



หุ่นยนต์
ROBOT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง 038418

หุ่นยนต์
ROBOT

โดย

นายจิรพันธ์ เทียงวงษ์ 37013238

นายภาณุ ไช้สุวรรณ 37013258

นายระชาติ ดวงจันทร์คา 37013194

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. รัตติกร วราดุลศิริพันธ์

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2538

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์ (ROBOT)

ผู้จัดทำ

1. นายจิรพันธ์ เกียงวงษ์ 37013238
2. นายภานุ ไข่มุข 37013258
3. นายธนชาติ ดวงจันทร์ดา 37013194



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2538

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์ (ROBOT)

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ผ่านการตรวจสอบแล้วพร้อมที่จะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์

นายชนะชาติ ควงจันท์คา
นายจิรพันธ์ เทียงวงษ์
นายภาณุช ไขสุวรรณ
ดร.รัตติกร วรากุลศิริพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในระดับปริญญาตรี เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบ และสร้างระบบกลไก รวมทั้งการควบคุมระบบกลไกด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โครงการคือรถซึ่งควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 และใช้อัลตราโซนิกเป็นตัวแทนเซอร์ระยะทางเพื่อให้รถนี้สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้โดยอัตโนมัติ

ROBOT

Tanachat Doungjanda

Jirapan Tengvong

Panooch Kaisuvan

Dr.Ruttikom Varagulsiripan

Advisor

1996

ABSTRACT

This project is education about designing and building a mechanical system and control a mechanical system by electronic equipment. This project is a car which control by microcontroller MCS-51 and use ultrasonic is sensor distance. This car can move and avoid obstacles to the target by itself without any referent.

คำนำ

โครงการนี้เป็นโครงการในหัวข้อเรื่อง ROBOT โดยตัวโครงการมีลักษณะเป็นรถที่มีขอบเขตความสามารถในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ด้วย การควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้อุปกรณ์เซนเซอร์สิ่งกีดขวางด้วยอุปกรณ์ทรานสดิวส์เซอร์ จะส่งคลื่นอัลตราโซนิกส์ ซึ่งเป็นคลื่นเสียงออกไป เมื่อกระทบสิ่งกีดขวางก็จะสะท้อนกลับมายังภาครับและประมวลผลเป็นระยะทางออกมาเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับทราบ ว่าขณะนี้รถอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวางประมาณเท่าใดเพื่อเตรียมพร้อมที่จะหลบหลีกสิ่งกีดขวางนั้นขณะที่เข้าใกล้จนเกินกว่าระยะทางที่กำหนดไว้

โครงการนี้จะมีลักษณะเป็นแบบจำลอง จึงมีขนาดค่อนข้างเล็กซึ่งถ้าโครงการนี้สามารถใช้งานได้จริงตามขอบเขตเราก็สามารถนำไปสร้างให้มีขนาดใหญ่ขึ้นโดยใช้หลักการเช่นเดียวกัน เพื่อให้ประโยชน์ได้เช่นการใช้ส่งของในโรงงานอุตสาหกรรม หรืออื่นๆได้

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานประกอบโครงการอันเป็นส่วนหนึ่งของวิชา ELECTRONIC CIRCUIT APPLICATIONS ซึ่งจะกล่าวถึงทฤษฎี หลักการ ขั้นตอน และวิธีการสร้างอย่างละเอียด อาทิเช่นหลักการของเฟือง การทำงานของ DC MOTOR โครงสร้างของ MCS-51 เป็นต้น อันจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างดี รายงานฉบับนี้ถ้าหากมีส่วนหนึ่งส่วนใดผิดพลาด ผู้จัดทำก็ขออภัยมา ณ. ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายธนชาติ ดวงจันทร์ดา

