเขตของการศึกษา (Scope of the Study) 1

บทที่ 2 ทฤษฎี และ หลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (INDUSTRIAL ROBOT) 2

2.1.1 การจัดประเภท 2

2.1.2 การจัดประเภทหุ่นยนต์ตามพิกัดของแขนกล (Manipulator) 2

2.1.3 การจัดประเภทหุ่นยนต์ตามลักษณะการเคลื่อนที่ 6

2.1.4 การจัดประเภทหุ่นยนต์ตามลักษณะการควบคุมเส้นทาง 6

2.2 ระบบรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ (AUTOMATIC GUIDED VEHICLE SYSTEMS) 7

2.2.1 ชนิดของ AGVs 7

2.2.2 การเคลื่อนที่ของ AGVs 7

2.3 ส่วนการขับเคลื่อน (DRIVERS) 8

2.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DIRECT CURRENT MOTOR) 8

2.3.2 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (STEPPER MOTOR) 13

2.3.3 โซลีนอยด์ (SOLENOID) 16

2.4 เซนเซอร์ (SENSORS) 19

2.4.1 ส่วนตรวจรู้เส้นทางการเดิน (PHOTODIODE TRANSISTOR) 19

2.4.2 ส่วนตรวจรู้วัตถุกีดขวาง (ULTRASONIC) 22

2.4.3 ส่วนตรวจรู้การมีของวัตถุ (ELECTROMECHANICAL RELAY) 28

2.4.4 ส่วนตรวจรู้ตำแหน่งหยุด (OPTOELECTRONIC) 30

2.4.5 สวิตช์ตำแหน่ง (LIMIT SWITCH) 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.5 ส่วนควบคุมการทำงาน (MICROCONTROLLER) 38
2.5.1 โครงสร้างของระบบคอมพิวเตอร์ 38
2.5.2 ไมโครโปรเซสเซอร์ 39
2.5.3 โครงสร้างภายในไมโครโปรเซสเซอร์ 40
2.5.4 ไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51 (Microcontroller MCS-51) 41
2.5.5 การจัดขาต่างๆ ของ MCS-51 42
2.5.6 โครงสร้างหน่วยความจำ 44
2.5.7 โครงสร้างของอินพุต / เอาท์พุตพอร์ท (Input / Output Port) 44

บทที่ 3 หลักการทำงาน และ การออกแบบ

3.1 ขอบเขต และหลักการทำงาน 46
3.1.1 ขอบเขตการทำงาน 46
3.1.2 หลักการทำงานของระบบ 46
3.2 การออกแบบส่วน MECHANICS 47
3.2.1 แขนกล 47
3.2.2 ชุดปล่อยส่วนผสม 50
3.2.3 รถเคลื่อนที่อัตโนมัติ 52
3.3 การออกแบบส่วน ELECTRONICS 58
3.3.1 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของแขนกลและส่วนของการชงเครื่องดื่ม 58
3.3.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ 63
3.4 การออกแบบส่วน PROGRAM 75
3.4.1 โปรแกรมการทำงานของแขนกลและส่วนของการชงเครื่องดื่ม 75
3.4.2 โปรแกรมการทำงานของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ 75

บทที่ 4 ผลการทดลอง และ สรุปผล

4.1 ส่วนของแขนกล 85
4.1.1 การทดลอง 85
4.1.2 ผลการทดลอง 85
4.2 ส่วนของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ 86
4.2.1 การทดลอง 86
4.2.2 ผลการทดลอง 86
4.3 สรุปผลการทดลองของโครงงาน 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลของโครงงาน

5.1 สรุปผลที่ได้จากโครงงาน 89

5.2 การบรรลุจุดประสงค์จากการทำโครงงาน 89

5.3 ปัญหาที่พบระหว่างการปฏิบัติงาน 89

5.4 แนวทางในการพัฒนาและปรับปรุง 90

ภาคผนวก ก. โปรแกรมภาษาปาสคาลควบคุมแขนกล **X**

ภาคผนวก ข. โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีควบคุมรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ **XI**

กิตติกรรมประกาศ **XII**

เอกสารอ้างอิง **XIII**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	หุ่นยนต์แบบพิกัดฉาก	2
รูปที่ 2.2	หุ่นยนต์แบบพิกัดทรงกระบอก	3
รูปที่ 2.3	หุ่นยนต์แบบพิกัดทรงกลม	4
รูปที่ 2.4	หุ่นยนต์พิกัดจุดแบบแนวดิ่ง	5
รูปที่ 2.5	หุ่นยนต์พิกัดจุดแบบแนวนอน	5
รูปที่ 2.6	ความแตกต่างระหว่างแบบ Point-to-point และ แบบ Controlled-path	6
รูปที่ 2.7	หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	8
รูปที่ 2.8	ลักษณะของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มี $t_1 = t_2$	9
รูปที่ 2.9	ลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ ที่มี $t_1 < t_2$	9
รูปที่ 2.10	รูปคลื่นพัลส์ทางทฤษฎี	10
รูปที่ 2.11	รูปคลื่นพัลส์แบบสี่เหลี่ยมมุมฉากที่สร้างขึ้นได้ในทางปฏิบัติ	11
รูปที่ 2.12	รูปคลื่นสามเหลี่ยม และ รูปคลื่นฟันเลื่อย	12
รูปที่ 2.13	รูปคลื่นชนิดต่างๆ	13
รูปที่ 2.14	สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบกระแสตรง	14
รูปที่ 2.15	การควบคุมด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์	14
รูปที่ 2.16	สเต็ปเปอร์มอเตอร์ประเภทต่างๆ	15
รูปที่ 2.17	หลักการทำงานของโซลีนอยด์	16
รูปที่ 2.18	การป้องกันขดลวดโซลีนอยด์กระแสสลับ (Solenoid-AC)	18
รูปที่ 2.19	ตัวอย่างภาพถ่ายของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์	20
รูปที่ 2.20	โครงสร้างพื้นฐานของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์	20
รูปที่ 2.21	ลักษณะแถบพลังงานของไบโพลาร์โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์รอยต่อเฮทีโร ขณะกำลังถูกไบแอสใช้งาน	20
รูปที่ 2.22	กระแสไฟฟ้าชนิดต่างๆ ที่ไหลในโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์	21
รูปที่ 2.23	โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ชนิดต่างๆ	21
รูปที่ 2.24	การสั่นของอนุภาคระหว่างการเคลื่อนที่ของคลื่น	23
รูปที่ 2.25	คลื่นอุลตร้าโซนิกที่มีหลายความถี่มาผสมกันตามรูปแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม	23
รูปที่ 2.26	ปรากฏการณ์ปิโซอิเล็กทริก	24
รูปที่ 2.27	การขยายตัวและหดตัวของวัสดุแบบปิโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	24
รูปที่ 2.28	ลักษณะโครงสร้างภายในทั่วๆ ไปของทรานสดิวเซอร์แบบปรากฏการณ์ปิโซอิเล็กทริก	26
รูปที่ 2.29	โครงสร้างและผลจากการป้อนแรงดัน ระหว่างแผ่นเพลททั้งสอง	27
รูปที่ 2.30	โครงสร้างของรีดรีเลย์	30
รูปที่ 2.31	ตัวอย่างการใช้งานสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อวัดจำนวนคนที่เดินผ่าน	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
รูปที่ 2.32	ลิมิตสวิตช์ชนิดต่างๆ	35
รูปที่ 2.33	สัญลักษณ์ของลิมิตสวิตช์	36
รูปที่ 2.34	ตัวอย่างวงจรควบคุมที่ใช้ในการเปิด-ปิดมอเตอร์ ให้หมุนตามเข็มหรือทวนเข็ม โดยใช้ลิมิตสวิตช์ แบบ Overtravel Protection	37
รูปที่ 2.35	ไดอะแกรมโครงสร้างของคอมพิวเตอร์	38
รูปที่ 2.36	โครงสร้างภายในไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ Z-80	40
รูปที่ 2.37	โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51	42
รูปที่ 2.38	ขาต่างๆ ของไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51	42
รูปที่ 2.39	การจัดหน่วยความจำของ MCS-51	44
รูปที่ 2.40	โครงสร้างพอร์ททั้ง 4 ของ MCS-51	45
รูปที่ 2.41	การต่อพอร์ทเข้ากับระบบบัสภายในของ MCS-51	45
รูปที่ 3.1	ภาพถ่ายแสดงส่วนฐานของแขนกล	48
รูปที่ 3.2	ภาพถ่ายของแขนกลในแกนต่างๆ	49
รูปที่ 3.3	ภาพถ่ายมือจับของแขนกล	49
รูปที่ 3.4	ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสการา (SCARA)	50
รูปที่ 3.5	พื้นที่การใช้งานของแขนกล	50
รูปที่ 3.6	ภาพถ่ายชุดปล่อยส่วนผสม	51
รูปที่ 3.7	ภาพถ่ายส่วนเปิด - ปิดส่วนผสม และที่ตวงส่วนผสม	51
รูปที่ 3.8	ภาพไอโซเมตริกของโครงสร้างภายนอก	52
รูปที่ 3.9	ภาพฉายของโครงสร้างตอนบน	53
รูปที่ 3.10	ภาพฉายของโครงสร้างตอนล่าง	53
รูปที่ 3.11	รูปร่างด้านหน้าและด้านหลังของระบบขับเคลื่อน	54
รูปที่ 3.12	ภาพไอโซเมตริกของถาดหมุนและเพลาหมุน	55
รูปที่ 3.13	ภาพฉายด้านบนของถาดหมุน	55
รูปที่ 3.14	ลักษณะการทำคัปปลิงประกบแบริ่ง สวมเข้ากับเพลา เพื่อลดแรงเสียดทานขณะหมุน	56
รูปที่ 3.15	ตำแหน่งของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ บนแผงวงจร	57
รูปที่ 3.16	Block Diagram แสดงการเชื่อมต่อของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของแขนกล และส่วนของการชงเครื่องดื่ม	58
รูปที่ 3.17	การกำหนดค่าควบคุม Word ของ ET - PC8255	59
รูปที่ 3.18	วงจขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์	61
รูปที่ 3.19	วงจรควบคุมสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า	62
รูปที่ 3.20	วงจรควบคุมกระติกน้ำร้อนและมือจับของแขนกล	62
รูปที่ 3.21	Block Diagram แสดงการเชื่อมต่อของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 3.22	วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	65
รูปที่ 3.23	วงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น	66
รูปที่ 3.24	วงจรเซนเซอร์แสง	67
รูปที่ 3.25	วงจรสวิตช์แสง	68
รูปที่ 3.26	วงจรสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า	69
รูปที่ 3.27	วงจรตรวจจับสิ่งกีดขวาง	72
รูปที่ 3.28	วงจรตรวจสอบเอาท์พุตของอุลตร้าโซนิก	73
รูปที่ 3.29	วงจรเสียง	74
รูปที่ 3.30	Block Diagram แสดงโปรแกรมการทำงานของแขนกล และส่วนของการชงเครื่องดื่ม	76
รูปที่ 3.31	Block Diagram แสดงโปรแกรมการทำงานของตัวรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ	77
รูปที่ 3.32	Flow Chart แสดงลำดับการทำงานในแต่ละขั้นตอน	78-84
	- รถหยุดนิ่ง	78
	- ตรวจสอบว่ามีแก้ววางบนรถ 4 ใบหรือไม่	78
	- รถเคลื่อนที่	79
	- รถเคลื่อนที่ตามเส้นสีขาวพื้นสีดำ	79
	- ตรวจสอบว่าพบตำแหน่งเลี้ยวหรือไม่	80
	- ตรวจสอบว่ามีสิ่งกีดขวางหรือไม่	81
	- ตรวจสอบว่ารถมีการเบี่ยงออกนอกเส้นทางอย่างมากหรือไม่	82
	- ตรวจสอบว่าพบตำแหน่งหยุดรับแก้วหรือไม่	83
	- ตรวจสอบว่าพบตำแหน่งสิ้นสุดการทำงานแล้วหรือไม่	84
รูปที่ 4.1	พื้นที่ปฏิบัติการและเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถ	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของไฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์	19
ตารางที่ 2.2	คุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุปิโซอิเล็กทริก	25
ตารางที่ 2.3	ช่วงอุณหภูมิการใช้งานต่างๆ ของวัสดุปิโซอิเล็กทริก	25
ตารางที่ 2.4	คุณสมบัติดีเด่นของเทคโนโลยีออปโตอิเล็กทรอนิกส์	31
ตารางที่ 2.5	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ในสาขาวิชาต่างๆ	32
ตารางที่ 2.6	ตัวอย่างของวัสดุที่ใช้เป็นแผ่นฐานรองรับสิ่งประดิษฐ์ OEIC	33
ตารางที่ 2.7	การเปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำ (L) และความจุไฟฟ้า (C) ของสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ และออปโตอิเล็กทรอนิกส์	34
ตารางที่ 2.8	ไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ต่างๆ และสัญญาณนาฬิกา (Clock Speed) ที่ได้	40
ตารางที่ 2.9	ไมโครคอนโทลเลอร์ ตระกูล MCS-50 เบอร์ต่างๆ	41
ตารางที่ 2.10	บิตและหน้าที่ต่างๆ ของพอร์ท 3	43
ตารางที่ 4.1	ผลจากการทดลองการทำงานของแขนกล	85
ตารางที่ 4.2	ผลจากการทดลองการทำงานของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน (Statement)

ในปัจจุบันโลกได้มีวิวัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีมากขึ้น เกิดการแข่งขันในด้านต่างๆ สูง โดยเฉพาะในด้านอุตสาหกรรมการผลิต จึงได้มีการคิดค้นและสร้างสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ ขึ้น เพื่อช่วยในการทำงานของมนุษย์ให้สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องสูง อย่างเช่น การสร้าง "หุ่นยนต์" ที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ มีการทำงานที่หลากหลาย รวดเร็วและมีความเที่ยงตรงสูง หุ่นยนต์ยังสามารถที่จะนำไปใช้ในงานที่เสี่ยงต่อสิ่งอันตรายได้แทนมนุษย์ สามารถทำงานได้โดยไม่มีความเหน็ดเหนื่อยและมีความสามารถในการทำงานที่ซ้ำๆ กันได้โดยเกิดความผิดพลาดน้อยมากเมื่อเทียบกับการทำงานของมนุษย์ ด้วยเหตุนี้ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จึงได้มีการนำเอาหุ่นยนต์รูปแบบต่างๆ เข้ามาช่วยในการทำงาน เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและในปริมาณตามที่ต้องการ และสามารถทำการแข่งขันอยู่ในตลาดอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

คำนิยามของคำว่า "หุ่นยนต์" ในอุตสาหกรรม คือ เครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายวัสดุ, ชิ้นส่วน, เครื่องมือ หรือเครื่องมือพิเศษอื่นๆ และสามารถเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนการเคลื่อนไหวสำหรับการทำงานที่ต่างชนิดกันได้อย่างหลากหลาย

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา (Goal and Objectives)

1. ศึกษาการทำงานของระบบอัตโนมัติ (Automation System)
2. ศึกษาการทำงานของหุ่นยนต์ และระบบรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ (AGVs)
3. ออกแบบการทำงานของหุ่นยนต์ และระบบรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ (AGVs)
4. สร้างหุ่นยนต์ และระบบรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ (AGVs) ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการบริการต่างๆ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา (Scope of the Study)

1. ออกแบบและสร้างแขนกลที่มีความสามารถในการชงเครื่องดื่มสำเร็จรูปได้
2. ออกแบบและสร้างรถเคลื่อนที่อัตโนมัติที่สามารถทำการขนย้ายเครื่องดื่ม และเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และ หลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (INDUSTRIAL ROBOT)

2.1.1 การจัดประเภท สามารถแยกตามลักษณะการจัดดังนี้

1) จัดตามพิกัดของแขน (Manipulator) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 แบบ คือ พิกัดฉาก (Rectangular) , พิกัดทรงกระบอก (Cylindrical) , พิกัดทรงกลม (Spherical) และ พิกัดจุด (Jointed-arm)

2) จัดตามมิติ

3) จัดตามชนิดของแหล่งพลังงาน

4) จัดตามลักษณะการเคลื่อนที่

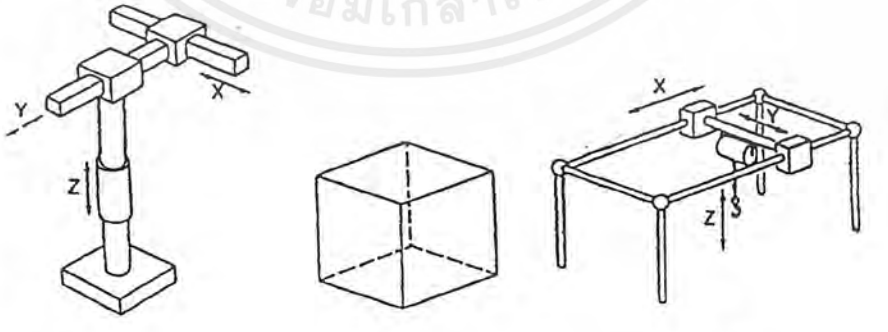
5) จัดตามลักษณะการควบคุมเส้นทาง

6) จัดตามระดับความฉลาด

2.1.2 การจัดประเภทหุ่นยนต์ตามพิกัดของแขนกล (Manipulator) จะพิจารณาจากการเคลื่อนไหวของแกนในการทำงาน ซึ่งในระบบ 3 มิติ หุ่นยนต์จะต้องสามารถเข้าถึงจุดต่าง ๆ ได้โดยการเคลื่อนที่ไปหน้า – ถอยหลัง หรือ ซ้าย - ขวา หรือ ขึ้น - ลง

<u>พิกัดฉาก</u> (Rectangular)

หุ่นยนต์แบบพิกัดฉาก หรือ คาร์ทีเซียน (Cartesian) จะมีลักษณะ คือ มี 3 แกนที่สามารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงได้อย่างอิสระ โดยแกนที่เคลื่อนที่ซ้าย - ขวาจะเป็นแกน X , แกนที่เคลื่อนที่ไปหน้า - หลัง จะเป็นแกน Y และส่วนแกนที่เคลื่อนที่ขึ้น - ลง จะเป็นแกน Z ดังแสดงในรูปที่ 2.1



(a) การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (b) ปริมาตรงานของหุ่นยนต์ (c) การเคลื่อนที่ของเครน (Crane)

รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์แบบพิกัดฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรงาน(Work volume) ของหุ่นยนต์แบบพิกัดฉากจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ระบบขับเคลื่อนในหุ่นยนต์แบบนี้มักจะเป็นระบบเชิงเส้นหรือใช้บอลสกรู (Ball Screw)

ข้อดี ของหุ่นยนต์แบบพิกัดฉาก มีดังนี้

- การขยายปริมาตรงานสามารถทำได้ง่าย เนื่องจากมีการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น และแต่ละแกนแยกอิสระจากกัน
- การควบคุมทำได้ง่าย
- โครงสร้างค่อนข้างแข็งแรงและความถูกต้องแม่นยำสูง
- สามารถรับภาระหนักได้ เนื่องจากความสามารถในการรับภาระที่ตำแหน่งต่างๆ ไม่แตกต่างกันมากนัก

ข้อเสีย ของหุ่นยนต์แบบพิกัดฉาก มีดังนี้

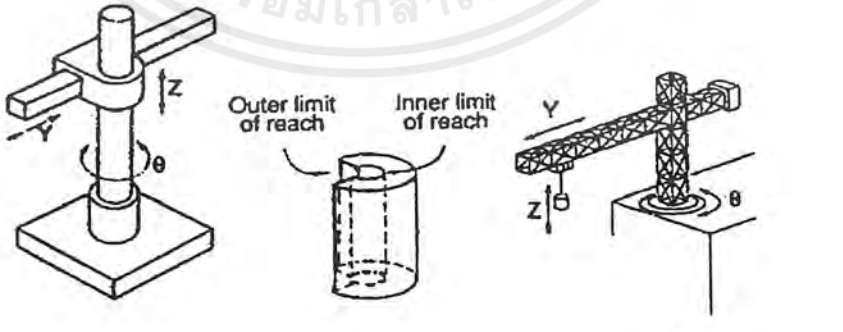
- การบำรุงรักษาทำได้ลำบากในบางแบบ
- การเคลื่อนที่สามารถไปได้ในทิศทางเดียว ณ เวลาหนึ่ง
- ความยืดหยุ่นเชิงกลต่ำ

การประยุกต์ใช้งาน

- งานหยิบวางวัสดุ
- งานประกอบชิ้นส่วน
- เครื่อง CNC ที่มีระบบโหลด (Loading) อัตโนมัติ
- งานตรวจสอบ
- งานเชื่อม และ ฯลฯ

<u>พิกัดทรงกระบอก</u> (Cylindrical)

ประกอบด้วยแกนเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง 2 แกน และแกนหมุน 1 แกน แกนที่หมุนจะเป็นแกนของฐาน ส่วนแกนที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจะเป็นแกนที่เลื่อนเข้าออกและขึ้นลง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



(a) การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (b) ปริมาตรงานของหุ่นยนต์ (c) การเคลื่อนที่ของเครน(Crane)

รูปที่ 2.2 หุ่นยนต์แบบพิกัดทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียดของหุ่นยนต์แบบพิกัดทรงกระบอก, แรงบิดที่ต้องการจากมอเตอร์ และค่าโมเมนต์ของความเฉื่อย (Moment of Inertia) จะมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละแกนหมุน ขึ้นอยู่กับรัศมีหรือระยะห่างระหว่างมือจับของหุ่นยนต์ (Gripper) ถึงจุดหมุน

ข้อดี ของหุ่นยนต์แบบพิกัดทรงกระบอก มีดังนี้

- มีปริมาตรงานมากกว่าหุ่นยนต์แบบพิกัดฉาก ทำให้เข้าถึงตำแหน่งในแนวนอนได้ไกลกว่า
- มีโครงสร้างที่สามารถเข้าถึงได้เป็นชั้นๆ
- มีความสามารถในการรับภาระสูง

ข้อเสีย ของหุ่นยนต์แบบพิกัดทรงกระบอก มีดังนี้

- โครงสร้างเชิงกลมีความแข็งแรงต่ำกว่าหุ่นยนต์ระบบพิกัดฉาก
- ความถูกต้องในแกนหมุนต่ำ
- การควบคุมทำได้ยากกว่าหุ่นยนต์แบบพิกัดฉาก

การประยุกต์ใช้งาน

- งานประกอบ
- งานตรวจสอบ
- ฯลฯ

<u>พิกัดทรงกลม</u> (Spherical)

ประกอบด้วย 1 แกน ที่เคลื่อนที่แบบเชิงเส้น และ แกนหมุน 2 แกน ปริมาตรงานจะมีลักษณะคล้ายส่วนหนึ่งของทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.3

(a) การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (b) ปริมาตรงานของหุ่นยนต์ (c) การเคลื่อนที่ของบันได

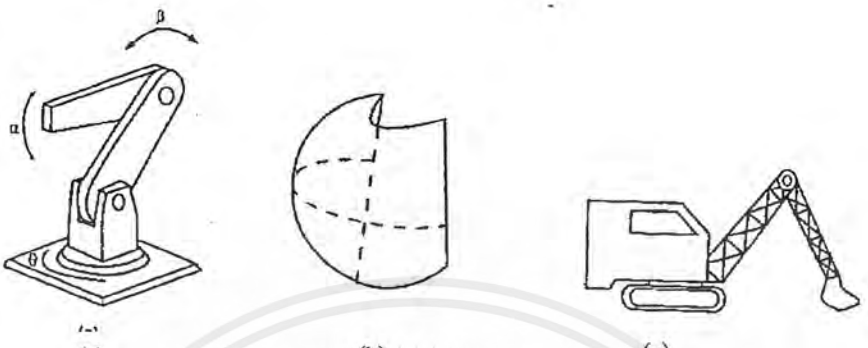
รูปที่ 2.3 หุ่นยนต์แบบพิกัดทรงกลม

ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบพิกัดทรงกลมนี้ จะคล้ายแบบพิกัดทรงกระบอก แต่ต่างกันตรงที่การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะถูกจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัดจุด (Jointed-arm)

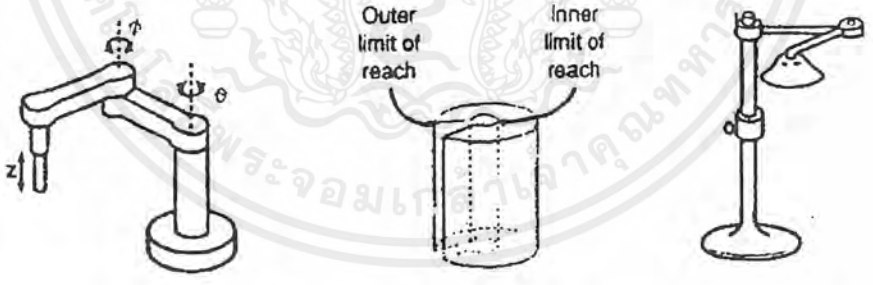
ทุกแกนจะเป็นแกนหมุนทั้งหมด ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับแขนของคน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ จุดหมุนอยู่ในแนวดิ่ง และจุดหมุนอยู่ในแนวนอน ดังแสดงในรูปที่ 2.4



(a) การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (b) ปริมาตรงานของหุ่นยนต์ (c) การเคลื่อนที่ของรถตักดิน

รูปที่ 2.4 หุ่นยนต์พิกัดจุดแบบแนวดิ่ง

ลักษณะของหุ่นยนต์พิกัดแบบแนวนอน หรือ ที่เรียกว่า " SCARA" (Selective Compliance Assembly Robot Arm) จะมีลักษณะพิเศษ คือ ประกอบด้วยแกนที่เคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นในแนวดิ่ง 1 แกน (แกน Z) และแกนที่เคลื่อนที่ในแนวรัศมีวงกลม 2 แกน หุ่นยนต์แบบ SCARA นี้มักถูกนำไปใช้ในงานประกอบที่ต้องนำชิ้นส่วนใส่เข้าไปในรู



(a) การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (b) ปริมาตรงานของหุ่นยนต์ (c) การเคลื่อนที่ของโคมไฟ

รูปที่ 2.5 หุ่นยนต์พิกัดจุดแบบแนวนอน

ข้อดี ของหุ่นยนต์แบบพิกัดจุดโดยรวมแล้ว จะมีปริมาตรงานที่กว้างกว่าแบบอื่น ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย และสามารถเข้าถึงตำแหน่งต่างๆ ได้หลายลักษณะ

ข้อเสียเปรียบ คือ การควบคุมการเคลื่อนที่ทำได้ยาก อันเนื่องมาจากสภาวะของโหลด และ โมเมนต์ของความเฉื่อยที่ไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การจัดประเภทหุ่นยนต์ตามลักษณะการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งของแกน (Manipulator) สามารถเป็นไปได้ 4 ลักษณะ คือ

1) Slow motion : ในแต่ละแกนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ตามที่คำนวณได้จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งปลายทาง (กำหนดเวลาที่ต้องการหาความเร็ว)

2) Joint – interpolated motion : กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนให้คงที่ โดยหาเวลาที่ต้องการใช้มากที่สุด (แต่ละแกนใช้เวลาไม่เท่ากัน) จากนั้นจึงนำไปปรับความเร็วของแกนที่ใช้เวลาน้อยกว่าให้มีความลดลง

3) Straight – line interpolation motion : การเคลื่อนที่ของ end-effector จากจุดต้นไปยังจุดปลายเป็นแนวเส้นตรงในระบบพิกัดฉาก จากนั้นจึงแบ่งการเคลื่อนที่ไปตามเส้นตรงออกเป็นส่วนย่อย ๆ

4) Circular interpolation motion : การเคลื่อนที่จากตำแหน่งต้นทางไปยังปลายทางจะมีลักษณะโค้ง จากนั้นจึงแบ่งส่วนโค้งออกเป็นเส้นตรงเล็กๆ ที่เชื่อมต่อกัน

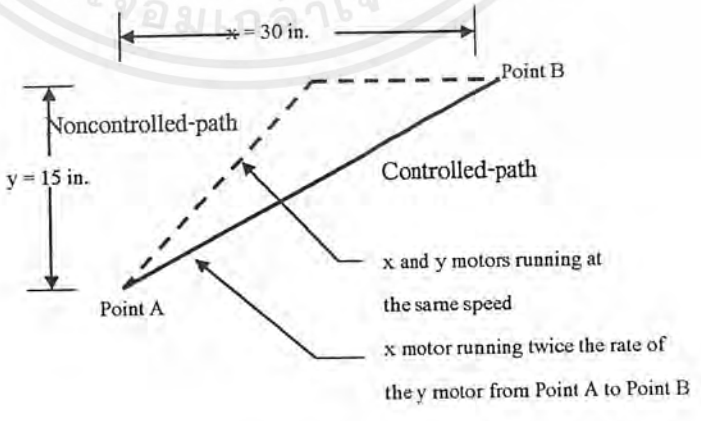
2.1.4 การจัดประเภทหุ่นยนต์ตามลักษณะการควบคุมเส้นทาง ลักษณะการควบคุมเส้นทางแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ คือ

1) Limited – sequence : จะไม่ถูกใช้ในหุ่นยนต์ที่ควบคุมแบบเซอร์โว (Servo) การทำงานจะมีลักษณะเป็นไปตามลำดับโดยใช้ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) โดยลักษณะงานที่จะใช้ค่อนข้างตายตัว

2) Point – to – point : ใช้แบ่งเส้นทางการเดินออกเป็นเส้นตรงหลายๆ จุดต่อกัน แต่หุ่นยนต์ไม่จำเป็นต้องเคลื่อนที่ทีละแกน (เดินแล้วหยุด)

3) Controlled - path : เส้นทางการเคลื่อนที่จะถูกควบคุมโดยตัวควบคุมความเร็ว การเคลื่อนที่ในแต่ละแกนจะสัมพันธ์กัน ความแตกต่างระหว่าง Point–to–point และ Controlled-path แสดงดังในรูปที่ 2.6 เส้นทางที่เคลื่อนที่อาจจะเป็นเส้นตรง, วงกลม หรือส่วนโค้งก็ได้

4) Continuous – path : เส้นทางการเคลื่อนที่จะมีลักษณะอิสระ โดยการแบ่งออกเป็นจุดต่างๆ เป็นจำนวนมาก ทำให้การเคลื่อนที่มีลักษณะดูต่อเนื่อง



รูปที่ 2.6 ความแตกต่างระหว่างแบบ Point-to-point และ แบบ Controlled-path

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ (AUTOMATIC GUIDED VEHICLE SYSTEMS)

ระบบรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ หรือ ที่เรียกว่า "AGVs" เป็นระบบจัดการพัสดุ แบบใช้ยานพาหนะที่สามารถขับเคลื่อนด้วยตัวเองอย่างอิสระไปตามพื้นที่ที่กำหนด โดยได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่ (12 โวลต์) ที่อยู่ภายในของตัวมันเอง

2.2.1 ชนิดของ AGVs แบ่งตามลักษณะการทำงานได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) Driverless Trains : AGVs ชนิดนี้เปรียบเสมือนหัวรถจักร ที่สามารถลากจูงรถพ่วงได้หลายคัน มีหน้าที่นำรถพ่วงที่ขนสัมภาระไปยังพื้นที่ที่กำหนด

2) AGVs Pallet Trucks : AGVs ชนิดนี้เปรียบเสมือนตู้โดยสารของรถไฟ โดย Pallet Trucks จะต่อพ่วงอยู่ที่ด้านหลังของ Driverless Train และมีหน้าที่ขนของ ซึ่ง Pallet Trucks 1 คัน สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า 6000 ปอนด์

3) AGVs Unit Load Carries : เป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่รับสัมภาระจากพนักงานแล้วส่งขึ้นไปยัง Pallet Trucks โดยอัตโนมัติ เช่น โดยรางลูกกลิ้ง และสายพาน ซึ่งจะทำหน้าที่ขนถ่ายสิ่งของออกจากห้องเก็บของไปสู่ Automatic Lift ที่จะคอยยกสิ่งของออกจากสายพานไปไว้บน Pallet Trucks เพื่อนำไปส่งยังจุดที่กำหนด

4) AGVs Technology : เป็นเทคโนโลยีหุ่นยนต์ที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ช่วยงานมนุษย์ ซึ่งยังต้องการการพัฒนาไปอีกไกล และการสร้างหุ่นยนต์ชนิดนี้ก็ยังต้องอาศัยสถานที่ที่สะอาดมาก เช่น ในโรงงานผลิตสารกึ่งตัวนำ เป็นต้น

2.2.2 การเคลื่อนที่ของ AGVs วิธีการที่จะสั่งให้ AGVs เคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่เรากำหนดโดย

1) การใช้สายไฟ (Wire) เป็นการใช้สายไฟขนาดเล็กฝังไว้ใต้พื้นโรงงาน เมื่อจ่ายไฟให้สายไฟนี้จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ สายไฟ สนามแม่เหล็กนี้จะเป็นเสมือนตัวชี้บอกให้ AGVs วิ่งตามแม่เหล็กนี้ไป

AGVs แบบ Driverless Train จะมีขดลวดเซนเซอร์อยู่ ทำหน้าที่รับสนามแม่เหล็กจากสายไฟ และตรวจสอบว่า Sensor Coil ทั้ง 2 ข้างได้รับสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มเท่ากันหรือไม่ หากมีการเหลื่อมล้ำของสนามแม่เหล็ก AGVs ก็จะปรับรัศมีการเลี้ยวให้เลี้ยวไปในทิศทางและองศาที่เหมาะสม เพื่อรักษาสถานะที่ขดลวดเซนเซอร์โดยจะได้รับสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มข้นเท่ากันทั้งสองข้างตลอดเวลา

2) การใช้แถบสี (Paint) เป็นการใช้แถบสีฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) ที่มีการสะท้อนแสงโดยที่ AGVs จะใช้อุปกรณ์เซนเซอร์แสง (Optical Sensor) เป็นตัวจับภาพแถบสีที่ติดอยู่บนพื้น แล้วนำมาประมวลผลเพื่อออกคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ โดยสั่งให้ AGVs รักษาเส้นทางไว้ และให้เซนเซอร์แสงจับภาพแถบสีไม่ให้หลุดออกนอกรัศมีทำงาน

การทำงานด้วยการใช้แถบสีนี้ เหมาะสำหรับใช้ในพื้นที่ที่มีการรบกวนทางสัญญาณสูง (Electrical Noise) ซึ่งการใช้สายไฟจะทำงานได้ดีไม่เท่า แต่การใช้แถบสีนี้จะต้องทำการบำรุงรักษาอย่างดี ต้องสะอาด และไม่มีรอยขีดข่วนบนแถบสีเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ส่วนการขับเคลื่อน (DRIVERS) ได้แก่ DC-Motor, Stepper Motor และ Solenoid

2.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DIRECT CURRENT MOTOR)

หลักการทำงาน

มอเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เพื่อนำเอาพลังงานกลที่ได้ไปขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่ต้องการ

การขับเคลื่อนอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็กนั้น ย่อมจะทำให้เกิดแรงขึ้นในทิศทางที่หาได้จากกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง (Flaming Rule) โดยขนาดของแรงที่เกิดขึ้น หาได้จาก

$$F = B x i x l$$

เมื่อ F = แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำหนึ่งตัว (นิวตัน)

B = ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า (เวเบอร์)

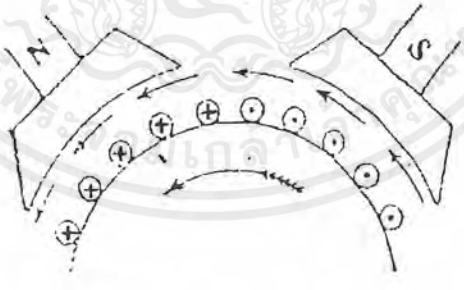
i = กระแสที่ไหลในตัวนำ (แอมแปร์)

l = ความยาวของตัวนำ (เมตร)

โดยแรง F ที่เกิดขึ้น จะอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และกระแสที่ไหลผ่านตัวนำนั้น

สำหรับหลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงนี้ จะมีหลักการพื้นฐานทางโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้าเหมือนกัน โดยไม่มีความแตกต่างในโครงสร้างเลย ทำให้สามารถนำไปใช้งานสลับกันได้

ส่วนหน้าที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ก็จะคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง นั่นคือ มีเครื่องแบบต่อขนาน (Shunt – Wound) หรือ แบบผสม (Compound – Wound) เช่นกัน



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 2.7 แสดงส่วนหนึ่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีหลายขั้วแม่เหล็ก เมื่อใส่ไฟเข้าไปในสนามกระตุ้น ย่อมจะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้า และเมื่อป้อนกระแสให้ไหลผ่านตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ก็จะทำให้เกิดแรงขึ้นบนตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก นั่นคือ ทำให้อาร์เมเจอร์หมุน ในที่นี้ได้กำหนดให้กระแสที่ไหลในตัวนำของอาร์เมเจอร์ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ (N) มีทิศทางของกระแสพุ่งเข้าไปข้างใน ดังหางลูกศรที่เป็นกากะบาด ส่วนตัวนำที่อยู่ภายใต้ขั้วนั้น จะให้กระแสพุ่งออกมาข้างนอกดังหัวลูกศรที่เป็นจุด เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วจึงจะสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการหาทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำทุก ๆ ตัวที่อยู่ภายใต้แม่เหล็กทั้งขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) ได้ โดยการใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

วิธีการหาทิศการเคลื่อนที่ของตัวนำ ตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ก็คือ กางมือซ้ายออกโดยให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้และนิ้วกลางตั้งฉากซึ่งกันและกัน จากนั้น ให้หันนิ้วชี้ชี้ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก คือ ชี้จากขั้ว N ไปขั้ว S ให้นิ้วกลางชี้ไปตามทิศทางการไหลของกระแส ณ ที่ตัวนำที่ต้องการหาทิศทางการเคลื่อนที่นั้น ๆ นั่นคือ นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำนั้นๆ จะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำทุกๆ ตัว ภายใต้ขั้วแม่เหล็กเดียวกัน จะมีทิศทางไปในทางเดียวกันและจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์เมเจอร์นั้นๆ และพบว่าแรงที่เกิดขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กทุกๆ ขั้ว ที่สลับกันไปนั้น จะมีทิศทางไปในทางเดียวกันทั้งสิ้น โดยที่แต่ละแรงจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์เมเจอร์ นั่นคือ ภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วจะเกิดแรงลัพธ์ขึ้นแรงหนึ่ง ดังนั้น เมื่อมีหลายขั้วก็มีหลายแรง และ ทุกๆ แรง ต่างก็จะรวมกันเกิดเป็นแรงบิดขึ้นมาแรงหนึ่ง ซึ่งจะทำให้มอเตอร์เกิดการหมุนไปได้จากแรงที่เกิดขึ้น

<u>คลื่นรูปสี่เหลี่ยม และ คลื่นรูปพัลส์</u> (Square Waveform and Pulse Waveform)

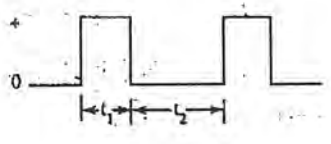
การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมซึ่งมักจะเรียกว่า "คลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส" หรือ "Square Waveform" เป็นคลื่นลักษณะพิเศษที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก เพราะช่วงเวลาของคลื่นที่ปรากฏกับช่วงเวลาของคลื่นที่ไม่ปรากฏจะมีค่าเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.8 ลักษณะของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มี $t_1 = t_2$

จากรูปที่ 2.8 t_1 = ช่วงเวลาของคลื่นที่ปรากฏ

t_2 = ช่วงเวลาของคลื่นที่ไม่ปรากฏ

"คลื่นพัลส์" หรือ "Pulse Waveform" ก็จะมีลักษณะของคลื่นเช่นเดียวกับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสนั่นเอง คือ เป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับของแรงดันอย่างรวดเร็วจากระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง และเปลี่ยนกลับลงมาอย่างรวดเร็วเข้าสู่ระดับปรกติ แต่มีความแตกต่างจากรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสตรงที่ช่วงเวลาของรูปคลื่นที่ปรากฏนั้น จะสั้นกว่าช่วงเวลาของรูปคลื่นที่ไม่ปรากฏ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



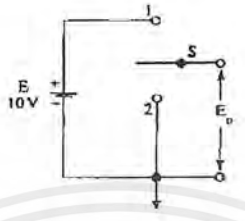
รูปที่ 2.9 ลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ ที่มี $t_1 < t_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

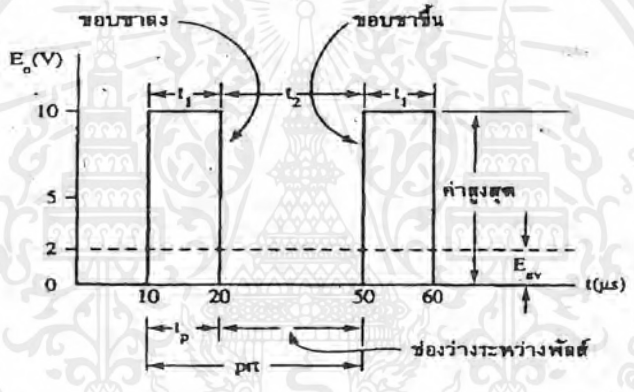
จากรูปที่ 2.9 t_1 = ช่วงเวลาของคลื่นที่ปรากฏ

t_2 = ช่วงเวลาของคลื่นที่ไม่ปรากฏ

ในการนำรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมุมฉากไปใช้งาน มักนิยมนำรูปคลื่นพัลส์ไปใช้งานในด้านอิเล็กทรอนิกส์, ด้านการควบคุม และด้านคอมพิวเตอร์ ซึ่งกล่าวได้ว่าคลื่นพัลส์มีความสำคัญในการใช้งานมากมายและกว้างขวางทั่วไป ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับค่าต่างๆ ของคลื่นพัลส์ ดังแสดงต่อไปนี้