นายจิรพันธ์ เทียงวงษ์

นายภาณุช ไขสุวรรณ

5 ตุลาคม 2539

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1. AUTOMATIC GUIDED VEHICLE SYSTEMS	3
2.1.1. ชนิดของ AGVS	3
2.1.2. การเคลื่อนที่ของ AGVS	4
2.1.2.1. โดยการใช้สายไฟ (Wire)	4
2.1.2.2. โดยการใช้แถบสี (Paint)	4
2.2. ระบบตรวจจับ (Sensor System)	4
2.2.1. แนวคิดและหลักการหาระยะทาง	5
2.2.2. ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นร่าโซนิค	5
2.2.2.1. การเกิดคลื่นร่าโซนิค	5
2.2.2.2. ความถี่และความยาว (Frequency and wavelength)	6
2.2.3. คุณสมบัติทั่วไปของคลื่นอุลตราโซนิคเบื้องต้น	7
2.2.4. คุณสมบัติ และธรรมชาติของคลื่นอุลตราโซนิค	7
2.2.5. คลื่นอุลตราโซนิค	7
2.2.6. ชนิดของคลื่นอุลตราโซนิค	8
2.2.6.1. คลื่นตามยาว (Longtudinal Wave)	8
2.2.6.2. คลื่นตามขวาง (Transverse Wave)	9
2.2.6.3. คลื่นผิวหน้า (Surface Waves or Rayleigh)	10
2.2.7. คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอุลตราโซนิค	11
2.2.7.1. การแทรกสอดของเสียง (Tnterference)	11
2.2.7.2. การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction)	12
2.2.7.3. การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection)	13
2.2.7.4. การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction)	13
2.2.8. ลักษณะของคลื่น	14
2.2.8.1. ความถี่ (Frequency)	14
2.2.8.2. ความยาวคลื่น (Wavelength)	14
2.2.8.3. ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิค	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
2.2.9. ปริมาณพลังงานของคลื่นอุลตราโซนิค	16
2.2.10. การลดทอนของคลื่นอุลตราโซนิค (Attenuation)	16
2.3. อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์	16
2.3.1. ปรัชญาการเปียโซอิเล็กทริก	16
2.3.2. วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	17
2.3.3. วัสดุเปียโซอิเล็กทริก	18
2.3.4. คุณสมบัติทางวัสดุของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	18
2.3.5. การแยกแยะ (Resolution)	19
2.3.6. โครงสร้างของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	19
2.3.7. ชนิดของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	20
2.3.7.1. แบบ generartion - action transducer	20
2.3.7.2. แบบ motor.- action transducer	20
2.3.8. ปรัชญาการเปียโซอิเล็กทริก	20
2.3.9. ลักษณะการปฏิบัติตัวของ เปียโซอิเล็กทริก (Mode of operatiion)	23
2.3.9.1. ซิมเปิลเพลท (Simple plate)	23
2.3.9.2. Mutiple arrangment (stacks)	24
2.3.10.การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ	27
2.3.11.ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับพอที่จะสรุป เป็นแนวทางใช้งานดังนี้	28
บทที่ 8 ระบบโครงสร้างของตัวถังรถ	32
3.1 ลักษณะทั่วไปและส่วนประกอบของตัวถังรถ	32
3.1.1. เพลา (Shaft)	32
3.1.2. แบริ่ง (Bearing)	34
3.1.3. โช้ เฟือง และ สายพาน	35
3.1.4. มอเตอร์ (Motor)	39
3.1.4.1. หลักการของ Motor (Motor's Principle)	39
3.1.4.2. การเปรียบเทียบอากัปกรณ์ของเครื่องกำเนิดและ มอเตอร์(Comparisionof Generator and Motor Action)	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
3.1.4.3. ความสำคัญของแรงเคลื่อนไฟสวน (Significance of the Back e.m.f.)	44
3.1.4.4. TORQUE (แรงบิด)	45
3.1.4.5. แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์มาเจอร์ (Armature Torque of a Motor)	46
3.1.4.6. แรงบิดที่แกน (SHAFT TORQUE = Tsh)	46
3.1.4.7. SPEED REGULATION	46
3.1.4.8. คุณลักษณะประจำของมอเตอร์ (Motor Characteristics)	47
บทที่ 4 MCS..51 ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยว	49
4.1. ภายในหน่วยความจำ	50
4.2. รีจิสเตอร์ภายในเอ็มซีเอส	50
4.3. ความเร็วของเอ็มซีเอสเทียบกับ 6502 และ Z80	52
4.4. สายต่าง ๆ ของบัสและพอร์ต	52
4.5. วงจรนับ / วงจรตั้งเวลา	53
4.6. พอร์ตชนิดอนุกรมที่อยู่ภายใน	55
4.7. อินเตอร์รัพท์และชุดคำสั่ง	55
4.8. 8052 ชิพที่ไม่ต้องใช้ภาษาแอสเซมบลี	55
4.9. โปรแกรมให้อีพรอม	57
4.10. คำสั่ง (Commands)	58
4.11. การจัดหน่วยความจำ	59
4.12. หน่วยความจำโปรแกรม	60
4.13. หน่วยความจำข้อมูล	60
4.14. ตัวจับเวลา/ตัวนับ (Timer/Counter)	62
4.15. พอร์ตอนุกรม	65
4.16. การอินเตอร์รัพท์	67
4.17. ชุดคำสั่งของ MCS-51	69
4.18. การประยุกต์ใช้งาน	71

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 ขั้นตอนวิธีการสร้างและผลการทดลอง	74
5.1. โครงสร้างทางด้านกลไก	74
5.2. ระบบเลี้ยว	76
5.3. ระบบขับเคลื่อน	82
5.4. ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง	85
5.5. ระบบควบคุม	88
5.6. ระบบควบคุมระยะทางและควบคุมองศาการเลี้ยว	90
5.7. ระบบป้องกันการลัดวงจร	91
5.8 ผลการทดลอง	93
5.8.1. การทดลองในการวัดองศาในการเลี้ยวของล้อ	94
5.8.2. การทดลองในการวัดความเร็วของรถ	94
5.8.3. การวัดรัศมีของการเลี้ยว	95
บทที่ 6 บทสรุปและปัญหาต่าง ๆ	96
6.1. ระบบตรวจสอบ (SENSOR) สิ่งกีดขวาง	96
6.2. ระบบขับเคลื่อน	97
6.3. ระบบเลี้ยว	97
6.4. คีย์บอร์ด	98
6.5. ปัญหาและอุปสรรค	99
กิตติกรรมประกาศ	101
บรรณานุกรม	102
ภาคผนวก	