(a) วงจรกำเนิดพัลส์



(b) รูปคลื่นพัลส์ที่ได้ออกมา

รูปที่ 2.10 รูปคลื่นพัลส์ทางทฤษฎี

จากรูปที่ 2.10 (a) เป็นวงจรไฟฟ้าที่จ่ายผ่านสวิตช์ S ทำให้เกิดสัญญาณพัลส์แบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 (b) การทำงานของวงจรกำเนิดพัลส์รูปที่ 2.10 (a) เมื่อทำการโยกสวิตช์ S ไปที่ตำแหน่งหมายเลข 1 จะมีแรงดัน 10 โวลต์ จ่ายออกเอาต์พุตที่ E_0 และเมื่อโยกสวิตช์ S ไปที่ตำแหน่งหมายเลข 2 ก็จะมีแรงดัน 0 โวลต์ จ่ายออกที่เอาต์พุตที่ E_0 ซึ่งจะนำไปเขียนเป็นกราฟได้ตามรูปที่ 2.10 (b)

เมื่อพิจารณารูปคลื่นพัลส์ที่ได้ในรูปที่ 2.10 (b) จะพบว่ามีส่วนประกอบต่างๆ ของรูปคลื่นพัลส์ ดังนี้

- ระดับแรงดันจาก 0 โวลต์ ถึง10 โวลต์ เรียกว่า "ค่าสูงสุด" (Peak Value)
- ในช่วงเวลาที่แรงดันเปลี่ยนแปลงจาก 0 โวลต์ เป็น 10 โวลต์ เรียกว่า "ขอบขาขึ้น" (Leading Edge)
- ในช่วงเวลาที่แรงดันเปลี่ยนแปลงจาก 10 โวลต์ เป็น 0 โวลต์ เรียกว่า "ขอบขาลง" (Trailing Edge)
- ระยะตั้งแต่ขอบขาขึ้นจนถึงขอบขาลง เรียกว่า "ความกว้างของพัลส์" (Pulse Width) ใช้ตัวย่อ t_p
- จุดเริ่มต้นของพัลส์ลูกแรกไปจนถึงจุดเริ่มต้นของพัลส์รูปต่อไป เรียกว่า "ช่วงเวลาที่พัลส์เกิดซ้ำ" (Pulse Repetition Time) ใช้ตัวย่อ prt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พัลส์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกันหลายๆ พัลส์ เรียกว่า "ชุดของพัลส์" (Pulse Train)

- ในชุดของหนึ่งชุดที่เกิดขึ้นในเวลา 1 วินาที เรียกว่า "อัตราการเกิดพัลส์ซ้ำ" (Pulse Repetition Rate) ใช้ตัวย่อ prr หรือ อาจเรียกว่า "ความถี่ของการเกิดพัลส์ซ้ำ" (Pulse Repetition Frequency) ใช้ตัวย่อ prf ซึ่งจะมีหน่วยเป็น Hertz

อัตราการเกิดพัลส์ซ้ำ (prr) จะมีค่าเท่ากับส่วนกลับของช่วงเวลาที่พัลส์เกิดซ้ำ (prt) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\mathbf{prr} = \mathbf{1 / prt} \quad \mathbf{Hz} \ldots \text{สมการที่ (1.1)}$$

ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นใดๆ ซึ่งอาจเป็นแรงดันหรือกระแสไฟฟ้า ก็คือ ส่วนประกอบของไฟตรงของคลื่นนั้น ๆ การหาค่าแรงดันเฉลี่ย (Average Voltage Value หรือ E_{av}) ในทางทฤษฎี จากรูป ที่ 2.10 (b) จะทำได้โดยการหารพื้นที่ของพัลส์ (A_p) ด้วยช่วงเวลาที่พัลส์เกิดซ้ำ (prt) ค่าแรงดันเฉลี่ย (E_{av}) นี้ ก็คือ ค่าที่อ่านได้จริงจาก DC-Voltmeter

$$\mathbf{E_{av}} = \mathbf{A / prt} \quad \mathbf{Volt} \quad \ldots\text{สมการที่ (1.2)}$$

$$\mathbf{A_p} = \mathbf{t_p \times E_{peak}} \quad \mathbf{sec\text{-}Volt} \quad \ldots\text{สมการที่ (1.3)}$$

โดยที่ E_{av} = ค่าแรงดันเฉลี่ย มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

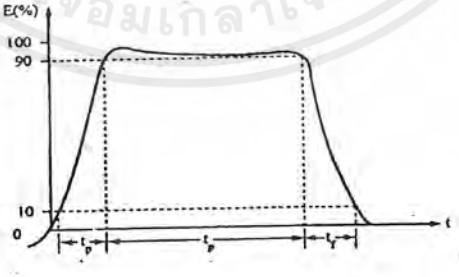
A_p = พื้นที่ของพัลส์ มีหน่วยเป็นวินาที - โวลต์ (s-V)

prt = ช่วงเวลาที่พัลส์เกิดซ้ำ มีหน่วยเป็นวินาที (s)

t_p = ความกว้างของพัลส์ หน่วยเป็นวินาที (s)

E_{peak} = แรงดันสูงสุด มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

จากรูปคลื่นแรงดันพัลส์ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 (b) จะเป็นเพียงรูปคลื่นในทางทฤษฎีเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติจริงๆ แล้วรูปคลื่นพัลส์ที่ได้จะเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉากที่แท้จริง แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 รูปคลื่นพัลส์แบบสี่เหลี่ยมมุมฉากที่สร้างขึ้นได้ในทางปฏิบัติ

จากรูปที่ 2.11 เป็นรูปคลื่นพัลส์แบบสี่เหลี่ยมมุมฉากที่สร้างขึ้นได้จริง แต่จะไม่เป็นมุมฉากจริง ดังนั้นในการหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของคลื่นพัลส์ จะไม่มีมาตรฐานเปรียบเทียบที่แน่นอน จึงจำเป็นต้องมีข้อกำหนดหรือกฎเกณฑ์ที่ใช้เป็นมาตรฐาน เพื่อให้สามารถทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของคลื่นพัลส์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าคุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ ตามรูปที่ 2.11 จะกำหนดที่จุด 90 เปอร์เซ็นต์ และที่จุด 10 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความสูงของรูปคลื่นเป็นมาตรฐาน ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

1) ความกว้างของพัลส์ (Pulse Duration) หรือ t_p จะคิดที่ค่าความสูงของผลลัพธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของค่าสูงสุด มีหน่วยเป็นวินาที (s)

2) เวลาเคลื่อนขึ้น (Rise Time) หรือ t_r เป็นระยะทางที่ขนาดของพัลส์เริ่มต้นตั้งแต่ค่า 10 เปอร์เซ็นต์ ไปจนถึงค่า 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุดของรูปคลื่นพัลส์ มีหน่วยเป็นวินาที (s)

3) เวลาเคลื่อนลง (Fall Time) หรือ t_f บางครั้ง อาจเรียกว่า เวลาลด (Delay Time) เป็นระยะเวลาที่พัลส์มีขนาดลดลงจาก 90 เปอร์เซ็นต์ เหลือเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ ของค่าสูงสุดของลูกคลื่นพัลส์ มีหน่วยเป็นวินาที (s)

สำหรับรูปคลื่นพัลส์บางแบบ ค่าเวลาเคลื่อนขึ้นและเวลาเคลื่อนลงจะมีค่าน้อยมาก จนยากที่จะวัดค่าได้แน่นอนและในทางปฏิบัติ ถึงแม้จะใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) แบบวัดความถี่สูงก็ตาม เมื่อความกว้างของพัลส์มีค่าน้อยมากๆ จะถือว่าเวลาเคลื่อนขึ้นและเวลาเคลื่อนลงเป็นเวลาทั้งหมดของคลื่นพัลส์

<u>คลื่นรูปสามเหลี่ยม และ คลื่นรูปฟันเลื่อย</u> (Triangular Waveform and Sawtooth Waveform)

ถ้านำคลื่นเอียงลาดขึ้น (Positive Ramp) มารวมกับคลื่นเอียงลาดลง (Negative Ramp) โดยมีมุมเอียงเท่ากันต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ และระยะเวลาของคลื่นเอียงเท่ากันทุกคลื่น เรียกคลื่นแบบนี้ว่า "คลื่นรูปสามเหลี่ยม" หรือ "Triangular Waveform" ดังในรูปที่ 2.12 (a) ซึ่งจะมีขนาดความแรงเท่ากัน

(a) คลื่นรูปสามเหลี่ยม (b) คลื่นรูปฟันเลื่อย

รูปที่ 2.12 รูปคลื่นสามเหลี่ยม และ รูปคลื่นฟันเลื่อย

"คลื่นรูปฟันเลื่อย" หรือ "Sawtooth Waveform" ในรูปที่ 2.12 (b) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ ความเอียงลาดขึ้นและความเอียงลาดลงมีเวลาในการเกิดไม่เท่ากัน แต่จะมีขนาดความแรงเท่ากัน โดยปกติแล้วความเอียงลาดขึ้นจะมีเวลามากกว่าความเอียงลาดลงมากๆ ซึ่งในการนำไปใช้งานจริงจะต้องพยายามทำให้ความเอียงลาดมีเวลาเป็นศูนย์ เหมือนกับคลื่นขั้นบันไดช่วงลง (Negative Step) โดยกำหนดเวลาเคลื่อนขึ้น ใช้ตัวย่อ t_r ซึ่งจะเหมือนกับตัวย่อที่ใช้ในรูปคลื่นพัลส์

<u>คลื่นรูปชนิดอื่นๆ</u> (Miscellaneous Waveform)

นอกจากคลื่นรูปต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น พบว่ายังมีรูปคลื่นชนิดอื่นๆ (Miscellaneous Waveform) ที่อาจพบได้ในอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ซึ่งจะมีรูปคลื่นแตกต่างไปจากรูปคลื่นต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว เช่น

1) Trapezoidal Waveform : คลื่นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ประกอบด้วยคลื่นขั้นบันไดช่วงขึ้นรวมกับคลื่นเอียงลาดขึ้นและคลื่นขั้นบันไดช่วงลง

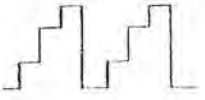
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Staircase Waveform : ประกอบด้วยคลื่นขั้นบันไดช่วงขึ้นหลาย ๆ คลื่นต่อเนื่องกันเป็นหนึ่งชุด รวมกับคลื่นขั้นบันไดช่วงลงอีกหนึ่งคลื่น

3) Differentiate Waveform : ประกอบด้วยคลื่นแบบ Exponential ลาดขึ้นกับ Exponential ลาดลง

4) Integrated Waveform : ประกอบด้วยคลื่นแบบ Exponential ลาดขึ้นและแบบ Exponential ลาดลงเป็นชุดสลับกันไป

(a) Trapezoidal Waveform



(b) Staircase Waveform

(c) Differentiate Waveform

(d) Integrated Waveform

รูปที่ 2.13 รูปคลื่นชนิดต่างๆ

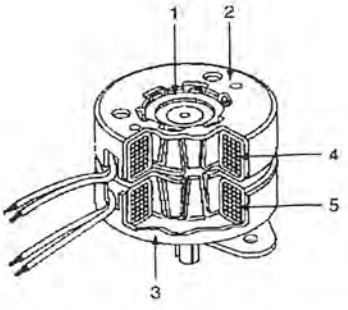
2.3.2 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (STEPPER MOTOR)

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ จะเปลี่ยนสัญญาณพัลส์ไฟฟ้าเป็นการหมุนเป็นสเต็ป (Step) ที่ไม่ต่อเนื่อง โดยจะหมุน 1 องศาต่อสเต็ป ฉะนั้นมอเตอร์จะต้องใช้สัญญาณพัลส์ 360 พัลส์ เพื่อให้หมุนได้ครบ 1 รอบ

ไมโครสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Micro-stepper Motor) จะหมุนสเต็ปเป็นพันๆ สเต็ป จึงจะครบรอบคาบของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ โดยความเร็วจะขึ้นอยู่กับจังหวะการหมุนทีละสเต็ปจนครบรอบของมอเตอร์ มอเตอร์ประเภทนี้จะมีอัตราเร็วต่ำ ค่าทอร์กน้อย และสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำมาก

หลักการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบกระแสตรง ประกอบด้วยสเตเตอร์ (Stator) ที่กระตุ้นด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และโรเตอร์ (Rotor) ที่เป็นแม่เหล็กถาวร เมื่อขั้วของขดลวดมีการเปลี่ยนแปลงโรเตอร์จะหมุนไปในทิศที่กำหนดได้เพียง 1 สเต็ปไปอยู่ที่ตำแหน่งใหม่ จำนวนสเต็ปต่อหนึ่งรอบหาได้จากจำนวนคู่ของขั้วที่โรเตอร์และสเตเตอร์ ถ้าจำนวนขั้วของโรเตอร์และสเตเตอร์มีมาก จำนวนสเต็ปต่อรอบของมอเตอร์ก็จะมีค่ามากตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



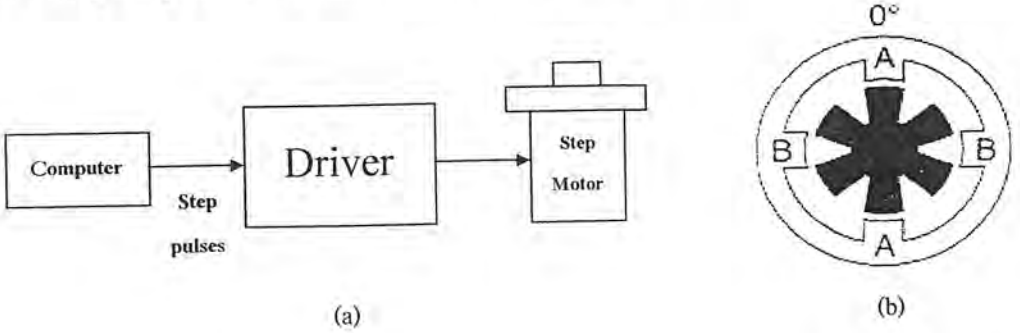
รูปที่ 2.14 สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบกระแสตรง

การทำงานของสเต็ปมอเตอร์ขึ้นอยู่กับกำลังที่จ่ายให้ขับมอเตอร์ แหล่งจ่ายกำลังจะผลิตพัลส์โดยทั่วไป ซึ่งเกิดขึ้นจากการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะให้พัลส์เพื่อขับดันอุปกรณ์ควบคุมไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ด้วยวิธีดังกล่าวนี้ สเต็ปเปอร์มอเตอร์จะช่วยทำให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งหนึ่งๆ ได้อย่างละเอียดและแม่นยำ โดยการนับพัลส์จากคอมพิวเตอร์ จะช่วยบอกให้รู้ตำแหน่งที่มอเตอร์อยู่ ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal)

<u>การควบคุมด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์</u>

ระบบควบคุมด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์ประกอบด้วย สเต็ปเปอร์มอเตอร์และแพคเกจขับดัน (Drive Package) โดยมีส่วนควบคุมอิเล็กทรอนิกส์และแหล่งจ่ายกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (a) ตัวขับดันจะต่ออินเตอร์เฟสคอมพิวเตอร์กับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ โดยมีลอจิกที่จะแปรข้อมูลดิจิตอลไปสั่งให้เพลามอเตอร์หมุนได้ มอเตอร์จะหมุนทีละสเต็ป ในแต่ละพัลส์ที่ได้จากตัวขับดัน คอมพิวเตอร์จะให้จำนวนพัลส์ตามที่ต้องการ สำหรับกรณีเฉพาะที่จะขับเคลื่อนให้อัตราเร็วและระยะทางที่ต้องการ

เนื่องจากจำนวนสเต็ปต่อรอบหาได้จากจำนวนคู่ขั้วของโรเตอร์และสเตเตอร์ เมื่อให้แรงดันกับขดลวดโรเตอร์แม่เหล็กถาวรของสเตปเปอร์มอเตอร์จะอยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีโหลด กล่าวคือ ขั้วแม่เหล็กถาวรของโรเตอร์จะจัดตั้งอยู่ในแนวขั้วแม่เหล็กสเตเตอร์ ค่าทอร์กสูงสุดที่กระตุ้นมอเตอร์ที่มีโหลดโดยไม่ให้มีการหมุนอย่างต่อเนื่อง เรียกค่าทอร์กนี้ว่า "สเต็ปเปอร์มอเตอร์โฮลดิ้งทอร์ก" (Stepper Motor Holding Torque) แม้ขณะที่มอเตอร์ไม่ได้รับการกระตุ้น มอเตอร์ก็จะมีค่าทอร์กอยู่ด้วย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะการเหนี่ยวนำที่ขั้วของแม่เหล็กถาวรของสเตเตอร์ เมื่อพิจารณาความเสียดทานภายในมอเตอร์ด้วย จะมีค่าดีเทนท์ทอร์ก (Detent Torque) ซึ่งเป็นค่าทอร์กที่มอเตอร์ไม่ถูกกระตุ้น เรียกว่า มีเสถียรภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (b)



รูปที่ 2.15 การควบคุมด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ มี 3 ประเภท คือ

1) มอเตอร์แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Motor)

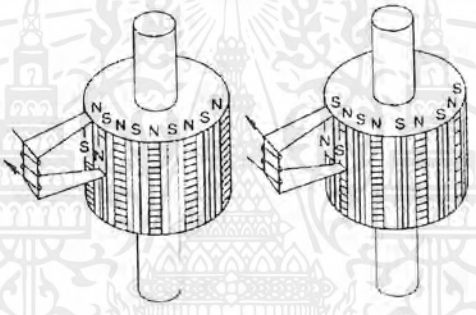
โครงสร้างของมอเตอร์ชนิดนี้มีสเต็ปเป็นมุมที่กว้าง เหมาะสมที่จะใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (a)

2) มอเตอร์ที่ค่ารีลักแตนซ์แปรค่าได้ (Variable Reluctance Motor)

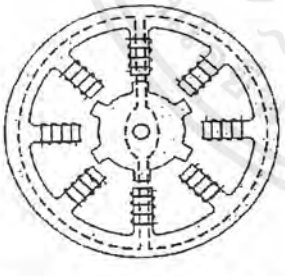
มอเตอร์ประเภทนี้จะไม่มีแม่เหล็กถาวร ฉะนั้น การขับดันให้มอเตอร์หมุนจะไม่เหมือนกับกรณีอื่นๆ โดยโรเตอร์จะหมุนอย่างอิสระโดยไม่มีค่าดีเทนท์ทอร์ก ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (b) มอเตอร์ชนิดนี้ใช้ในงานที่ต้องการการปรับตำแหน่งอย่างละเอียด

3) ไฮบริดมอเตอร์ (Hybrid Motor)

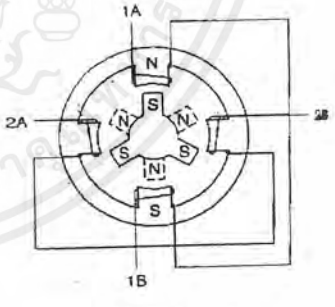
มอเตอร์ประเภทที่สามนี้ มีหลักการทำงานผสานกันระหว่างมอเตอร์ประเภทแรกกับมอเตอร์ประเภทที่สอง มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้ในงานภาคอุตสาหกรรม โรเตอร์ประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว โดยแต่ละขั้วจะมีเฟือง 3 เฟือง ระหว่างขั้วจะมีแม่เหล็กถาวรซึ่งถูกกระตุ้นในแนวของโรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (c) สเตเตอร์ประกอบด้วยเปลือก (Shell) ภายนอกที่มี 4 เฟืองที่หมุนได้รอบ โรเตอร์มีขดลวดพันเฟืองของสเตเตอร์และต่อเข้าด้วยกันเป็นคู่ๆ



(a) Permanent Magnet Type



(b) Variable Reluctance Type



(c) Hybrid Type

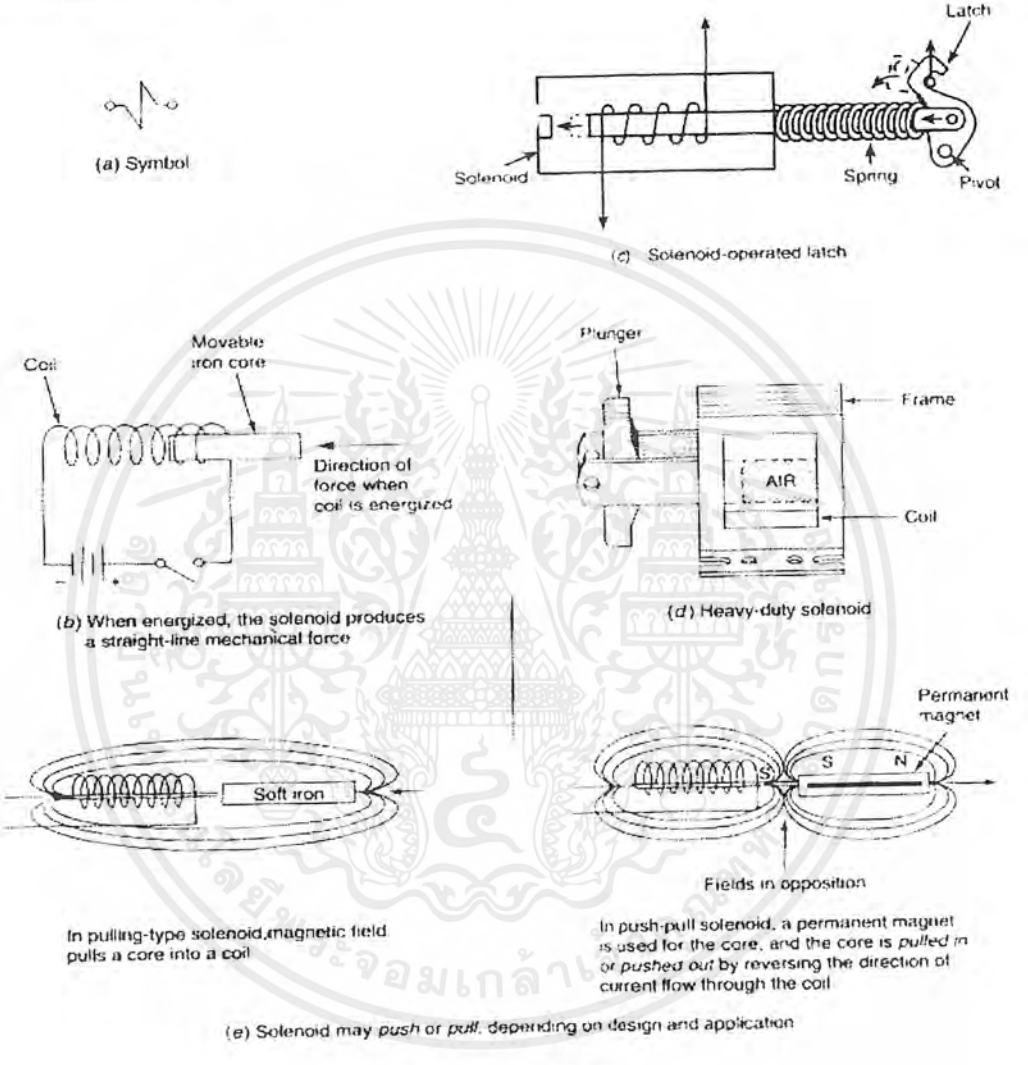
รูปที่ 2.16 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ประเภทต่างๆ

ในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะใช้การควบคุมเครื่องมือและกลไกทางอุตสาหกรรมแบบดิจิตอล ทำให้มีการใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ในอุตสาหกรรมที่มีการควบคุมและระบุตำแหน่ง ดังนั้น จึงสามารถใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์แทนเบรค, คลัทช์ และเกียร์ ซึ่งจะให้การทำงานที่ดีขึ้นกว่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 โซลีนอยด์ (SOLENOID)

โซลีนอยด์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าเป็นการเคลื่อนที่เชิงกลแบบเส้น แสดงในรูปที่ 2.17 โซลีนอยด์เป็นขดลวดที่มีแกนเหล็กที่เคลื่อนที่ได้ เมื่อขดลวดได้รับการกระตุ้น แกนหรืออาร์เมเจอร์จะถูกดึงเข้าไปในขดลวด แรงดึงหรือแรงผลักที่เกิดในขดลวดโซลีนอยด์จะมีค่าขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดกับกระแสที่ไหลในขดลวด



รูปที่ 2.17 หลักการทำงานของโซลีนอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลักการทำงานของโซลีนอยด์

กระแสที่ไหลในขดลวดเป็นกระแสตรงซึ่งจะมีค่ามากน้อยขึ้นอยู่กับความต้านทานของขดลวด ถ้าส่วนกลไกที่เคลื่อนไหวอยู่กับที่ แรงดึงจะต้องมีค่ามาก ฉะนั้น จะต้องใช้ขดลวดขนาดเล็กที่มีแรงดันบางส่วน ถ้าขดลวดโซลีนอยด์มีขนาดใหญ่จะต้องแบ่งขดลวดออกเป็นสองส่วน ซึ่งสวิตช์ตัดจะทำงานก็ต่อเมื่อส่วนกลไกที่เคลื่อนที่เริ่มจะอยู่กับที่ และสวิตช์ก็จะเปิดบางส่วนของวงจร แกนเหล็กทำจากเหล็กอ่อนที่มีค่ารีลักแตนซ์ (Reluctance) ต่ำ ในกรณีที่เป็นกระแสตรงจะใช้เป็นของแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากการไหลของกระแสจะไหลผ่านในทิศทางเดียวอย่างต่อเนื่อง

กรอบและกลไกส่วนมี่เคลื่อนที่ของโซลีนอยด์กระแสสลับจะประกอบด้วยซิลิกอนสตีล (Silicon Steel) ที่บางมากโดยจะลามิเนท (Laminate) และขัดให้เรียบเพื่อลดกระแสเอ็ดดี้ (Eddy Current) และจะต่อสายดินไว้ด้วย ช่องว่างอากาศ (Air Gap) ของส่วนวัสดุที่ไม่เป็นแม่เหล็กจะต้องอยู่ในเส้นทางแม่เหล็กจึงจะทำให้ส่วนกลไกที่เคลื่อนที่ไม่ติดขัดเนื่องจากความเป็นแม่เหล็กที่เหลืออยู่ ความต้านทานของขดลวดกระแสสลับมีค่าต่ำมาก ดังนั้น การไหลของกระแสจะถูกจำกัดด้วยค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ของขดลวด

ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (x_L)ของขดลวดหาได้จากสูตร

$$X_L = 2\pi fL$$

x_L คือ ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (โอห์ม)
f คือ ความถี่ของกระแสสลับ (เฮิรตซ์)
L คือ ค่าอินดักแตนซ์ (เฮนรี)

โดยใช้กฎของโอห์มจะทำให้สามารถคำนวณกระแสได้จาก

$$I = V / X_L$$

ส่วนกลไกที่เคลื่อนที่จะต้องปิดให้สนิท มิฉะนั้นจะทำให้ช่องว่างอากาศในเส้นทางแม่เหล็กกว้างขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าอินดักแตนซ์ลดลง เป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นในขดลวด

ความยาวของโซลีนอยด์สโตรก (Solenoid Stroke) มีความสำคัญมาก ถ้าสโตรกสั้นลงจะทำให้การทำงานรวดเร็วขึ้นและต้องการกำลังที่ต่ำ ทั้งยังต้องใช้แรงมาก ทำให้ขนาดของโซลีนอยด์เล็กลง ความยาวสโตรกที่มากที่สุดไม่ควรเกิน 1.5 เท่าของส่วนกลไกที่เคลื่อนที่ ในขดลวดกระแสสลับกระแสที่ไหลตรงอย่างรวดเร็วจะให้ค่าแรงสูงต่อสโตรกที่ยางๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 เหตุผลที่ทำให้กระแสไหลตรงอย่างรวดเร็ว คือ การไหลในทิศที่ตรงข้ามเมื่อโซลีนอยด์ถูกกระตุ้น ทำให้อาร์เมเจอร์เริ่มเคลื่อนที่เข้าไปในแกนของขดลวด ซึ่งแกนอาร์เมเจอร์นี้จะให้ค่าอินดักแตนซ์ของขดลวดเพิ่มขึ้น กระแสจึงลดลง และความร้อนที่เกิดขึ้นในขดลวดก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้กระแสไหลลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
42426

การนำโซลีนอยด์ไปใช้งาน

หลักเบื้องต้นของโซลีนอยด์ที่ต้องพิจารณา ได้แก่ แรง, สโตรก, อุณหภูมิ, กำลัง, ขนาด, การติดตั้ง, การต่อสายไฟ, อายุการใช้งาน และสภาพแวดล้อม

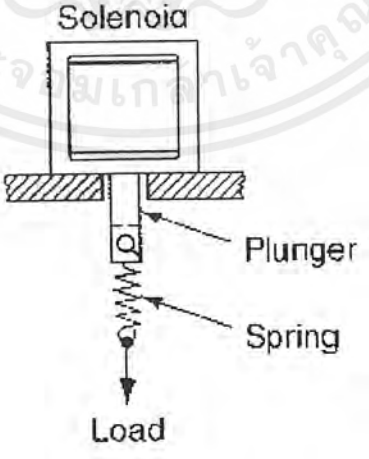
ในการเลือกโซลีนอยด์สำหรับงานต่างๆ จะต้องพิจารณาค่าแรงที่ต้องการตลอดสโตรกและพิสัยอุณหภูมิของการทำงาน ฉะนั้น โหลดจะต้องไม่เกินกำลังของแรงที่ขับสโตรก ถ้าหากโหลดสูงมากส่วนกลไกที่เคลื่อนที่จะไม่เคลื่อนที่ ถ้าโซลีนอยด์มีอัตราทำงานสูงจะทำให้มีแรงมากเกินกว่าที่ต้องการจากโหลด พลังงานส่วนที่เกินนี้จะต้องแบ่งเป็นส่วนพลังงานที่สูญเสียไปทางใดทางหนึ่ง มิฉะนั้นส่วนกลไกที่เคลื่อนที่จะดูดกลืนพลังงานส่วนเกิน ทำให้อายุการใช้งานน้อยลง

ดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) กำหนดไว้เป็นเปอร์เซ็นต์หมายถึงอัตราส่วน "on time" กับ "total time" ของไซเคิลทำงาน ถ้าดิวตี้มีอย่างต่อเนื่อง จะให้ค่าดิวตี้ไซเคิลเป็น 100 % ดิวตี้ไซเคิลหาจาก

$$\text{Duty cycle} = \frac{\text{on time}}{\text{on time + off time}} \times 100$$

การใช้โซลีนอยด์ให้ได้ประสิทธิผลสูงสุดนั้น ขดลวดกระแสสลับจะต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะกับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ เช่นขดลวดขนาด 50 Hz จะไม่เหมาะกับกระแส 60 Hz และขดลวด 60 Hz จะเกิดความร้อนสูง (Overheat) เมื่อใช้กระแส 50 Hz ในการประยุกต์ใช้งานบางประเภท อาจจะใช้ขดลวดคู่ 50-60 Hz

การจัดโหลดและขดลวดโซลีนอยด์กระแสสลับมีความสำคัญมากกว่ากรณีกระแสตรง โซลีนอยด์ควรได้รับการติดตั้งและต่อเชื่อมกับโหลดในลักษณะที่ส่วนกลไกที่เคลื่อนที่มีอิสระที่จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เมื่อทำการกระตุ้นและปรับขดลวดโซลีนอยด์ ส่วนกลไกที่เคลื่อนที่จะมีอิสระที่จัดให้อยู่ที่ศูนย์กลางของขดลวด มิฉะนั้นจะเกิดการสั่นและความร้อนสูงขึ้น ซึ่งทำได้โดยใช้ฟิวส์และสวิตช์ตัดความร้อน หรือทำการต่อโหลดด้วยสปริง ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การป้องกันขดลวดโซลีนอยด์กระแสสลับ (Solenoid-AC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เซนเซอร์ (SENSORS)

2.4.1 ส่วนตรวจรู้เส้นทางการเดิน (PHOTODIODE TRANSISTOR SENSOR)

โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์เซนเซอร์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่สามารถตรวจรับแสงได้ โดยมีโครงสร้างเป็นทั้ง "โฟโตไดโอด" (Photodiode) และ "ทรานซิสเตอร์" (Transistor) ในตัวเดียวกัน โดยทั่วไปแล้วจะมีโครงสร้างคล้ายทรานซิสเตอร์ กล่าวคือ มีลักษณะรอยต่อของสารกึ่งตัวนำแบบรอยต่อ pnp หรือ npn หรืออาจออกแบบให้มีโครงสร้างแบบดาร์ลิงตันทรานซิสเตอร์ (Darlington Transistor) ก็ได้ การใช้งานโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์มีมานานกว่า 20 ปีแล้ว มักใช้สำหรับการตรวจวัดแสงว่ามีหรือไม่มี แต่เนื่องจากขนาดสัญญาณเอาต์พุตของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์แปรเปลี่ยนกับความเข้มของแสงในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่ดีนัก จึงไม่นิยมใช้เป็นตัววัดความเข้มของแสง แต่จะนิยมใช้วัดว่ามีแสงอินพุตเข้ามาหรือไม่เท่านั้น เช่น ใช้เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณแสงจาก LED , ใช้เป็นอุปกรณ์รับแสงในโฟโตคัปเปลอร์ (Photo Coupler) , ใช้ตรวจเช็คการวิ่งตัดแสงของวัตถุ ใช้ในโฟโตอินเตอร์รัปเปอร์ (Photo Interrupter) ดังตัวอย่างภาพถ่ายของ Photodiode Transistor ในรูปที่ 2.19 ซึ่งมีทั้งแบบหุ้มฉนวนด้วยดีพอกซี (Depoxy) และแบบบรรจุในภาชนะกระป๋อง และ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์

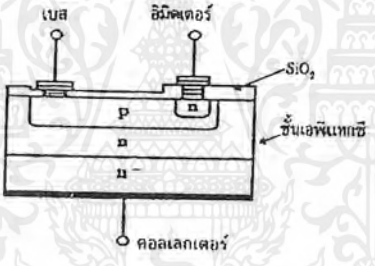
ชนิดของงาน	*ผลิตภัณฑ์*	*หน้าที่ของโฟโตทรานซิสเตอร์*
เคหะภัณฑ์	1) เครื่องเล่นแผ่นเสียง 2) เทปวิทยุ 3) จักรเย็บผ้า 4) เครื่องซักผ้า	- เช็คตำแหน่งของเข็มแผ่นเสียง - วัด (Counter) ตำแหน่งม้วนเทป - ตรวจด้ายขาด - ตรวจความเข้มของน้ำซักผ้า
เครื่องใช้สำนักงาน	1) ตู้จำหน่ายอัตโนมัติ 2) Taper reader 3) Card reader 4) เครื่องโทรสาร	- ตรวจชนิดของเหรียญเงินตรา - อ่าน Code รหัส - อ่าน Code รหัส - อ่านตัวอักษรภาพ
รถยนต์, ระบบควบคุม, การวัดและคอมพิวเตอร์	1) ประตู 2) สวิตช์แสง 3) Thermometer 4) Rotary Encoder	- ตรวจความปลอดภัยการเปิดปิดประตูสนิท - ตัวรับแสง - อ่านค่าอุณหภูมิ - ตรวจวัดการหมุน
โรงงานอุตสาหกรรม	1) สายพานส่งของ 2) เครื่องมือผลิตอัตโนมัติ 3) หุ่นยนต์	- นับจำนวน วัดรูปร่างขนาดสินค้า - ตรวจอ่านค่าตำแหน่งสินค้า - ตรวจสอบวัตถุ
อื่น ๆ	1) เครื่องทำแสงกระพริบ 2) เครื่องปรับแสงอัตโนมัติ 3) กล้องถ่ายรูป	- ตรวจวัดแสง - ตรวจวัดแสง - วัดแสงอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19 ตัวอย่างภาพถ่ายของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์

<u>โครงสร้างและหลักการทำงานของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์</u>

โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ มีโครงสร้างพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 2.20 ได้แก่ โครงสร้างของรอยต่อแบบ pnp หรือแบบ npn ของสารกึ่งตัวนำที่คล้ายกับทรานซิสเตอร์ แต่จะออกแบบพิเศษให้ชั้นเบส (Base) ถูกเปิดหน้าออก เพื่อให้ชั้น Base รับแสงอินพุตได้โดยตรง และพยายามให้พื้นผิวรับแสงของชั้น Base มีพื้นที่ขนาดใหญ่ๆ เพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าโฟโตมากๆ ซึ่งในรูปที่ 2.21 จะแสดงให้เห็นว่าชั้นอิมิตเตอร์ (Emitter) มีช่องว่างพลังงานกว้างกว่าชั้น Base กล่าวคือ เป็นรอยต่อชนิดแฮทีโร (Hatero)

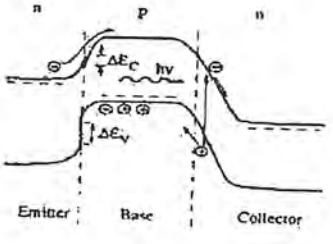


รูปที่ 2.20 โครงสร้างพื้นฐานของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์

บทบาทที่สำคัญของชั้น Emitter ที่มีช่องว่างพลังงานกว้างมี 2 ข้อ คือ

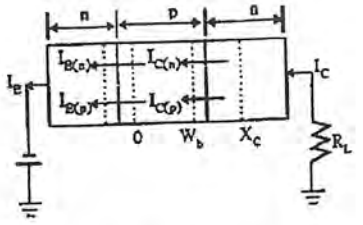
ประการแรก : ชั้น Emitter จะทำหน้าที่เป็นชั้นหน้าต่างกว้างที่ยอมให้สัญญาณแสงเดินทางเข้าสู่ชั้น Base ได้ดีที่สุด จึงทำให้การดูดกลืนแสงส่วนใหญ่เกิดขึ้นในชั้น Base และในชั้นปลอดพาหะที่อยู่ระหว่างชั้น Base และชั้น Collector

ประการที่สอง : ชั้น Emitter ที่มีช่องว่างพลังงานกว้าง สามารถทำให้อัตราการขยายสัญญาณของทรานซิสเตอร์มีค่าสูง



รูปที่ 2.21 ลักษณะแถบพลังงานของไบโพลาร์โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์รอยต่อแฮทีโรขณะถูกไบแอสใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 กระแสไฟฟ้าชนิดต่างๆ ที่ไหลในโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 2.22 กระแสไฟฟ้าที่ไหลในโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ โดยทั่วไปจะไม่มีการต่อสายไฟฟ้าเข้าสู่ชั้น Base โดยชั้น Base และ ชั้น Collector ทำหน้าที่เปรียบเสมือนโฟโตไดโอด ซึ่งกำลังถูกไบแอสแบบย้อน (Reverse Bias) ส่วนชั้น Emitter และ ชั้น Base จะถูกไบแอสแบบตาม (Forward Bias) เมื่อมีแสงอินพุตเข้ามา โฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) ที่เกิดขึ้นในชั้น Base จะแพร่ซึมจากชั้น Base ไปสู่ชั้น Collector และชั้น Emitter ส่วนโฮล (Hole) จะยังคงค้างอยู่ในชั้น Base ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการไบแอสด้วยตนเองแบบบวกขึ้นในชั้น Base ดังนั้น จึงทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านรอยต่อ Emitter ซึ่งกำลังถูกไบแอส และจะเกิดการขยายสัญญาณกระแสไฟฟ้ากลายเป็นกระแสไฟฟ้า Collector ซึ่งไหลออกไปทางขั้วของ Collector

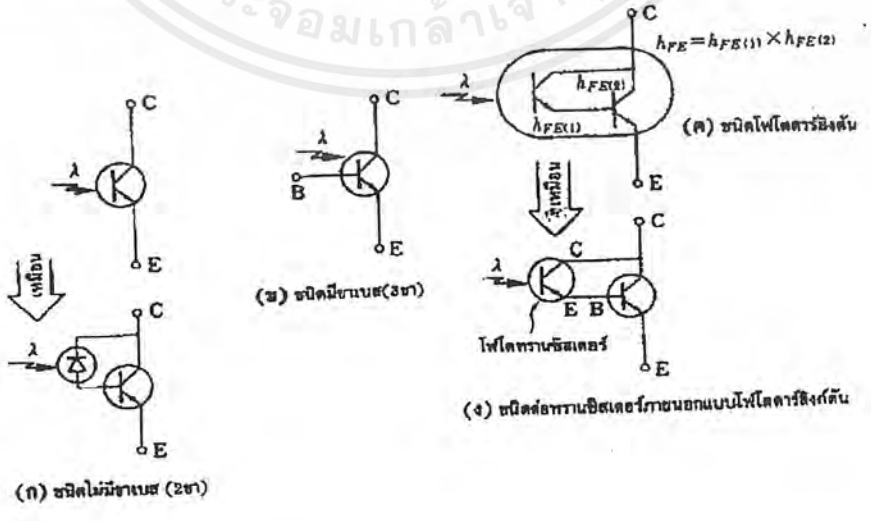
<u>ชนิดของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์</u>

โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ ชนิดธรรมดา จะมีขาต่อเอาต์พุต 2 ขา แต่บางชนิดก็มี 3 ขา ซึ่งจะกล่าวถึงข้อดีข้อเสียของชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

1) Photodiode Transistor ชนิด 2 ขา เป็นชนิดที่ใช้งานกันทั่วไป โดยแสดงวงจรสมมูลในรูปที่ 2.23 (ก) แต่คุณสมบัติเชิงเส้นของชนิดนี้จะไม่ดี

2) Photodiode Transistor ชนิด 3 ขา เรียกว่า Photodiode Transistor ชนิดมีขา Base ดังแสดงในรูปที่ 2.23 (ข) ซึ่งมีจุดเด่นตรงที่กระแสไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าชนิด 2 ขา และการใช้งานก็สามารถกำหนดจุดการทำงานได้