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูป 2.1 การเปรียบเทียบหาเวลาที่สูญหาย	5
รูป 2.2 แสดงถึงช่วงความถี่ต่าง ๆ ของคลื่นอุลตราโซนิคส์ ที่ถูกนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ	8
รูป 2.3 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว	9
รูป 2.4 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง	9
รูป 2.5 แสดงการสั่นของอนุภาคระหว่างการเคลื่อนที่ของคลื่น	10
รูป 2.6 แสดงการบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น	11
รูป 2.7 แสดงลักษณะของการเกิดคลื่นนิ่ง	12
รูป 2.8 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบ ๆ	12
รูป 2.9 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง	13
รูป 2.10 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน	13
รูป 2.11 ผลของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	17
รูป 2.12 วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริก	17
รูป 2.13 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในทั่ว ๆ ไปของทรานสดิวเซอร์ เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟค	20
รูป 2.14 ผลของเปียโซอิเล็กทริก	21
รูป 2.15 แสดงผลึกควอทซ์และการตัด	22
รูป 2.16 การเปลี่ยนเส้นทางของชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก	24
รูป 2.17 การต่อในลักษณะต่าง ๆ ของชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก	25
รูป 2.18 การต่อในลักษณะต่าง ๆ ของชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริกและผล ของการโค้งงอเมื่อมีแรงดันระหว่างเพลททั้งสอง	25
รูป 2.19 แสดง Face Shear Plate 2 อันที่วางประกบกัน	26
รูป 2.20 แสดงโครงสร้างและผลของการบิดแรงดันระหว่างเพลททั้งสอง	26
รูป 2.21 แสดงการลดทอนของคลื่นที่เบี่ยงเบนออก	29
รูป 2.22 แสดงลักษณะการเป็นลำของคลื่น	29

รูป	หน้า
รูป 2.28 แสดงค่าความถี่ ที่มีผลต่อความไวของการรับที่ค่าความ ด้านทานต่าง ๆ	30
รูป 3.1 เฟืองตรง	35
รูป 3.2 เฟืองเฉียงหรือเฟืองฟันเลื่อย	36
รูป 3.3 เฟืองคอกจอก	36
รูป 3.4 เฟืองหนอน	37
รูป 3.5 หลักการของมอเตอร์	40
รูป 3.6 อากัปกริยาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อได้รับ Load	42
รูป 3.7 อากัปกริยาของมอเตอร์	43
รูป 3.8 แสดงทิศทางแรงเคลื่อนไฟ และกระแสที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ ซึ่งไหลไปในทางเดียวกัน แต่ตรงข้ามกับแรงเคลื่อนไฟสวน	43
รูป 3.9 (a) วงจรของมอเตอร์ไฟตรง (b) วงจรของมอเตอร์ที่เขียนแทนแรงเคลื่อนไฟสวนได้ ด้วยแบตเตอรี่ Eb	44
รูป 4.1 แสดงการจัดวางขาต่าง ๆ ของ MCS-51	51
รูป 4.2 แสดงหน้าที่ของพอร์ตเมื่อคอนโทรลเลอร์ ทำงานกับหน่วย ความจำภายนอก	51
รูป 4.3 โครงสร้างภายในหน่วยความจำของเอ็มซีเอส 51	52
รูป 4.4 โครงสร้างของเอ็มซีเอส 51	54
รูป 4.5 การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม	59
รูป 4.6 การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำข้อมูล	59
รูป 4.7 การจัดพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอก	60
รูป 4.8 การจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูล	61
รูป 4.9 พื้นที่ที่กำหนดตำแหน่งบิตของหน่วยความจำข้อมูลภายใน ในจากรูป 4.8	61
รูป 4.10 แสดงวงจรการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 1 ในโหมด 0 และโหมด 1	63
รูป 4.11 แสดงวงจรการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 1 ในโหมด 2	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป	หน้า
รูป 4.12 วงจรการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 0 ในโหมด 3	63
รูป 4.13 แสดงบิตควบคุมที่อยู่ในรีจิสเตอร์ TMOD	64
รูป 4.14 แสดงบิตควบคุมที่อยู่ในรีจิสเตอร์ TCON	65
รูป 4.15 แสดงควบคุมที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON	66
รูป 4.16 แผนภูมิทางฮาร์แวร์ของแหล่งอินเทอร์รัพต์ชนิดต่าง ๆ	67
รูป 4.17 แสดงบิตควบคุมการอินเทอร์รัพต์ในรีจิสเตอร์ IE	68
รูป 4.19 แสดงวงจรการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก	72
รูป 4.20 แสดงการขยายพอร์ตและการเชื่อมต่อกับ RS232C	73
รูป 5.1 แสดงโครงสร้างของตัวรถ	75
รูป 5.2 ภาพถ่ายแสดงโครงสร้างของตัวรถ	76
รูป 5.3 แสดงชุดเฟืองทดที่ใช้ในกลไกการเลี้ยว	76
รูป 5.4 แสดงกลไกการเลี้ยวของล้อหน้า	77
รูป 5.4.1 แสดงการเลี้ยวซ้าย	77
รูป 5.4.2 แสดงการเลี้ยวขวา	77
รูป 5.5 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อน	78
รูป 5.6 แสดงลายวงจรของวงจรควบคุมการเลี้ยว	79
รูป 5.7 แสดงการวางวงจรและกลไกของระบบเลี้ยว	80
รูป 5.8 ภาพถ่ายแสดงวงจรและกลไกควบคุมการเลี้ยวด้านล่าง	80
รูป 5.9 ภาพถ่ายแสดงวงจรและกลไกควบคุมการเลี้ยวด้านบน	82
รูป 5.10 ภาพถ่ายแสดงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	82
รูป 5.11 แสดงชุดเฟืองที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนด้านหน้า	83
รูป 5.12 แสดงชุดเฟืองที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนด้านข้าง	83
รูป 5.13 โครงสร้างระบบขับเคลื่อน	84
รูป 5.14 วงจรควบคุมการขับเคลื่อน	85
รูป 5.15 วงจรตรวจจับสิ่งกีดขวาง (ตรวจจับโซนิก)	86
รูป 5.16 แสดงการวางวงจรของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางและ ทิศทางของคลื่นโซนิก	87
รูป 5.17 ภาพถ่ายแสดงการวางวงจรของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป	หน้า
รูป 5.18 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่เพื่อการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง	88
รูป 5.19 แสดงวงจรคีย์บอร์ดส่วนประกอบของระบบควบคุม	89
รูป 5.20 วงจรควบคุมระยะทางและองศาการเลี้ยว	90
รูป 5.21 ภาพถ่ายแสดงวงจรควบคุมระยะทางและองศาการเลี้ยว	90
รูป 5.22 แสดงการวางตัวเซนเซอร์ระยะทาง	91
รูป 5.23 แสดงการวางตัวเซนเซอร์ระบบควบคุมองศา	91
รูป 5.24 วงจรตรวจจับและป้องกันการลัดวงจร	92
รูป 5.25 ภาพถ่ายแสดงวงจรตรวจจับและป้องกันการลัดวงจร	92
รูป 5.26 ภาพถ่ายแสดงการติดตั้งระบบต่าง ๆ บนกลไกการเลี้ยว	92
รูป 5.27 แสดงเอาต์พุตของคริสตอลความถี่ 40 kHz	93
รูป 5.28 แสดงเอาต์พุตความถี่ 40 kHz เมื่อนำทรานสดิวเซอร์มาต่อ	93
รูป 5.29 แสดงมุมมองของการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา	94
รูป 5.30 แสดงการทดลองในการวัดระยะทาง	95
รูป 5.31 แสดงรัศมีการเลี้ยวของรถ	95
รูป 6.1 Block Diagram ของโครงงาน	97
รูป 6.2 แสดงปุ่มต่าง ๆ ของคีย์บอร์ด	98
รูป 6.3 แสดงการสะท้อนของคลื่นอุลตราโซนิกส์	100
รูป 6.4 แสดงการเลี้ยวของตัวเซนเซอร์ตามการเลี้ยวของล้อ	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตาราง 2.1 ค่าคงที่ของเพียโซอิเล็กทริก	23
ตาราง 2.2 คุณสมบัติของเพียโซอิเล็กทริก (Properties of Piezoelectric)	27
ตาราง 4.1 เป็นรายการของตระกูล เอ็มซีเอส 51 ซึ่งแสดงถึงจำนวนของหน่วยความจำ วงจรตั้งเวลา/วงจรมับและระดับของการอินเทอร์รัพต์	49
ตาราง 4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอ็มซีเอส 51	50
ตาราง 4.3 ชุดคำสั่งทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051/8052 จากบริษัทอินเทล	56
ตาราง 4.4 ชุดคำสั่งภาษาเบสิกของ 8052AH-BASIC ประกอบด้วยคำสั่งที่เพียงพอ	57
ตาราง 4.5 ลำดับความสำคัญของแต่ละการอินเทอร์รัพต์ต่าง ๆ	67
ตาราง 4.6 แสดงตำแหน่งที่อยู่ของการกระโดดแต่ละแห่งอินเทอร์รัพต์	68
ตาราง 4.7 แสดงชุดคำสั่งของการถ่ายเทข้อมูลใน RAM ภายใน	69
ตาราง 4.8 แสดงชุดคำสั่งการถ่ายเทข้อมูลใน RAM ภายนอก	71
ตาราง 4.9 แสดงชุดคำสั่งการถ่ายเทข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรม	71