3) Photodiode Transistor ชนิดดาร์ลิงตัน (Darlington) มีลักษณะโครงสร้างที่มีทรานซิสเตอร์ต่อพ่วงภายในอีก 1 ตัวภายใน ดังแสดงในรูปที่ 2.23 (ค)



รูปที่ 2.23 โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ส่วนตรวจวัดวัตถุกีดขวาง (ULTRASONIC SENSOR)

<u>ทฤษฎีของคลื่นอุลตร้าโซนิค</u> (Ultrasonic Wave)

คลื่นอุลตร้าโซนิค เป็นคลื่นเสียงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล (Electrical Mechanical) ซึ่งมีความถี่สูงกว่าความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยินได้ คือ ในย่านความถี่ 20 Hz ถึง 20 kHz ดังนั้น จึงถือได้ว่าคลื่นเสียงใดๆ ที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz จนถึง 10^4 GHz ขึ้นไปเป็นคลื่นอุลตร้าโซนิค

คุณสมบัติ และธรรมชาติของคลื่นอุลตร้าโซนิค คือ การสะท้อนกลับได้ของสัญญาณคลื่นเสียง โดยมีหลักการสะท้อนกลับได้ของย่านพลังงานที่ถูกส่งออกมาจากตัวส่ง เมื่อไปกระทบกับวัตถุในระยะที่กำหนดพลังงานบางส่วนจะสะท้อนกลับไปที่ตัวรับ ซึ่งจะ ้องเลือกอุปกรณ์ตัวรับที่เหมาะสมกับตัวส่ง เพื่อให้สามารถรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาได้ เวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณเสียงในอากาศสามารถที่จะคำนวณออกมาเป็นระยะทางได้ เพราะฉะนั้นการศึกษาถึงคุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นอุลตร้าโซนิค จะทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างถูกต้องต่อไป สามารถจำแนกประเภทของคลื่นอุลตร้าโซนิคได้ 3 ชนิด ตามลักษณะของคลื่นทั่วไป ดังนี้

1) Compression Wave หรือ Longitudinal Wave

คลื่นตามยาว คือ คลื่นที่อนุภาคของคลื่นเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นตามยาวนี้สามารถเดินทางผ่านของแข็ง ของเหลว และแก๊สได้ โดยมากแล้วถ้ากล่าวถึงความเร็วของคลื่นโดยทั่วไป จะหมายถึงความเร็วของคลื่นตามยาว

2) Shear Wave หรือ Transverse Wave

คลื่นตามขวาง คือ คลื่นที่อนุภาคของคลื่นเคลื่อนที่ไปในแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่น ซึ่งคลื่นตามขวางนี้จะสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นของตัวมันเอง และผ่านตัวกลางของแข็งได้ แต่จะไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือแก๊สได้

คลื่นตามขวางนี้ มีลักษณะเหมือนกับการเกิดของขั้วบวกและลบ ซึ่งเป็นเหตุผลของการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคให้เป็นไปเพียงทิศทางเดียว คือ เคลื่อนที่ไปในระนาบที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่น สำหรับต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางจะเป็นพื้นผิวเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอันเนื่องมาจากการแกว่ง และความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลง โดยการเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวางนี้จะมีความเร็วน้อยกว่าของคลื่นตามยาว แต่ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ความยาวของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าของคลื่นตามยาวเสมอ

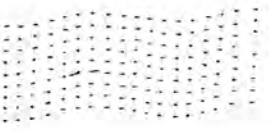
3) Surface Wave หรือ Raleigh Wave

คลื่นพื้นผิว คือ คลื่นอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะคล้ายกับคลื่นตามขวาง จะต่างกันตรงที่ว่าตำแหน่งของอนุภาคจะไม่เป็นไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเพียงอย่างเดียว แต่มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบแนวนอน ด้วยเหตุนี้ คลื่นจึงสามารถเดินทางผ่านได้เฉพาะบนพื้นผิวของตัวกลางเท่านั้น

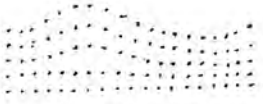
แสดงลักษณะของอนุภาคของคลื่นทั้งสามชนิด ตามรูปที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a) การเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาว



(b) การเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวาง

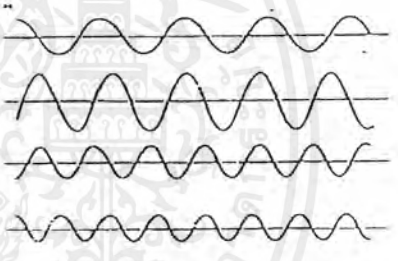


(c) การเคลื่อนที่ของคลื่นผิวหน้า

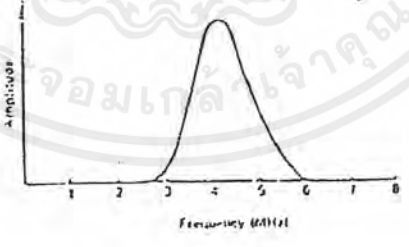
รูปที่ 2.24 การสั่นของอนุภาคระหว่างการเคลื่อนที่ของคลื่น

คลื่นทั้งสามแบบนี้มีการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติของคลื่นที่แตกต่างกัน ซึ่งในกรณีของคลื่นอุลตร้าโซนิคนั้นจะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วยคลื่นรูปซายน์หลายๆ ความถี่มาผสมกันตามรูปแบบของ "ฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม" (Fourier Transform) ดังแสดงในรูปที่ 2.25

(a) รูปร่างของคลื่นอุลตร้าโซนิค



(b) คลื่นซายน์ที่มีความถี่ และแอมปลิจูดต่างๆ กัน



(c) สเปกตรัมความถี่ของคลื่นอุลตร้าโซนิค

รูปที่ 2.25 คลื่นอุลตร้าโซนิคที่มีหลายความถี่มาผสมกันตามรูปแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม

<u>หลักการกำเนิดคลื่นอุลตร้าโซนิค</u> (Ultrasonic Generation)

คลื่นอุลตร้าโซนิคนี้สามารถสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ซึ่งทรานสดิวเซอร์ ก็คืออุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล หรือเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า สำหรับหลักการที่ใช้สร้างคลื่นอุลตร้าโซนิคมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

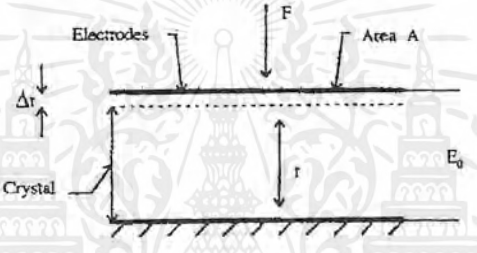
1) แบบ Piezoelectric Transducer : จะทำการแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง เป็นแบบที่นิยมใช้กันมาก เพราะหาซื้อง่านและมีราคาถูก

2) แบบ Magnetrostrictive Transducer : จะทำการแปลงไปมาระหว่างพลังงานในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

3) แบบ Electrostrictive Transducer : จะทำการแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล

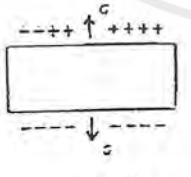
ปรากฏการณ์ปีโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Effect)

ปรากฏการณ์ปีโซอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่ง กล่าวคือ ถ้าป้อนแรงกลให้แก่ผลึกภายในของแข็ง (Solid Crystalline Dielectric) ดังในรูปที่ 2.26 แรงที่ป้อนให้จะทำให้เกิดความเค้น (Stress) ขึ้นภายในผลึก และทำให้ผลึกแลตทิซเปลี่ยนรูปไป เป็นผลให้ประจุภายในเปลี่ยนไปด้วย การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงข้ามกันบนด้านตรงกันข้ามของผลึกนี้ เรียกว่า "Piezoelectric Effect"

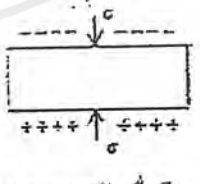


รูปที่ 2.26 ปรากฏการณ์ปีโซอิเล็กทริก

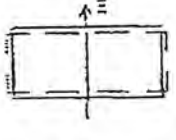
การกำเนิดคลื่นอุลตร้าโซนิคสามารถทำได้หลายวิธีดังที่กล่าวไว้ข้างต้น แต่โดยทั่วไปแล้ว เราจะใช้วัสดุที่อาศัยหลักการ "Piezoelectric Effect" มาสร้างเป็นตัวโพรบ (Probe) สารปีโซอิเล็กทริกจะมีคุณสมบัติที่ว่า หากเราให้แรงดันทางกลภายนอกเข้าไปยังสารปีโซอิเล็กทริกแล้ว สารจะสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ซึ่งจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่ผิวของสาร แต่หากเราให้แรงดันกลับทางกัน ศักย์ไฟฟ้าที่ได้ก็จะกลับทิศทางด้วย แรงลัพธ์ที่ได้ก็จะกลายเป็นแรงดึง ซึ่งจะทำให้ประจุที่ได้เป็นชนิดตรงข้าม ดังในรูปที่ 2.27



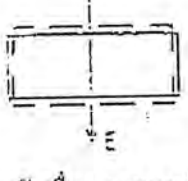
(a) การขยายตัวเมื่อมีแรงดึง



(b) การหดตัวเมื่อมีแรงอัด



(c) การขยายตัวเรื่องจากสนามไฟฟ้า



(d) การหดตัวเนื่องจากสนามไฟฟ้ากลับทิศ

รูปที่ 2.27 การขยายตัวและหดตัวของวัสดุแบบปีโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางตรงกันข้าม หากป้อนศักย์ไฟฟ้าเข้าไปที่ชิ้นสารก็จะเกิดแรงดันทางกลขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "ปรากฏการณ์ปิโซอิเล็กทริกแบบรีเวอร์ส" (Reverse Piezoelectric Effect) ซึ่งเราจะใช้หลักการทั้งสองนี้ มาสร้างเป็นตัวกำเนิดและตัวรับคลื่นอุลตร้าโซนิก

วัสดุปิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Material)

วัสดุที่ใช้เป็นสารปิโซอิเล็กทริก มีอยู่มากมายทั้งที่เป็นผลึกทางธรรมชาติ เช่น ควอร์ซ (Quartz) , ลิเทียมซัลเฟต (Lithium Sulfate) และสารที่เป็นพหุผลึก เช่น แบเรียมไททาเนต (Barium Titanate) เป็นต้น ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติและอุณหภูมิใช้งานที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และ ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุปิโซอิเล็กทริก

ชนิดของวัสดุ	*Coulomb / Newton*	*ความต้านทานต่อปริมาตรของวัสดุ*	*สัมประสิทธิ์ของการ coupling*
Quartz	2.3×10^{-12}	1.0×10^{12}	10.5%
Tourmaline	1.9×10^{-12}	0.1×10^{12}	10%
Rochelle Salts (ที่ 30 °C)	550×10^{-12}	10×10^{9}	76%
Ammonium Dihydrogen Phosphate	48×10^{-12}	0.1×10^{9}	32%
Lithium Sulphate	16×10^{-12}	10×10^{9}	38%

ตารางที่ 2.3 ช่วงอุณหภูมิการใช้งานต่างๆ ของวัสดุปิโซอิเล็กทริก

ชนิดของวัสดุ	*ขีดจำกัดของอุณหภูมิใช้งาน °C*
วัสดุธรรมชาติ	
Quartz	550
Ammonium Dihydrogen Phosphate	120
Rochelle Salts	45
วัสดุสังเคราะห์	
Barium Titanate Ceramic	100
Lead Titanate Zirconate (45/55)	300
Lead Metaniobate	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้ว วัสดุธรรมชาติ เช่น ควอร์ซ มักจะมีขั้วของตัวเองตามธรรมชาติ แต่วัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียมไททาเนตเซรามิก (Barium Titanate Ceramic) จะต้องนำมาทำการอบผลึกภายใต้แรงดันและวางวัสดุที่ได้นี้ในสนามแม่เหล็กที่มีความแรงของไฟกระแสตรงมากๆ จะทำให้ได้ผลึกที่มีขั้วตามแนวทิศทางของสนามแม่เหล็กและประพฤติตัวตามคุณสมบัติ Piezoelectric สำหรับชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ จะไม่มีข้อจำกัดทางขนานโดยโครงสร้างของผลึก และยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่างๆ ได้ ซึ่งทิศทางของขั้วจะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

การเลือกใช้วัสดุที่เป็นสารปิโซอิเล็กทริกนั้น จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะกับลักษณะการใช้งาน เช่นในการวัดระดับที่แรงดันชั่วขณะมีความถี่สูงๆ โดยทั่วไปจะนิยมใช้วัสดุประเภทควอร์ซที่สังเคราะห์ขึ้นมาโดยเฉพาะ เพราะจะมีความบริสุทธิ์กว่าควอร์ซตามธรรมชาติ

<u>ปิโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์</u> (Piezoelectric Transducer)

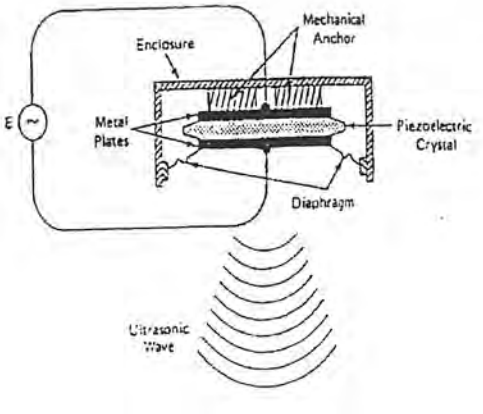
ปิโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) แบบ Generation-action Transducer : ใช้เป็นตัวรับ (Receiver) โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากระทำต่อวัสดุปิโซอิเล็กทริก

2) แบบ Motor-action Transducer : ใช้เป็นตัวส่ง (Transmitter) โดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุที่ทำให้เกิดคลื่นอุตร้าโซนิกนั้น จะขึ้นอยู่กับขนาดแอมปลิจูดและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ โดยทั้งสองกรณีนี้ ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะต้องขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุปิโซอิเล็กทริกที่ใช้ด้วย

โครงสร้างส่วนใหญ่ของปิโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ โดยภายนอกมักสร้างเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงประมาณ 10-25 มม. มีความถี่อยู่ในช่วง 1-15 MHz ด้านหน้าจะทำเป็นช่องเปิดและมีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอุลตร้าโซนิกเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดนี้ได้โดยสะดวก และตะแกรงนี้ยังสามารถป้องกันสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ที่จะเข้าไปภายในได้อีกด้วย ถ้าตัวถังทำจากโลหะก็ควรต่อตัวถังลงกราวนด์ด้วย

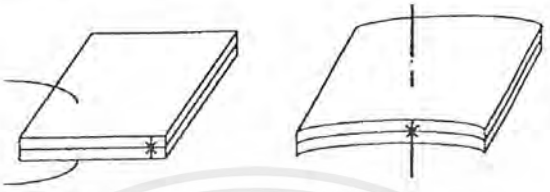
โครงสร้างภายในจะประกอบด้วยสารปิโซอิเล็กทริก ซึ่งสามารถทำมาจากวัสดุได้หลายชนิดดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ Barium Titanate Ceramic ซึ่งได้มาจากการผสมสารไททาเนต (Titanate) กับ แบเรียมคาร์บอเนต (Barium Carbonate) ที่อุณหภูมิประมาณ 1300-1400 °C และผลิตออกมาในรูปแบบของเซรามิกซึ่งมักจะเป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยส่วนใหญ่ ใช้เป็นตัวกำเนิดคลื่นอุลตร้าโซนิกที่มีความถี่อยู่ในย่าน 20-50 kHz



รูปที่ 2.28 ลักษณะโครงสร้างภายในทั่วๆ ไปของทรานสดิวเซอร์ แบบปรากฏการณ์ปิโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นเซรามิกที่ได้จะถูกนำมาประกบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่น โดยวางให้ขั้วไฟฟ้า (Dipole) ภายในอะตอมมีทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งแผ่นเพลทส่วนใหญ่จะทำมาจากโลหะฉาบเงินทั้งสองหน้า เพื่อให้สามารถต่อสายไฟมาเป็นขาของอิเล็กโทรดได้ ด้านข้างหนึ่งของแผ่นเพลทจะถูกยึดเพื่อไม่ให้เกิดการสั่น ส่วนอีกด้านจะติดยึดกับแผ่นไดอะแฟรมที่สามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ โดยแผ่นไดอะแฟรมนี้จะถูกสร้างให้มีลักษณะคล้ายเลนซ์เพื่อใช้รวมคลื่นให้มีความเร็วสูงขึ้น สำหรับรูปร่างทางเรขาคณิตของมันจะเป็นตัวช่วยควบคุมช่วงความถี่ของคลื่นอุลตร้าโซนิกที่สร้างขึ้นให้อยู่ภายในช่วงความถี่หนึ่งๆ เท่านั้น



รูปที่ 2.29 โครงสร้างและผลจากการป้อนแรงดัน ระหว่างแผ่นเพลททั้งสอง
(a) โครงสร้างภายในของอุลตร้าโซนิดทรานสดิวเซอร์ แบบปิโซอิเล็กทริกที่ใช้สารเซรามิก
(b) เมื่อป้อนแรงดันให้แก่แผ่นเพลทจะทำให้ชิ้นสารโก่งตัวไปมา ทำให้เกิดคลื่นอุลตร้าโซนิก

สำหรับสัญลักษณ์ของอุลตร้าโซนิกทรานสดิวเซอร์ จะนิยมใช้ตามหน้าที่ของมัน คือ ทรานสดิวเซอร์ตัวส่ง (Transmitter Transducer) ที่มีหน้าที่ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับให้ออกมาเป็นคลื่นเสียง จะนิยมใช้สัญลักษณ์เป็นรูปลำโพง และ ทรานสดิวเซอร์ตัวรับ (Receiver Transducer) ที่มีหน้าที่ในการแปลงคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิกที่มาตกกระทบให้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า ก็จะนิยมใช้รูปไมโครโฟนเป็นสัญลักษณ์ แต่ก็อาจมีการใช้สัญลักษณ์เป็นรูปใดรูปหนึ่งแล้วเขียนตัวอักษรย่อกำกับไว้แทน เช่น T_x แทน ตัวส่ง และ R_x แทน ตัวรับ

<u>ประโยชน์การใช้งานของคลื่นอุลตร้าโซนิก</u>

คลื่นอุลตร้าโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถใช้เล็งคลื่นไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยการเจาะจง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ช่องที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นั้น เช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีความยาวคลื่นถึงประมาณ 1 เมตรเศษ ๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องเปิดที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมาก คลื่นจะเกิดการหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียง ทำให้เกิดการกระจายทิศทางของคลื่น แต่ถ้าความถี่คลื่นสูงจนขึ้นมาอยู่ในย่านของอุลตร้าโซนิกก็จะสามารถนำไปใช้งานได้หลายทาง เช่น

- ใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonis Remote Control)
- เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic Cleaner) โดยใช้การสั่นของน้ำที่ความถี่สูงๆ
- เครื่องวัดความหนาของวัตถุ โดยการสังเกตุระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา
- เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล
- ใช้ในเครื่องตรวจวัดตำแหน่งของอวัยวะบางส่วนในร่างกาย
- ใช้ทดสอบรอยรั่วของท่อ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบอุลตร้าโซนิกเซนเซอร์ (Ultrasonic Sensor System)

เซนเซอร์เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Mobile Robot) หรือ รถเคลื่อนที่อัตโนมัติ (AGV) เพราะในขณะที่ AGV เคลื่อนที่ไปข้างหน้า จำเป็นต้องมีการตรวจจับวัตถุที่จะเข้ามาขวางทางข้างหน้า เพื่อบอกให้ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ได้รับรู้ และสามารถหยุดการเคลื่อนที่ได้ทัน จึงจำเป็นที่ต้องมีส่วนตรวจจับวัตถุ หรือ เซนเซอร์ ช่วยในการทำงาน เพื่อป้องกันการปะทะ หรือหลีกเลี่ยงการชนกันของตัวรถกับวัตถุ

สำหรับการศึกษาในเรื่องทฤษฎีของคลื่นอุลตร้าโซนิกนี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในโครงงานพิเศษนี้ได้ โดยการนำเอาลักษณะพิเศษ ในหลักการของปรากฏการณ์ปิโซอิเล็กทริกมาทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ตัวหนึ่ง ที่สามารถตร จจับความเคลื่อนไหวของวัตถุที่ผ่านหน้าตัวรถ AGV โดยใช้วิธีการตรวจจับแบบพัลส์เอกโค (Pulse Echo Method) คือ การส่งคลื่นเสียงความถี่สูงออกไปกระทบกับวัตถุที่กีดขวางอยู่ภายในรัศมีที่กำหนด แล้วสะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณ เพื่อตรวจสอบดูว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่ภายในรัศมีการทำงานหรือไม่ และถ้ามีวัตถุขวางอยู่จริงอุลตร้าโซนิกเซนเซอร์ก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนควบคุม เพื่อให้ส่วนควบคุมสั่งให้ตัว AGV หยุดการเคลื่อนที่ พร้อมกับสั่งให้อุปกรณ์บันทึกเสียงทำงาน โดยให้มีเสียงพูดเตือนออกมา แล้วรอจนกระทั่งวัตถุที่กีดขวางอยู่นั้นได้เคลื่อนที่ออกไปนอกเส้นทาง แล้วจึงจะสั่งให้ AGV เคลื่อนที่หรือทำงานต่อไป

2.4.3 ส่วนตรวจรู้การมีของวัตถุ (ELECTROMECHANICAL RELAYS)

ชนิดและคุณสมบัติของอิเล็กโตรเคมีคัลรีเลย์ (Electromechanical Relays)

รีเลย์ คือ อุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้วัด หรือรับสัญญาณควบคุม แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงานให้เป็นไปในแบบที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ในวงจรไฟฟ้าทางออก (Output Circuit) หนึ่งวงจรหรือมากกว่า

รีเลย์แบบป้องกัน (Protective Relays) คือ รีเลย์ชนิดหนึ่งที่จะทำงานก็ต่อเมื่อเกิดสภาวะที่ผิดไปจากปกติในระบบกำลังงานไฟฟ้า โดยจะทำการควบคุมให้เกิดการตัดวงจรไฟฟ้าเพื่อแยกส่วนที่ผิดปกติ (หรือ ส่วนที่เกิดการลัดวงจร) ออกไปจากระบบ ซึ่งจะให้มีการขาดหายทางด้านบริการของระบบให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายของวงจรขึ้น หรือเกิดความเสียหายน้อยที่สุด

รีเลย์เชิงกล (Mechanical Relays) ชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายที่สุดในปัจจุบัน คือ เป็นแบบที่มีหน้าคอนแทคที่เคลื่อนที่ได้ (Moving Contacts) โดยจะเคลื่อนไปปิดหรือเปิดวงจรไฟฟ้าหนึ่งวงจรหรือมากกว่า โดยจะมีหน้าคอนแทคแบบตรึงอยู่กับที่ (Fixed Contacts) รอรับอยู่ ซึ่งโดยปกติอุปกรณ์ประเภทนี้จะอยู่เฉย แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าทางไฟฟ้าหรือค่าอื่นๆ ที่เกิดขึ้น จึงจะทำให้หน้าคอนแทคเคลื่อนตัวไปปิดหรือเปิดวงจรนั้นๆ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งประเภทของรีเลย์ชนิดนี้ออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ ตามลักษณะการทำงาน ได้แก่

1) Electromagnetic Attraction หรือ แบบอาศัยแรงดึงดูดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

2) Electromagnetic Induction หรือ แบบอาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

นอกจากทั้ง 2 ประเภทใหญ่ๆ นี้แล้ว ยังมีรีเลย์แบบที่ใช้ความร้อน, แบบทำงานด้วยมอเตอร์ และ แบบกล ซึ่งการเลือกใช้รีเลย์ก็จะต้องขึ้นอยู่ลักษณะของงานที่ต้องการ

หลักการทำงานของรีเลย์แบบอาศัยแรงดึงดูดของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Attraction Relays)

แรงของแม่เหล็กไฟฟ้าที่ดูดส่วนที่เคลื่อนที่ได้ของ Relays จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับฟลักซ์ (Flux) ในช่องว่าง (Air Gap) ยกกำลังสอง และพื้นที่หน้าตัดให้ผล (Effective Area) ของขั้วแม่เหล็ก และถ้าคิดว่าแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าทำงานในช่วงที่ไม่อิ่มตัว แรงดึงดูดนี้ก็จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับกระแสที่ไหลในขดลวดของแม่เหล็กไฟฟ้ายกกำลังสอง และถ้าคิดแรงเหนี่ยวรั้ง ซึ่งอาจจะเป็นน้ำหนักของแกนเหล็ก หรือสปริง (K_2) จะได้สมการ

$$F = K_1 I^2 - K_2$$

โดยที่ F = แรงสุทธิ (Net Force) ที่กระทำบนส่วนที่เคลื่อนที่

K_1 = ค่าคงที่ ใช้เปลี่ยนค่า I^2 ให้เป็นแรง

I = ค่าของกระแสที่ให้ผล (RMS) ที่ไหลในขดลวดของแม่เหล็กไฟฟ้า

K_2 = แรง – เหนี่ยวรั้ง (รวมความฝืดเข้าด้วย)

เมื่อรีเลย์อยู่ในสภาวะที่กำลังจะเริ่มทำงาน แรงผลลัพธ์จะเท่ากับ 0 ซึ่งจะให้ลักษณะการทำงาน (Operation Characteristics) ดังสมการต่อไปนี้

$$K_1 I^2 - K_2 = 0$$

$$I = [K_2 / K_1]^{1/2} = \text{ค่าคงที่}$$

โดยค่ากระแสนี้จะเป็นค่าที่ต่ำสุดที่จะทำให้รีเลย์เริ่มทำงาน

<u>รีเลย์แบบดูดแกนเหล็ก</u> (Attracted Armature Relays)

อาร์เมเจอร์รีเลย์ (Armature Relays) หรือ รีเลย์แบบแกนเหล็ก เป็นแบบที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้กันมาก มีรูปร่างหลายลักษณะ และการใช้งานในลักษณะต่างๆ กัน ตั้งแต่ใช้เป็นเครื่องวัดที่แม่นยำ จนกระทั่งเป็นแบบที่ทำงานแบบลอจิก (Logic Function) โครงสร้างส่วนมากมักจะประกอบด้วยแกนเหล็ก ซึ่งมีขดลวดพันอยู่ทำให้เกิดแม่เหล็กไฟฟ้าไปดูดแกนเหล็กให้เคลื่อนที่ โดยแกนเหล็กจะถูกยึดไว้ในแบบใดแบบหนึ่ง เพื่อสามารถทำให้แกนเหล็กนี้เคลื่อนตัวเข้าออกในสนามแม่เหล็กได้ สำหรับการควบคุมการเคลื่อนตัวนี้ จะใช้แรงมาเหนี่ยวรั้งไว้ ซึ่งอาจจะเป็นน้ำหนักของแกนเหล็กเอง หรืออาจใช้แรงจากสปริงก็ได้

ตามปกติแกนแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นรูปตัว U โดยที่บางส่วนของแกนนี้จะมีขดลวดพันอยู่ ซึ่งจะเป็นขดลวดให้แกนแม่เหล็กไฟฟ้า (Energizing Coil) แกนเหล็กที่เคลื่อนที่ได้มักจะทำด้วยเหล็กน้ำหนักเบา ที่มีรูปร่างง่ายๆ และจัดวางในลักษณะที่จะเคลื่อนตัวไปปิดวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าได้สะดวก เมื่อมีกระแสไฟฟ้าจ่ายไปในขดลวด แกนเหล็กที่เคลื่อนที่ได้นี้อาจจะมีหน้าคอนแทคติดอยู่ด้วย ซึ่งเมื่อเคลื่อนตัวตามแกนเหล็กก็จะไปแตะกับหน้าคอนแทคอีกตัวหนึ่งที่ถูกตรึงอยู่กับที่ หรือแกนที่ติดอยู่กับแกนเหล็กนี้จะไปกดหน้าคอนแทคทั้งสองให้แตะกัน และในบางกรณีอาจมีหน้าคอนแทคหลายหน้าซึ่งทำงานพร้อมๆ กันก็ได้

เมื่อช่องว่าง (Gap) ของแกนเหล็กน้อยลง ความหนาแน่นของ Flux ก็จะเพิ่มขึ้น และเมื่อความหนาแน่นของฟลักซ์เพิ่มขึ้น แรงดึงของแม่เหล็กก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การที่รีเลย์จะกลับสู่ตำแหน่งเดิมหลังจากทำงานไปแล้ว จะต้องทำให้กระแสลดลงอย่างมาก อัตราส่วนระหว่างกระแสที่ทำให้ Relays คืนสู่ตำแหน่งเดิม กับกระแสที่ทำให้รีเลย์ทำงาน เรียกว่า "อัตราส่วนคืนกลับ" (Returning Ratio) ถ้าอัตราส่วนคืนกลับนี้ น้อยกว่า 1 จะหมายความว่า อุปกรณ์นี้สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งตามปกติก็จะมีผลดีเนื่องจากจะทำให้ได้งานที่ดี และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปิดหน้าคอนแทคที่แน่นอน แต่ถ้าค่ากลับสู่ตำแหน่งเดิมนี้ต่ำเกินไปก็อาจจะยอมรับไม่ได้ ซึ่งเราจะลดข้อเสียดังกล่าวนี้ลงได้ ก็โดยการป้องกันมิให้แกนเหล็กปิดวงจรแม่เหล็กโดยสมบูรณ์ และหรืออาจจะใช้สปริงเข้าช่วย

ชนิดของรีเลย์ที่สำคัญ

1) Plunger or Solenoid Relay : นิยมใช้ในการป้องกันไฟฟ้าเกินขนาด (Overload Device)

2) Hinged – Armature Relay

3) Shading Loop Relay

4) Reed Relay (เป็นแบบที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้)

5) Magnetically Polarized Armature Relay : แบบแกนเหล็กเรียวขั้วโดยแม่เหล็ก

รีดรีเลย์ (Reed Relay)

รีดรีเลย์นี้เป็นแบบดูดแกนเหล็กแบบล่าสุด ซึ่งจะมีก้านเหล็กแข็งติดตั้งไว้ โดยที่ปลายของก้านเหล็กจะเหลื่อมกันอยู่ และมีช่องว่างเล็กๆ อยู่ระหว่างก้านทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.30

รูปที่ 2.30 โครงสร้างของรีดรีเลย์

เมื่อเราใส่สนามแม่เหล็กเข้าไป ก้านเหล็กทั้งสองก็จะถูกดูดเข้าหากัน โดยที่ก้านเหล็กทั้งสองจะติดวัสดุที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถปิดวงจรได้สนิท Relay แบบที่ใช้โดยทั่วไป ก้านเหล็กทั้งสองจะบรรจุอยู่ในหลอดแก้วซึ่งผนึกแน่น (Sealed) และมีแก๊สไฮโดรเจน (Hydrogen) หรือ แก๊สฮีเลียม (Helium) บรรจุอยู่ภายใน การใส่สนามแม่เหล็กอาจจะใส่ตามแนวแกน (Axial Field) โดยใช้ขดลวดพันรอบหลอดแก้ว และใช้แม่เหล็กถาวรวางอยู่ตามแนวแกน

รีเลย์จะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อมีกระแสไหลในขดลวด หรือเมื่อมีแม่เหล็กถาวรเคลื่อนตัวเข้ามาใกล้หลอดแก้ว ก้านเหล็กทั้งสองก็จะติดกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจร ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์อื่นๆ ที่ต่อเข้ากับสายไฟขาออก (Output) ของรีเลย์มีกระแสไฟจ่ายให้ และทำงานได้ในแบบที่กำหนด

ในขดลวดเดียวกันภายในรีดรีเลย์อาจจะใส่หลอดแก้วหลายๆ หลอดได้ ซึ่งจะทำให้ได้รีเลย์แบบหลายหน้าคอนแทค โดยจะมีการทำงานในช่วง 1/1000 วินาที

2.4.4 ส่วนตรวจรู้ตำแหน่งหยุด (OPTOELECTRONICS)

ทฤษฎีเกี่ยวกับออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (Optoelectronic)

ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ หมายถึง เทคโนโลยีที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีของแสง (Optics , Opto) ให้เข้ากับเทคโนโลยีของอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) กล่าวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์นั้น จะมีตัว "อิเล็กตรอน" (Electron) เป็นตัวหลักสำคัญในการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด แต่บางครั้งแค่ตัวอิเล็กตรอนเพียงอย่างเดียวก็ไม่สามารถทำงานให้เราได้ตามต้องการทั้งหมด จึงจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยอื่นมาช่วยประกอบหรือทำงานแทนอิเล็กตรอน ได้มีการค้นพบว่า "แสง" ก็เป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่สามารถทำให้เกิดการทำงานได้หลายอย่าง ทั้งรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้น การนำอิเล็กตรอนและแสงมาใช้งานควบคู่กันนี้ จึงทำให้เกิดประโยชน์มากมายหลายอย่าง สำหรับประโยชน์ของเทคโนโลยี "Optoelectronic" นี้ ที่เห็น ได้แก่ ไปใช้งานในด้านการวัด (Instrumentation), ระบบควบคุม (Control System), วิศวกรรมการขึ้นรูปชิ้นงาน (Material Processing), การประมวลข้อมูล (Information Processing) และการสื่อสาร (Communication) เป็นต้น

ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ มีพื้นฐานอยู่บนเทคโนโลยีของแสง, กลศาสตร์ควอนตัม และอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับจุดเด่นของออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่

1) แสงที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นนั้น สามารถนำมาใช้ในการสื่อข้อมูลให้มนุษย์ได้รับรู้ได้ดี จึงได้มีการผลิตสิ่งประดิษฐ์ประเภทกล้องถ่ายภาพวิดีโอ หรือดิสเพลย์ (Display) ต่างๆ

2) แสงที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงและสามารถวิ่งได้เร็วที่สุด และเร็วกว่าอนุภาคหรือคลื่นอื่นใด จึงมีการใช้แสงในการสื่อสาร และใช้แสงในการประมวลข้อมูลต่างๆ (Information Processing)

3) แสงสามารถรวมโฟกัสให้เป็นจุดเล็กๆ ขนาดตามความยาวคลื่นแสงได้ จึงมีใช้แสงในการบันทึกข้อมูล (Optical Memory) และใช้แสงในด้านพลังงานซึ่งจะมีความเข้มของพลังงานสูง

นอกจากนี้ เนื่องจากแสงมีการพลังงานโฟตอนอยู่ ($h\nu$) อยู่สูง จึงสามารถนำมาใช้ในการกระตุ้นให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกซ์และทางเคมีได้ง่ายอีกด้วย

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติดีเด่นของเทคโนโลยีออปโตอิเล็กทรอนิกส์

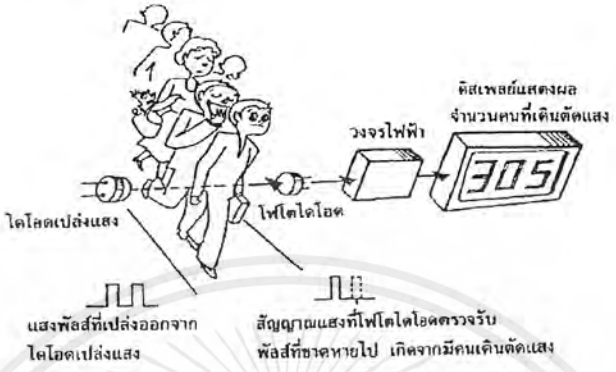
ลักษณะการใช้งาน	*คุณสมบัติดีเด่น*
แสงทั่วไป	- ไม่ถูกรบกวนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า - ไม่มีการช็อตหรือสปาร์กของสายไฟ - โฟกัสแสงได้ง่าย - ออกแบบระบบสายดินได้ง่าย - เดินทางได้เป็นเส้นตรง
แสงเลเซอร์	- มอดูเลตที่ความถี่สูงได้ - มีความเข้มข้นของพลังงานต่อพื้นที่สูงมาก - แบนด์วิดท์กว้างมาก - ลำแสงบานปลายน้อย
เส้นใยนำแสง	- มีการสูญเสียแสงน้อยที่สุด - เป็นเส้นเล็ก ยาว ราคาถูก - อ่อน โค้งงอได้ง่าย - วัสดุทรัพยากรมีมาก - สัญญาณรั่วน้อย - น้ำหนักน้อย - ทนน้ำ ความชื้น และทนไฟ

<u>สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์</u>

ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำงานด้วยหลักการทางออปโตอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีด้วยกันมากมายหลายชนิด โดยการยกตัวอย่างกรณีระบบการสื่อสารด้วยแสง เช่น GaAs สามารถนำมาผลิตเป็นสิ่งตรวจรับแสงด้วยปรากฏการณ์โฟโตคอนดักทีฟ (Photoconductive) ได้ เป็นต้น

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกตัวอย่างของการใช้งานของสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ คือ เครื่องวัดจำนวนคนที่เดินผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 2.31 ด้านซ้ายมือจะมีสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถเปล่งแสงออกมาเป็นตัวยิงแสงให้วิ่งเข้าสู่สิ่งประดิษฐ์รับแสงแบบพัลส์ (Pulse) โดยถ้ามีคนเดินตัดแสง 1 คน ก็จะบังแสง 1 ครั้ง ดังนั้น สิ่งประดิษฐ์ที่ทำหน้าที่รับแสงก็จะไม่ได้รับแสง 1 ครั้ง จึงทำให้รู้ว่ามีคนเดินผ่าน 1 คน



รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการใช้งานสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อวัดจำนวนคนที่เดินผ่าน

ในปัจจุบันเทคโนโลยีของออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ได้เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันของมนุษย์อย่างมากมาย ดังแสดงตัวอย่างการใช้งาน ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ในสาขาวิชาต่างๆ

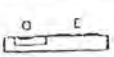
OPTICAL ELECTRONICS	*สาขาสารสนเทศ*	การสื่อสารด้วยแสง , การตรวจวัดแสง Optical Computer Office Automation
	สาขาการวัดและควบคุม	การตรวจวัดแสง , การวัดระยะทาง การวัดการเคลื่อนไหว Optical Computer , Display
	สาขาพลังงาน	เซลล์แสงอาทิตย์ การตรวจวัดแสง Laser Fusion
	สาขาอาหาร	การสังเคราะห์ด้วยแสง การอบแห้ง การฆ่าเชื้อโรค
	สาขาอุตสาหกรรม	การผลิตสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ระบบอัตโนมัติ การประหยัดพลังงาน
	สาขาการแพทย์	การตรวจวินิจฉัยโรค การรักษาโรค การผลิตยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ และวงจรอิเล็กทรอนิกส์หลายๆ ชนิดร่วมกันบนชิพเดียวกัน โดยอาศัยวิธีโมโนลิทิก จะทำให้ได้สิ่งประดิษฐ์ OEIC ที่มีคุณลักษณะเด่นหลายข้อ เช่น

- ลดค่าความเหนี่ยวนำ (L) และค่าความจุไฟฟ้า (C) ของการต่อเชื่อมสิ่งประดิษฐ์ ดังในตารางที่ 2.7
- สามารถทำงานได้รวดเร็ว
- มีขนาดเล็ก และกะทัดรัด
- มีความเชื่อถือได้สูง
- มีความไวต้านแสงสูง เป็นต้น

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบค่าความเหนี่ยว (L) และความจุไฟฟ้า (C) ของสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ และออปโตอิเล็กทรอนิกส์

	แยกชิ้นส่วนได้	วางบนแผ่นฐานเฉย ๆ	โมโนลิทิก (OEIC)
การรวมชิ้นส่วน			
L (nH)	~4	~0.35	~0.08
C (pF)	~0.2	~0.06	~0.05

O : สิ่งประดิษฐ์รับแสง E : สิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ สารกึ่งตัวนำ ฐานโลหะ

ในจำนวนข้อดีของ OEIC ทั้งหมดนี้ คุณสมบัติทางด้านความไวแสงในการทำงานนั้น ดูจะมีประโยชน์มากที่สุด และจากการที่สามารถลดค่า L และ ค่า C ในการต่อเชื่อมวงจรได้มากนั้น จะทำให้ OEIC ทำงานได้เร็วถึงระดับกิกะบิตต่อวินาที (Gbit/sec) ซึ่งจะมีประโยชน์ในการใช้งานมาก เช่น ในการสื่อสารด้วยแสง และออพติคัลคอมพิวเตอร์ (Optical Computer)

OEIC แต่ละตัวแม้จะมีขนาดเพียงไม่กี่ตารางมิลลิเมตร แต่ก็สามารถที่จะทำงานต่างๆ ได้มากมาย เช่น สามารถกำเนิดแสงเลเซอร์ตามสัญญาณที่ป้อนมาจากภายนอก แล้วทำการโมดูลแสง ปรับเปลี่ยนเฟสหรือค่าความเข้ม แล้วส่งไปสู่ภาครับแสง หรือทำการคำนวณลอจิกต่างๆ เช่น AND, OR, NOT ให้ด้วย เป็นต้น

<u>สวิตช์แสง</u> (Opto Switch)

สวิตช์แสงเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถควบคุมทิศทาง หรือตัดต่อแสงได้ด้วยกระบวนการทางแสง เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สำคัญมากชนิดหนึ่งที่ใช้ในการสื่อสารด้วยแสง และเนื่องจากแนวโน้มปริมาณของข้อมูลที่ต้องการสื่อสารได้เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้น การประดิษฐ์สวิตช์แสงให้มีขนาดเล็กลงและมีจำนวนมากๆ แบบ OEIC ก็จะยิ่งมีความจำเป็นมากขึ้น

สำหรับวัสดุที่นิยมนำมาผลิตเป็นสวิตช์แสงก็คือ $LiNbO_3$ แต่เนื่องจากความสามารถในการทำงานรวดเร็ว และมีการสูญเสียเกิดขึ้นน้อย จึงทำให้เกิดข้อเสีย คือ ดัชนีหักเหของแสงจะเปลี่ยนแปลงได้น้อย ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องสร้างให้สวิตช์แสงนี้มีความยาวมาก และจากการวิจัยได้ทดลองหันมาใช้สารกึ่งตัวนำตระกูล GaAs และ InP เป็นสวิตช์แสงแทน ทำให้สามารถผลิตสวิตช์ให้มีขนาดเล็กได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 สวิตช์ตำแหน่ง (LIMIT SWITCHS)

ลิมิตสวิตช์ ประกอบด้วยด้านหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าซึ่งถูกกระตุ้นการทำงานทางกลไก หน้าสัมผัสจะเปิดหรือปิด เมื่อส่วนประกอบของหลไกบางส่วนมาถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้ และกระตุ้นการทำงานของสวิตช์ ลิมิตสวิตช์ถูกใช้งานมาหลายสิบปี เนื่องจากมีการใช้อย่างง่ายๆและราคาถูก และมีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะถูกใช้ต่อไปอีกนาน แม้ว่าจะต้องแข่งขันกับเซนเซอร์ที่สลับซับซ้อนและสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้

ลิมิตสวิตช์ ถูกผลิตขึ้นโดยหลายร้อยบริษัท และมีรูปร่างภายนอกที่ไม่จำกัด การจัดแบ่งชนิด จะต้องแบ่งระหว่าง ชนิดของการกระตุ้นการทำงาน (ลักษณะทางกลไกหรือภายนอกสวิตช์) และชนิดของหน้าสัมผัส (ลักษณะทางไฟฟ้าหรือภายในสวิตช์)

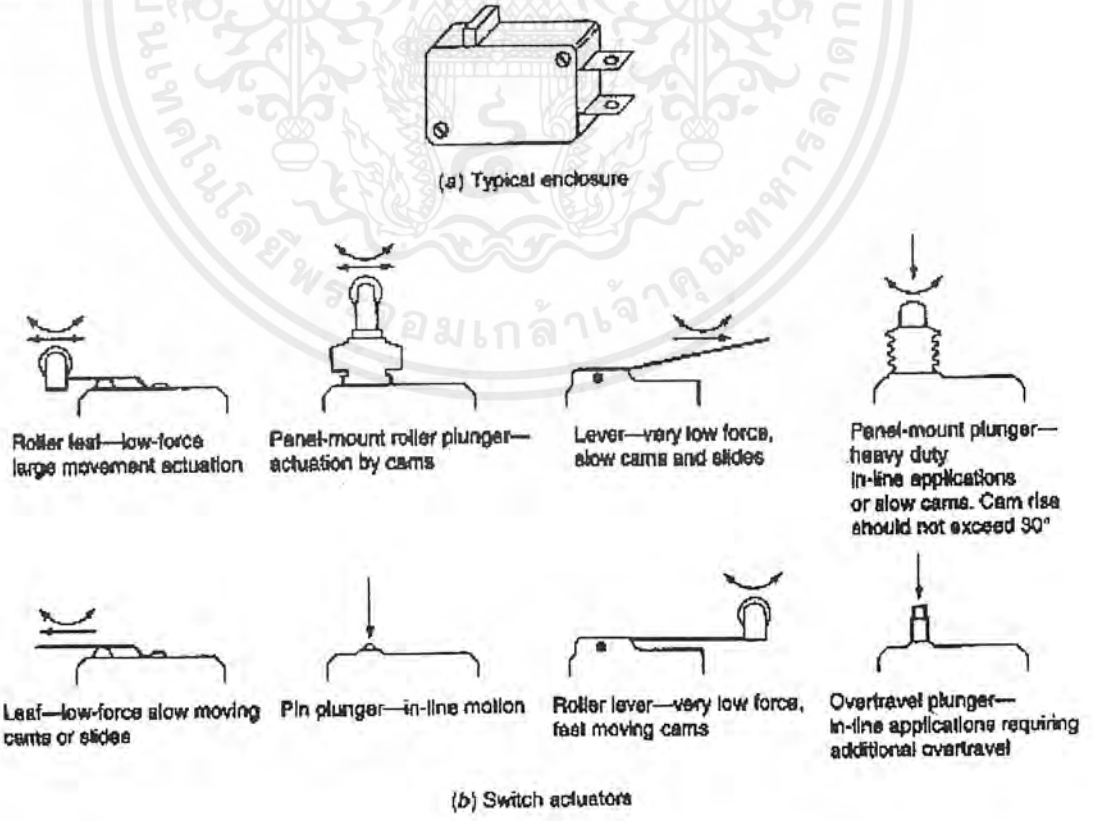
<u>วิธีกระตุ้นการทำงานทั่วไป</u> ส่วนมาก แบ่งเป็น 4 ชนิด

1) Overtravel Plunger : ถูกใช้ในการเคลื่อนที่ของการทำงานที่มีขอบเขต ซึ่งการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นจะต้องถูกจัดให้เหมาะสม

2) Roller Actuation : อนุญาตให้การเคลื่อนที่ผ่านไปได้ ช่วยลดแรงที่มากระตุ้น และบ่อยครั้งที่ถูกใช้ในการเคลื่อนที่ของระบบนิวเมตริก และกระบอกสูบไฮโดรลิก

3) The Pin-plunger Actuation : ถูกใช้ในการประยุกต์กับการเคลื่อนที่ของการทำงานที่ถูกจำกัดและการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่มีความแม่นยำและการทำซ้ำสูง

4) Lever Actuation : ถูกใช้ในการกระตุ้นที่แรงน้อยๆ ความยืดหยุ่นของคานจะอนุญาตสำหรับการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นอย่างแน่นอน



รูปที่ 2.32 ลิมิตสวิตช์ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวิธีการแบบอื่นๆ เช่น

- Wobble Stick : เป็นอนุญาตให้แรงกระตุ้นสามารถมาได้จากหลายทิศทาง และค่าที่มากที่สุดของการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้น

- The Fork Lever : ทำให้สวิตช์ยังคงอยู่ในตำแหน่งที่เคลื่อนที่ของมันเหมือนตัวกระตุ้นเดินทางไกลจากสวิตช์ และเดินทางกลับมาโดยสโตรกกลับ

- The One-way Actuator : โดยทั่วไปประกอบด้วยก้านโรลเลอร์ที่สามารถพับได้ เช่น สวิตช์ที่ถูกกระตุ้นแต่เพียงสโตรกไปข้างหน้าของตัวกระตุ้น

<u>ช่วงการทำงานของลิมิตสวิตช์</u> แบ่งตามขนาด ได้แก่

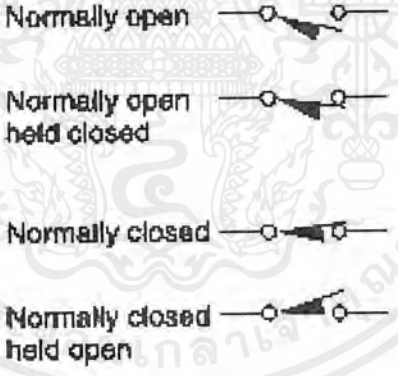
1) ช่วง Tiny Light-Duty : สวิตช์จะถูกใช้ในการวัด หรือ ในอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับกลไกเล็กๆ

2) ช่วง Large Heavy-Duty : สวิตช์จะถูกใช้ในงานเครื่องกลขนาดใหญ่ และติดตั้งป้องกันอย่างรอบคอบ ซึ่งเตรียมไว้หลายลำดับขั้นของความหนาแน่นของน้ำ และหลักฐานการระเบิด

ความแตกต่างนี้ทำให้ในการเลือกใช้ต้องเลือกตามกระแสที่กำหนดไว้ตามความจุกระแสของหน้าสัมผัส และเป็นสาเหตุที่ทำให้ราคาแตกต่างกันไปเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวมาแล้ว

<u>การแบ่งประเภทและสัญลักษณ์ของลิมิตสวิตช์</u>

เราสามารถแบ่งชนิดหน้าสัมผัสเป็นปกติเปิด (NO) และปกติปิด (NC) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 สัญลักษณ์ของลิมิตสวิตช์

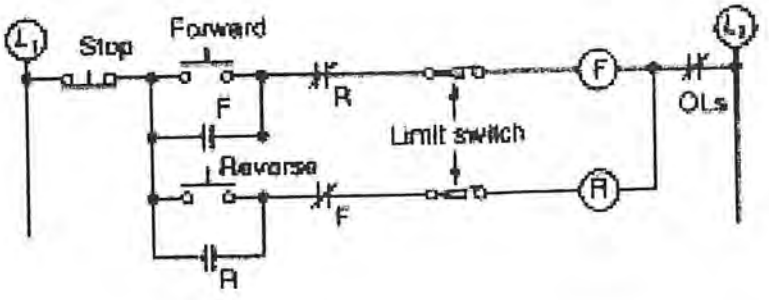
- หน้าสัมผัสแบบ Single-Pole Single-Throw (SPST) ซึ่งจะมี Common Pole เพียงอันเดียว

- หน้าสัมผัสแบบ Single-Pole Double-Throw ซึ่งจะมีหน้าสัมผัส Change Over หรือ Transfer

สัญลักษณ์ของหน้าสัมผัสเป็นสิ่งที่จะช่วยให้เราไม่สับสน ทำให้เห็นภาพการทำงานของสปริงในลิมิตสวิตช์ซึ่งไม่ได้แสดงในภาพสัญลักษณ์ " ตำแหน่งปกติ" สวิตช์จะเปิดสุดหรือปิดสุดเพียงจากแรงสปริงภายในส่วนตำแหน่งกระตุ้น สวิตช์จะอยู่ในสภาวะที่มีแรงมาต้านแรงสปริงภายใน

ในวงจรไฟฟ้า เราจะวาดสัญลักษณ์ของลิมิตสวิตช์ ในขณะเริ่มต้นของเครื่องจักร ดังเช่นในรูปที่ 2.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 ตัวอย่างวงจรควบคุมที่ใช้ในการเปิด-ปิดมอเตอร์ ให้หมุนตามเข็มหรือทวนเข็ม โดยใช้ลิมิตสวิตช์ แบบ Overtravel Plunger

หน้าสัมผัส SPDT ยังแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

- Break-Before-Make (BBM) Switching : แบบ BBM หน้าสัมผัสทั้งสองจะมีการเปิดชั่วขณะ เมื่อเกิดการสวิตชิ่ง

- Make-Before-Break (MBB) Switching : แบบ MBB จะมีการคาบเกี่ยวกันของหน้าสัมผัส เมื่อกดสวิตช์จะทำให้หน้าสัมผัสทั้งสองปิดจึงเกิดการไหลของกระแสอย่างต่อเนื่อง

ส่วนสาเหตุที่จะทำให้ลิมิตสวิตช์เสียหาย คือ กระแสที่มากเกินไป และในชั่วขณะที่มีการสับสวิตช์จะเกิดแรงดันสูงขึ้นซึ่งมีผลมากโดยเฉพาะ ถ้าโหลดเป็นพวกนำไฟฟ้า เนื่องจากการอาร์คนี้จะทำให้หน้าสัมผัสเสียหายอย่างรวดเร็วจึงมีการต่อตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ไดโอด ซึ่งจะช่วยลดปัญหาเหล่านี้ได้

<u>การประยุกต์ใช้งาน</u>

ในการประยุกต์ระบบอัตโนมัติลิมิตสวิตช์ จะเกิดการผิดพลาดได้ง่ายที่สุดของระบบควบคุมประมาณ 90 % ของความผิดพลาดของลิมิตสวิตช์ และ เซนเซอร์อื่น ๆ สามารถอธิบายได้จากตำแหน่งที่มันติดตั้งที่ต้องพบกับความร้อน, ความชื้น, บรรยากาศซึ่งกัดกร่อน, การสั่นสะเทือน, แรงกระแทก และอื่นๆ อย่างไรก็ตาม มีบ่อยครั้งที่ความผิดพลาดเป็นเรื่องธรรมดาที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ของการใช้งานที่ผิดๆ โดยการใช้งานที่มากเกินไปจะทำให้เกิดผล ดังนี้

1) การใช้ลิมิตสวิตช์เป็นอุปกรณ์หยุดเครื่องจักรจะได้ความผิดพลาดทันที โดยตัวกระตุ้นการทำงานควรจะวางในตำแหน่งที่ไม่กระแทกกับระดับสวิตช์ หรือลูกสูบควรอยู่ห่างจากขอบเขตของสวิตช์ ถ้าจำเป็นควรจะมีบล็อคจำกัดการเคลื่อนที่ของตัวกระตุ้นการถูกแรงปะทะอย่างแรง ควรจะหลีกเลี่ยงสิ่งเหล่านี้ ตัวกระตุ้นควรจะมีลูกล้อกับความชันน้อย ๆ โดยเฉพาะสวิตช์โรลเลอร์ควรจะลดระดับลงทีละน้อย

2) การประยุกต์แรงด้านข้างบนสวิตช์โรลเลอร์สามารถสร้างความเสียหายกับแบริ่งสวิตช์ได้อย่างรวดเร็ว แรงกระตุ้นต้องอยู่ในทิศทางที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับการออกแบบสวิตช์

3) การเปิดปิดกระแสเกิน

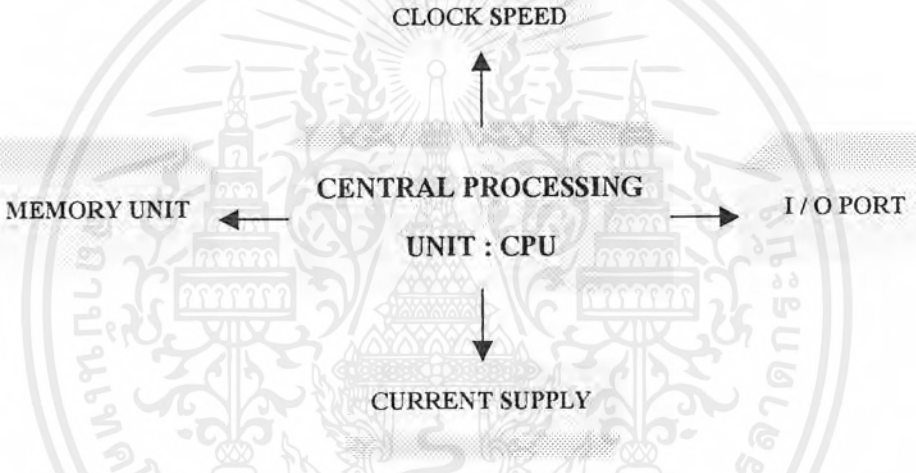
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ส่วนควบคุมการทำงาน (MICROCONTROLLER)

2.5.1 โครงสร้างของระบบคอมพิวเตอร์ จะต้องมีส่วนประกอบ ดังนี้

1) หน่วยประมวลผลกลาง (CENTRAL PROCESSING UNIT)
2) หน่วยความจำ (MEMORY UNIT)
3) อินพุต (INPUT)
4) เอาท์พุต (OUTPUT)
5) โปรแกรม (PROGRAM)

ระบบคอมพิวเตอร์จะทำงานได้นอกจากจะต้องใช้พลังงานจากไฟฟ้าแล้ว ยังต้องใช้สัญญาณนาฬิกาอีกด้วย แสดงรายละเอียดดังในรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 ไดอะแกรมโครงสร้างของคอมพิวเตอร์

1) CENTRAL PROCESSING UNIT : CPU

หน่วยประมวลผลกลางเป็นส่วนที่สำคัญมากในระบบคอมพิวเตอร์ การทำงานของคอมพิวเตอร์จะเกิดขึ้นได้ ก็ต่อเมื่อ หน่วยประมวลผลกลางตีความคำสั่งที่อ่านจากหน่วยความจำ และกระทำตามคำสั่งนั้นได้ ซึ่งเปรียบเทียบได้กับสมองของคน ภายในตัว CPU ยังมีหน่วยที่ทำงานทางด้านตรรกศาสตร์และลอจิก (Arithmetic Logic Unit : ALU) อีกด้วย

2) MEMORY UNIT

หน่วยความจำในระบบคอมพิวเตอร์ มีที่ใช้กันอยู่ 2 ชนิด คือ หน่วยความจำที่เป็น ROM หรือ ชนิด Read Only Memory ซึ่งเป็นหน่วยความจำแบบอ่านอย่างเดียวไม่มีการเขียนเกิดขึ้น และข้อมูลในหน่วยความจำจะไม่หายไปแม้ไม่มีไฟมาเลี้ยง หน่วยความจำชนิดนี้จะใช้เก็บโปรแกรมที่จะทำให้เกิดการทำงานในระบบคอมพิวเตอร์

สำหรับหน่วยความจำอีกชนิด คือ หน่วยความจำที่เป็น RAM หรือ ชนิด Random Access Memory ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ แต่ข้อมูลที่เขียนลงไปนั้นจะหายไปเมื่อไม่มีไฟมาเลี้ยง หน่วยความจำชนิดนี้จะใช้เก็บข้อมูลที่เกิดจากการประมวลผลจากหน่วยประมวลผลกลาง (CPU)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) INPUT / OUTPUT PORT : I / O PORT

พอร์ตเป็นเส้นทางที่ระบบคอมพิวเตอร์ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น เครื่องพิมพ์, คีย์บอร์ด เป็นต้น โดยพอร์ตจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกชนิดต่างๆ โดยวงจร Interface

4) PROGRAM

คอมพิวเตอร์จะทำงานได้ ก็จะต้องมีโปรแกรมเป็นตัวกำหนดลักษณะการทำงาน เพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกทางอินพุต และ เอาท์พุต โดยมีหน่วยประมวลผลกลางเป็นตัวประมวลผลคำสั่งที่อ่านได้จากโปรแกรม

หน่วยประมวลผลกลาง หรือ CPU นี้จะเป็นตัวหลักของระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งถูกออกแบบไว้ให้อยู่ในไมโครชิพเพียงตัวเดียว เรียกว่า "ไมโครโปรเซสเซอร์" (Microprocessor) ซึ่งเราสามารถโปรแกรมให้มันทำงานเฉพาะอย่างได้ ดังเช่น อุปกรณ์ทั่วๆ ไป ที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์

2.5.2 ไมโครโปรเซสเซอร์

หน่วยประมวลผลกลางของระบบคอมพิวเตอร์ (CPU) จะถูกสร้างเป็น IC แบบ LSI ซึ่งเราสามารถทำการคำนวณได้ภายใต้การควบคุมของโปรแกรม โดยเราอาจเรียก "Microprocessor" อีกอย่างหนึ่งว่า "Data Processing Unit" หรือ หน่วยประมวลผลข้อมูล ดังนั้น หากเราต้องการสร้างระบบคอมพิวเตอร์ขึ้นมา ก็จะต้องประกอบด้วย IC - Microprocessor ด้วยทุกครั้ง ตัว Microprocessor บางรุ่นจะมีหน่วยความจำประกอบอยู่ในตัวของมัน และบางรุ่นจะมีระบบอินพุต / เอาท์พุตอยู่ภายในด้วย ซึ่งเรียกว่า "Microcontroller"

สำหรับคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานกันโดยทั่วๆ ไป เช่น Personal Computer จะมี Microprocessor เป็นตัวประกอบที่ใช้กันอยู่หลายรุ่น ซึ่งจะเป็นตัวบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องด้วย เช่น 8088, 80286, 80386, 80486 เป็นต้น หากมอง Microprocessor ง่ายๆ เราอาจมองเป็นแค่ IC – Digital ตัวหนึ่ง ซึ่งจะทำงานได้ ก็จะต้องมีสัญญาณนาฬิกาไปกระตุ้น (Clock Speed) ไปกระตุ้น เพื่อให้ IC ตัวนี้ไปอ่านรหัสคำสั่ง (Fetch) และปฏิบัติตามคำสั่ง (Execute) เพื่อให้ได้เอาท์พุตตามรูปแบบที่เราต้องการ ซึ่งคำสั่งของมันจะเก็บอยู่ในรูปแบบของเลขฐานสอง สำหรับคำสั่งที่จะให้ Microprocessor ทำงานนั้น จะเป็นชุดคำสั่ง (Instruction Set) ซึ่งถูกออกแบบมาเฉพาะ CPU แต่ละเบอร์ สำหรับความสามารถของ Microprocessor นั้น จะพิจารณาจากความสามารถในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งวัดได้ 3 วิธี คือ

1) ความยาวของเวิร์ดข้อมูล

ความยาวของเวิร์ดข้อมูลที่ Microprocessor ประมวลผลจะมีตั้งแต่ 4 bit 8 bit 16 bit 32 bit และ 64 bit ถ้าเป็นการประมวลผลแบบ 16 bit จะเรียกว่า เครื่อง 16 bit ถ้าเป็นเครื่องขนาด 8 bit เวิร์ดข้อมูลจะมีขนาด 1 byte (1 byte = 8 bit) ถ้าเป็นเครื่องขนาด 16 bit เวิร์ดข้อมูลจะมีขนาด 16 bit หรือ 2 byte โดยแบ่งออกเป็น Upper Byte หรือ Hi_byte คือ Bit 8 ถึง Bit 15 และ Lower Byte หรือ Lo_Byte คือ Bit 0 ถึง Bit 7

2) ขนาดของหน่วยความจำที่ Microprocessor อ้างได้

สำหรับขนาดของหน่วยความจำที่ Microprocessor อ้างถึง จะเป็นตัวบอกว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้อยู่สามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้มากที่สุดเท่าใด โดยปกติแล้วการพัฒนา Microprocessor ให้ดีขึ้น นอกจากจะพัฒนาให้ความยาวเวิร์ดของข้อมูลสูงแล้ว ยังจะต้องพัฒนาให้สามารถอ้างหน่วยความจำให้มากขึ้นด้วย ขนาดของหน่วยความจำนี้จะแทนด้วยตัวอักษร ดังนี้ K หมายความว่า เป็นพัน ($x10^3$) M หมายความว่า เป็นล้าน ($x10^6$) และ G หมายความว่า เป็นพันล้าน ($x10^9$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความเร็วในการกระทำตามคำสั่ง

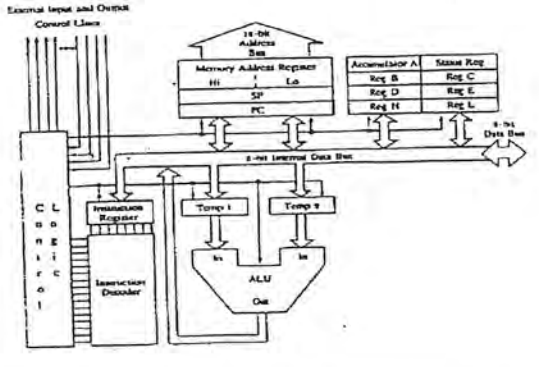
สำหรับความเร็วของ Microprocessor หมายถึง ความเร็วในการปฏิบัติตามคำสั่ง ซึ่งจะวัดจากความเร็วของสัญญาณนาฬิกา (Clock Speed) ที่ให้กับ Microprocessor โดยทั่วไปจะมีหน่วยเป็นเมกกะเฮิรตซ์ หรือวัดความเร็วจากจำนวนคำสั่งที่ Microprocessor สามารถปฏิบัติตามคำสั่ง (Execute) ได้ใน 1 วินาที โดยทั่วไปจะใช้หน่วยล้านคำสั่งในหนึ่งวินาที (Million of Instruction Per Second : MIPS) ถ้าให้สัญญาณนาฬิกากับ Microprocessor สูง จะทำให้เวลาในการทำงานแต่ละคำสั่งทำงานได้เร็วขึ้น เช่น Microprocessor ตัวหนึ่ง ถ้าบวกเลขจะต้องใช้สัญญาณนาฬิกา 2 ลูก ถ้าให้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงขึ้น จะทำให้เวลาในแต่ละลูกของสัญญาณนาฬิกาสั้นลง ความเร็วของ Microprocessor แต่ละเบอร์แสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ต่างๆ และสัญญาณนาฬิกา (Clock Speed) ที่ได้

MICORPROCESSOR	*CLOCK FREQUENCY*	*INTERNAL WORD LENGTH*	*AVERAGE PROCESSING MIPS*
8051	12 MHz	8 – bit	0.58
Z80A	4 MHz	8 – bit	0.30
Z80B	6 MHz	8 – bit	0.45
286	16 MHz	16 – bit	3.00
486DX2-66	66 MHz	32 – bit	32
Pentium	66 MHz	32 - bit	64

2.5.3 โครงสร้างภายในไมโครโปรเซสเซอร์

ลักษณะภายในของ Microprocessor เขียนเป็นแผนภูมิอย่างละเอียดจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.36 ซึ่งเห็นได้ว่าภายในจะถูกแบ่งออกเป็นหน่วยย่อยต่างๆ มากมายและมีการเชื่อมโยงระหว่างหน่วยต่างๆ โดยการใช้สายสัญญาณที่เรียกว่า "BUS" ระบบบัสนี้จะเขียนด้วยลูกศรหนาๆ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น "Directional Bus" หรือ บัสทางเดียว และ "Bi-directional Bus" หรือ บัสสองทาง โดยบัสทางเดียวจะใช้หัวลูกศรหัวเดียว ส่วนบัสสองทางจะใช้ลูกศรสองหัว ซึ่งจะส่งสัญญาณไปมาได้สองทิศทาง ระบบบัสที่เห็นในรูปเรียกว่า "Inner Bus" หรือ บัสภายใน ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงสัญญาณภายในของ CPU



รูปที่ 2.36 โครงสร้างภายในไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ Z-80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใน Microprocessor จะประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

1) ARITHMETIC / LOGIC UNIT : ALU หรือ หน่วยคำนวณและลอจิก
2) REGISTER หรือ หน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราว
3) CONTROL LOGIC หรือ ส่วนควบคุม

2.5.4 ไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51 (Microcontroller MCS-51)

ไมโครคอนโทลเลอร์ ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของมัน โดยบางเบอร์จะมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบ ROM บางเบอร์เป็นแบบ EPROM บางเบอร์มี RAM ภายใน 128 byte บางเบอร์มี 256 byte เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดและลักษณะของขาต่างๆ จะศึกษาได้จากคู่มือของมันโดยตรง

คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51 มีดังนี้

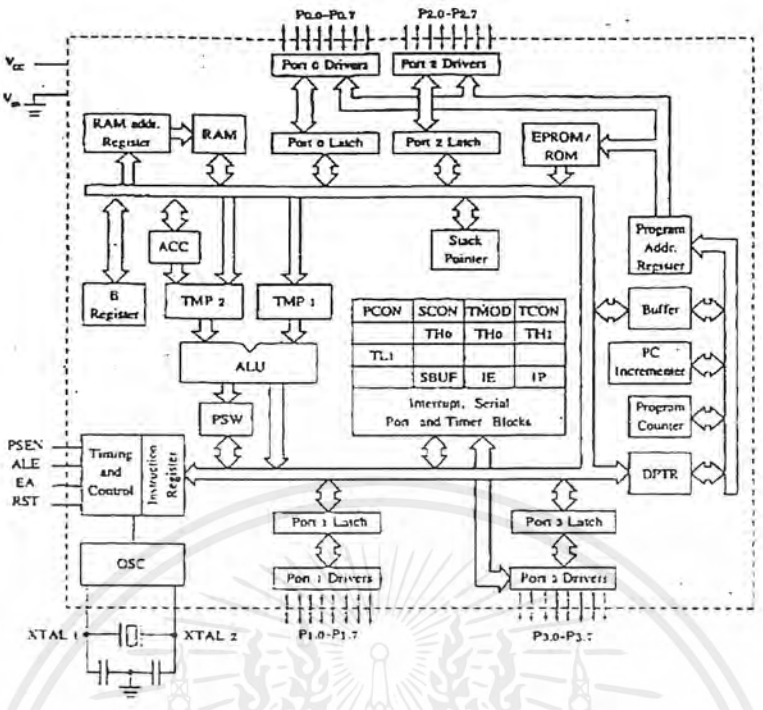
- มีหน่วยความจำ ROM 4 K bytes
- มีหน่วยความจำ RAM 128 bytes
- มี I / O Port ขนาด 8 bit 4 port
- มี Timer 16 bit 2 ตัว
- สามารถ Interrupt ได้ 5 แหล่ง
- มีวงจร Oscillator และวงจรนาฬิกาบนชิพ
- มีพอร์ตทอนุกรมที่สามารถรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ความเร็วสูง
- อ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 K
- อ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 K
- สามารถประมวลผลทีละบิตได้
- สามารถอ้างหน่วยความจำ แบบบิตได้ 210 ตำแหน่ง
- หนึ่งวัฏจักรคำสั่งใช้เวลาประมาณ 1 ไมโครวินาที ขณะทำงานด้วย Clock 12 MHz

ตัวอย่าง Microcontroller ตระกูล MCS-51 และลักษณะต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.9 และไดอะแกรมโครงสร้างภายใน แสดงในรูปที่ 2.37

ตารางที่ 2.9 แสดง Microcontroller ตระกูล MCS-50 เบอร์ต่างๆ

เบอร์	*หน่วยความจำโปรแกรมบนชิพ*	*หน่วยความจำข้อมูลบนชิพ*	*TIMERS*
8051	4 K ROM	128 bytes	2
8031	-	128 bytes	2
8751	4 K ROM	128 bytes	2
8052	8 K ROM	256 bytes	3
8032	-	256 bytes	3
8752	8 K ROM	256 bytes	3

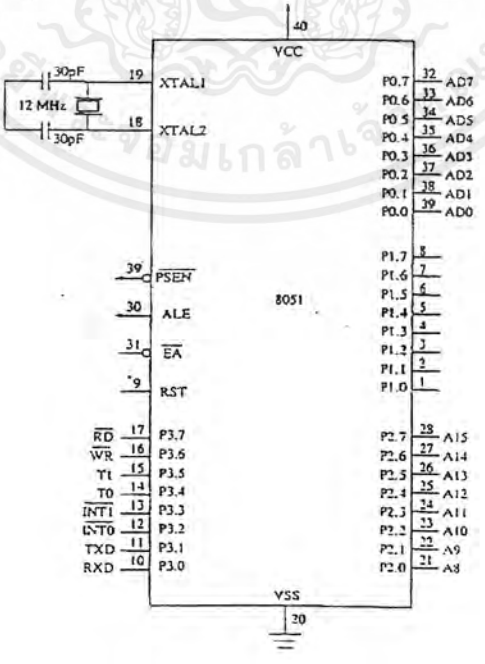
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51

2.5.5 การจัดขาต่างๆ ของ MCS-51

IC - MICROCONTROLLER 8051 โครงสร้างเป็นแบบ DIP มีขาทั้งหมด 40 ขา โดยขาต่าง ๆจะใช้เป็นขาพอร์ต Input, Output,ขาสัญญาณควบคุม, ขาตำแหน่งหน่วยความจำ และ ขาข้อมูล ดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 ขาต่างๆ ของไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายของขาต่างๆ มีดังนี้

1) PORT 0 ได้แก่ ขาที่ 32-39 ของ MCS-51 สามารถใช้เป็น Input และ Output ได้ นอกจากนี้ ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus อีกด้วย

2) PORT 1 ได้แก่ ขาที่ 1-8 เป็น Port 8 bit สามารถอ้างทีละบิตได้ คือ P1.0, P1.1,...,etc

3) PORT 2 ได้แก่ ขาที่ 21- 28 จะใช้งาน 2 หน้าที่ คือ ใช้เป็น Port 8 bit กับใช้เป็น ขา Address 8 bit ในการอ้างหน่วยความจำภายนอก

4) PORT 3 ได้แก่ ขาที่ 10-17 จะใช้งาน 2 หน้าที่ คือ เป็น Input / Output Port และใช้เป็นขาควบคุมต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 บิตและหน้าที่ต่างๆ ของพอร์ท 3

BIT	*ชื่อ*	*หน้าที่พิเศษ*
P3.0	RXD	ใช้รับข้อมูลทางพอร์ตทอนุกรม
P3.1	TXD	ใช้ส่งข้อมูลทางพอร์ตทอนุกรม
P3.2	INT_0	Interrupt ภายนอกหมายเลข 0
P3.3	INT_1	Interrupt ภายนอกหมายเลข 1
P3.4	T_0	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 0
P3.5	T_1	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 1
P3.6	WR	สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก
P3.7	RD	สัญญาณอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก

5) PSEN = Program Store Enable

ขา PSEN เป็นขาที่ส่งสัญญาณออก คือ ขา 29 ขานี้ จะ Active เมื่อ MCS-51 ต้องการอ่าน Code โปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็น EPROM ขา PSEN จะต่อกับขา Output Enable (OE) ของ EPROM

6) ALE = Address Latch Enable

เนื่องจาก Port 0 สามารถใช้เป็นขาอ้างตำแหน่ง และขาข้อมูล MCS-51 จะมีขา ALE ได้แก่ ขา 30 ขานี้ จะใช้ Multiplex สัญญาณ Address Bus ของ Port 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 นั้น จะต้องมีอุปกรณ์มาต่อกับ Port 0 ที่ทำหน้าที่ Latch สัญญาณ Address Bus ออกมาก่อนทาง Port 0 จากนั้นจึงจะส่งสัญญาณ ALE มา Latch อุปกรณ์ภายนอก ให้เก็บค่า Address Bus ของ Port 0 ไว้เพื่อใช้ Port 0 เป็น Data Bus ต่อไป

7) EA = External Access

ขา EA ได้แก่ ขาที่ 31 ถ้าขานี้เป็นลอจิก "1" จะใช้กับเบอร์ 8051 / 8052 เพื่อบอกว่าให้อ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ถ้าเป็นลอจิก "0" จะบอกให้ว่า MCS-51 ทำโปรแกรมโดยอ่านจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (ถ้าขา EA เป็น "0" ขา PSEN จะ Active) ถ้าหากเป็นเบอร์ 8031 หรือ 8032 ขา EA จะเป็น "0" เสมอ เพราะว่าไม่มีโปรแกรมหน่วยความจำภายในและให้ขา EA เป็น "0" ซึ่งจะ Disabled ROM ภายในและจะอ่านโปรแกรมจาก EPROM ภายนอกแทน

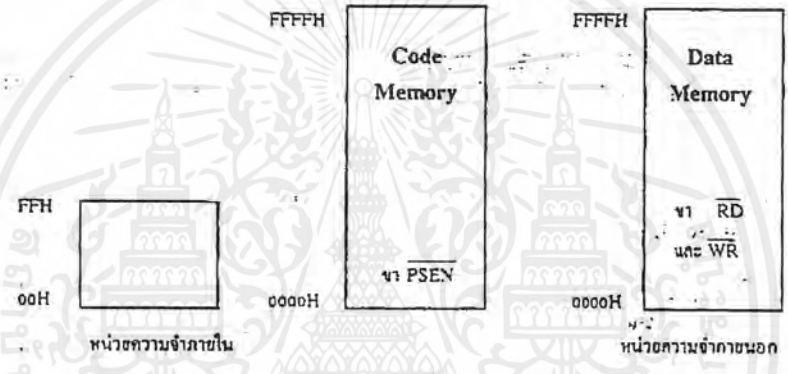
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) RST = Reset

ขา RST ได้แก่ ขาที่ 9 จะใช้ในการ Reset MCS-51 โดยจะให้ขานี้เป็นลอจิก "1" อย่างน้อย 2 Machine Cycles จึงจะทำการ Reset ระบบได้

2.5.6 โครงสร้างหน่วยความจำ

หน่วยความจำสำหรับ MCS-51 จะมี 2 ชนิด คือ หน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรม (ROM) กับหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลในการประมวลผล (RAM) MCS-51 บางเบอร์ เช่น 8051, 8052 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในชิพ และ MCS-51 ทุกเบอร์สามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้มากที่สุด 64 K และอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้มากที่สุด 64 K สำหรับหน่วยความจำ RAM ภายใน จะประกอบไปด้วยพื้นที่ใช้งานทั่วไป, รีจิสเตอร์แบงค์, พื้นที่ใช้งานระดับบิต และรีจิสเตอร์แบบฟังก์ชันพิเศษ เราอาจเขียนไดอะแกรมของหน่วยความจำของ 8031 ได้ดังรูปที่ 2.39 โดยในรูปจะบอกด้วยว่าขาใดจะ Active



รูปที่ 2.39 การจัดหน่วยความจำของ MCS-51

ใน 8031 จะมีหน่วยความจำภายในตั้งแต่ตำแหน่ง 00H ถึง FFH และสามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 K ตำแหน่ง ถ้าอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมขา PSEN จะ Active นอกจากนี้ 8031 สามารถอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 K ตำแหน่ง โดยการติดต่อกับหน่วยความจำนี้ ขา RD และ WR จะ Active สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในนั้น จะแบ่งออกได้ดังนี้

1) ชุดรีจิสเตอร์ 4 ชุด แต่ละชุด เรียกว่า รีจิสเตอร์แบงค์ ที่ตำแหน่ง 00H ถึง 1FH โดยแต่ละชุดจะประกอบด้วยรีจิสเตอร์ R_0 ถึง R_7

2) หน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ตำแหน่ง 20H ถึง 2FH

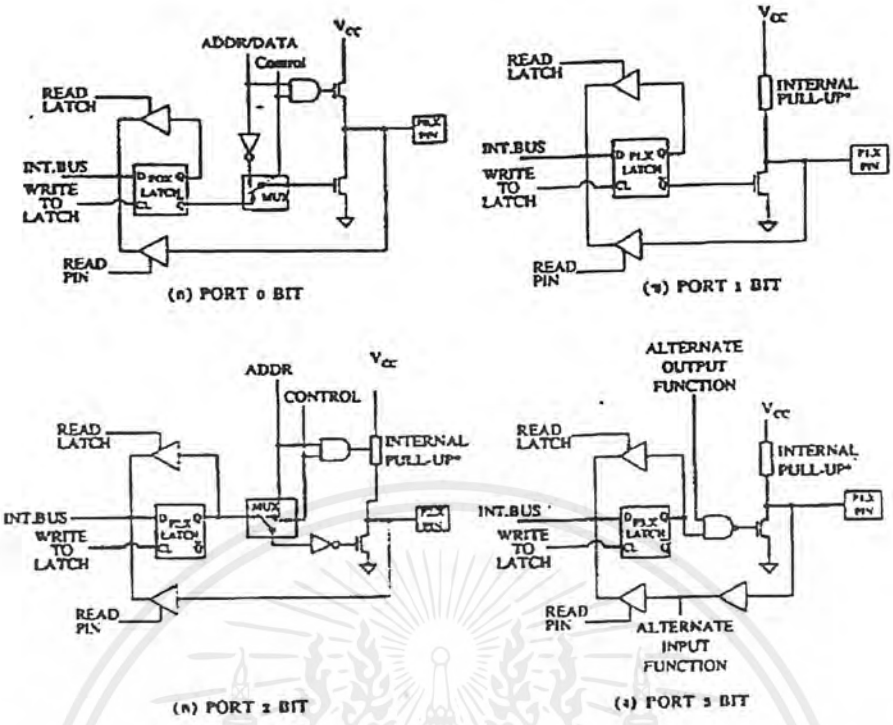
3) หน่วยความจำใช้งานทั่วไป ตำแหน่ง 30H ถึง 7FH

4) รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ ตำแหน่ง 80H ถึง FFH

2.5.7 โครงสร้างของอินพุต / เอาท์พุตพอร์ท (Input / Output Port)

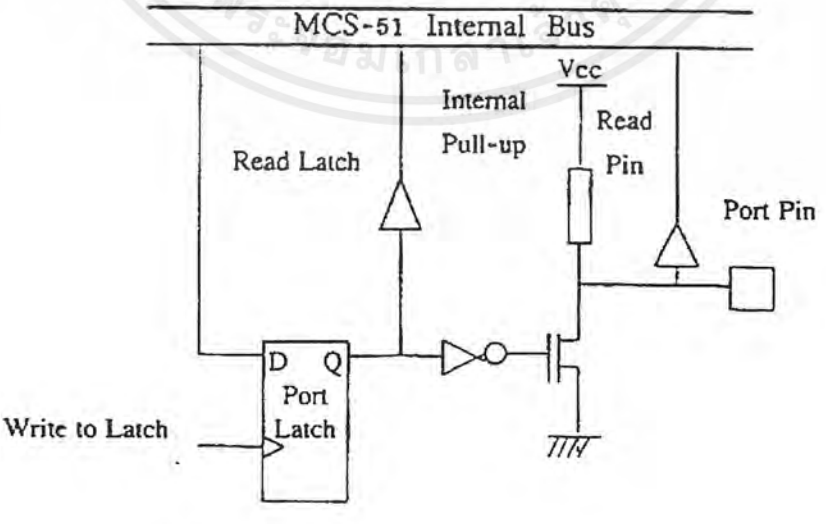
ขาของพอร์ตจะแสดงโครงสร้างภายในได้ ดังรูปที่ 2.40 โดยจะมีโครงสร้างเป็น Field-Effect Transistor ต่ออยู่กับขาภายนอก และมีความต้านทานต่อ Pull-Up อยู่สำหรับ Port 1, 2, 3 แต่ถ้าเป็น Port 0 จะไม่มีตัวต้านทาน Pull-Up ภายใน เพราะว่าต้องใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 โครงสร้างพอร์ททั้ง 4 ของ MCS-51

พอร์ตนี้สามารถใช้เป็น Input และ Output ต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ตจะอ่านได้ 2 แบบ คือ Read Latch และ Read Pin โดย Read Latch หมายถึง การอ่านข้อมูลที่ถูก Latch เอาไว้ เข้าสู่บัสภายในของ MCS-51 เช่น การทำคำสั่ง CPL P1.5 แต่ถ้าเป็นการ Read Pin จะเป็นการใช้พอร์ตเป็น Input โดยจะอ่านค่าจากขาของ IC เข้าสู่บัสภายในโดยการอ่านแบบ Read Latch และ Read Pin จะมีสัญญาณมาควบคุมที่ Buffer ดังแสดงในรูปที่ 2.41