บทที่ 1

บทนำ

ROBOT มาจากคำว่า CRECK ซึ่งหมายถึงทาสหรือคนรับใช้ และเข้ามาในศัพท์ภาษาอังกฤษในปี ค.ศ. 1921 โดยนักเขียนบทละครชื่อ KAREL KAPEX ในบทละครแนวล้อเลียน โดยละครเรื่องนี้หุ่นยนต์ก็คือ จักรกลที่คล้ายกับมนุษย์และนำมาทำงานที่น่าเบื่อแทนมนุษย์ แต่ในตอนหลังพวกหุ่นยนต์รวมตัวกันต่อต้านและทำลายพวกมนุษย์

ในช่วงปลายปี 1940 ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 งานวิจัยหุ่นยนต์อุตสาหกรรมได้เริ่มเกิดขึ้นซึ่งเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องจักรกลควบคุมระยะไกลสำหรับการขนถ่ายวัสดุกับมันคาปาฟรังสี

ในกลางปี 1950 George C. Devol ได้พัฒนาอุปกรณ์ที่เขาเรียกว่า “Programed Articulated Transfer Device” ซึ่งเป็นมานิปิวเลเตอร์ (Manipulator) ที่การทำงานของมันสามารถโปรแกรมได้ ซึ่งแนวความคิดนี้ต่อมาได้ถูกนำเข้าสู่อุตสาหกรรม โดยบริษัท Unimation Inc ในปี 1959 หัวใจสำคัญของอุปกรณ์ชนิดนี้คือการใช้ประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ร่วมกับมานิปิวเลเตอร์ (Manipulator) เพื่อผลิตเครื่องจักรกลที่ซึ่งสามารถถูกสั่งให้ทำงานที่หลากหลายอย่างอัตโนมัติโดยการโปรแกรมเข้าใหม่

ในปี 1968 Mcerty และผู้ร่วมงานของเขาที่ The Stanford Artificial Intelligence Labolatory ได้รายงานการพัฒนาคอมพิวเตอร์กับ มือ, ตา, หู (Manipulator , TV Cameras, Microphones) โดยระบบนี้สามารถที่จะจดจำข่าวสารในรูปแบบของเสียง และมองเห็นวัตถุที่ถูกรางอย่างกระจัดกระจายอยู่บนโต๊ะ เพื่อโยกย้ายสิ่งของเหล่านี้ตามคำสั่ง

ในปี 1995 บริษัท IBM ได้พัฒนามานิปิวเลเตอร์ ซึ่งควบคุมโดยคอมพิวเตอร์กับเซนเซอร์แรงและสัมผัส

ในวันนี้เราจะพบว่าหุ่นยนต์เป็นสาขาที่มีขอบเขตกว้างมากซึ่งประกอบไปด้วย Kinematics , Dynamics , Planning System Control , Programming Languages , Machine Intelligence

คำจำกัดความของหุ่นยนต์

คำจำกัดความของหุ่นยนต์มีอยู่หลายคำจำกัดความด้วยกันดังนี้

1. นิยามตาม Webster's dictionary : “A robot is an automatic device that performs functions ordirily ascribed to human beings”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนิยามนี้ จะเห็นว่าเครื่องจักรฟ้าอาจจะถูกพิจารณาเป็นหุ่นยนต์ได้

2. คำนิยามของ The Robot Intitue off Anevican : “A robot is a reprogrammable multifunctional manipulator designed to move meterial. parts, tools, or specialized device though various proformance of a varity of tasks”

ประเภทต่างๆของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์อาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. Fixed Robots

Fixed robots คือ หุ่นยนต์ที่ถูกตรึงกับฐานที่ถูกยึดคงที่ ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อิสระ

2. Mobile Robots

Mobile robots คือ หุ่นยนต์ที่ถูกตรึงกับฐานที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ โดยมีฐานมีล้อหรือคั่นระบบ

จากทั้งสองประเภทของหุ่นยนต์ คือ Fixed Robot และ Mobile Robot หุ่นยนต์ประเภทที่สอง ค่อนข้างจะเป็นหุ่นยนต์ที่มีความยืดหยุ่นสูงกว่าประเภทแรก

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1. AUTOMATIC GUIDED VEHICLE SYSTEMS

2.1.1. ชนิดของ AGVS

ระบบ Automatic Guided Vehicle หรือ AGV. เป็นระบบจัดการพัสดุ แบบใช้ยานพาหนะขับเคลื่อนด้วยตัวเองอย่างอิสระไปตามพื้นที่ที่กำหนด โดยได้รับพลังงานจาก Batteries ที่อยู่ในตัวของมันเอง

AGVS แบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

-DRIVERLESS TRAINS

เปรียบเสมือนหัวรถจักรที่สามารถลากจูงรถพ่วงได้อีกหลายคันมีหน้าที่นำรถพ่วงที่ขนสัมภาระไปยังพื้นที่ที่เรากำหนด

-AGVS PALLET TRUCKS

เปรียบเสมือนตู้โดยสารของรถไฟ Pallet Trucks นี้จะต่อพ่วงอยู่ที่ด้านหลังของ Driverless Train และมีหน้าที่ขนของ Pallet Trucks 1 คัน รับน้ำหนักได้มากกว่า 6000 lb

-AGVS UNIT LOAD CARRIES

เป็นเครื่องจักรที่ใช้ทำหน้าที่รับสภาระจากพนักงานแล้วส่งขึ้นไป Pallet Trucks โดยอัตโนมัติ เช่น รางลูกกลิ้ง และ สายพาน จะทำหน้าที่ขนถ่ายสิ่งของออกจากห้องเก็บของไปสู่ Automatic Lift ซึ่งจะคอยยกสิ่งของออกจากสายพานไปไว้บน Pallet Trucks เพื่อนำไปส่งยังจุดที่เรากำหนด

-AGVS TECHNOLOGY

เป็นเทคโนโลยีหุ่นยนต์เพื่อช่วยงานมนุษย์ ซึ่งยังสามารถพัฒนาไปได้อีกไกล และการสร้างมันขึ้นมาก็ต้องอาศัยสถานที่ที่สะอาดมาก เช่น โรงงานผลิตสารกึ่งตัวนำเป็นต้น

2.1.2. การเคลื่อนที่ของ AGVS

วิธีที่จะสั่งให้ AGVS เคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่เรากำหนดได้โดย

2.1.2.1) โดยการใช้สายไฟ (Wire)

เป็นการใช้สายไฟขนาดเล็กฝังไว้ใต้พื้นโรงงาน เมื่อจ่ายไฟให้กับสายนี้จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆสาย สนามแม่เหล็กนี้เป็นเสมือนตัวชี้บอกให้ AGVS วิ่งตามสนามแม่เหล็กนี้ไป

Driverless Ttian จะมี Sensor Coil อยู่ มันจะทำหน้าที่รับสนามแม่เหล็กจากสาย และคอยตรวจสอบว่า Sensor Coil 2 ข้างนี้ได้รับสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มเท่ากันหรือไม่ หากมีการเหลื่อมล้ำของสนามแม่เหล็ก AGVS ก็จะปรับรัศมีการเลี้ยว และทำการเลี้ยวไปในทิศทางและองศาที่เหมาะสม เพื่อรักษาสถานะที่ Sensor Coil จะได้รับสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มคงที่เท่ากันทั้งสองข้างตลอดเวลา

2.1.2.2) โดยการใช้แถบสี (Paint)

เป็นการใช้แถบสี Fluorescent ที่มีการสะท้อนแสงโดยที่ AGVS จะใช้อุปกรณ์ Optical Sensor เป็นตัวจับภาพแถบสีที่ติดอยู่บนพื้น แล้วนำมาประมวลผล เพื่อออกคำสั่งควบคุมให้ AGVS รักษาเส้นทางให้ Optical Sensor จับภาพได้โดยไม่หลุดออกนอกรัศมีการทำการของ Optical Sensor

การทำงานด้วยการใช้แถบสีนี้เหมาะสำหรับใช้ในพื้นที่ที่มีการรบกวนทางสัญญาณสูง (Eelectrical Noise) ซึ่งสาย (Wire) จะทำงานได้ไม่ดีเท่า แต่แถบสีก็ต้องการบำรุงรักษาอย่างดี ต้องสะอาด และไม่มีรอยขีดข่วนบนแถบสีนั้น

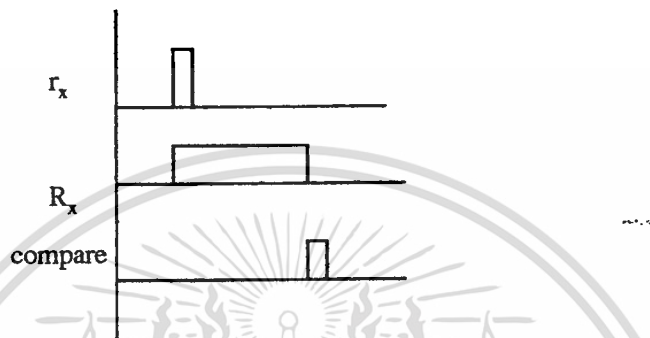
2.2. ระบบตรวจจับ (Sensor System)

SENSOR เป็นส่วนประกอบสำคัญอย่างหนึ่งของ MOBILE ROBOT เพราะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่บอกให้ส่วนควบคุมทราบว่าขณะนี้ ในทิศทางที่จะเคลื่อนที่ไปนั้นมีวัตถุขวางกั้นมันอยู่หรือไม่ และ ถ้ามันต้องแจ้งให้ทราบตัวอย่างวัตถุอยู่ห่างออกไปเป็นระยะทางเท่าใด เพื่อให้ส่วนควบคุมนำข้อมูลไปประมวลผล เพื่อหาทางหลบหลีก และปรับความเร็วของ ROBOT ให้เหมาะสม

ดังนั้น หน้าที่ของ SENSOR คือ ตรวจสอบระยะทางให้ได้ว่า วัตถุที่กีดขวางมันอยู่มีระยะเท่าใดและมาจากทิศทางใด