รูปที่ 2.41 การต่อพอร์ตเข้ากับระบบบัสภายในของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการทำงาน และ การออกแบบ

3.1 ขอบเขต และหลักการทำงาน

3.1.1 ขอบเขตการทำงาน

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการทำงานของหุ่นยนต์ระบบอัตโนมัติ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านบริการ โดยได้ทำการสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบขึ้นมาที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติจริง ตามการทำงานที่ได้ออกแบบไว้ คือ สามารถทำการชงเครื่องดื่มสำเร็จรูปได้อย่างอัตโนมัติด้วยตัวแขนกล (Manipulator Robot) ตั้งแต่การหยิบแก้วเปล่า จนกระทั่งชงเครื่องดื่มได้สำเร็จ และสามารถนำเครื่องดื่มที่ชงเสร็จแล้วไปบริการยังจุดต่างๆ ตามเส้นทางที่กำหนดด้วยตัวรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ (Automatic Guiding Vehicle) โดยที่ตัวรถมีการทำงานพิเศษเพิ่มเติม ได้แก่ การตรวจสอบจำนวนแก้วบนถาดที่หมุนได้ , การตรวจสอบวัตถุกีดขวาง และการส่งเสียงพูดเมื่อถึงตำแหน่งหยุด หรือเมื่อพบวัตถุกีดขวาง โดยควบคุมระบบการทำงานทั้งหมดด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ และไมโครคอนโทลเลอร์ (Microcontroller)

ระบบนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน หลักๆ ได้แก่

1) แขนกล (Manipulator Robot)
2) ชุดปล่อยส่วนผสม (Powder Supply Machine)
3) รถเคลื่อนที่อัตโนมัติ (Automatic Guiding Vehicle : AGVs)

3.1.2 หลักการทำงานของระบบ

แขนกล ขับเคลื่อนด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 3 ตัว เคลื่อนที่ได้ 3 แกน คือ หมุนรอบตัวเอง 2 แกน และขึ้น - ลง 1 แกน มีลิมิตสวิตช์ควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกน จ่ายพลังงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Supply) ขนาด 12 โวลต์ ให้กับอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมการทำงาน ซึ่งก็ได้แก่

- วงจรของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor) ขนาด 5 และ 9 โวลต์
- วงจรแปลงไฟกระแสตรง (DC-Converter) จาก 12 เป็น 5 โวลต์
- วงจรสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า (Solenoid Switch) ควบคุมการจับ-ปล่อยของมือจับ (Gripper)

การทำงานของวงจรทั้งหมดรวมทั้งลิมิตสวิตช์ที่ควบคุมตำแหน่ง จะถูกต่อเข้าพอร์ตของการ์ด ET-PC 8255 สั่งงานทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาปาสคาล (Pascal) ในการกำหนดตำแหน่ง End-effector ของมือจับให้หยุดในตำแหน่งการทำงานต่างๆ ที่ต้องการ ซึ่งตำแหน่งต่างๆ สามารถปรับเปลี่ยนได้เมื่อตำแหน่งการทำงานเปลี่ยนไป

ชุดปล่อยส่วนผสม เป็นส่วนที่จะเริ่มทำงานเมื่อตำแหน่งหยุดของมือจับเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งปล่อยส่วนผสม ควบคุมการเปิด - ปิดด้วยสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะมีช่องให้ใส่ส่วนผสมได้ไม่เกิน 4 ช่อง และใช้สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้าในการควบคุม 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปิด - ปิดส่วนผสม จะสั่งงานทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาปาสคาลเช่นเดียวกับส่วนของแขนกล ซึ่งจะสามารถปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมได้ตามต้องการ โดยการป้อนข้อมูลลงทางโปรแกรม

นอกจากนี้ ยังมีกระติกน้ำร้อนที่สามารถรินน้ำร้อนได้อัตโนมัติ เมื่อตำแหน่งหยุดของมือจับแก้วมาถึง โดยการแปลงไฟ ขนาด 220 โวลต์ของกระติกน้ำร้อน ให้เป็น 12 โวลต์ ต่อเข้าทางพอร์ตของการ์ด ET-PC 8255 แล้วสั่งงานทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์เช่นเดียวกัน

<u>รถเคลื่อนที่อัตโนมัติ</u> ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทลเลอร์ (MCS-51) ที่รับสัญญาณเข้ามาจากตัวตรวจจับ (Sensors) และสวิตช์ต่างๆ นำมาประมวลผลตามที่ได้โปรแกรมเอาไว้แล้วส่งสัญญาณไปสั่งให้อุปกรณ์อื่นๆ ทำงานต่อไป ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 12 โวลต์ 2 ตัว และใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ต่างๆ ทำงาน

3.2 การออกแบบส่วน MECHANICS

3.2.1 แขนกล

แขนกล เป็นส่วนประกอบหลักของโครงงานที่ใช้ในการชงเครื่องดื่มอัตโนมัติ ตั้งแต่การหยิบจับแก้วเปล่าจนกระทั่งชงได้เครื่องดื่มสำเร็จรูปออกมา เป็นส่วนที่ควบคุมด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ และขับเคลื่อนด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์ สำหรับส่วนการออกแบบและสร้างส่วน Mechanics นี้ จะพิจารณาจากส่วนต่างๆ ตามลำดับ โดยเริ่มจากจุดหมุน (Joint) ของแขนไปจนถึงมือแขนกล (Gripper)

สำหรับการออกแบบต้องออกแบบให้มีขนาดที่สามารถรองรับภาระโหลดได้ เช่น ในแกนที่ส่งกำลังหลักของแขนกล จะต้องแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของแขนส่วนอื่นๆ และน้ำหนักของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่ติดตั้งไว้บนแขนได้

ปัญหาขั้นแรกของการออกแบบ คือ ไม่สามารถทำการออกแบบส่วนประกอบทั้งหมดในครั้งเดียวได้ เพราะการที่จะสามารถออกแบบได้อย่างลงตัวนั้น จะทำได้ถ้าเป็นการผลิตระดับโรงงาน แต่สำหรับการผลิตในระดับผู้ใช้งาน (Work shop) แล้ว จะไม่สามารถผลิตชิ้นส่วนดังกล่าวได้ เนื่องจากขีดจำกัดทางศักยภาพของวัสดุ , เครื่องมือเครื่องใช้ , อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต , ความชำนาญของผู้ผลิต และความคลาดเคลื่อนในการผลิต ที่อาจจะเกิดขึ้นได้เสมอ

เมื่อชิ้นส่วนชิ้นหนึ่งถูกเปลี่ยนรูปแบบเพื่อให้สอดคล้องกับความสามารถในการผลิต ก็จะส่งผลทำให้ชิ้นส่วนอื่นๆ ที่ต้องประกอบร่วมกับชิ้นส่วนดังกล่าว ถูกเปลี่ยนรูปร่างหรือเปลี่ยนแบบตามกันไปเป็นลูกโซ่

การออกแบบส่วนแขนกลแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

1) ฐาน (Base)
2) แขน (Arm)
3) มือจับ (Gripper)

ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐาน (Base) ประกอบด้วย

- แผ่นเหล็กรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า ขนาด 15 x 22 ซม. หนา 5 มม.
- สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)
- ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) 2 ตัว
- ชุดเฟืองขับ

ในส่วนของฐานแขนกลนี้จะใช้แผ่นเหล็กรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในการยึดติดบุช (Bush) ของแกนเพลาของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ , ลิมิตสวิตช์ และชุดเฟืองที่ใช้ในการขับเคลื่อน โดยทำการเจาะรูและใช้น็อตยึดติดอุปกรณ์ดังกล่าว นอกจากนั้นยังมีการเชื่อมฐานด้านล่างเป็นปีกออกมาเพื่อทำการเจาะรูและยึดฐานเข้ากับโต๊ะทำงาน (Work Table) เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักแขนกลทั้งหมดได้

ด้านล่างของฐานได้ทำการติดตั้งลิมิตสวิตช์ 2 ตัว เพื่อตรวจสอบการหมุนไปและกลับของเฟืองขับ 3 ตัว ซึ่งการหมุน 1 รอบของเฟืองขับ จะหมายถึง การหมุนในแต่ละรอบของแขนกล ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายแสดงส่วนฐานของแขนกล

แขน (Arm) ประกอบด้วย

- แขนกลทำจากเหล็กอะลูมิเนียมกล่อง ขนาด 25 x 50 มม.
- แกนเพลาสแตนเลส
- ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) 2 ตัว

ส่วนของแขนนี้ เป็นส่วนที่สามารถเคลื่อนที่หมุนได้รอบแกนกลาง 270° โดยมีลิมิตสวิตช์เป็นตัวตรวจสอบตำแหน่งครบรอบของแขนกล ซึ่งมีลักษณะการทำงานคล้ายกับลิมิตสวิตช์ของเฟืองขับ

ในส่วนแขนนี้ จะมีแขน 3 Links โดยวัสดุที่เลือกใช้ คือ อลูมิเนียมเพราะมีน้ำหนักเบาและไม่เกิดสนิม นอกจากนั้นสามารถปฏิบัติการทาง Mechanic ได้ง่าย เช่น การเลื่อย ตะไบ และการเชื่อม

ใน Link ที่ 1ของแขนจะเป็นแกนเพลาใช้ในการส่งกำลัง ซึ่งส่วนนี้จะใช้เพลาสแตนเลสตัน นำมากลึงให้ได้ขนาดตามต้องการ สำหรับข้อต่อ (Joint) จะใช้เหล็กอะลูมิเนียมตัน ทำการคว้านรูภายในให้มีขนาดสวมพอดีกับแกนเพลา แล้วจึงกลึงลดขนาดที่ผิวภายนอกให้มีขนาดใหญ่กว่าแกนเพลาเล็กน้อย

ตัวแขนใน Link ที่ 2 และ 3 จะใช้อะลูมิเนียมกล่อง ทำการเลื่อยและตะไบแต่งให้ได้ขนาดที่พอดี แล้วนำชิ้นส่วนต่างๆ มาประกอบติดกันกันด้วยการเชื่อมแก๊ส (TIG) ดังแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

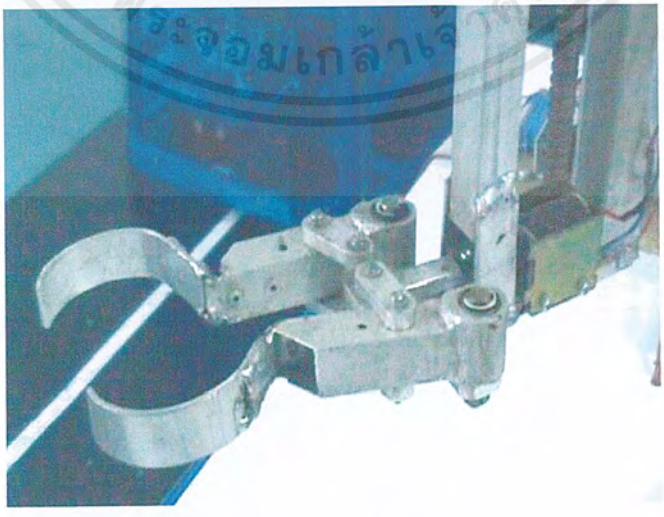
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายของแขนกลในแกนต่างๆ

<u>มือจับ</u> (Gripper) ประกอบด้วย

- มือจับทำจากแผ่นเหล็กอะลูมิเนียมดัดงอ
- รางเลื่อน ทำจากลีดสกรู (Lead Screw)
- ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) 2 ตัว

มือแขนกล จะเป็นส่วนที่สามารถจับและปล่อยแก้วได้ โดยการทำงานของโซลีนอยด์ (Solenoid) ที่อาศัยการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้า ติดอยู่ที่ปลายด้านหลังของมือจับ และสามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงตามระยะของ Lead Screw ได้โดยใช้กำลังขับจากสเต็ปเปอร์มอเตอร์ขนาดเล็ก

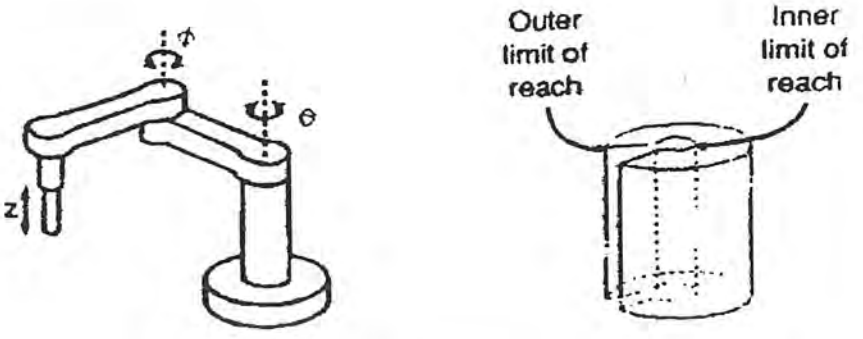
ในส่วนนี้จะใช้แผ่นอลูมิเนียมดัดโค้งงอให้มีรูปร่างและขนาดพอดีกับขนาดของแก้วน้ำ แล้วประกอบติดกันด้วยการเชื่อมแก๊ส มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.3



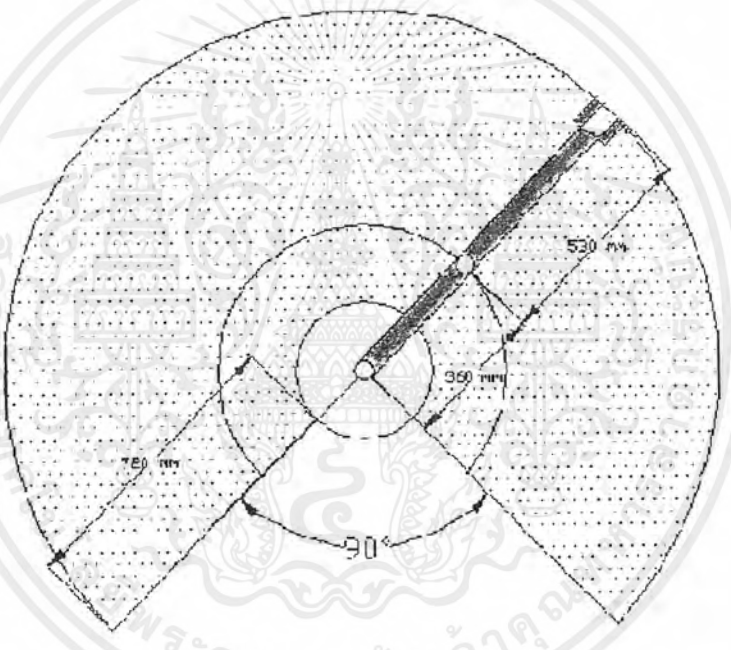
รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายมือจับของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่การทำงานของแขนกล



รูปที่ 3.4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสการา (SCARA)



รูปที่ 3.5 พื้นที่การใช้งานของแขนกล

3.2.2 ชุดปล่อยส่วนผสม ประกอบด้วย

- โครงเหล็กสแตนเลสกลม 2 แท่ง
- ชั้นพลาสติกอะครีลิก (Acrylic) หนา 4 มม. 2 แผ่น
- ขวดแก้วบรรจุเครื่องดื่มผง 4 ขวด
- ที่ตวงเครื่องดื่มผง 4 ชุด
- โซลีนอยด์สวิตช์ (Solenoid) 4 ตัว

ชุดปล่อยส่วนผสมนี้ เป็นส่วนที่ใช้เก็บเครื่องดื่มชนิดผงต่างๆ และมีกลไกที่สามารถเปิด-ปิดให้ส่วนผสมไหลออกมาในอัตราที่ต้องการได้ โดยการทำงานของโซลีนอยด์สวิตช์ (Solenoid Switch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ จะเลือกใช้พลาสติกอะครีลิค (Acrylic) เป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง เพราะมีน้ำหนักเบา และทำความสะอาดได้ง่าย มีโครงเหล็กกล่องช่วยในการรับน้ำหนัก โดยออกแบบให้สามารถปล่อยส่วนผสมที่เป็นผงได้ทั้งหมด 4 ชนิด ซึ่งบรรจุอยู่ในขวดแก้วที่สามารถตรวจสอบปริมาณที่ใช้ได้ ดังในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายชุดปล่อยส่วนผสม

สำหรับที่ตวงส่วนผสมจะทำจากอลูมิเนียม และด้านในบุด้วยสแตนเลสบางที่สะอาด เพราะเป็นส่วนที่สัมผัสกับส่วนผสม การตวงในแต่ละครั้งของการเปิด - ปิดของสวิตช์จะประมาณเท่ากับ 1 ช้อนชา ดังในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายส่วนเปิด - ปิดส่วนผสม และที่ตวงส่วนผสม

นอกจากชุดปล่อยส่วนผสมแล้วยังมีกระติกน้ำร้อน ที่ควบคุมการเปิด-ปิดด้วยการพ่วงสายไฟของลิมิตสวิตช์ภายในกระติกน้ำร้อนแบบระบบสัมผัสที่มีปั๊มน้ำอยู่ในตัวอยู่แล้ว ต่อมายังวงจรควบคุมเพื่อควบคุมการไหลของน้ำร้อนด้วยสวิตช์โดยการสั่งงานทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

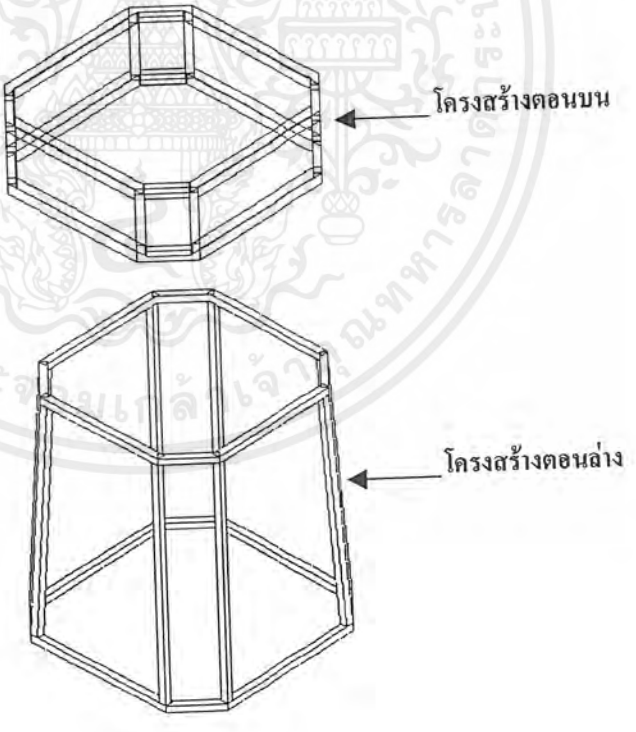
3.2.3 รถเคลื่อนที่อัตโนมัติ

ตัวรถ AGV เป็นส่วนสำคัญหลักส่วนหนึ่งของระบบ ถูกออกแบบมาเพื่อที่จะสามารถนำเครื่องดื่มที่ชงเสร็จแล้วไปบริการตามจุดต่างๆ โดยการเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่เราต้องการ และหยุดตามตำแหน่งต่างๆ ที่เรากำหนดได้ ตัวรถถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และโปรแกรมของไมโครคอนโทลเลอร์ (MCS-51) โดยมีส่วนประกอบทาง Mechanics ที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1) โครงสร้างของรถ
2) ระบบขับเคลื่อน
3) ถาดหมุน
4) ส่วนประกอบอื่นๆ

<u>โครงรถ</u> ประกอบด้วย

- เหล็กอะลูมิเนียมเหลี่ยม ขนาด 2 x 2 ซม. เป็นส่วนประกอบหลัก
- ตอนบนมีขนาดพื้นที่โดยรอบ 42 x 42 ซม. มุมภายในแปดเหลี่ยม 135° สูง 14 ซม.
- ตอนล่างมีขนาดพื้นที่ด้านล่างโดยรอบ 47 x 47 ซม. พื้นที่ด้านบนโดยรอบ 42 x 42 ซม. มุมภายในแปดเหลี่ยม 135° สูง 40 ซม.



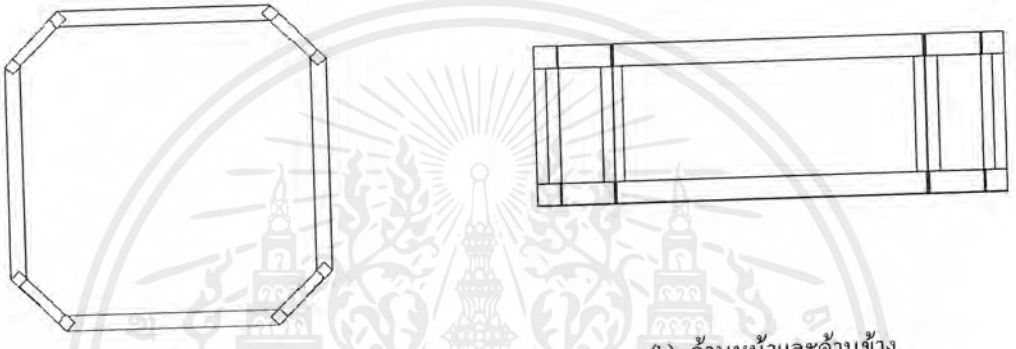
รูปที่ 3.8 ภาพไอโซเมตริกของโครงสร้างภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างทำจากเหล็กอลูมิเนียมทั้งหมด เนื่องจากเป็นเหล็กอ่อนที่มีน้ำหนักเบา, หาได้ง่าย และไม่เป็นสนิม เหมาะกับการสร้างหุ่นยนต์ที่ต้องการความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ และสะดวกต่อการบำรุงรักษา

ลักษณะภายนอกของโครงสร้าง ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

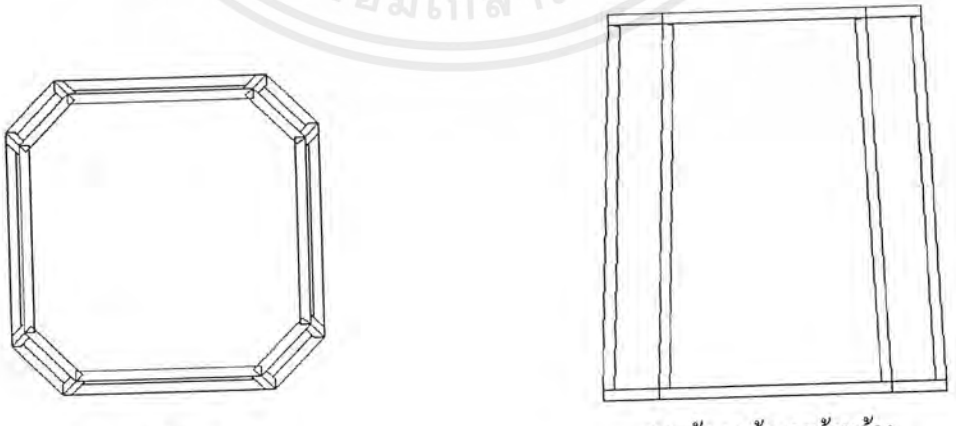
- <u>ตอนบน</u> : ลักษณะภายนอกเป็นรูปแปดเหลี่ยมสมมาตร มีความสูงเท่ากันโดยตลอด มีการเชื่อมแกนกลางของโครงทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อให้เป็นที่รองรับเพลาและถาดหมุนที่อยู่ข้างบน และมีการติดตั้งส่วนประกอบอื่นๆ ที่โครงสร้างส่วนนี้ด้วย ได้แก่ ลำโพง, กล่องอุลตร้าโซนิก และแผ่นพลาสติกที่รองรับสวิตช์ต่างๆ (สวิตช์แม่เหล็กและสวิตช์แสง) มีรูปร่าง ดังรูปที่ 3.9



(a) ด้านบน (b) ด้านหน้าและด้านข้าง

รูปที่ 3.9 ภาพฉายของโครงสร้างตอนบน

- <u>ตอนล่าง</u> : มีฐานเป็นรูปแปดเหลี่ยมด้านเท่าเช่นเดียวกัน แต่ส่วนสูงมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน โดยด้านบนมีพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่าด้านล่าง ก็เพื่อที่จะลดน้ำหนักโดยรวมของตัวรถให้ลดน้อยลงและมีความสูงได้มาก มีรูปร่าง ดังรูปที่ 3.10



(a) ด้านบน (b) ด้านหน้าและด้านข้าง

รูปที่ 3.10 ภาพฉายของโครงสร้างตอนล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบโครงสร้างของตัวรถให้มีรูปร่างเป็นแปดเหลี่ยมสมมาตรนี้ ก็เพื่อต้องการให้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับวงกลมมากที่สุด เนื่องจากวงกลมจะเป็นรูปทรงที่สามารถเคลื่อนที่เข้าถึงทุกพื้นที่ได้ง่ายที่สุด

การประกอบโครงรถอะลูมิเนียมนี้ ทำโดยการเชื่อมด้วยแก๊ส (TIG) และใช้ลวดเชื่อมทังสเตน ซึ่งทำให้ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรงมาก เหล็กที่เชื่อมแล้วก็จะแข็งเสมือนเป็นเหล็กท่อนเดียวกัน

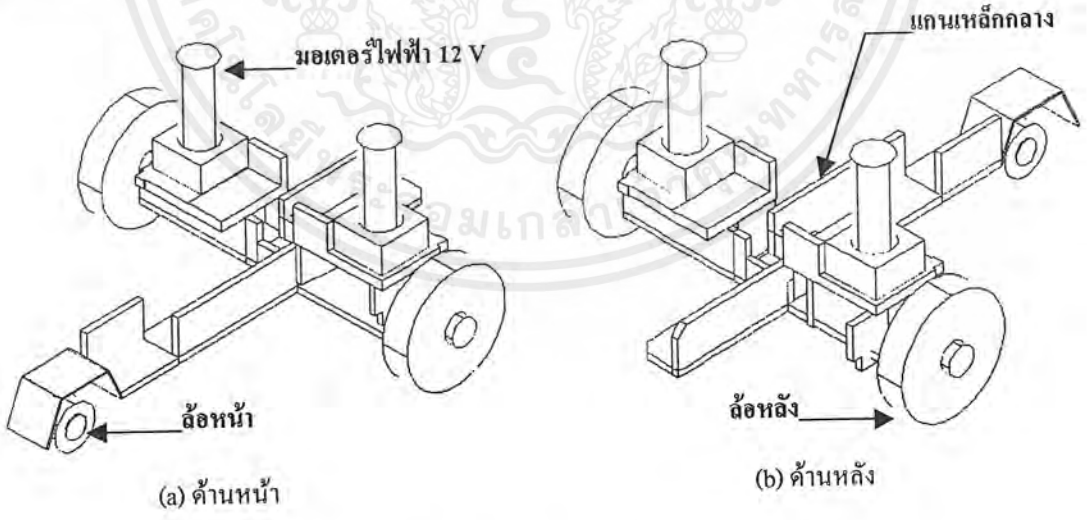
นอกจากนี้ ได้มีการติดแผ่นพลาสติกใสสีน้ำเงิน โดยรอบตัวรถ เพื่อป้องกันฝุ่น, น้ำ และสิ่งอื่นๆ มากระทบกับอุปกรณ์ภายในตัวรถ และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วย อีกทั้งยังเพิ่มความสวยงามให้อีกด้วย

<u>ระบบขับเคลื่อน</u> ประกอบด้วย

- แกนเหล็กกลางทำจากอะลูมิเนียม หนา 5 มม. รูปร่างตามรูปที่ 3.11
- ฐานรองแบตเตอรี่ 1 ก้อน ทำจากเหล็กอะลูมิเนียม
- ล้อหลัง ขนาด Ø 5" จำนวน 2 ล้อ
- ล้อหน้า ขนาด Ø 2" จำนวน 1 ล้อ
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ตัว
- แบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 1 ก้อน

ระบบขับเคลื่อนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของตัวรถ AGV มีต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ โดยมีการทดเฟืองจากแกนของมอเตอร์กับแกนของเพลาหมุนล้อ เพื่อการเพิ่มแรงบิดให้สูงขึ้นเป็นการลดความเร็วของมอเตอร์และช่วยให้ควบคุมทิศทางได้ง่าย ทำให้สามารถขับเคลื่อนหุ่นยนต์ที่มีน้ำหนักมากๆ ได้ และยังมีวงจร pulse-width modulation ช่วยในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์

การขับเคลื่อนเป็นแบบ 3 ล้อ โดยมีล้อหลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนและบังคับเลี้ยว ส่วนล้อหน้าเป็นตัวช่วยให้รถวิ่งไปในทิศทางที่ต้องการได้ถูกต้อง มีลักษณะรูปร่าง ดังในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 รูปร่างด้านหน้าและด้านหลังของระบบขับเคลื่อน

สำหรับการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ และเลี้ยงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ จะใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 1 ก้อน ซึ่งจะต้องทำการชาร์ตให้เต็มทุกครั้ง จึงจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเป็น 100% ซึ่งถ้าแรงดันในแบตเตอรี่อ่อนลงระดับหนึ่งจะเกิดผลต่อการทำงานของตัวรถ AGV ทำให้เกิดความผิดพลาดได้

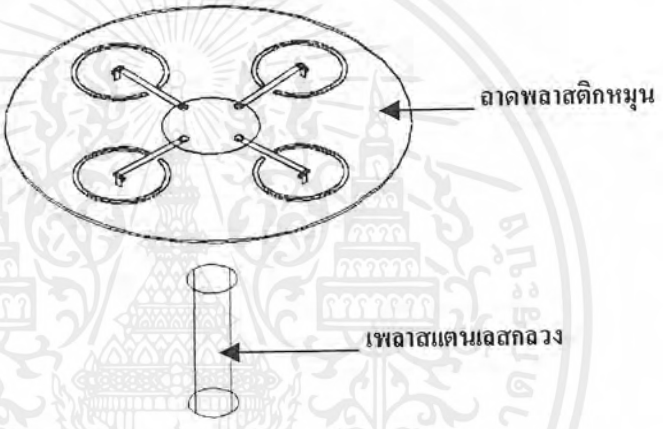
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ถาดหมุน</u> ประกอบด้วย

- แผ่นพลาสติกกลม ขนาด Ø 420 มม. หนา 8 มม.
- แผ่นพลาสติกรองแก้วรูปวงแหวน จำนวน 4 วง หนา 4 มม.
- สปริงแผ่น จำนวน 4 แผ่น
- เพลาสแตนเลสกลวง ขนาด Ø 2" ยาว 300 มม.
- แบริ่ง ขนาด Ø ภายใน 2" Ø ภายนอก 4" จำนวน 2 ตัว
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 5 โวลต์

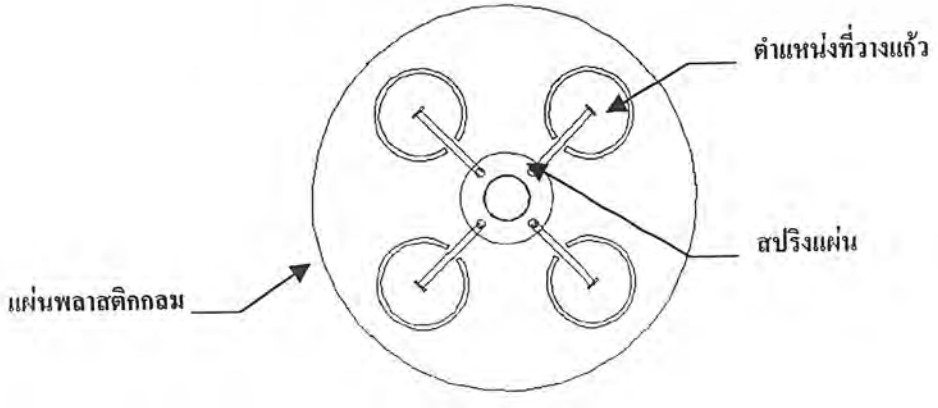
ถาดหมุน ถูกออกแบบให้สามารถหมุนได้โดยรอบไปในทิศเดียวกันตลอด โดยใช้แรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 5 โวลต์ เพื่อให้ถาดหมุนเปลี่ยนตำแหน่งไปครั้งละ 90° หลังจากมีแก้วมาวางแล้ว

วัสดุที่ใช้ทำถาดหมุนเป็นแผ่นพลาสติกกลมโปร่งใสและมีความสวยงาม ต่อเข้ากับเพลาหมุนสแตนเลสซึ่งมีความแข็งแรงมาก และมีแบริ่ง 2 ตัว รองรับเพลาและลดแรงเสียดทานในการหมุน ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ภาพไอโซเมตริกของถาดหมุนและเพลาหมุน

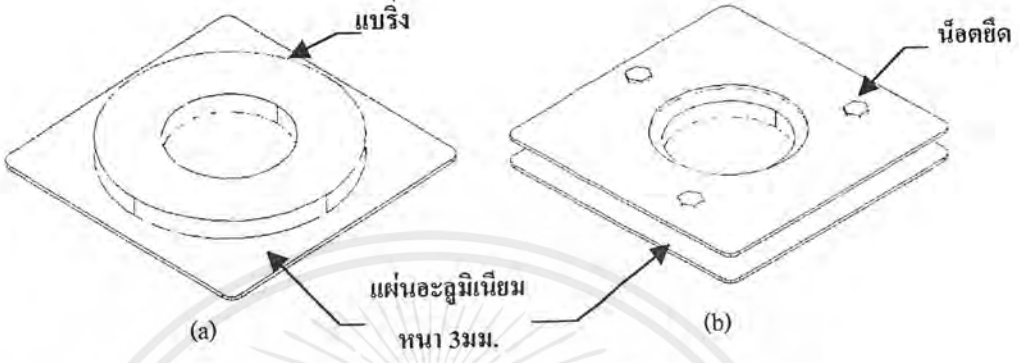
สำหรับด้านบนของถาดหมุนเป็นที่สำหรับวางแก้วเครื่องดื่ม โดยมีวงแหวนพลาสติกเป็นบล็อกสำหรับวางแก้ว และมีการติดสปริงแผ่นเพื่อเป็นตัวตรวจสอบว่ามีแก้วอยู่หรือไม่ เมื่อมีแก้วมาวาง สปริงแผ่นซึ่งเป็นแม่เหล็กก็จะไปเหนี่ยวนำให้สวิตช์แม่เหล็ก (Reed Relay Sensor) ทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ภาพฉายด้านบนของถาดหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยึดติดของถาดหมุนกับเพลากลวง ทำได้โดยใช้น็อตยึดติดกับแผ่นเหล็กบางรูปวงกลมที่เชื่อมต่อปิดด้านหนึ่งของเพลาเอาไว้ จำนวน 4 ตัว และการยึดแบริ่งกับแกนของโครงรถ โดยการทำคัปปลิง (coupling) ด้วยแผ่นอะลูมิเนียม หนา 3 มม. ประกบตัวแบริ่งไว้ทั้ง 2 ตัว ใช้น็อตยึดไว้ 3 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.14 แล้วเชื่อมต่อติดกับแกนกลางของโครงรถส่วนบนด้วยการเชื่อมแก๊ส (TIG)



รูปที่ 3.14 ลักษณะการทำคัปปลิงประกบแบริ่ง สวมเข้ากับเพลาเพื่อลดแรงเสียดทานขณะหมุน

(a) ก่อนประกบด้วยแผ่นอะลูมิเนียมปิด

(b) ประกบด้วยแผ่นอะลูมิเนียมปิด และยึดด้วยน็อต 3 ด้าน

<u>ส่วนประกอบอื่นๆ</u> ได้แก่

- ลำโพงเสียง ขนาด 8 x 35 ซม. จำนวน 2 ตัว
- กล่องอุลตร้าโซนิก (Ultrasonic Sensor) ขนาด 5.5 x 10 ซม. จำนวน 2 กล่อง
- สวิตช์แม่เหล็ก (Reed Relay Sensor) จำนวน 4 ตัว
- สวิตช์แสง (Opto-electronic Sensor)
- แผ่นพลาสติกรองรับสวิตช์แสง ขนาดตามโครงรถด้านบน ในรูปที่ 3.9 หนา 2 มม.
- แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รูปร่างและขนาดตามรูปที่ 3.15

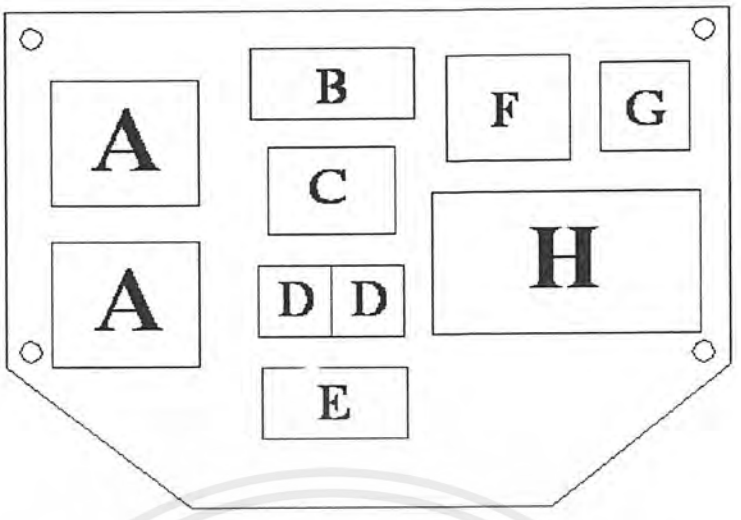
ส่วนประกอบต่างๆ ที่ติดตั้งเพิ่มขึ้นมานี้ ก็เพื่อรองรับการทำงานของตัวรถ AGV ให้สมบูรณ์ขึ้น โดยลำโพงจะเป็นตัวขยายให้กับวงจรเสียงให้สามารถมีเสียงพูดออกมาได้ ติดไว้ด้านหน้าของตัวรถ

กล่องอุลตร้าโซนิกใช้เก็บวงจรที่ทำการตรวจสอบวัตถุที่จะมากีดขวางตัวรถ โดยจะมี 2 กล่องติดตั้งทั้งส่วนบนและล่าง เพื่อให้คลอบคลุมรัศมีการตรวจจับ

สวิตช์แม่เหล็กเป็นตัวรับสัญญาณการมีของแก้วบนถาดหมุน เพื่อส่งไปประมวลผลยังส่วนควบคุม (Microcontroller) ต่อไป

สวิตช์แสงเป็นตัวตรวจสอบระยะของการหมุนให้หมุนครั้งละ 90° และส่วนสุดท้าย คือ แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนที่รองรับและรวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมการทำงานของตัวรถ AGV ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ บนแผงวงจร

A. Photodiode Transistor Sensor
B. Reed Relay Sensor
C. Driver Motor
D. Pulse - Width Modulation
E. Microcontroller MCS-51
F. DC - Converter
G. Optoelectronic Sensor
H. Sound

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบส่วน ELECTRONICS

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากส่วนหนึ่งของโครงงาน ซึ่งทำให้หุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติสามารถเคลื่อนไหวและทำงานตามคำสั่งที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง

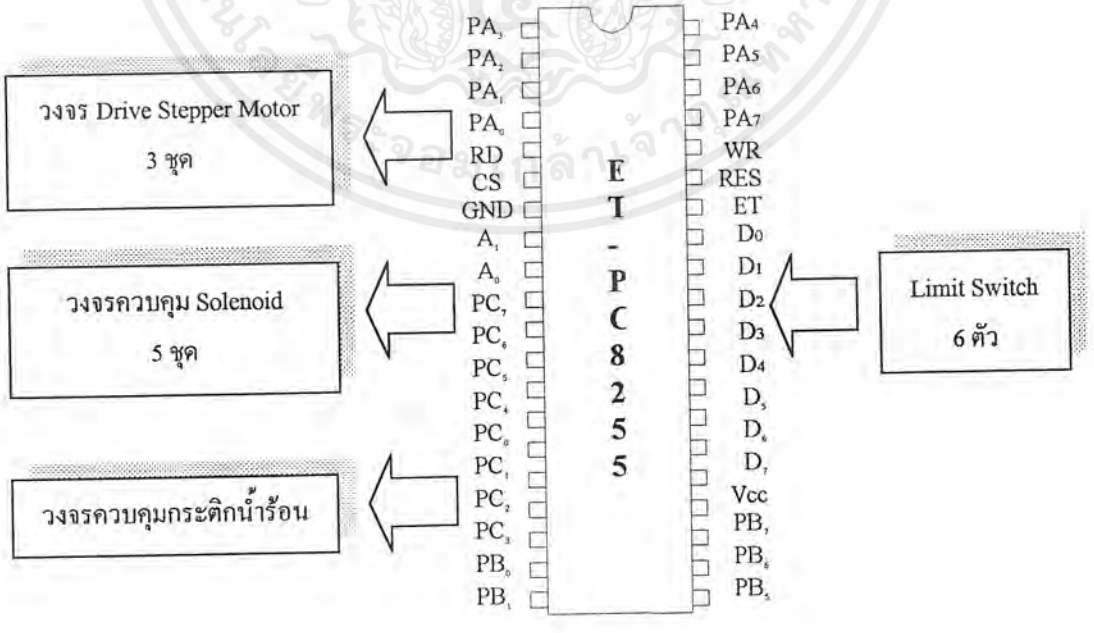
วงจรที่นำมาใช้งาน จะนำมาจากวงจรสำเร็จรูปที่มีอยู่ในคู่มือทางอิเล็กทรอนิกส์มาประกอบกัน โดยเลือกตามลักษณะการทำงานที่ต้องการ หรือนำวงจรที่มีอยู่แล้วมาประยุกต์ใช้ จึงมิใช่วงจรที่ออกแบบขึ้นมาเอง

3.3.1 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของแขนกลและส่วนของการชงเครื่องดื่ม ประกอบด้วย

- คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรม เพื่อควบคุมการทำงานทั้งหมด
- ET - PC 8255 เป็นการ์ดต่อขยายระบบเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้มีส่วนของอินพุตและเอาท์พุต พอร์ทมากขึ้น โดยจะมีพอร์ทใช้งาน จำนวน 9 พอร์ท หรือ 72 Bit I/O (TTL 0-5V)
- วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Drive Stepper Motor) สำหรับการขับเคลื่อนแขนกล
- วงจรควบคุมการสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า (Solenoid Switch) สำหรับควบคุมการปล่อยผงเครื่องดื่ม และการจับ - ปล่อยของมือจับ (Gripper)
- วงจรควบคุมกระติกน้ำร้อน สำหรับควบคุมปริมาณน้ำร้อน
- ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) สำหรับควบคุมระยะการเคลื่อนที่สุดระยะแกน ทั้ง 3 แกน

ในวงจรทั้งหมดนี้จะใช้ไฟฟ้าขนาด 5 , 9 ,12 และ 24 โวลต์

- 5 โวลต์ ได้แก่ วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ แกน R_1 และ แกน Z
- 9 โวลต์ ได้แก่ วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ แกน R_2
- 12 โวลต์ ได้แก่ วงจรควบคุมกระติกน้ำร้อน
- 24 โวลต์ ได้แก่ วงจรควบคุมโซลีนอยด์สวิตช์



รูปที่ 3.16 Block Diagram แสดงการเชื่อมต่อของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของแขนกลและส่วนของการชงเครื่องดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Drive Stepper Motor Circuit)

เป็นวงจรควบคุมการหมุนของ Stepper Motor แบบเต็มคาบ (Full Step) ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรขยายสำหรับควบคุมขดลวด 4 ชุด และ วงจรลอจิก (Logic) เพื่อควบคุมลำดับ (Sequence) การทำงานของมอเตอร์

อินพุตสำหรับวงจรนี้จะมีสองส่วน คือ สัญญาณพัลส์ (Pulse Signal) และ สัญญาณทางตรง (Direction Signal) สำหรับส่วนการควบคุมการทำงานข องวงจร Logic ก็คือ เมื่อสัญญาณคำสั่งเป็น Pulse ชุดแรกเข้ามาวงจร Logic จะจ่ายไฟให้กับขดชุด 1 , 2 แล้วเมื่อสัญญาณลูกต่อไปเข้ามาก็จะจ่ายไฟให้กับขด 2 , 3 โดยหยุดจ่ายไฟให้กับขด1 และเมื่อสัญญาณลูกที่ 3 เข้ามาก็จะจ่ายไฟให้กับขด 3 , 4 โดยจะหยุดจ่ายให้กับขด 2 และเมื่อมีสัญญาณลูกที่ 4 เข้ามาก็จะมีการจ่ายสัญญาณไฟให้กับขดที่ 4 , 1 ในขณะที่หยุดจ่ายไฟให้กับ ดที่ 3 และมีการทำงานเป็นลำดับเช่นนี้ไปเรื่อยๆ สำหรับในกรณีที่สัญญาณ Direction มีการจ่ายกลับทิศ การจ่ายไฟไปที่ขดลวดก็จะมีการกลับทิศการจ่ายเช่นกัน คือ จ่ายให้ขด 1 , 4 และ 4 , 3 และ 3 , 2 และ 2 , 1 กลับกันไปเป็นลำดับ จึงจะเป็นการทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศ ตามสัญญาณ Direction ที่เข้ามาได้

แผนผังวงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ แสดงดังในรูปที่ 3.18

วงจรควบคุมการสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า (Solenoid Switch Circuit)

เป็นวงจรที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Solenoid Switch ให้มีการหดเข้า หรือ ยืดออก (ปิด - เปิด) ของตัวปล่อยผงเครื่องดื่มโดยภายในวงจรใช้ทรานซิสเตอร์ (Transistor) เป็นสวิตช์ควบคุมการทำงานอง Solenoid คือ เมื่อคอมพิวเตอร์จ่ายค่า 1 ให้กับขา B ของ Transistor ก็จะไปกระตุ้นให้ Solenoid ทำงาน ทำให้ตัวปล่อยหดเข้าไปรองรับผงเครื่องดื่มจากขวดบรรจุ และเมื่อจ่ายค่า 0 ก็จะไปตัดการทำงานของ Solenoid ทำให้ตัวปล่อยยืดออกเพื่อให้ผงเครื่องดื่มร่วงลงแก้วที่มารองรับ

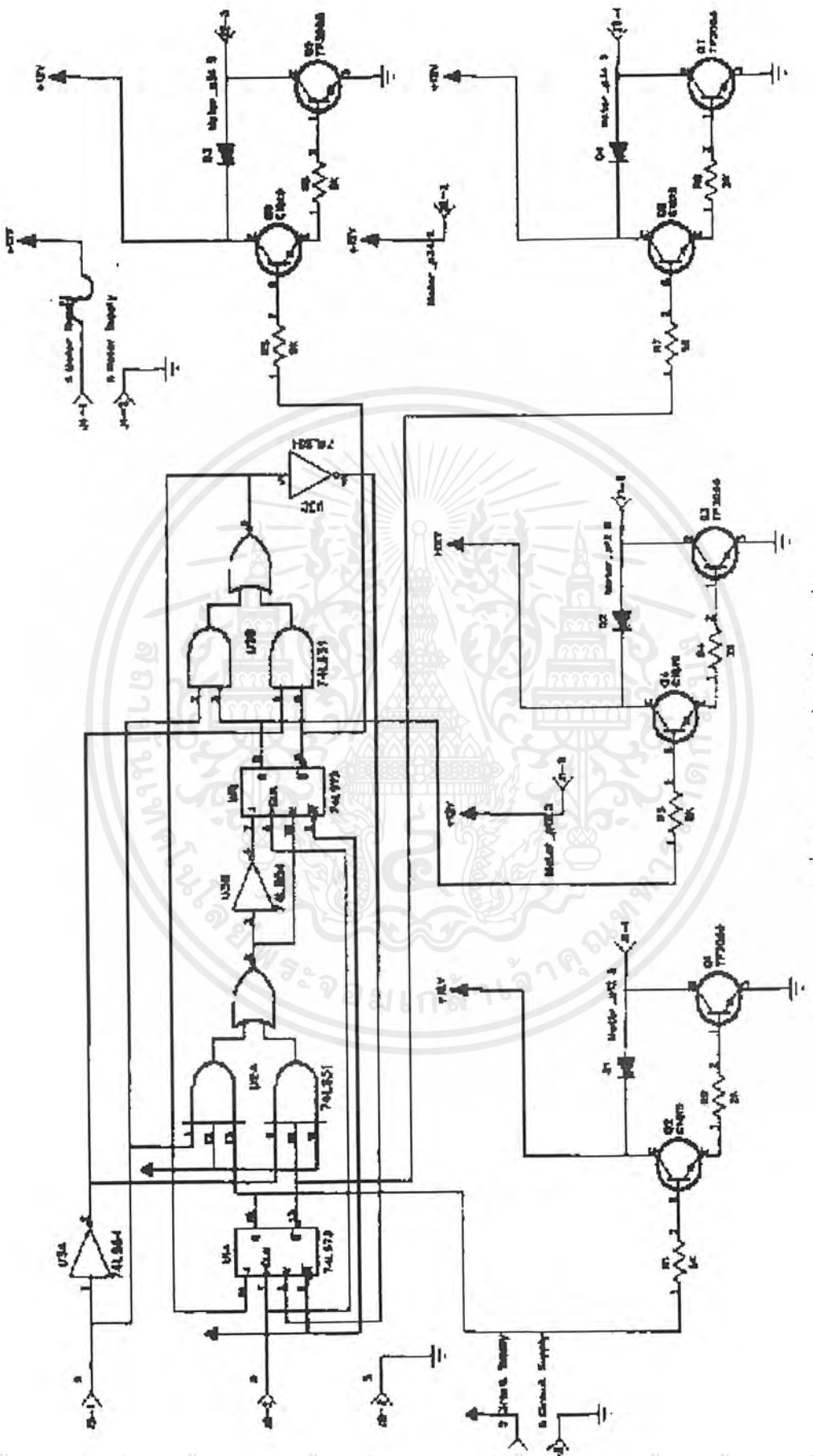
แผนผังวงจรควบคุมการสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า แสดงดังในรูปที่ 3.19

วงจรควบคุมกระติกน้ำร้อน

จากแผนผังวงจรรูปที่ 3.20 วงจรจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนควบคุมมือจับ (Gripper) และส่วนที่สองเป็นส่วนควบคุมกระติกน้ำร้อน โดยทั้งสองส่วนจะรับคำสั่ง (Input) มาจากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์โดยผ่านพอร์ท 1 และ 2 เพื่อสั่งให้น้ำร้อนไหลหรือหยุดไหล และสั่งให้ Gripper หนีบหรือปล่อยแก้วโดยสั่งให้ Solenoid ทำงาน

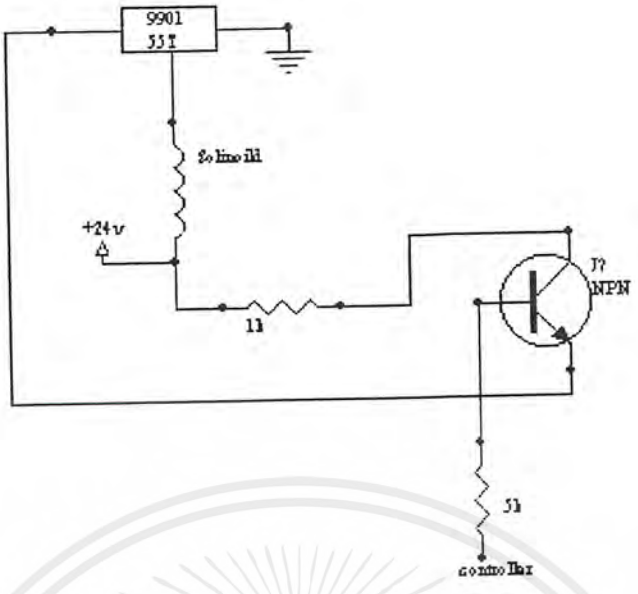
ในส่วนการควบคุมกระติกน้ำร้อนจะใช้รีเลย์ (Relay) แบบ SPDT และ ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ในการควบคุม รวมทั้งใช้ไดโอด (Diode) ร่วมด้วย เพื่อป้องกันการเสียหายของ Transistor จากการดิสชาร์ต (Discharge) ของขดลวด เมื่อคอมพิวเตอร์จ่ายค่า 1 ผ่านทางพอร์ทของคอมพิวเตอร์ให้กับขา B ของ Transistor ไฟเลี้ยงของ Relay ก็จะครบวงจร ทำให้หน้าสัมผัสปกติเปิด (NO) ของ Relay ทำงาน ซึ่งทำให้สายไฟ 2 เส้นที่ต่อมาจากลิมิตสวิตช์ภายในกระติกน้ำร้อนให้สัมผัสกัน ซึ่งสายไฟที่ต่อออกมาจะต้องผ่านวงจรแปลงไฟให้ต่ำลง จาก 220 เป็น 12 โวลต์ เพื่อให้สามารถทำการควบคุมได้ทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลังจากนั้น น้ำร้อนก็จะไหลออกมายังแก้วที่รองรับ และหยุดไหลเมื่อหน่วงถึงเวลาที่กำหนด โดยกระติกน้ำร้อนที่ใช้เป็นแบบไหลอัตโนมัติ (Auto-Flow) เมื่อกดปุ่มเปิด และหยุดไหลเมื่อปล่อยมือกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

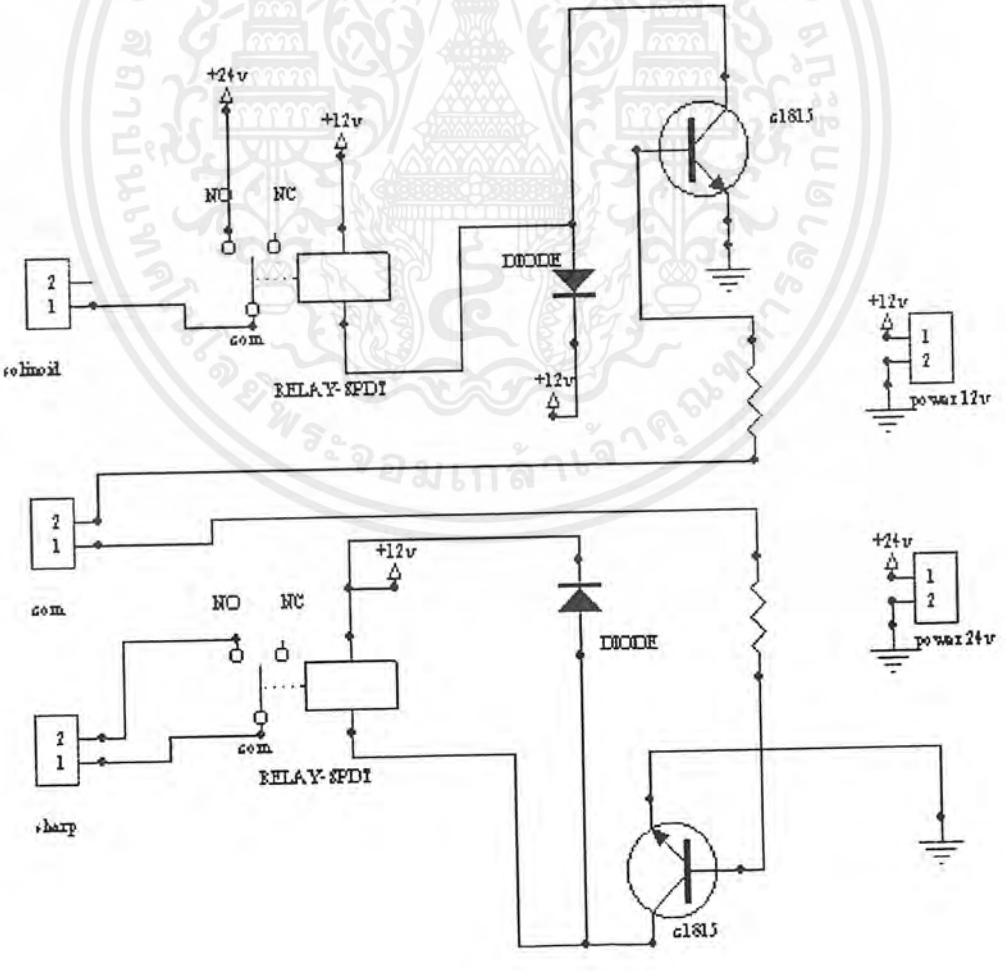


รูปที่ 3.18 วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 วงจรควบคุมสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 3.20 วงจรควบคุมกระติกน้ำร้อนและมือจับของแขนกล

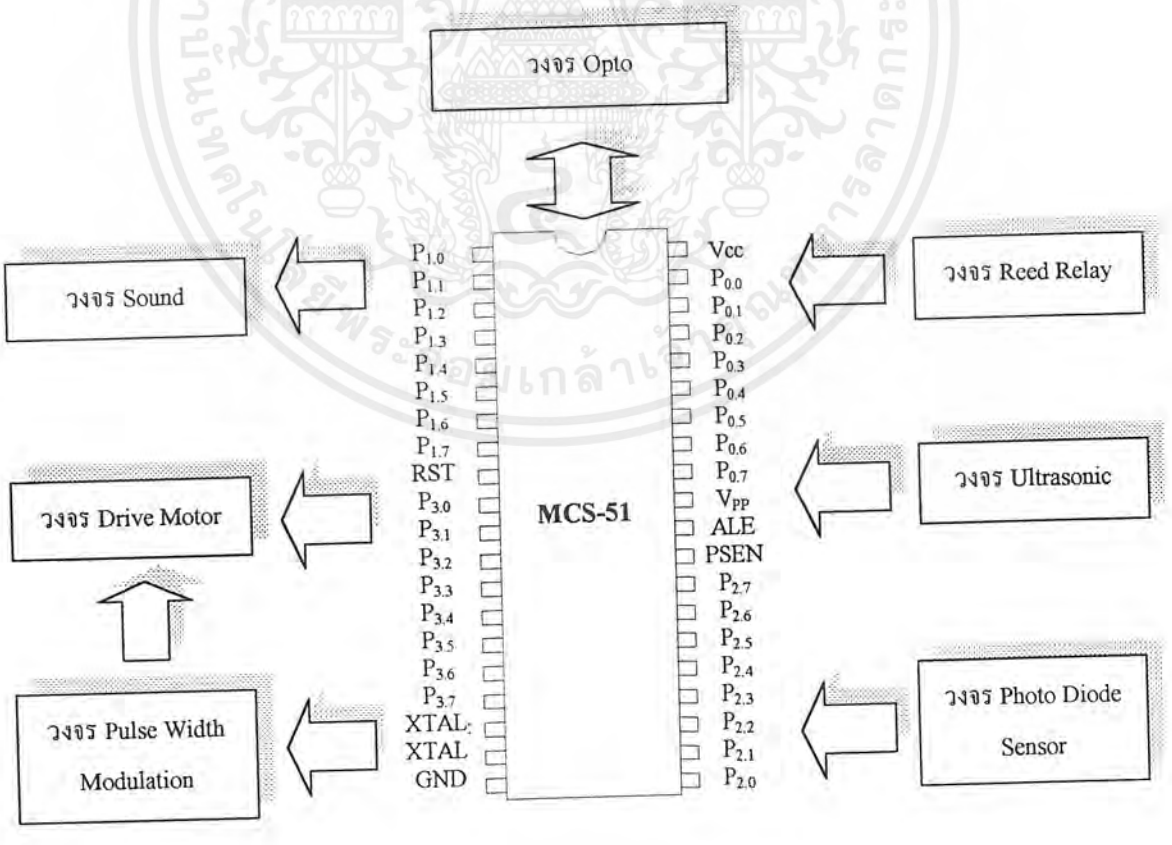
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ ประกอบด้วย

- ไมโครคอนโทลเลอร์ MCS - 51 เป็น IC ที่ใช้บันทึกโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี (Assembly) เพื่อสั่งการทำงานทั้งหมด
- วงจรขับมอเตอร์ (Drive Motor) ใช้สำหรับขับเคลื่อนและควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของล้อ
- วงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น (Pulse-Width Modulation) ใช้สำหรับควบคุมความเร็วของล้อ
- วงจรโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์เซนเซอร์ (Photodiode Transistor Sensor) ใช้สำหรับตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสีบนพื้น (ขาวและดำ) เพื่อนำมาสั่งการวิ่งของตัวรถ
  วงจรรีดรีเลย์เซนเซอร์ (Reed Relay Sensor) สำหรับการตรวจรู้จำนวนและตำแหน่งของแก้ว
- วงจรออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (Optoelectronic) สำหรับการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ เพื่อให้ตำแหน่งจานวางแก้วหมุนไปครั้งละ 90^0 เมื่อมีการวางแก้วในแต่ละครั้ง
- วงจรอุลตร้าโซนิก (Ultrasonic Sensor) สำหรับการตรวจจับวัตถุที่มากีดขวางเส้นทางการวิ่ง
- วงจรเสียง (Sound) ใช้สำหรับการควบคุมให้มีเสียงพูดออกมา

แบตเตอรี่ ที่ใช้ในการจ่ายไฟให้ตัวรถ คือ ขนาด 12 โวลต์ ผ่านวงจร IC 7805 แปลงไฟจาก 12 โวลต์ ให้เหลือ 5 โวลต์ จะทำให้ได้แหล่งจ่ายไฟทั้ง 12 และ 5 โวลต์ เพื่อใช้เลี้ยงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

- วงจรที่ใช้ไฟ 12 โวลต์ ได้แก่ วงจรขับมอเตอร์ , วงจรโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์เซนเซอร์ , วงจรรีดรีเลย์ , วงจรออปโตอิเล็กทรอนิกส์ , วงจรอุลตร้าโซนิก และวงจรเสียง
- วงจรที่ใช้ไฟ 5 โวลต์ ได้แก่ วงจรไมโครคอนโทลเลอร์ และวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น



รูปที่ 3.21 Block Diagram แสดงการเชื่อมต่อของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานพอร์ทต่างๆ ของไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51

$P_{0.0}$ ส่งค่า Enable ไปวงจร Sound
$P_{0.1}$ ส่งค่า A ไปวงจร Sound
$P_{0.2}$ ส่งค่า B ไปวงจร Sound
$P_{0.3}$ ส่งค่าให้วงจร Optoelectronic
$P_{0.4}$ ส่งค่า Direction ไปยัง Motor ล้อซ้าย
$P_{0.5}$ ส่งค่า Direction ไปยัง Motor ล้อขวา
$P_{0.6}$ ไม่มีการส่งค่า
$P_{0.7}$ ไม่มีการส่งค่า
$P_{1.0}$ รับค่าจากวงจร Optoelectronic
$P_{1.1}$ รับค่าจาก Reed Relay ตำแหน่งวางแก้วหลังซ้าย
$P_{1.2}$ รับค่าจาก Reed Relay ตำแหน่งวางแก้วหลังขวา
$P_{1.3}$ รับค่าจาก Reed Relay ตำแหน่งวางแก้วหน้าขวา
$P_{1.4}$ รับค่าจาก Reed Relay ตำแหน่งวางแก้วหน้าซ้าย
$P_{1.5}$ รับค่าจากวงจร Ultrasonic Sensor ตัวล่าง
$P_{1.6}$ รับค่าจากวงจร Ultrasonic Sensor ตัวบน
$P_{1.7}$ ไม่มีการรับค่า

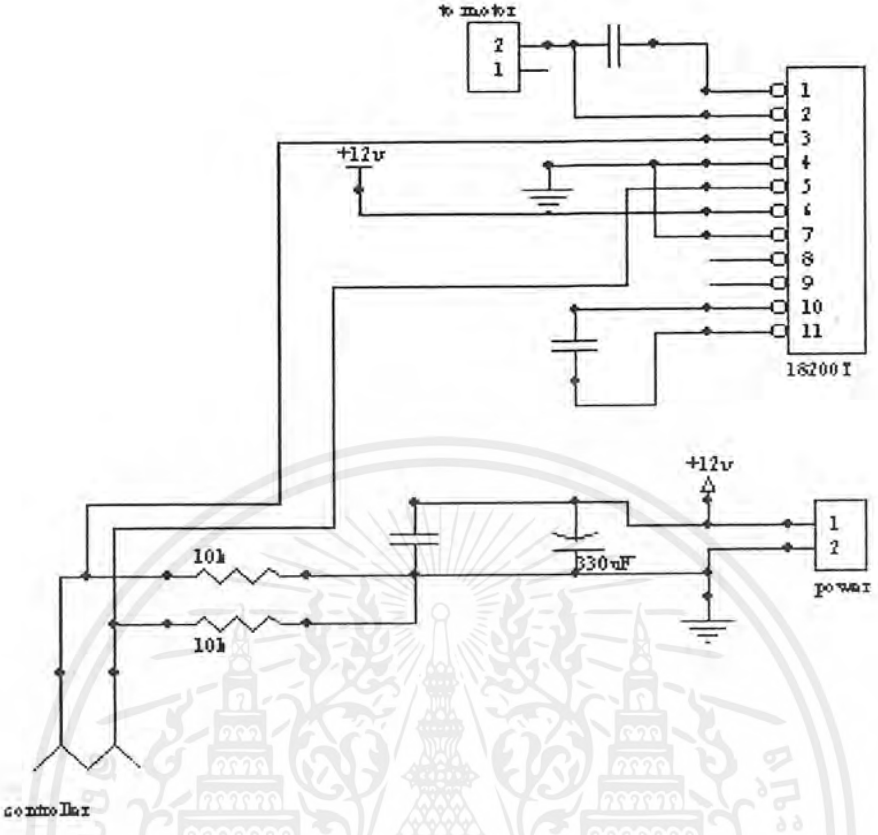
$P_{2.0}$ รับค่าจาก Photodiode Sensor ตัวหน้าซ้าย
$P_{2.1}$ รับค่าจาก Photodiode Sensor ตัวหลังซ้าย
$P_{2.2}$ รับค่าจาก Photodiode Sensor ตัวหลังขวา
$P_{2.3}$ รับค่าจาก Photodiode Sensor ตัวหน้าขวา
$P_{2.4}$ รับค่าจาก Photodiode Sensor ตัวหน้ากลาง
$P_{2.5}$ รับค่าจาก Photodiode Sensor ตัวกลางซ้าย
$P_{2.6}$ รับค่าจาก Photodiode Sensor ตัวกลางขวา
$P_{2.7}$ รับค่าจาก Photodiode Sensor ตัวปีกข้างด้านขวา
$P_{3.0}$ ความเร็วล้อขวาบิตที่ 0
$P_{3.1}$ ความเร็วล้อขวาบิตที่ 1
$P_{3.2}$ ความเร็วล้อขวาบิตที่ 2
$P_{3.3}$ ความเร็วล้อขวาบิตที่ 3
$P_{3.4}$ ความเร็วล้อขวาบิตที่ 0
$P_{3.5}$ ความเร็วล้อซ้ายบิตที่ 1
$P_{3.6}$ ความเร็วล้อซ้ายบิตที่ 2
$P_{3.7}$ ความเร็วล้อซ้ายบิตที่ 3

วงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Drive Motor Circuit)

เป็นวงจรที่ใช้การรับสัญญาณจากอุปกรณ์และเซนเซอร์ต่างๆ เพื่อนำไปใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ทำให้เราสามารถที่จะควบคุมทิศทางและความเร็วของมอเตอร์ได้ โดยวงจร Drive Motor จะรับสัญญาณที่ใช้ควบคุมทิศทางมาจากส่วนควบคุม (Controller) และสัญญาณที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์จะมาจากวงจรสร้างพัลส์ (Pulse – Width Modulation) วงจรควบคุมมอเตอร์ที่นำมาใช้เป็นวงจรสำเร็จรูป โดยใช้ IC - 18200I ซึ่งภายในมีวงจรเพื่อการควบคุมการขับ Drive Motor โดยเฉพาะ

แผนผังวงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แสดงดังในรูปที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

<u>วงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น</u> (Pulse - Width Modulation Circuit)

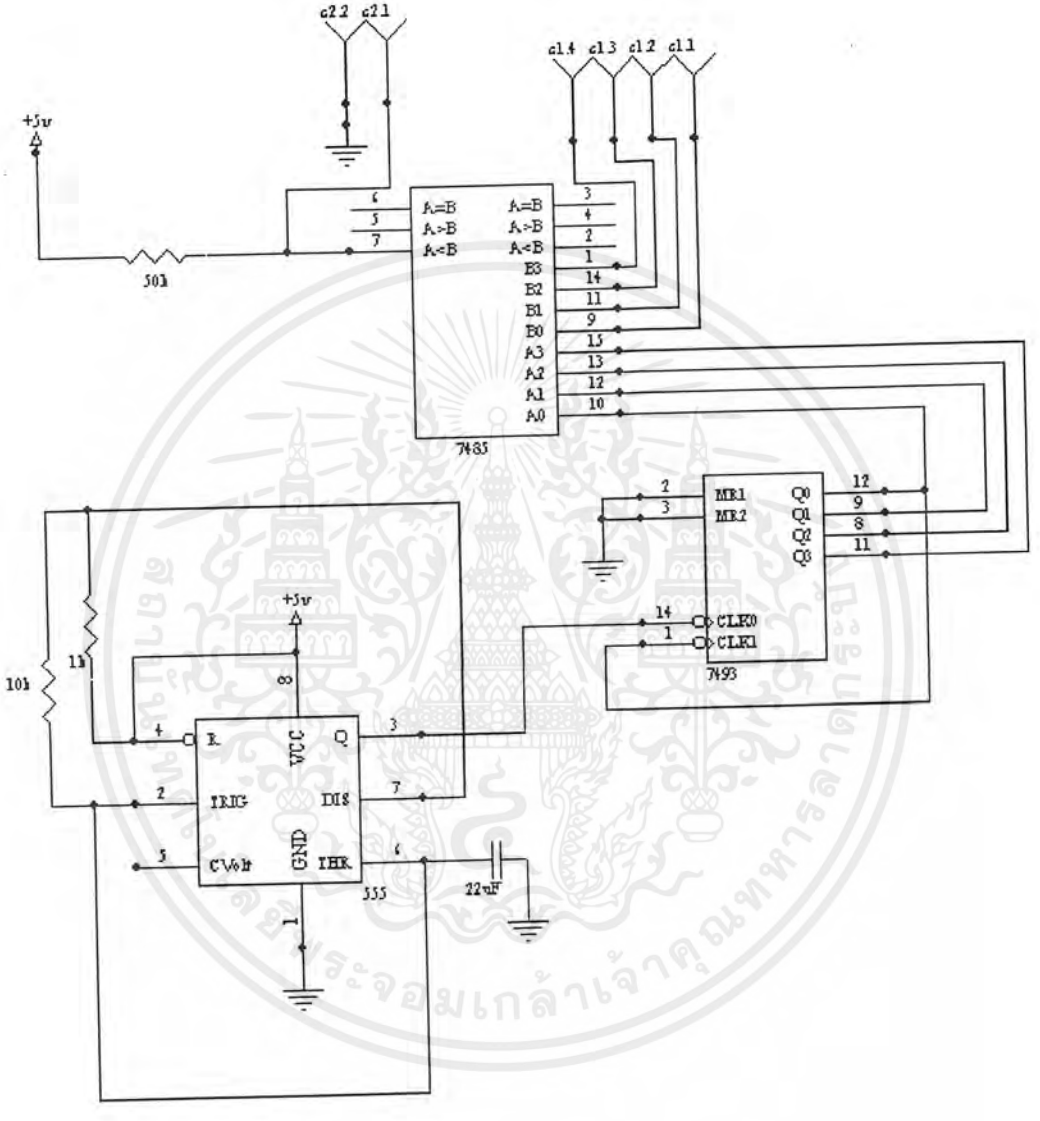
เป็นวงจรควบคุมความเร็วของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ โดยสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรถได้ ตัววงจรประกอบด้วย IC - 555 ทำหน้าที่เป็นออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ของวงจรซึ่งจะผลิตสัญญาณพัลส์ (Pulse) อย่างต่อเนื่อง ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณอินพุตป้อนเข้าเพื่อให้วงจรทำงาน

สัญญาณที่ได้จาก IC ตัวนี้จะส่งไปเป็นสัญญาณขาเข้าให้กับ IC - 7493 ซึ่งจะรับความถี่มาจาก IC - 555 แล้วจะมีการทอกเกิล (Toggle) ที่ขาขึ้นของแรงดัน ทำให้ความถี่เปลี่ยนไปจนได้ระดับที่ต้องการซึ่งจะเป็นระดับอ้างอิงที่จะส่งไปยัง IC - 7485 ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบ (Comparator)

IC - 7485 จะมีส่วนที่รับค่าอินพุตมาจาก Controller และ IC - 7493 แล้วจะนำค่าที่ได้สองส่วนนี้มาเปรียบเทียบกัน และที่ขาเอาท์พุตของ IC - 7485 สามารถเลือกได้ว่าต้องการต่อที่ A > B หรือ A = B หรือ A < B ไปใช้งานก็ได้ เช่น ถ้าต่อเอาท์พุตที่ A < B ไปใช้งานนั่น ก็หมายความว่า ถ้าอินพุตที่ได้จาก IC - 7493 มากกว่าค่าอินพุตที่ได้จาก Controller ซึ่งจะทำให้เอาท์พุตจากพอร์ท A < B เป็น 1 ถ้าไม่เช่นนั้นจะได้เอาท์พุตเป็น 0 และจะเป็นเงื่อนไขเช่นเดียวกันกับการที่จะต่อเอาท์พุตพอร์ท A > B หรือ A = B ออกไปใช้งาน

แผนผังวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น แสดงดังในรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



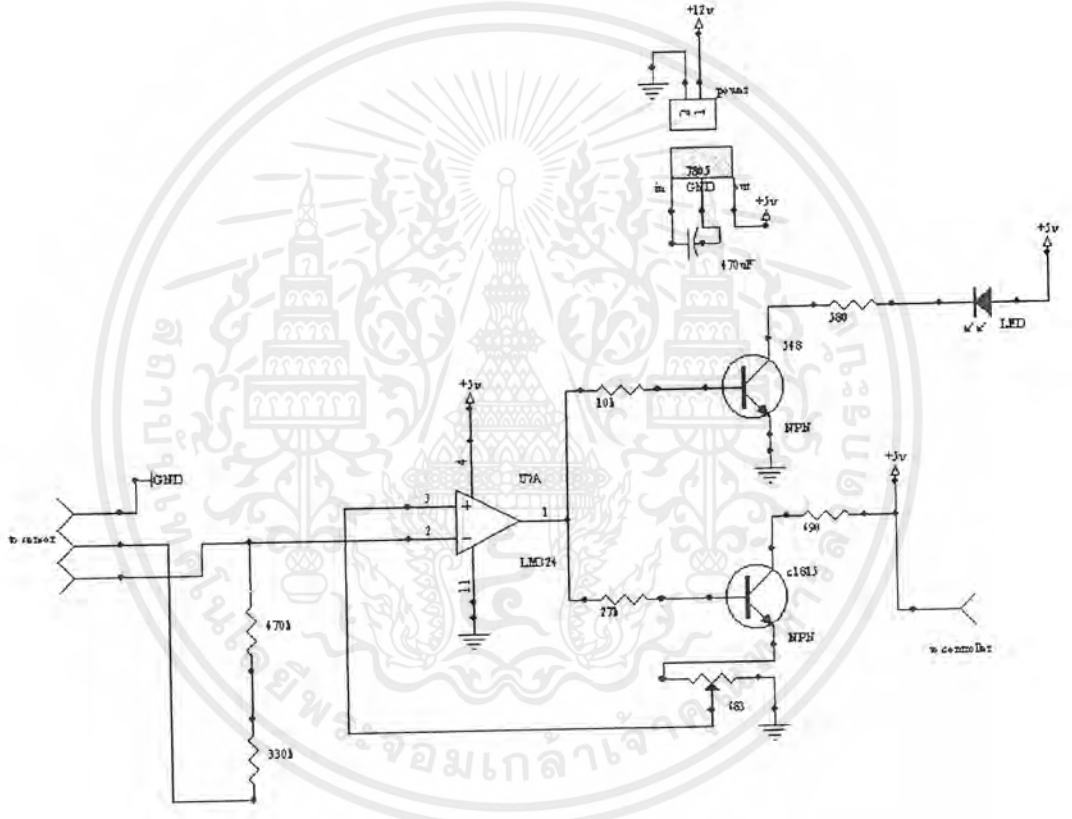
รูปที่ 3.23 วงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>วงจรเซนเซอร์แสง</u> (Photodiode Transistor Sensor Circuit)

ในวงจร Photodiode Transistor Sensor จะใช้ไดโอดเป็นตัวส่งแสงอินฟราเรด (Infrared Laser) ออกไปกระทบพื้นและสะท้อนกลับมายังตัวรับซึ่งเป็น Phototransistor และใช้ออปแอมป์ (Op-Amp) เบอร์ LM - 324 ในการเปรียบเทียบแรงดันจากโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) แรงดันอ้างอิงสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการปรับที่ตัวโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) เพื่อตัดสินใจว่าจะจ่ายสัญญาณเอาท์พุตออกมาเป็น 0 หรือ 1

แผนผังวงจรเซนเซอร์แสง แสดงดังในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 วงจรเซนเซอร์แสง

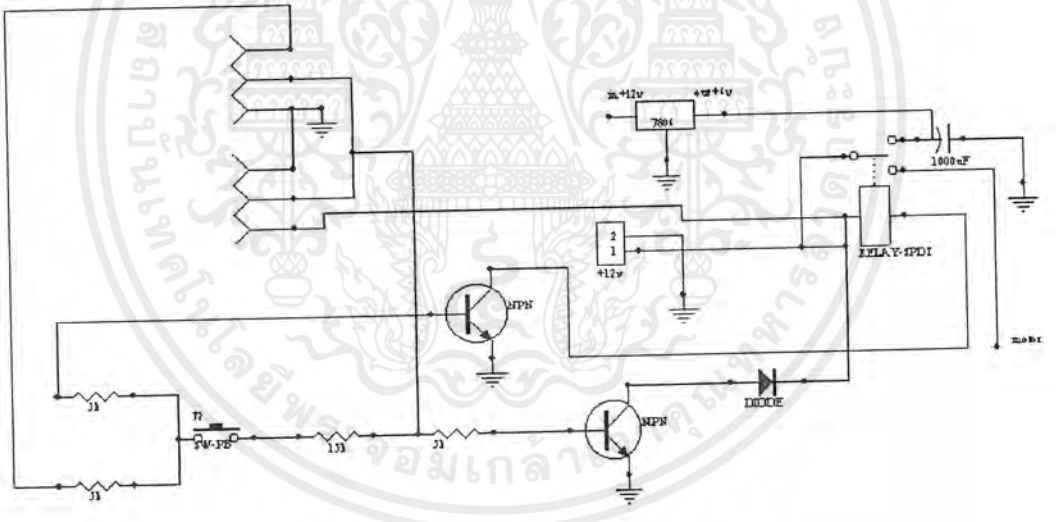
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสวิตช์แสง (Optoelectronic Switch Circuit)

เป็นวงจรที่ใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นตัวควบคุมชุดถาดหมุนด้านบน โดยมีสถานะการทำงาน 2 อย่าง คือ

1. เมื่อ Opto Switch ไม่ถูกบังแสง ตัว Transistor ตัวล่างจะถูกกระตุ้นการทำงาน ทำให้ไฟเลี้ยง Relay ครบวงจร หน้าสัมผัสปกติเปิด (NO) จะทำงาน ส่งผลให้มอเตอร์หมุน
2. เมื่อ Opto Switch ถูกบังแสง มอเตอร์จะไม่หมุน เนื่องจากตัว Relay ถูกตัดการกระตุ้น ทำให้หน้าสัมผัสของสวิตช์เปิดออก ถ้าต้องการสั่งให้มอเตอร์ทำงานอีกครั้งจะทำได้ 2 แบบ คือ กดสวิตช์เพื่อรีเซตการทำงาน และสั่งงานใหม่จาก Controller ซึ่งจะไปจ่ายไฟเลี้ยงขา B ของ Transistor ตัวบน ทำให้ไฟเลี้ยง Relay ครบวงจร ปิดหน้าสัมผัสส่งผลให้มอเตอร์ทำงานอีกครั้งหนึ่ง

แผนผังวงจรสวิตช์แสง แสดงดังในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 วงจรสวิตช์แสง

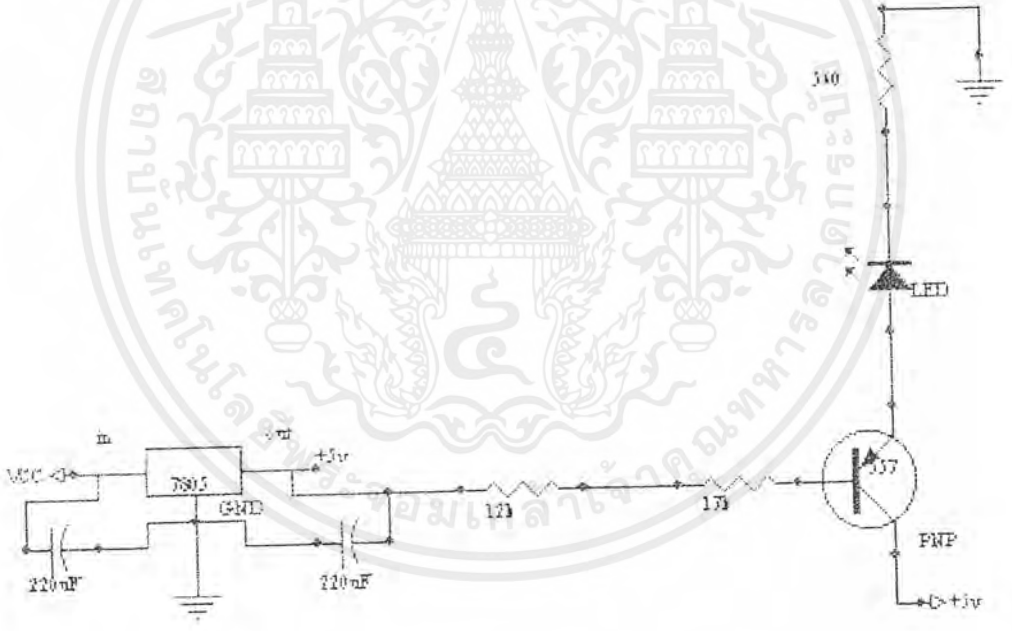
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>วงจรสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า</u> (Reed Relay Switch Circuit)

เป็นวงจรที่ใช้สำหรับตรวจสอบจำนวนและตำแหน่งของแก้วบนถาดหมุน สถานการณ์ทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 สถานะ คือ

1. ขณะที่ยังไม่มีสนามแม่เหล็กมากระตุ้นการทำงานหน้าสัมผัสของ Reed Relay การทำงานของ Reed Relay จะยังเป็นวงจรเปิดอยู่ และไม่มีกระแสไฟวิ่งผ่าน โดยจะให้ลอจิก 1 แก่ Controller และหลอด LED ก็จะไม่สว่าง
2. ขณะที่หน้าสัมผัสของ Reed Relay ถูกกระตุ้นการทำงานด้วยสนามแม่เหล็ก การทำงานของ Reed Relay จะเป็นการต่อกราวด์ (Ground) ของวงจร เป็นการกระตุ้นให้ Transistor รอยต่อ PNP ทำงาน กระแสไฟฟ้าจึงสามารถไหลผ่าน Reed Relay ได้ โดยจะให้ลอจิก 0 แก่ Controller และกระแสไฟฟ้าก็จะสามารถไหลผ่านหลอด LED ทำให้หลอดไฟสว่างได้

แผนผังวงจรสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า แสดงดังในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 วงจรสวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>วงจรตรวจจับสิ่งกีดขวาง</u> (Ultrasonic Sensor Circuit)