2.2.1 แนวคิดและหลักการหาระยะทาง

โดยอาศัยหลักการส่งคลื่นสัญญาณไปในอากาศ ในทิศทางที่เราต้องการทราบค่าระยะทางจากวัตถุกับตัว ROBOT และคอยรับสัญญาณที่สะท้อนมาจากวัตถุนั้นก็นำสัญญาณที่ส่งไปและรับกลับมาเปรียบเทียบกับเวลาที่สูงสูญหายไปดังรูปที่ 2.1



รูป 2.1

ซึ่งระยะทางที่วัดได้นั้น จะแปรค่าตามเวลาที่หายไป โดยระยะทางนี้ก็คือ

$$S = \frac{VT}{2}$$

(2.1)

- S ระยะทางระหว่างวัตถุและตัว SENSOR (m)
 T เวลาที่ใช้ในการเดินทางไปกลับ (s)
 V ความเร็วของคลื่นในตัวกลางอากาศ (m/s)

2.2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอุลตราโซนิค

2.2.2.1) การเกิดอุลตราโซนิค

อุลตราโซนิคเป็นคลื่นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปแบบอื่นให้มาเป็นพลังงานกลโดยการสั่นไปมาหรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานกล ทำให้เกิดคลื่นย่านอุลตราโซนิคกระจายออกไปในอากาศนั้น จึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (Mechanical Wave) อุลตราโซนิคสามารถสร้างได้ โดยตัวต้านทานสควเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หลักการสร้างมีหลายวิธีดังนี้

- แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมา ระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนท์คงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง

- แบบแมกนีโตสทริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมา ระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

- แบบอิเล็กโตรสทริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมา ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล

สำหรับแบบเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบที่นิยมใช้เพราะมีราคาถูก หาซื้อง่ายรายละเอียดของเพียโซอิเล็กทริกจะกล่าวถึงในภายหลัง

2.2.2.2) ความถี่และความยาว (Frequency and wavelength)

- ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิลเลทที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกัน

- ความยาวคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์ หรือการเดินทางครบรอบ (1 cycle) สามารถกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (Successive Compressions) หรือการเบาบางของอากาศ (Rarefactions) การอัด คือการที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันของบรรยากาศปกติ

ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์ตามสมการข้างล่าง

$$C = f \times \lambda$$

(2.2)

c = ความเร็วของการเดินทาง (m/s)

f = ความถี่ (Hz)

λ = ความยาวคลื่น (m)

- ความเร็วของคลื่นในอากาศที่อุณหภูมิปกติมีความสัมพันธ์ที่ใช้จะเป็นตัวสมการ

$$V = 331.45 + 0.607t \text{ (m/s)}$$

เมื่อ v = ความเร็วของคลื่นในตัวอากาศ (m/s)

t = อุณหภูมิของอากาศ (°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 คุณสมบัติทั่วไปของคลื่นอุลตราโซนิกเบื้องต้น

คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาวที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ โดยที่อนุภาคของตัวกลางนั้นจะเคลื่อนที่ไปในทางที่คลื่นเสียงผ่าน เราสามารถแบ่งช่วงของความถี่ของคลื่นเสียงออกเป็น

2.3.1 ความถี่ 0 Hz

อินฟราโซนิกเรจ (Infrasonic Range) ย่านความถี่ของคลื่นเสียงต่ำกว่าที่หูคนเราจะได้ยิน

2.3.2 ความถี่ 20 Hz

ออติเบิลเรจ (Audio Range) ย่านความถี่ของคลื่นเสียงที่หูของคนเราสามารถได้ยิน

2.3.3 ความถี่มากกว่า 20 KHz

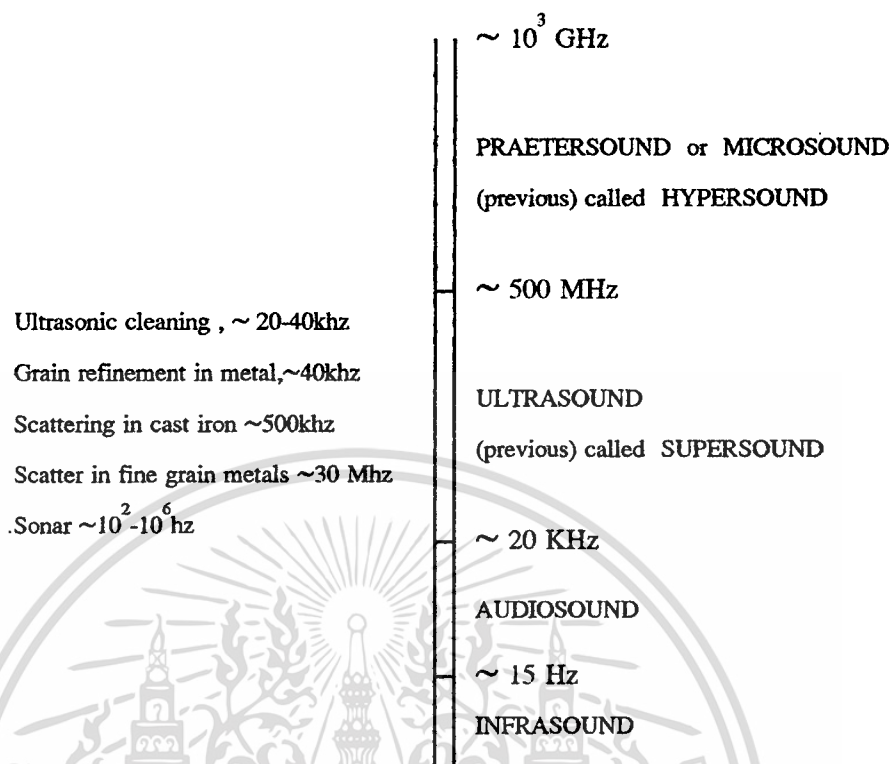
อุลตราโซนิกเรจ (Ultrasonic Range) ย่านความถี่ของคลื่นเสียงสูงกว่าที่หูคนเราจะสามารถได้ยิน