ในรูปที่ 3.27 ภาคส่งจะใช้ IC_1 ซึ่งเป็นประเภทซีมอส (CMOS) เบอร์4093 ซึ่งภายในจะประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์ (Invertor) 6 ตัว ซึ่ง 4 ตัวแรกคือ $IC_{1/1}$ กับ $IC_{1/2}$ และ $IC_{1/5}$ กับ $IC_{1/6}$ จะจับคู่กัน โดยจะต่อในลักษณะขนานกันเพื่อขับตัวส่ง การทำเช่นนี้ก็เพื่อที่จะเพิ่มขนาดของสัญญาณที่ตกคร่อมตัวส่งให้สูงขึ้นเป็น 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการต่อตัวส่งเข้ากับเอาท์พุตของ Invertor เพียงตัวเดียว ซึ่งตัวส่งจะถูกออกแบบมาให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ตัวมัน ที่มีความถี่ประมาณ 40 kHz มาเป็นคลื่นเสียงย่าน Ultrasonic เพื่อส่งให้กับตัวขับต่อไป ส่วน C_1 ต่อไว้เพื่อป้องกันไฟตรง (ที่ไม่ใช่ ความถี่ 40 kHz) ไม่ให้ผ่านเข้าไปในตัวส่ง เพื่อให้ได้พลังงานที่ไปขับตัวส่งมีค่าสูงสุด

สำหรับแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรจะมีขนาด 12 โวลต์ โดยจ่ายให้กับ IC_1, IC_5, และ IC_7 ส่วนตัวอื่นๆ ใช้แรงดัน 5 โวลต์ โดยนำแรงดันจากแหล่งจ่ายมาผ่าน IC_3 เบอร์ 78L05 โดยที่ C_3 ทำหน้าที่กรองแรงดันให้เรียบก่อนจะนำมาลดระดับแรงดัน

วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) จะกำเนิดความถี่ 40 kHz โดยการปรับที่ค่า VR_1

วงจรเปรียบเทียบ (Comparator) จะใช้ IC_7 เบอร์ LM393 ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณที่ส่งออกไปกับสัญญาณที่รับเข้ามา ซึ่ง $IC_{7/2}$ จะทำการเปรียบเทียบระดับ Logic ของวงจร Oscillator ระดับสูง 5 โวลต์ กับเอาท์พุตของวงจร 12 โวลต์ โดยสัญญาณทางเข้าเอาท์พุตที่ขา 7 จะมีความถี่ 40 kHz เพื่อให้ความถี่เรโซแนนท์ (Resonance Frequency) กับตัวส่ง ซึ่งสามารถปรับความถี่ให้ได้ประมาณ 40 kHz เพื่อส่งให้กับ IC_1 ต่อไป

วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา จะถูกสร้างโดย IC_4 คือ เมื่อกดสวิตซ์ S_1 เอาท์พุตขา2 ของ IC_4 จะเป็นระดับ Logic สูง R_2 และ C_{11} จะเป็นตัวกำหนดความถี่ให้ได้ประมาณ 40 kHz ในขณะเดียวกันเอาท์พุตของ $IC_{5/1}$ จะมีระดับ Logic สูง ซึ่งกระแสจะไหลผ่าน D_1 เข้าสู่ Comparator ตัวที่ 2 คือ $IC_{7/1}$ เพื่อยกระดับสัญญาณให้สูงขึ้น และนำไปทริก $IC_{2/4}$ ได้ โดยที่แรงดันทางด้านอินพุตของ $IC_{5/1}$ ที่ขานอนอินเวอร์ติ้ง (Non-Invertingt) จะมีค่าประมาณ 2.5 โวลต์ ขณะเดียวกันวงจรไบสเตเบิล (Bi-Stable) ซึ่งประกอบด้วย $IC_{2/3}$ และ $IC_{2/4}$ นี้จะถูกกำหนดค่า ดังนั้นขา 31 ของ IC_8 ซึ่งเป็นขา CNT INH (Count Inhibit) จะถูกกำหนดให้มีสัญญาณเป็นดิสเอเบิล (Disable) เพราะฉะนั้น จะทำให้ขา 32 (CNT) ของ IC_8 รับสัญญาณจากภายนอกเข้ามาได้ ซึ่ง IC_4 จะเป็นตัวกำเนิดความถี่ 17.05 kHz รออยู่แล้ว จึงทำให้ความถี่นี้ผ่านเข้าไปยัง IC_8 ได้ เพื่อเป็นสัญญาณนาฬิกาที่ใช้สำหรับอ้างอิงการแสดงผล

ส่วนวงจรทางด้านภาครับ ใช้ตัวรับคลื่น Ultrasonic ความถี่ 40 kHz เพื่อให้รับคลื่นจากตัวส่งได้ โดยสัญญาณที่รับได้จะถูกขยายโดย $IC_{5/3}$ ซึ่งมีอัตราการขยายประมาณ 33 เดซิเบล โดยการคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$20 \log_{10}[\frac{R8}{R9}]$$

วงจรขยายชุดนี้จะใช้การคัปปลิงแบบไฟสลับ (AC - Coupling) คือ ใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัวคัปปลิง (C_9) ภาคขยายชุดนี้ไม่จำเป็นต้องปรับแรงดันอินพุตออฟเซ็ต (Input Offset) เพราะมีค่า R_{14} ช่วยในการปรับอย่างอัตโนมัติอยู่แล้ว โดยใช้กระแสไบแอสทางด้านอินพุตเป็นตัวช่วย และแรงดัน Offset จะถูกปรับให้มีค่าน้อยๆ เพราะมีความสำคัญมาก เนื่องจากแรงดันนี้ไม่ได้ถูกปรับเฉพาะ $IC_{5/3}$ เพียงตัวเดียว แต่มันจะมีผลต่อแรงดัน Offset ของ $IC_{7/1}$ ด้วย อีกทั้งยังมีผลต่อความไวในการรับอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับความไวในการรับจะถูกควบคุมโดยวงจรเวลาคงที่ (Time Constant) ซึ่งประกอบด้วย VR_3, R_6 และ C_8 ซึ่งต่ออยู่กับ $IC_{7/1}$ นั่นเอง เราสามารถปรับความไวในการรับได้โดยการปรับที่ค่า VR_3 ให้ได้ความไวสูงสุด

เมื่อตัวรับคลื่น Ultrasonic รับคลื่นเข้ามาแล้วเอาท์พุตของ $IC_{7/1}$ จะมีค่า Logic ต่ำ ซึ่งมีผลทำให้วงจร Bi - Stable ($IC_{2/3}$, $IC_{2/4}$) ถูกรีเซต และสัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ 17.05 kHz ไม่สามารถผ่านเข้าไปยัง IC_8 ได้ ในขณะเดียวกันสัญญาณ Pulse ค่าลบซึ่งมีช่วงสั้นๆ ก็จะผ่าน R_{13}, C_{12} และ $IC_{6/2}$ เข้าไปยังขา 34 ของ IC_8 จากนั้นก็จะแสดงผลลัพธ์ที่มีสถานะค้างไว้ตรงนั้นเพื่อขับภาคแสดงผลต่อไป การนับใน IC_8 จะถูกยกเลิกเมื่อเอาท์พุตขา 2 ของ IC_4 เป็นค่า Logic ต่ำ หรือเมื่อเกิดการรีเซต วงจรก็พร้อมที่จะวัดระยะครั้งใหม่ต่อไป

ในกรณีที่การวัดทำในระยะที่ไกลเกินไป ขา 2 ของ IC_4 ก็จะเป็นค่า Logic ต่ำอีก แต่วงจรนับจะถูกยกเลิกการนับ โดยสัญญาณรีเซตจะผ่าน D_3 เข้ามายังขา 33 ของ IC_8 ซึ่งผลลัพธ์ที่แสดงออกมาทางภาคแสดงผลก็จะแสดงเลข 0.00 ซึ่ง IC_8 จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของ LCD

แผนผังวงจรตรวจจับสิ่งกีดขวาง แสดงดังในรูปที่ 3.27

<u>วงจรตรวจสอบเอาท์พุตของอุลตร้าโซนิก</u> (Ultrasonic - Output Detect Circuit)

ในส่วนของวงจร Ultrasonic นี้จะมีวงจรโมโนสเตเบิ้ล (Mono–Stable) รวมอยู่ด้วยอีกวงจรหนึ่ง ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรอุลตร้าโซนิคให้เป็นสัญญาณดิจิตอล คือ มีค่า 0 หรือ 1 โดยถ้าค่าอินพุตของวงจร Mono-Stable มีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้แล้ว ค่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรจะมีค่าเป็น 1 แต่ถ้าค่าอินพุตของวงจรมีค่าอยู่นอกช่วงที่กำหนด ค่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรจะมีค่าเป็น 0 หลังจากได้ค่าสัญญาณเอาต์พุตแล้ว สัญญาณที่ได้นี้ก็จะถูกส่งไปยังส่วนประมวลผลเพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป

แผนผังวงจรตรวจสอบเอาท์พุตของอุลตร้าโซนิก แสดงดังในรูปที่ 3.28

<u>วงจรเสียง</u> (Sound Circuit)

จะ ใช้ IC - ISD 1420 ซึ่งสามารถทำการบันทึกเสียงและ เล่นเสียงได้นาน 20 วินาที โดยใช้ทั้งสิ้น 4 ชุด จึงสามารถบันทึกและเล่นเสียงได้ 4 ข้อความ

ในการที่จะเล่นข้อความที่ได้บันทึกไว้แล้วจะมีปุ่มอยู่ 3 ปุ่ม คือ PLAYL , PLAYE และ REC ในการบันทึกและเล่นในแต่ละประโยค ก็จะมีขั้นตอนต่างกันไป คือ

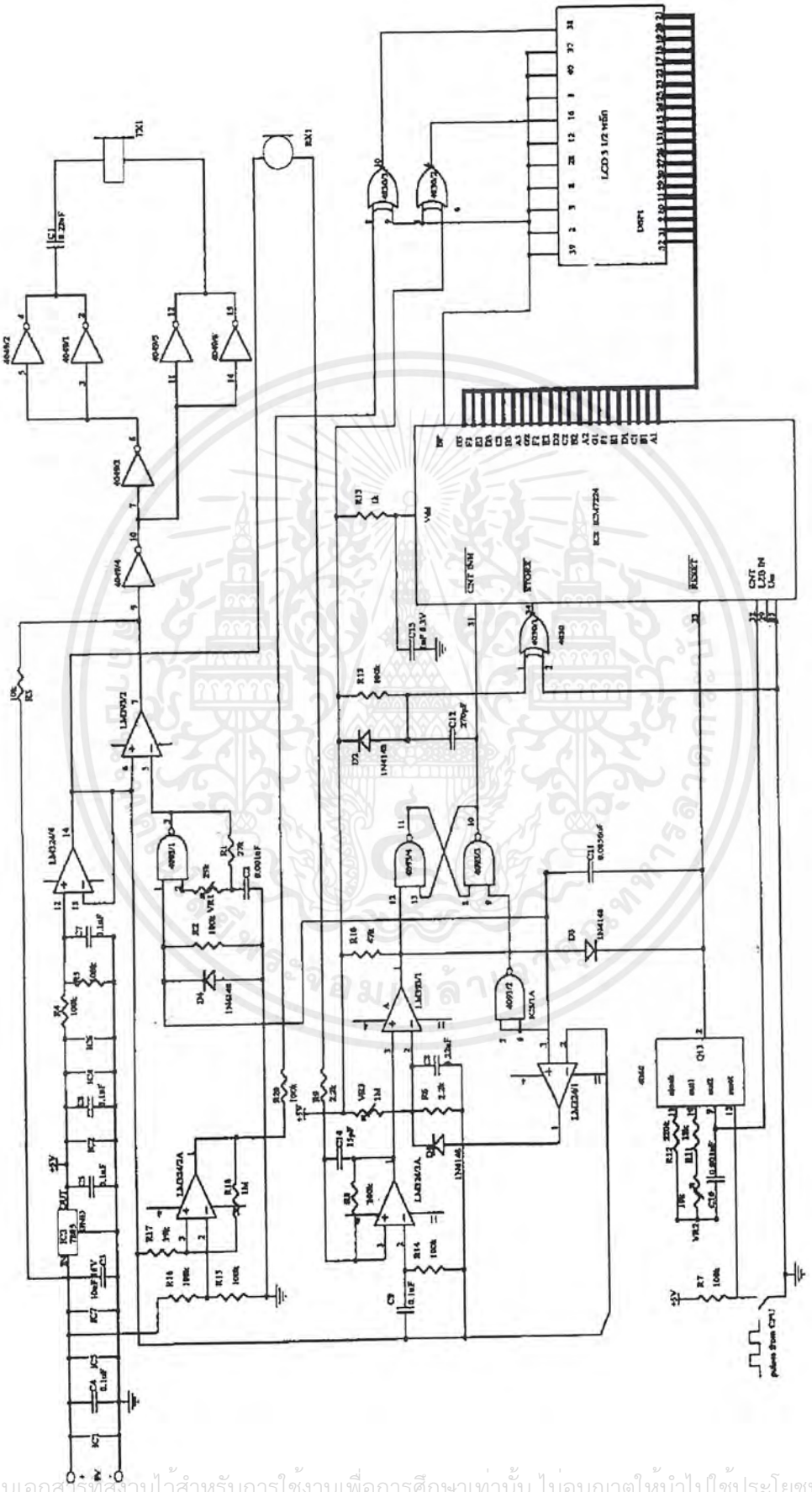
1. กดปุ่ม PLAYL , PLAYE , REC พร้อมกัน
2. กดปุ่ม PLAYL , REC พร้อมกัน
3. กดปุ่ม PLAYE , REC พร้อมกัน
4. กดปุ่ม REC อย่างเดียว

แต่ในการควบคุมเมื่อต่อเข้ากับตัวรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ ก็จะใช้การสั่งให้มีการเล่นเสียงโดยใช้สัญญาณจาก Controller แทน โดยใช้รูปแบบเช่นเดียวกับการกดปุ่ม

ส่วนในการบันทึกเสียง จะมีสวิตช์แบบเลือก (Selector Switch) ใช้ในการเลือกว่าจะบันทึกเสียงลงผ่าน IC ตัวใด

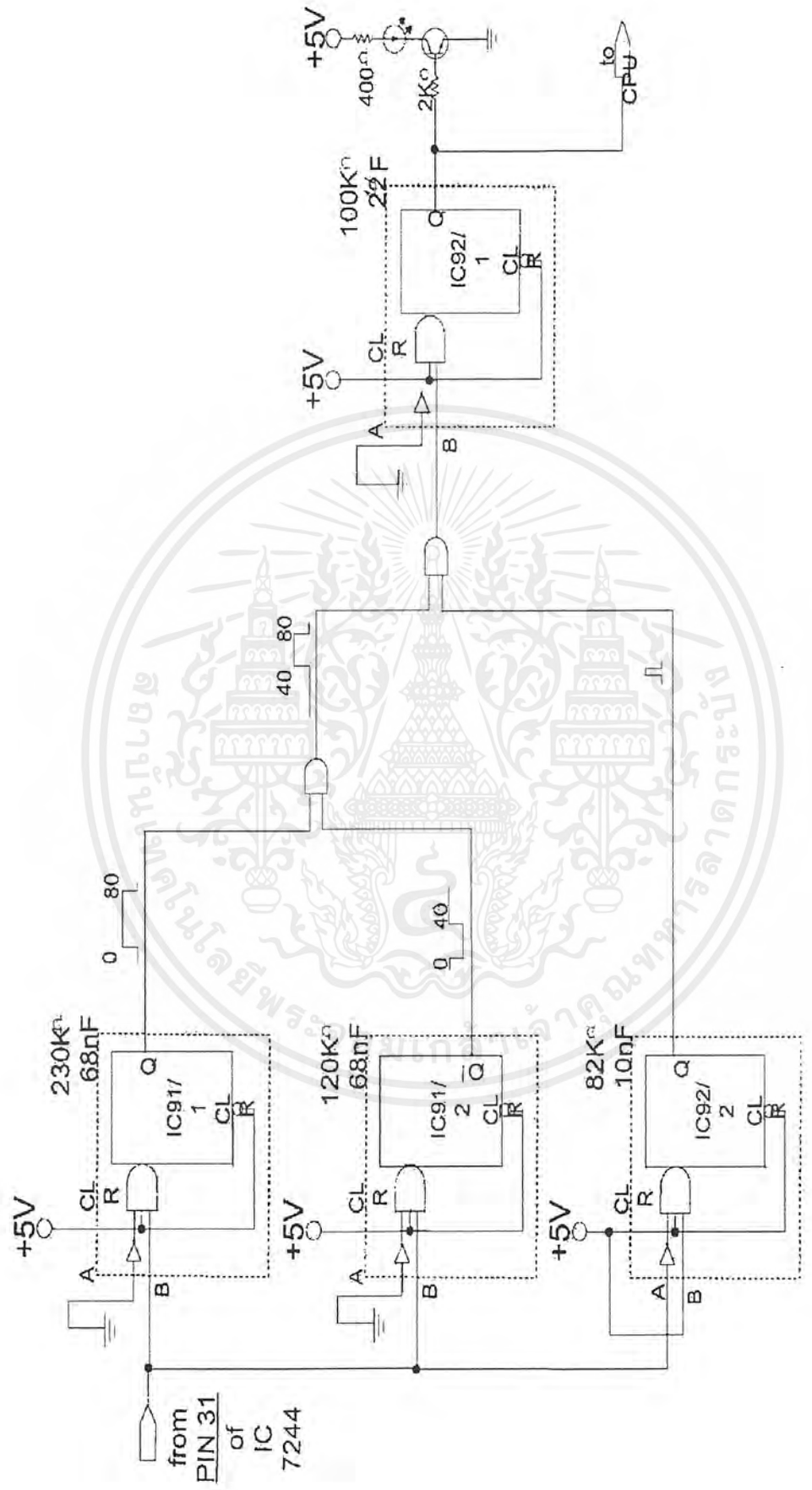
แผนผังวงจรเสียง แสดงดังในรูปที่ 3.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



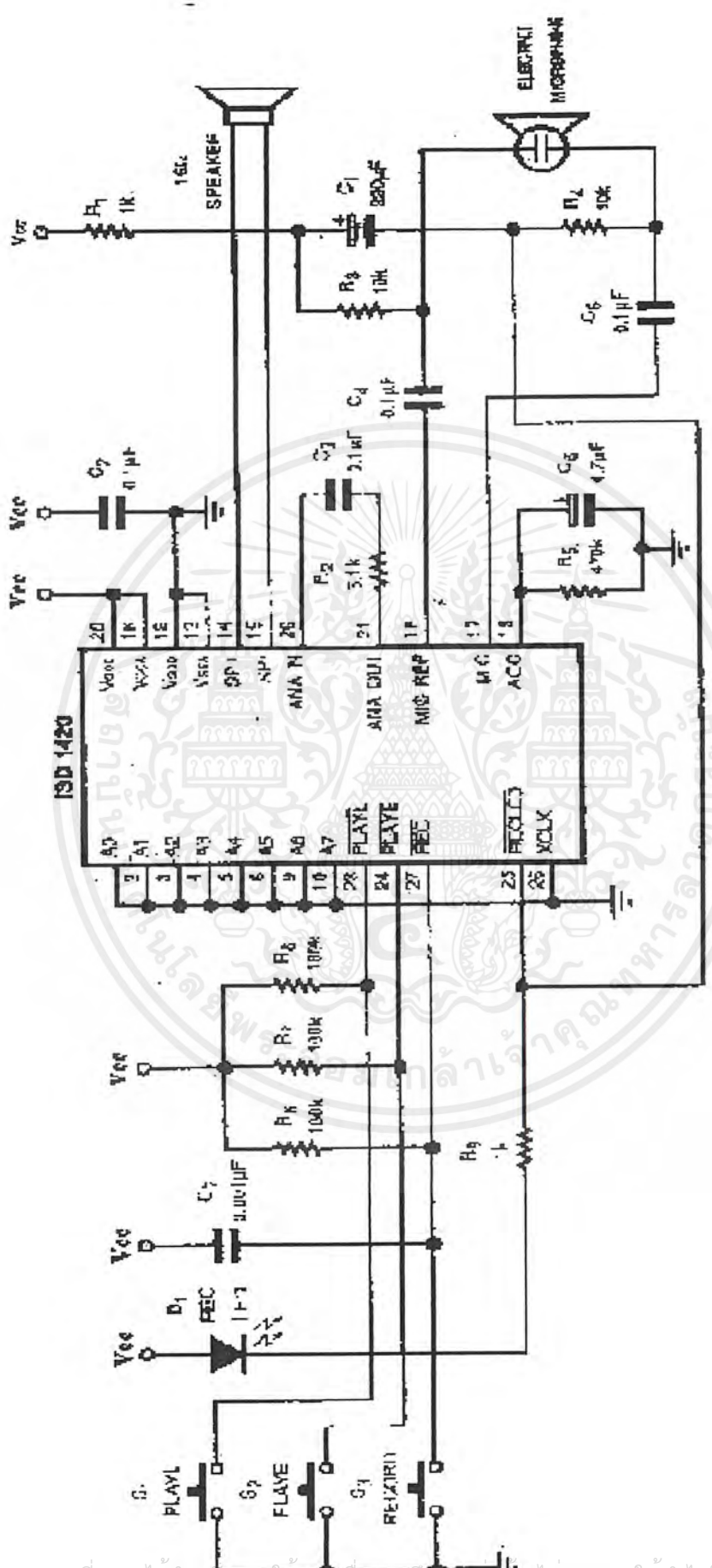
รูปที่ 3.27 วงจรตรวจจับสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 วงจรตรวจสอบเอาท์พุตของอุลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 แสดงวงจรเสียง (Sound)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบส่วน PROGRAM

โปรแกรมเป็นส่วนที่จะสั่งงานหุ่นยนต์ว่าจะมีการทำงานอย่างไร การเขียนโปรแกรมที่ดีจะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากการทำงานให้น้อยลงได้ และทำให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ การทำงานของโปรแกรม แยกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ตามชนิดของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงาน ได้แก่

1) ภาษาปาสคาล (Pascal) : ควบคุมการทำงานของส่วนแขนกล และชุดปล่อยส่วนผสม
2) ภาษาแอสเซมบลี (Assembly) : ควบคุมการทำงานของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ

3.4.1 โปรแกรมการทำงานของแขนกล และส่วนของการชงเครื่องดื่ม

โปรแกรมการทำงานจะใช้ภาษาปาสคาล (Pascal) ในการเขียนเนื่องจาก

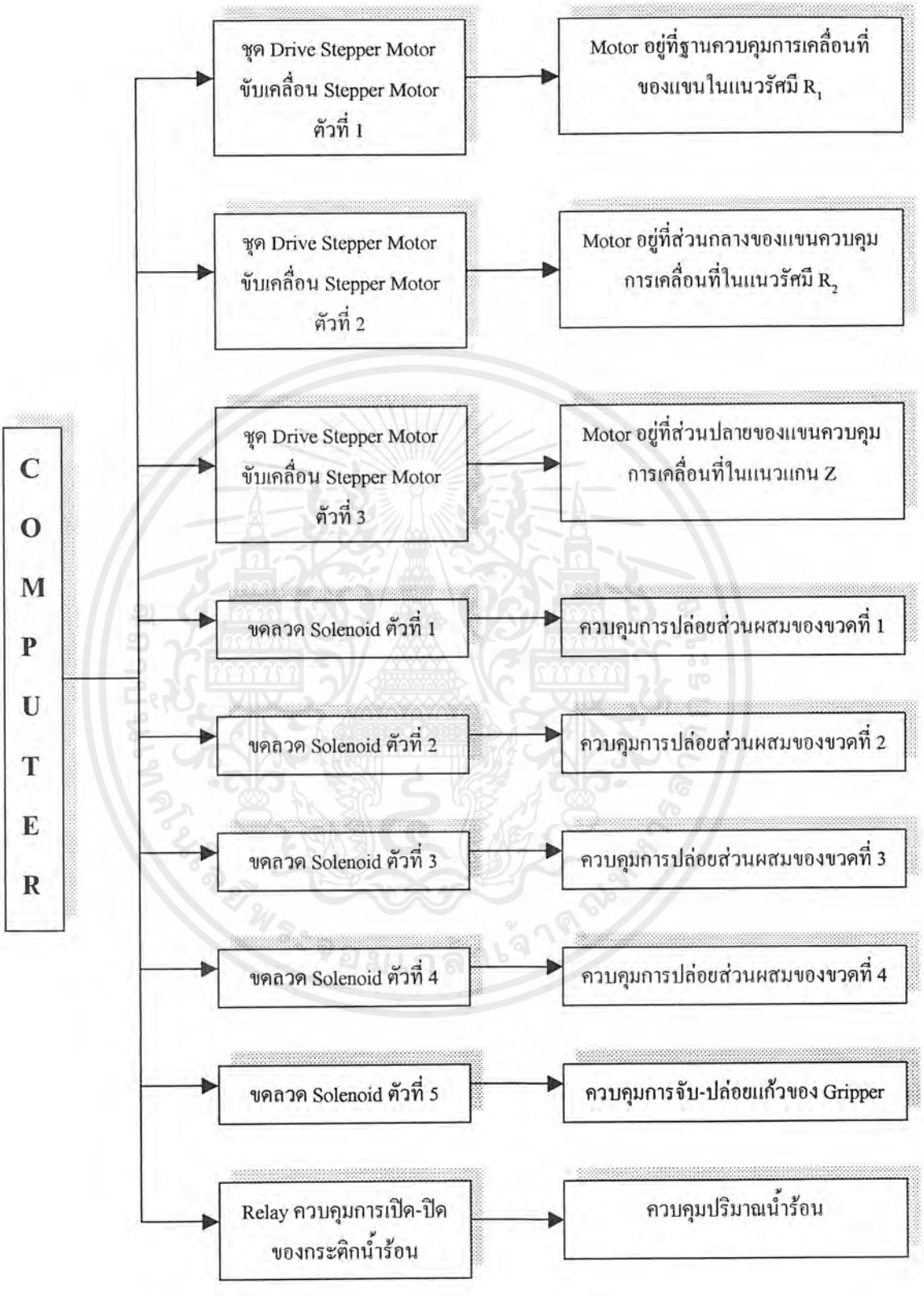
- จุดประสงค์ในการทำงานของแขนกลชุดนี้ ต้องการรูปแบบที่แน่นอน ไม่ต้องการปรับเปลี่ยนจากการรับค่าจากหน้าจอ จึงไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่สามารถสร้างหน้าจอได้เองที่มีประสิทธิภาพสูง
- เนื่องจากภาษา Pascal มีการเรียนการสอนในหลักสูตรแล้ว ทำให้ประหยัดเวลาในการศึกษาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งาน

โดยจะแสดง Block Diagram ลำดับการทำงาน ในรูปที่ 3.30

3.4.2 โปรแกรมการทำงานของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ

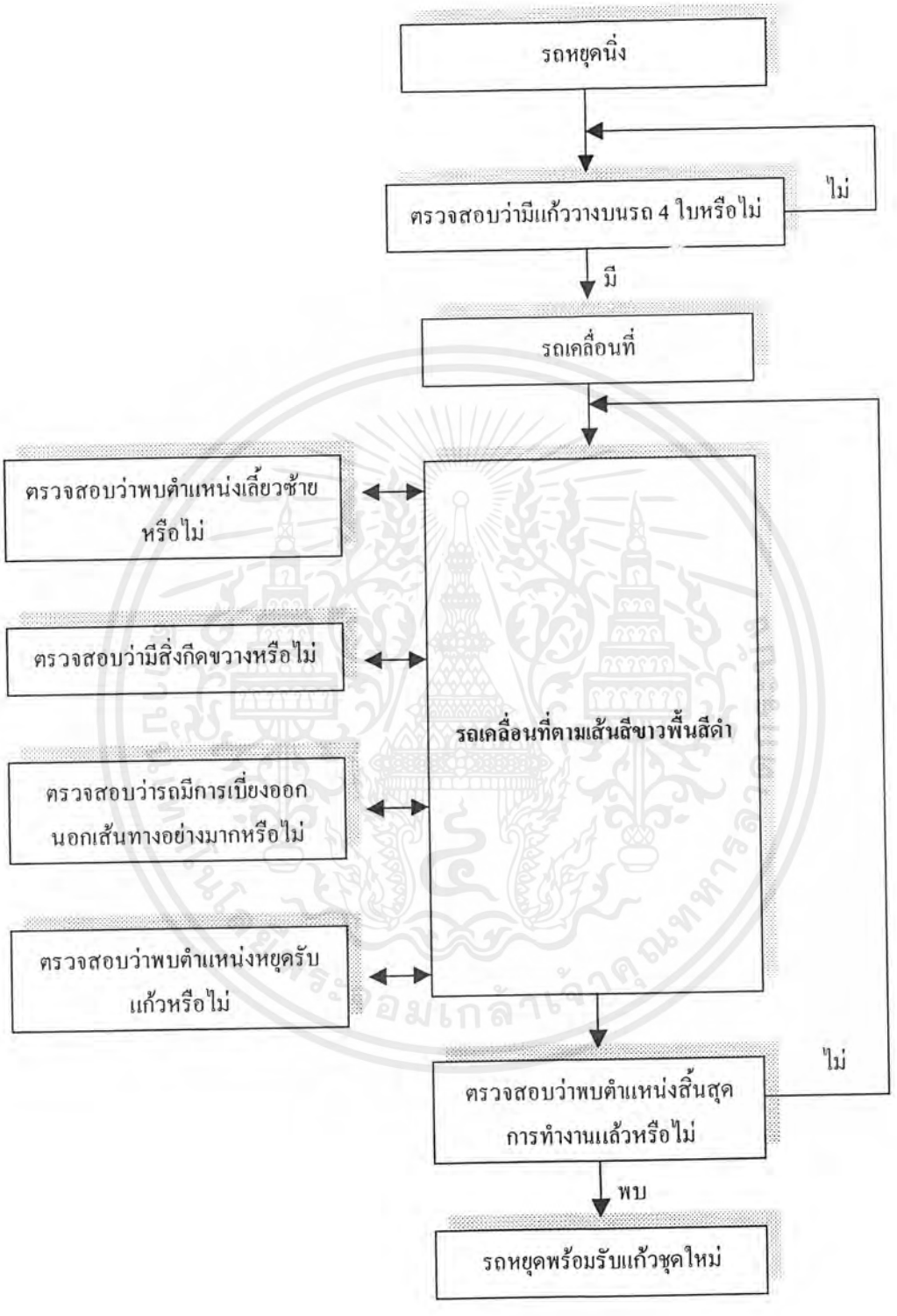
โปรแกรมการทำงานจะใช้ภาษาแอสเซมบลี (Assembly) ในการเขียนบันทึกลงใน Microcontroller MCS-51 โดยจะแสดง Block Diagram ลำดับการทำงาน ในรูปที่ 3.31 และ Flow Chart การทำงานในแต่ละขั้นตอน ในรูปที่ 3.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 Block Diagram แสดงโปรแกรมการทำงานของแขนกล และส่วนของการชงเครื่องดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



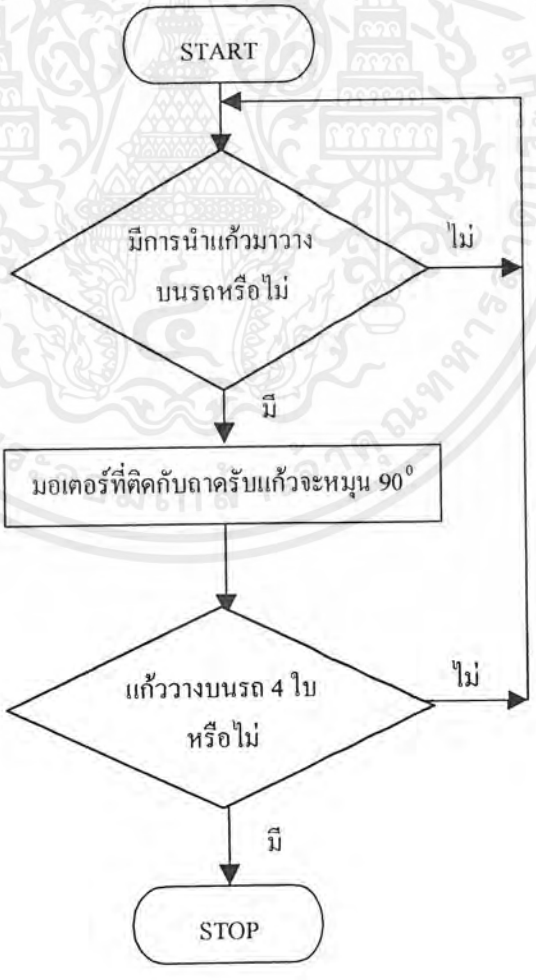
รูปที่ 3.31 Block Diagram แสดงโปรแกรมการทำงานของตัวรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow Chart แสดงลำดับการทำงานในแต่ละขั้นตอน

- รถหยุดนิ่ง

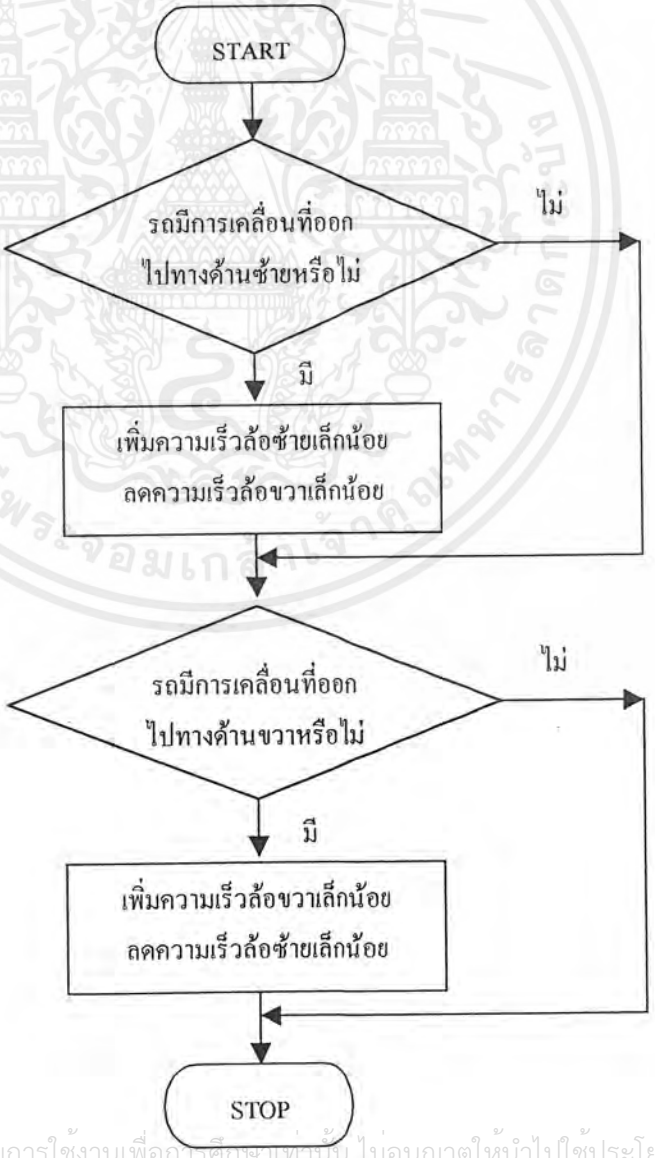
- ตรวจสอบว่ามีแก้ววางบนรถ 4 ใบหรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

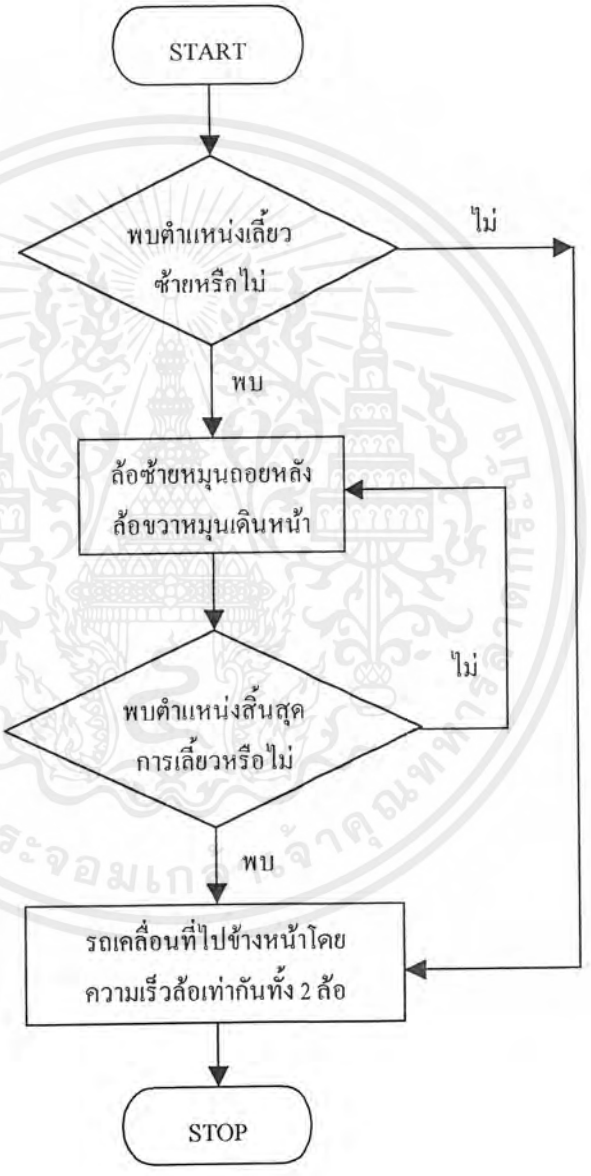
- รถเคลื่อนที่

- รถเคลื่อนที่ตามเส้นสีขาวพื้นสีดำ



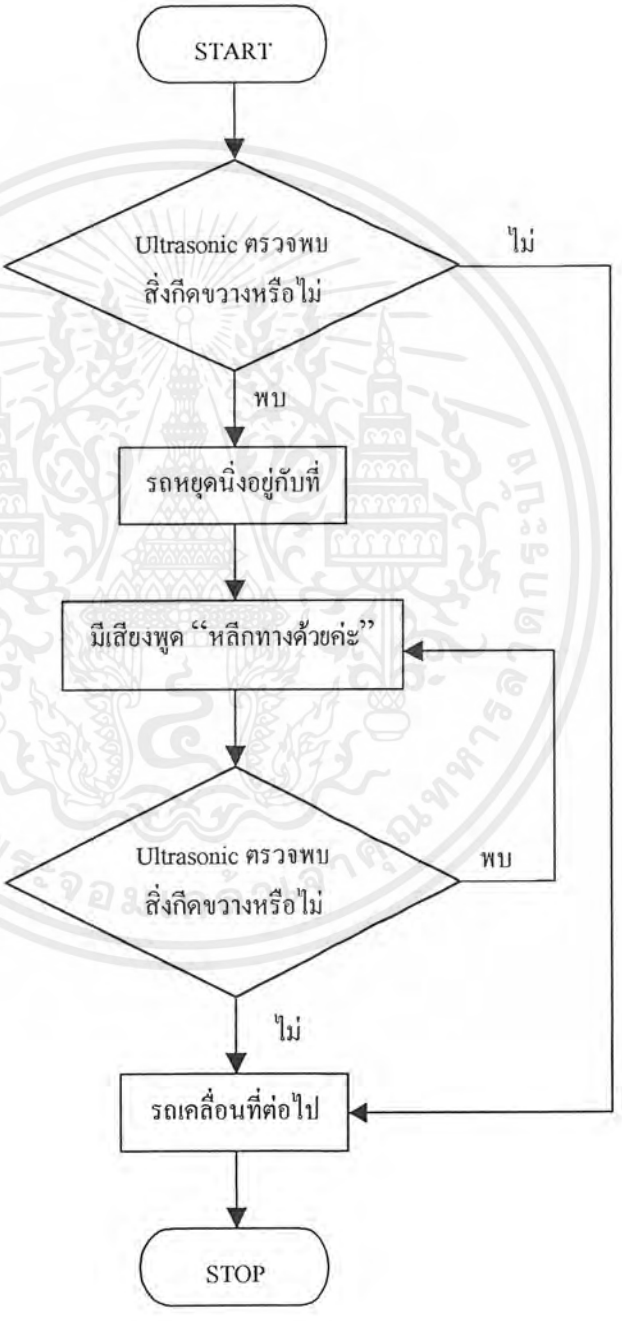
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตรวจสอบว่าพบตำแหน่งเลี้ยวซ้ายหรือไม่



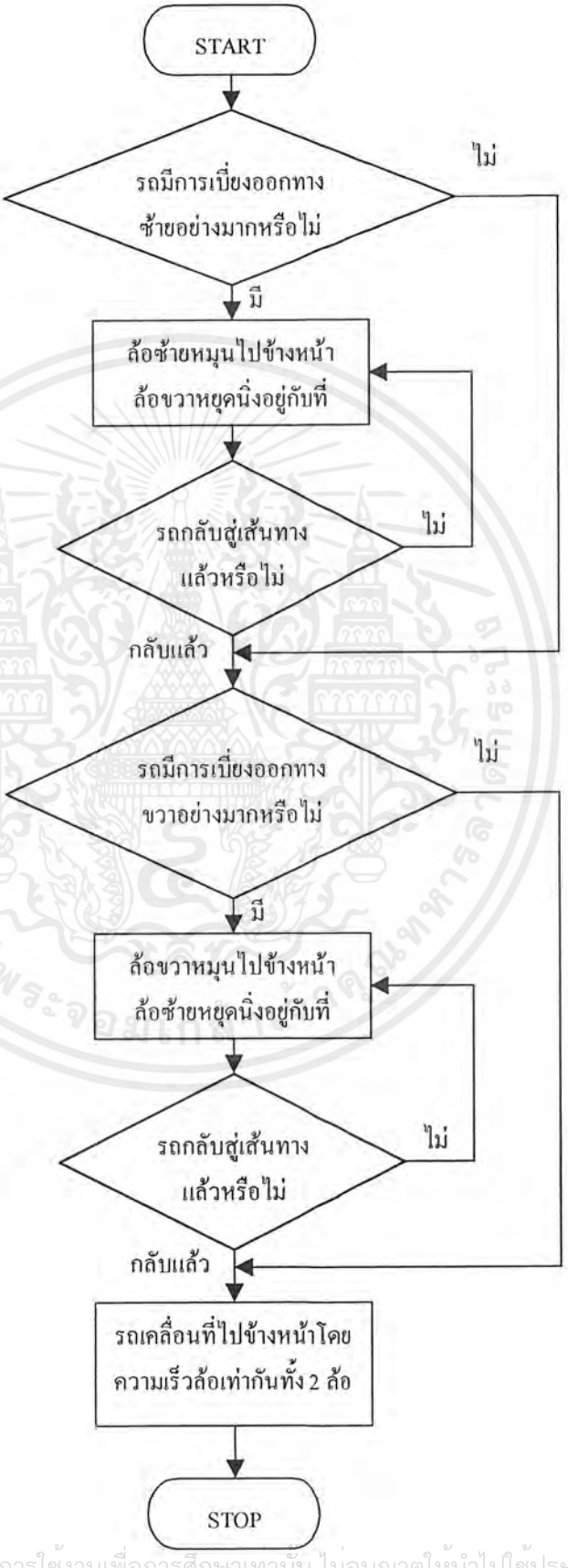
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตรวจสอบว่ามีสิ่งกีดขวางหรือไม่



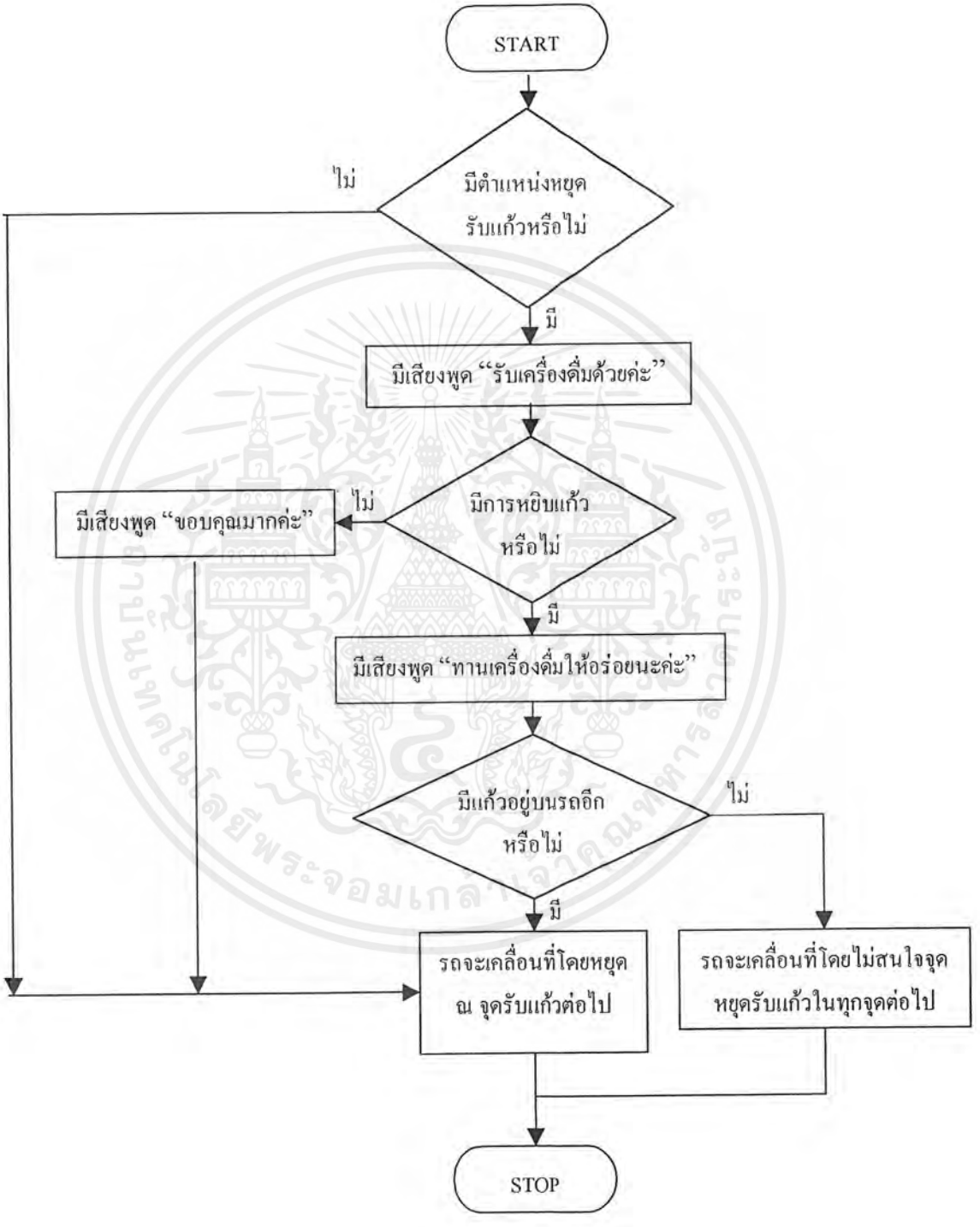
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตรวจสอบว่ารถมีการเบี่ยงออกนอกเส้นทางอย่างมากหรือไม่



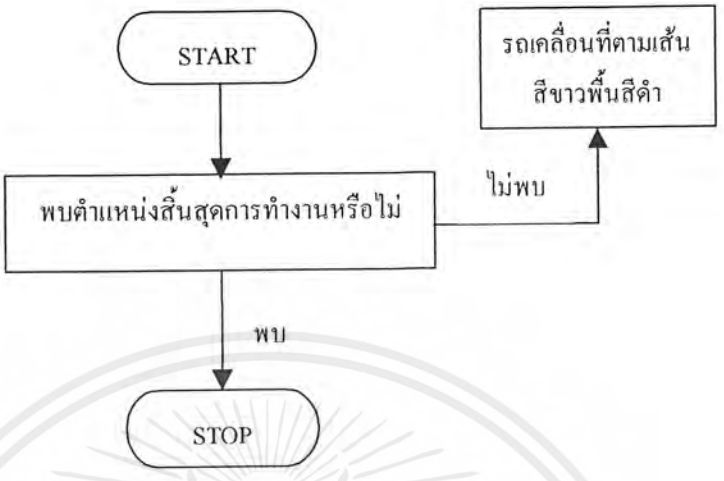
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตรวจสอบว่าพบตำแหน่งหยุดรับแก้วหรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตรวจสอบว่าพบตำแหน่งสิ้นสุดการทำงานแล้วหรือไม่



รูปที่ 3.32 Flow Chart แสดงลำดับการทำงานในแต่ละขั้นตอนของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
การทดลอง และ สรุปผล

4.1 ส่วนของแขนกล

4.1.1 การทดลอง

ทดลองให้แขนกลทำงานอย่างต่อเนื่อง 20 รอบ แล้วสังเกตดูความถูกต้องในการทำงานของแขนกล พร้อมบันทึกผล

4.1.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลจากการทดลองการทำงานของแขนกล

ครั้งที่	ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น				
	ตำแหน่งหยิบแก้วที่คลาดเคลื่อน	ไม่หยิบแก้ว	ตำแหน่งรับเครื่องดื่มคลาดเคลื่อน	ตำแหน่งรับน้ำร้อนคลาดเคลื่อน	ตำแหน่งวางแก้วบนรถคลาดเคลื่อน
1					
2					X
3					
4					
5		X			
6					
7					
8					
9					
10					
11		X			X
12	X	X			X
13					
14					X
15					
16					
17		X			X
18		X			X
19					
20					X

หมายเหตุ * ช่องที่ใส่ X หมายถึง มีความผิดพลาดในการทดลองรอบนั้นๆ เกิดขึ้น
* ช่องที่ว่าง หมายถึง ไม่พบความผิดพลาดชนิดนั้นๆ เกิดขึ้นในการทดลองรอบนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ

4.2.1 การทดลอง

โดยการให้รถเคลื่อนที่ติดต่อกัน 20 รอบ ด้วยการจ่ายแบตเตอรี่ 12 โวลต์ บนพื้นสนามที่ได้ออกแบบไว้มีขนาดในรูปที่ 4.1 และกำหนดตำแหน่งที่รถจะต้องหยุด พร้อมกับจำลองให้มีสถานการณ์ ดังต่อไปนี้

ตำแหน่งที่ 1 มีการรับแก้ว 1 แก้ว ตรวจดูการหยุดของรถ และเสียงพูดจากตัวรถ

ตำแหน่งที่ 2 ไม่มีการรับแก้ว ตรวจดูการหยุดของรถ และเสียงพูดจากตัวรถ

ตำแหน่งที่ 3 มีการรับแก้ว 3 แก้ว ตรวจดูการหยุดของรถ และเสียงพูดจากตัวรถ

ตำแหน่งที่ 4 ตรวจดูว่าที่รถ ต้องไม่มีการหยุดเพื่อส่งแก้วแล้ว

ตำแหน่งที่ มีสิ่งกีดขวางรถ ให้ตรวจดูการหยุดของรถ และเสียงพูดจากตัวรถ

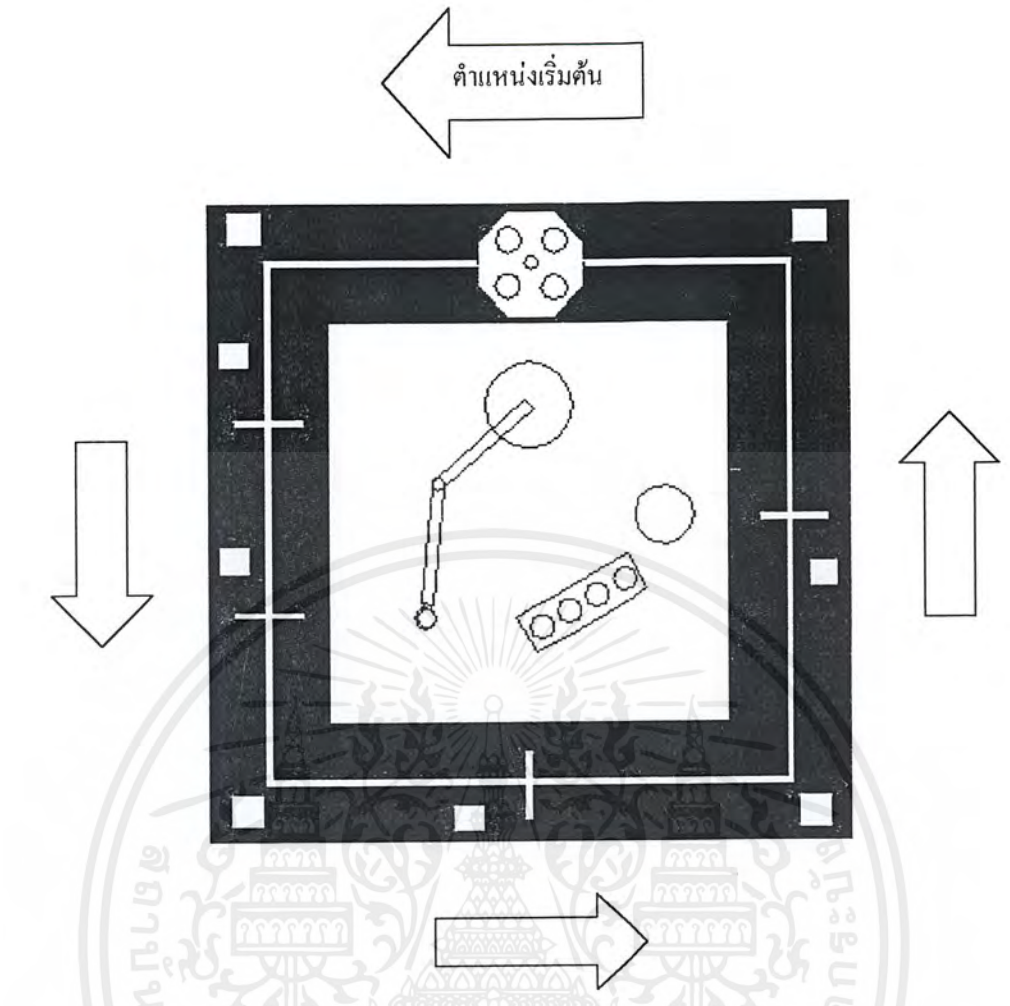
ตำแหน่งเริ่มต้น และสิ้นสุด ให้ตรวจสอบว่ามีการหยุดรอรับแก้วชุดใหม่หรือไม่

4.2.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ผลจากการทดลองการทำงานของรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ

รอบที่	ตำแหน่งที่สังเกตการทำงาน					
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	มีสิ่งกีดขวาง	เริ่มต้น-สิ้นสุด
1						
2						
3						
4						
5						
6					X	
7						
8		X				
9						X
10						
11						
12					X	
13						
14	X					
15						
16						
17						
18						
19					X	
20						X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ

แสดงตำแหน่งที่รถจะหยุดเพื่อเสิร์พเครื่องดื่ม

รูปที่ 4.1 พื้นที่ปฏิบัติการและเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถ พื้นที่ปฏิบัติการนี้ ประกอบด้วย

- พื้นที่รวมรอบนอก 300 X 300 ซม.
- พื้นที่สีดำ หนา 66 X 66 ซม. เป็นพื้นให้แสงสีขาวสะท้อนได้ดี
- เส้นสีขาว หนา 3 ซม. เป็นเส้นสีนำให้รถเคลื่อนที่ตามเส้น
- โต๊ะปฏิบัติการของแขนกล ขนาด 120 X 120 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สรุปผลการทดลองของโครงงาน

จากการทดลองเดินระบบอย่างต่อเนื่องรวม 20 รอบการทำงาน เพื่อทำการเก็บข้อมูลความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างเดินระบบ รวมทั้งสามารถแสดงให้เห็นถึงผลของความร้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบ เพราะมีระยะที่เวลาเพียงพอในการเดินระบบ จากข้อมูลที่บันทึกไว้แสดงให้เห็นว่า

- การผิดพลาดที่เนื่องจากตำแหน่งวางแก้วคลาดเคลื่อนจะเกิดขึ้นน้อยครั้ง
- การผิดพลาดเนื่องจากแขนกลไม่หยิบแก้วจะเกิดขึ้นเป็นระยะๆและจะมีความถี่มากขึ้นเมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลามากขึ้น
- การผิดพลาดเนื่องจากตำแหน่งรับเครื่องดื่มคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นน้อยครั้งโดยมากมักเป็นผลมาจากการสะสมค่าความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนต่างๆไว้
- การผิดพลาดเนื่องจากตำแหน่งรับน้ำร้อนคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นน้อยครั้งซึ่งเป็นผลมาจากการสะสมของค่าความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนต่างๆ
- การผิดพลาดเนื่องจากตำแหน่งวางแก้วคลาดเคลื่อนเกิดบ่อยครั้งเนื่องจากการเข้าจอดที่ตำแหน่งรับเครื่องดื่มของรถเคลื่อนที่ไม่มีการติดต่อเพื่อบอกตำแหน่งกับแขนกล (Interface) ดังนั้นแขนกลจึงไม่สามารถรู้ตำแหน่งเข้าจอดที่แน่นอนของรถเคลื่อนที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลของโครงงาน

5.1 สรุปผลที่ได้จากโครงงาน

การประยุกต์ใช้งานของหุ่นยนต์ ในการชงเครื่องดื่มพร้อมเสิร์ฟตามตำแหน่งที่กำหนดไว้อย่างอัตโนมัติ โดยมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่

- แขนกล ซึ่งทำหน้าที่รับส่วนผสมทำงานด้วยแขนกลแบบ SCARA เคลื่อนที่ได้ 3 แกน 3 มิติ การทำงานของแขนกลสามารถหยิบจับถ้วยเครื่องดื่ม และเคลื่อนที่ไปยังจุดต่างๆ ในพื้นที่การทำงานได้ โดยการควบคุมทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- ชุดปล่อยส่วนผสมอัตโนมัติ ที่สามารถปล่อยเครื่องดื่มที่เป็นผงได้ตามส่วนผสมที่ต้องการ ตามการโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ และควบคุมการเปิด-ปิดด้วย Solenoid Switch
- รถเคลื่อนที่อัตโนมัติ ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ตามเส้นทางและหยุดตามจุดที่กำหนดได้ โดยใช้ Microprocessor ควบคุมการทำงาน

ดังนั้น ผลที่ได้ของโครงงาน คือ แบบจำลองระบบอัตโนมัติของหุ่นยนต์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านบริการ

5.2 การบรรลุจุดประสงค์จากการทำโครงงาน

- ได้ศึกษาและเรียนรู้ระบบการทำงานของแขนกล และตัวรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ (AGVs)
- ได้ทำการออกแบบและทำการประกอบแขนกล ตัวรถเคลื่อนที่และชุดปล่อยส่วนผสมได้ตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ได้
- หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ได้อย่างอัตโนมัติ และนำมาประยุกต์ใช้กับงานบริการได้ตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ได้

5.3 ปัญหาที่พบระหว่างการปฏิบัติงาน

- เนื่องจากผู้ทำขาดประสบการณ์ในการทำงาน ทำให้การทำงานค่อนข้างล่าช้า และมีปริมาณของเสียมากในช่วงแรก แต่ก็ได้มีการพัฒนาการทำงานได้ดีขึ้นในภายหลัง
- การเคลื่อนที่แต่ละแกนของแขนกลค่อนข้างช้าเนื่องจากข้อจำกัดของมอเตอร์ เพราะถ้าใช้สเปกของมอเตอร์สูง ก็จะได้ความเร็วมาก แต่ราคาค่อนข้างสูงแพง ซึ่งเป็นข้อจำกัดหนึ่งด้านงบประมาณ
- การทำงานของแขนกลและตัวรถเคลื่อนที่ เมื่อมีการใช้งานติดต่อกันนานจนเกิดความร้อนสูงที่ตัวอุปกรณ์และวงจร จะทำให้การทำงานผิดพลาดได้
  - แนวทางแก้ไข : อาจทำการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์
- แรงดันในแบตเตอรี่ของตัวรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ เมื่อลดลงประมาณ 2 โวลต์ เช่น เต็ม 13.4 โวลต์ แล้วเหลือ 11.4 โวลต์ ก็จะทำให้การทำงานผิดพลาด
  - แนวทางแก้ไข : อาจติดตั้งเครื่องเตือนเมื่อแรงดันในแบตเตอรี่ลดลงถึงที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 แนวทางในการพัฒนาและปรับปรุง

ชุดงานที่สำเร็จอยู่ในปัจจุบันเป็นงานที่สำเร็จในระดับหนึ่ง แต่ทางทีมงานก็ได้มีแนวคิดที่จะทำการพัฒนาเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์แบบมากขึ้น โดยแนวคิดที่ได้มีการคิดไว้ได้แก่

- ปรับเปลี่ยนสเต็ปเปอร์มอเตอร์ให้มีความเร็วสูงขึ้น เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมแขนกลในปัจจุบันมีความเร็วค่อนข้างช้า จึงทำให้เวลาในการเดินระบบแต่ละรอบค่อนข้างมาก แต่การแก้ไขตรงส่วนนี้อาจต้องใช้งบประมาณค่อนข้างมากเนื่องจาก สเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่มีความเร็วมากและกำลังสูง จะมีราคาที่ค่อนข้างสูงด้วย
- เพิ่มระบบการรับ – ส่งข้อมูล (Interface) ระหว่างตัวรถเคลื่อนที่อัตโนมัติกับตัวแขนกล เสมือนกับการสร้างความสัมพันธ์ให้ระบบย่อยทั้งสองเพื่อให้แต่ละระบบทำงานควบคู่กันไปได้อย่างราบรื่น รวมทั้งเป็นการลดความผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำให้แก่ระบบ
- โปรแกรมที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของระบบในขณะนี้เป็นโปรแกรมภาษาปาสคาล แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนมาใช้โปรแกรมที่สามารถทำการควบคุมและสั่งงานได้บน Window เช่น ภาษา Delphi หรือ ภาษา Visual Basic ก็จะทำให้ในการควบคุมระบบทำได้ง่าย และเห็นเป็นรูปธรรมมากขึ้นเพราะสามารถสั่งและรับค่าทางหน้าจอได้สะดวก เป็นการง่ายที่จะให้ผู้ควบคุมระบบรายอื่นที่ไม่ได้เป็นผู้เขียนโปรแกรมสามารถมาควบคุมระบบได้ และยังเป็นการง่ายหากต้องมีการแก้ไขค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมภาษาปาสคาลควบคุมแขนกล

```
program RobotArm;
uses crt;
const
   portA=$300;
   portB=$301;
   portC=$302;
var
   s,data,i,j,u,v,drink,a,b,mi,co,cr,su:integer;
   r:char;
   ncoco,ncoffee:integer;

{-----------------------------------------------}
procedure setup;
var
   limitZup,limitZdown,limitR2,limitR1:byte;
   begin

    repeat              {Z axis}
    port[portA]:=$0c;
    delay(4);
    port[portA]:=$0;
    delay(4);
    limitZup:=port[portC];
    limitZup:=limitZup and 32;
    until limitZup=0;
{-----------------------------------------------}
    repeat              {R2 axis}
    port[portA]:=$02;
    delay(5);
    port[portA]:=$0;
    delay(5);
    limitR2:=port[portC];
    limitR2:=limitR2 and 4;
    until limitR2=0;
{-----------------------------------------------}
    repeat              {R1 axis}
    port[portA]:=$30;
    delay(5);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    port[portA]:=$0;
    delay(5);
    limitR1:=port[portC];
    limitR1:=limitR1 and 1;
    until limitR1=$0;
{-------------------------------------------------}
    for i := 1 to 1050 do          {expandR2 axis}
      begin
        port[portA]:=$03;
        delay(5);
        port[portA]:=$0;
        delay(5);
      end;
end;
{--------------end setup-------------------------}
procedure Zup;
var limitZup:byte;
begin
    repeat
    port[portA]:=$0c;
    delay(7);
    port[portA]:=$0;
    delay(7);
    limitZup:=port[portC];
    limitZup:=limitZup and 32;
    until limitZup=$0;
end;
{-----------------------------------------------}
procedure Zdown;
var  limitZdown:byte;
begin
    repeat
    port[portA]:=$08;
    delay(5);
    port[portA]:=$0;
    delay(5);
    limitZdown:=port[portC];
    limitZdown:=limitZdown and 16;
    until limitZdown=$0;
end;
{-------------------------------------------------}
procedure R1right;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
var  limitR1right:byte;
begin
    repeat
    port[portA]:=$30;
    delay(5);
    port[portA]:=$0;
    delay(5);
    limitR1right:=port[portC];
    limitR1right:=limitR1right and 1;
    until limitR1right=$0;
end;
{-------------------------------------------------}
procedure R1left;
var  limitR1left:byte;
begin
    repeat
    port[portA]:=$20;
    delay(5);
    port[portA]:=$0;
    delay(5);
    limitR1left:=port[portC];
    limitR1left:=limitR1left and 2;
    until limitR1left=0;
end;
{-------------------------------------------------}
procedure R2right;
var  limitR2right:byte;
begin
    repeat
    port[portA]:=$03;
    delay(5);
    port[portA]:=0;
    delay(5);
    limitR2right:=port[portC];
    limitR2right:=limitR2right and  8  ;
    until limitR2right=$0;
end;
{-------------------------------------------}
procedure R2left;
var  limitR2left:byte;
begin
    repeat
    port[portA]:=$02;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    delay(5);
    port[portA]:=0;
    delay(5);
    limitR2left:=port[portC];
    limitR2left:=limitR2left and  4  ;
    until limitR2left=0;
end;
{----------------------------------------}
procedure selectZd(a:integer);
var i:integer;
begin
   for i:= 1 to a do
   begin
   port[portA]:=$08;
   delay(5);
   port[portA]:=$0;
   delay(5);
   end;
end;
{----------------------------------------}
procedure selectZu(a:integer);
var i:integer;
begin
   for i:= 1 to a do
   begin
   port[portA]:=$0c;
   delay(5);
   port[portA]:=$0;
   delay(5);
   end;
end;
{----------------------------------------}
procedure nr1r(a:integer);
var i:integer;
begin
    for i:= 1 to a do
    begin
    port[portA]:=$30;
    delay(4);
    port[portA]:=$0;
    delay(4);
    end;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{-----------------------------------------}
procedure nr2r(a:integer);
var i:integer;
begin
    for i:=1 to a do
    begin
    port[portA]:=$03;
    delay(4);
    port[portA]:=0;
    delay(4);
    end;
end;
{-----------------------------------------}
procedure r1r(delay_time:integer);
begin
    port[portA]:=$30;
    delay(delay_time);
    port[portA]:=$0;
    delay(delay_time);
end;
{-----------------------------------------}
procedure r2r(delay_time:integer);
begin
    port[portA]:=$03;
    delay(delay_time);
    port[portA]:=0;
    delay(delay_time);
end;
{-----------------------------------------}
procedure zu(delay_time:integer);
var limitZup:byte;
begin
    port[portA]:=$0c;
    delay(delay_time);
    port[portA]:=$0;
    delay(delay_time);
    limitZup:=port[portC];
    limitZup:=limitZup and 32;
    if limitZup=$0 then exit;
end;
{-------------------------------------------------}
procedure SmoothR(StepNum:integer;Motor:integer);
var i,MidP,delay_time: integer;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
    MidP := abs(StepNum div 2);
    for i := 0 to StepNum do
    begin
        if i < MidP then
        begin
            delay_time := 25-i;
            if delay_time < 4 then delay_time := 4;
            case Motor of
            1: r1r(delay_time);
            2: r2r(delay_time);
            3: zu(delay_time);
            end;
        end
        else
        begin
            delay_time := 4+i;
            if delay_time > 25 then delay_time := 25;
            case Motor of
            1: r1r(delay_time);
            2: r2r(delay_time);
            3: zu(delay_time);
            end;
        end;
    end;
end;
{----------------------------------------}
procedure nr1l(a:integer);
var i:integer;
begin
    for i:= 1 to a do
    begin
    port[portA]:=$20;
    delay(4);
    port[portA]:=$0;
    delay(4);
    end;
end;
{----------------------------------------}
procedure nr2l(a:integer);
var i:integer;
begin
    for i:= 1 to a do
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    begin
    port[portA]:=02;
    delay(4);
    port[portA]:=0;
    delay(4);
    end;
end;
{-------------------------------------------}
procedure r1l(delay_time:integer);
begin
    port[portA]:=$20;
    delay(delay_time);
    port[portA]:=$0;
    delay(delay_time);
end;
{-------------------------------------------}
procedure r2l(delay_time:integer);
begin
    port[portA]:=02;
    delay(delay_time);
    port[portA]:=0;
    delay(delay_time);
end;
{-------------------------------------------}
procedure zd(delay_time:integer);
var     limitZdown:byte;
begin
    port[portA]:=$08;
    delay(delay_time);
    port[portA]:=$0;
    delay(delay_time);
    limitZdown:=port[portC];
    limitZdown:=limitZdown and 16;
    if limitZdown=$0 then exit;
end;
{-----------------------------------------}
procedure SmoothL(StepNum:integer;Motor:integer);
var i,MidP,AbsN,delay_time: integer;
begin
   MidP := abs(StepNum div 2);
   for i := 0 to StepNum do
   begin
      if i < MidP then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        begin
            delay_time := 25-i;
            if delay_time < 4 then delay_time := 4;
            case Motor of
            1: r1l(delay_time);
            2: r2l(delay_time);
            3: zd(delay_time);
            end;
        end
        else
        begin
            delay_time := 4+i;
            if delay_time > 25 then delay_time := 25;
            case Motor of
            1: r1l(delay_time);
            2: r2l(delay_time);
            3: zd(delay_time);
            end;
        end;
    end;
end;

{-----------------------------------------------}
procedure Grip;
var pBin,pBout:byte;
   begin
   pBin:=port[portB];
   pBout:=pBin or $10;
   port[portB]:=pBout;
   end;
{-----------------------------------------------}
procedure UnGrip;
 var pBin,pBout:byte;
   begin
   pBin:=port[portB];
   pBout:=pBin and $EF;
   port[portB]:=pBout;
   end;
{-----------------------------------------------}
procedure EmptyGlass;
begin
   setup;
   selectzd(2200);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   grip;
   zup;
end;
{-------------------------------------------}
procedure so1(d1:integer);
var     i:integer;
begin
    for i:=1 to d1 do
    begin
      port[portb]:=$11;
      delay(1200);
      port[portb]:=$10;
      delay(1200);
    end;
end;
{-------------------------------------------}
procedure so2(d2:integer);
var     i:integer;
begin
    for i:=1 to d2 do
    begin
      port[portb]:=$12;
      delay(1200);
      port[portb]:=$10;
      delay(1200);
    end;
end;
{-------------------------------------------}
procedure so3(d3:integer);
var     i:integer;
begin
    for i:=1 to d3 do
    begin
      port[portb]:=$14;
      delay(1200);
      port[portb]:=$10;
      delay(1200);
    end;
end;
{-------------------------------------------}
procedure so4(d4:integer);
var     i:integer;
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    for i:=1 to d4 do
    begin
      port[portb]:=$18;
      delay(2000);
      port[portb]:=$10;
      delay(2000);
    end;
end;
{-----------------------------------------------}
procedure so5;
begin
    port[portb]:=$30;
    delay(2200);
    port[portb]:=$10;
end;
{-----------------------------------------------}
procedure coffee(su:integer);
var i:integer;
begin
      emptyglass;
      nr1l(235);
      so1(su);
      nr2l(350);
      nr1l(150);
      so5;
      delay(500);
      smoothl(820,1);
      smoothr(110,2);
      selectzd(580);
      ungrip;
end;
{-------------start main program-----------------}
begin
    clrscr;
    port[$303]:=$89;
    coffee(2);
    setup;
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีควบคุมรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ

```
top:      org    000h
          mov    p0,#00000111b
          mov    p1,#00011111b
          mov    p2,#11111111b
          mov    p3,#0b
          mov    p3,#0b
start:    jnb    p1.1,turn
          jmp    start
turn:     call   delay1
          setb   p0.3
          call   delay1
          call   delay1
          clr    p0.3
          call   delay3
          jb     p1.4,start
          jb     p1.3,start
          jb     p1.2,start
four:     jb     p1.1,four
;-------------------------------------------
begin:    mov    20,#0b
ready:    mov    p3,#0b
          jb     p2.4,ready
          mov    p3,#10001000b
          call   delay02
          call   delay02
          call   delay02
run:      call   left
          call   checkl
          call   checkr
          call   checkll
          call   checkrr
          call   sonic
          call   glass
          call   new
          mov    a,p2
          anl    a,#00001111b
          rl     a
          mov    dptr,#checksensor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        jmp   @a+dptr

checksensor:
        ajmp  case1
        ajmp  case2
        ajmp  case3
        ajmp  case4
        ajmp  case5
        ajmp  case6
        ajmp  case7
        ajmp  case8
        ajmp  case9
        ajmp  case10
        ajmp  case11
        ajmp  case12
        ajmp  case13
        ajmp  case14
        ajmp  case15
        ajmp  case16

case1:  jmp   speed4
case2:  jmp   speed3
case3:  jmp   speed4
case4:  jmp   speed3
case5:  jmp   speed4
case6:  jmp   speed3
case7:  jmp   speed4
case8:  jmp   speed3
case9:  jmp   speed2
case10: jmp   speed4
case11: jmp   speed2
case12: jmp   speed3
case13: jmp   speed2
case14: jmp   speed2
case15: jmp   speed2
case16: jmp   speed4
speed1: mov   p3,#10001000b
        jmp   run
speed2: mov   p3,#10010111b
        jmp   run
speed3: mov   p3,#01111001b
        jmp   run
speed4: jmp   run
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-----------------------------------------
glass:   jb    p2.0,cup1
         jb    p2.3,cup1
         jb    p2.4,cup1
         jb    p2.7,cup1
         jnb   p1.1,cup
         jnb   p1.2,cup
         jnb   p1.3,cup
         jnb   p1.4,cup
         ret
cup:     mov    p3,#0b
         clr   p0.2
         clr   p0.0
         call   delay5
         setb   p0.0
         setb   p0.2
         mov    a,p1
         anl   a,#00011110b
         mov    b,a
         xrl   a,20
         jnz    sound1
         clr   p0.1
         clr   p0.0
         call   delay3
         setb   p0.0
         setb   p0.1
         mov    p3,#10011001b
         call   delay02
         call   delay02
cup1:    ret
sound1:  clr   p0.1
         clr   p0.2
         clr   p0.0
         call   delay3
         setb   p0.0
         setb   p0.1
         setb   p0.2
         mov    20,b
         mov    p3,#10001000b
         call   delay02
         call   delay02
         ret
;-----------------------------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
checkl:  call   sonic
         call   glass
         call   new
         jnb    p2.0,checkl1
         jnb    p2.3,checkl1
         jnb    p2.4,checkl1
         jnb    p2.7,checkl1
         jnb    p2.6,checkl1
         jb     p2.5,checkl1
         mov    p3,#0b
         call   delay002
checkl2: mov    p3,#00111001b
         call   sonic
         call   glass
         call   new
         jnb    p2.7,checkl4
         jb     p2.4,checkl2
         jnb    p2.7,checkl4
         jb     p2.0,checkl2
         mov    p3,#0b
checkl3: mov    p3,#10010011b
         call   sonic
         call   glass
         call   new
         jnb    p2.7,checkl4
         jnb    p2.0,checkl3
         call   delay002
         jnb    p2.0,checkl3
         mov    p3,#0b
         mov    p3,#10001000b
checkl1: ret
checkl4: mov    p3,#10001000b
         ljmp   run
;---------------------------------------------
checkr:  call   sonic
         call   glass
         call   new
         jnb    p2.0,checkr1
         jnb    p2.3,checkr1
         jnb    p2.4,checkr1
         jnb    p2.7,checkr1
         jnb    p2.5,checkr1
         jb     p2.6,checkr1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          mov   p3,#0b
          call  delay002
checkr2:  mov   p3,#10010011b
          call  sonic
          call  glass
          call  new
          jnb   p2.7,checkr4
          jb    p2.4,checkr2
          jnb   p2.7,checkr4
          jb    p2.3,checkr2
          mov   p3,#0b
checkr3:  mov   p3,#00111001b
          call  sonic
          call  glass
          call  new
          jnb   p2.7,checkr4
          jnb   p2.3,checkr3
          call  delay002
          jnb   p2.3,checkr3
          mov   p3,#0b
          mov   p3,#10001000b
checkr1:  ret
checkr4:  mov   p3,#10001000b
          ljmp  run
;-----------------------------------------
checkll:  call  sonic
          call  glass
          call  new
          jnb   p2.0,checkll1
          jnb   p2.3,checkll1
          jnb   p2.4,checkll1
          jnb   p2.5,checkll1
          jnb   p2.6,checkll1
          jnb   p2.7,checkll1
          jnb   p2.1,checkll1
          jb    p2.2,checkll1
          mov   p3,#0b
          call  delay002
checkll2: mov   p3,#00001001b
          call  sonic
          call  glass
          call  new
          jnb   p2.7,checkll4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            jb     p2.4,checkll2
            jnb    p2.7,checkll4
            jb     p2.0,checkll2
            mov    p3,#0b
checkll3:   mov    p3,#10010000b
            call   sonic
            call   glass
            call   new
            jnb    p2.7,checkll4
            jnb    p2.0,checkll3
            call   delay002
            jnb    p2.0,checkll3
            mov    p3,#0b
            mov    p3,#10001000b
checkll1:   ret
checkll4:   mov    p3,#10001000b
            ljmp   run
;---------------------------------------------
checkrr:    call   sonic
            call   glass
            call   new
            jnb    p2.0,checkrr1
            jnb    p2.3,checkrr1
            jnb    p2.4,checkrr1
            jnb    p2.5,checkrr1
            jnb    p2.6,checkrr1
            jnb    p2.7,checkrr1
            jnb    p2.2,checkrr1
            jb     p2.1,checkrr1
            mov    p3,#0b
            call   delay002
checkrr2:   mov    p3,#10010000b
            call   sonic
            call   glass
            call   new
            jnb    p2.7,checkrr4
            jb     p2.4,checkrr2
            jnb    p2.7,checkrr4
            jb     p2.3,checkrr2
            mov    p3,#0b
checkrr3:   mov    p3,#00001001b
            call   sonic
            call   glass
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            call   new
            jnb    p2.7,checkrr4
            jnb    p2.3,checkrr3
            call   delay002
            jnb    p2.3,checkrr3
            mov    p3,#0b
            mov    p3,#10001000b
checkrr1: ret
checkrr4: mov    p3,#10001000b
            ljmp   run
;-----------------------------------------
left:       jb     p2.7,left3
            jnb    p2.0,left3
            jnb    p2.3,left3
            jnb    p2.4,left3
            jnb    p2.1,left3
            jnb    p2.2,left3
left1:      mov    p3,#00000000b
            call   delay1
            setb   p0.4
left2:      mov    p3,#10001000b
            jb     p2.4,left2
            jb     p2.3,left2
            mov    r0,#0d
            djnz   r0,$
            jb     p2.4,left2
            jb     p2.3,left2
            mov    p3,#0b
            clr    p0.4
            jnb    p2.3,left4
            jb     p2.4,left4
            mov    p3,#10001000b
left3:      ret
left4:      mov    p3,#00011000b
            jnb    p2.3,left4
            jb     p2.4,left4
            mov    r0,#0d
            djnz   r0,$
            jnb    p2.3,left4
            jb     p2.4,left4
            mov    p3,#10001000b
            ret
;-----------------------------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
sonic:    jb     p1.5,sound
          ret
sound:    mov    p3,#0b
          clr    p0.0
          call   delay1
          setb   p0.0
          mov    p3,#10001000b
          ret
;--------------------------------------
new:      call   sonic
          jb     p2.0,new1
          jb     p2.1,new1
          jb     p2.2,new1
          jb     p2.3,new1
          jb     p2.4,new1
          jb     p2.5,new1
          jb     p2.6,new1
          jnb    p2.7,new1
          call   delay02
          mov    p3,#0b
          ljmp   top
new1:     ret

;--------------------------------------
delay1:   mov    r0,#12d
d1:       mov    r1,#0d
d2:       mov    r2,#0d
          djnz   r2,$
          djnz   r1,d2
          djnz   r0,d1
          ret
;---------------------------------------
delay3:   mov    r0,#36d
d5:       mov    r1,#0d
d6:       mov    r2,#0d
          djnz   r2,$
          djnz   r1,d6
          djnz   r0,d5
          ret
;---------------------------------------
delay5:   mov    r0,#60d
d3:       mov    r1,#0d
d4:       mov    r2,#0d
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        djnz   r2,$
        djnz   r1,d4
        djnz   r0,d3
        ret
;--------------------------------------
delay02: mov    r0,#2d
d7:      mov    r1,#0d
d8:      mov    r2,#0d
        djnz   r2,$
        djnz   r1,d8
        djnz   r0,d7
        ret
;--------------------------------------
delay002:mov    r0,#0d
d9:      mov    r1,#0d
        djnz   r1,$
        djnz   r0,d9
        ret
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1) Yoram Koren ; "ROBOTICS FOR ENGINEERING" , McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS (Industrial Engineering Series)
2) พนาฤทธิ์ เศรษฐกุล ; "การควบคุมแบบมอเตอร์ทางอุตสาหกรรม" , วารสารเทคนิค ฉบับที่ 52
3) โยธิน เปรมปราณีรัชต์ ; "ระบบเซอร์โวและอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์" , สจล. , 2533
4) รศ.สัมพันธ์ หาญชเล ; "เครื่องกลไฟฟ้า 1" , สจธ. , 2534
5) เธียรชัย บุญยะกุล ; "เทคนิคยานยนต์ เล่ม 3" , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) , 2531
6) พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์ ; "วงจรพัลส์ และสวิตชิ่ง" , ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2539
7) รศ.สุรพล รักวิจัย ; "อิเล็กทรอนิกส์สำหรับอุตสาหกรรม" , McGRAW-HILL (Petruzella)
8) Heinrich Kuttruff ; "Ultrasonics Fundamentals and Application" , 1995
9) ทนา โชติสรยุทธิ์ ; "เทคนิคการใช้งานอุลตร้าซนิคทรานสดิวเซอร์สำหรับนักทดลอง" , เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ , ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2536
10) ทีมงานซีเอ็ด ; "รวม 301 วงจร" , ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2535
11) ธัชชัย สุมิตร ; "รีเลย์ป้องกันระบบพลังงานไฟฟ้า" , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) , 2527
12) คุสิต เครืองาม ; "สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ เทคโนโลยี และการใช้งาน" , โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย , 2542
13) David W. Pessen ; "INDUSTRIAL AUTOMATION (Circuit Design and Components)" , A Wiley-Interscience Publication , 1989
14) พันจันทร์ ธนวัฒนเสถียร ; "ไมโครโปรเซสเซอร์" , ซีเอ็ดยูเคชั่น ,2523
15) ธีรวัฒน์ ประกอบผล ; "การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทลเลอร์" , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) , เม.ย. 2540
16) สุนทร วิทูสุรพจน์ ; "การใช้งนไมโครคอนโทลเลอร์ตระกูล 8051" , ซีเอ็ดยูเคชั่น
17) ไพโรจน์ ไววานิชกิจ ; "เปิดโลกการสื่อสารไร้สาย"
18) "รวมโครงงานอิเล็กทรอนิกส์ วิทยุ และเครื่องรับส่ง" , ซีเอ็ดยูเคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้