2.2.4 คุณสมบัติ และธรรมชาติของคลื่นอุลตราโซนิก

หลักการของการสะท้อนกลับของคลื่นเสียง คือ พัลส์ของพลังงานจะถูกส่งออกมาจากตัวส่งถ้าไปกระทบกับวัตถุ ด้งงานบางส่วนจะสะท้อนกลับไปที่ตัวส่งด้วย แต่การใช้อุปกรณ์ตัวรับที่เหมาะสม (Suitable) จะสามารถรับการสะท้อนกลับของสัญญาณ (Signal) เวลาที่ใช้ในการเดินทางในอากาศสามารถที่จะคำนวณระยะทางออกมาได้เพราะฉะนั้นการศึกษาถึงคุณสมบัติ และธรรมชาติของคลื่นจะสามารถทำให้เข้าใจในการทำไปประยุกต์ใช้ได้ถูกต้อง

2.2.5 คลื่นอุลตราโซนิก

คลื่นอุลตราโซนิก คือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะสามารถได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์จะได้ยินในย่านความถี่ประมาณ 20 kHz ถึง 20 kHz ดังนั้นแล้วคลื่นอุลตราโซนิก จึงหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz จนถึง 10^4 gHz โดยคลื่นที่มีความถี่มากกว่า 10 gHz และมีแอมพลิจูด (Amplitude) สูง ๆ จะเรียกว่า “ไฮเปอร์ซาวนด์” (Hypersound)



รูป 2.2 แสดงถึงช่วงความถี่ต่าง ๆ ของคลื่นอุลตราโซนิคส์
ที่ถูกนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ

2.2.6 ชนิดของคลื่นอุลตราโซนิค

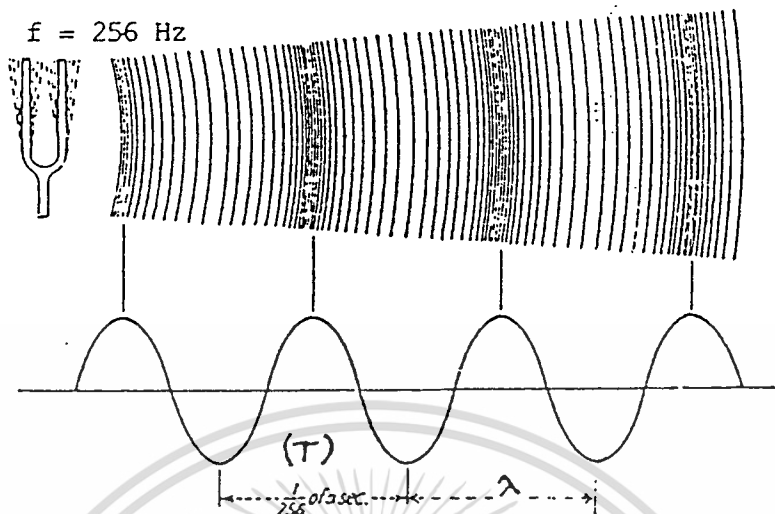
คลื่นอุลตราโซนิคส์ที่เดินทางผ่านตัวกลางต่าง ๆ มีหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางนั้น

2.2.6.1) คลื่นตามยาว (Longtudinal Wave)

คลื่นตามยาวคือ คลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่น

จากรูปจะเห็นว่ามีส่วนที่เป็นคลื่นอัด (Compression) ซึ่งก็คือ คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความชันสูง และคลื่นขยาย (Reraction) ก็คือ คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความดันต่ำ และเมื่อนำค่าของความดันที่เปลี่ยนตามระยะทางมาเขียนกราฟจะได้รูปไซน์ (Sine Wave) โดยยอดคลื่นจะตรงกันส่วนอัดที่คลื่นจะตรงกับส่วนขยายระยะทางระหว่างส่วนอัดถึงส่วนอัดหรือ ส่วนขยายถึงส่วนขยาย คือ 1 ความยาวคลื่น และที่คาบเวลาเป็น T ซึ่งเท่ากับ $1/f$ โดยจุดที่เป็นเส้นแกมม่านั้นมีค่าความดัน 1 บรรยากาศ

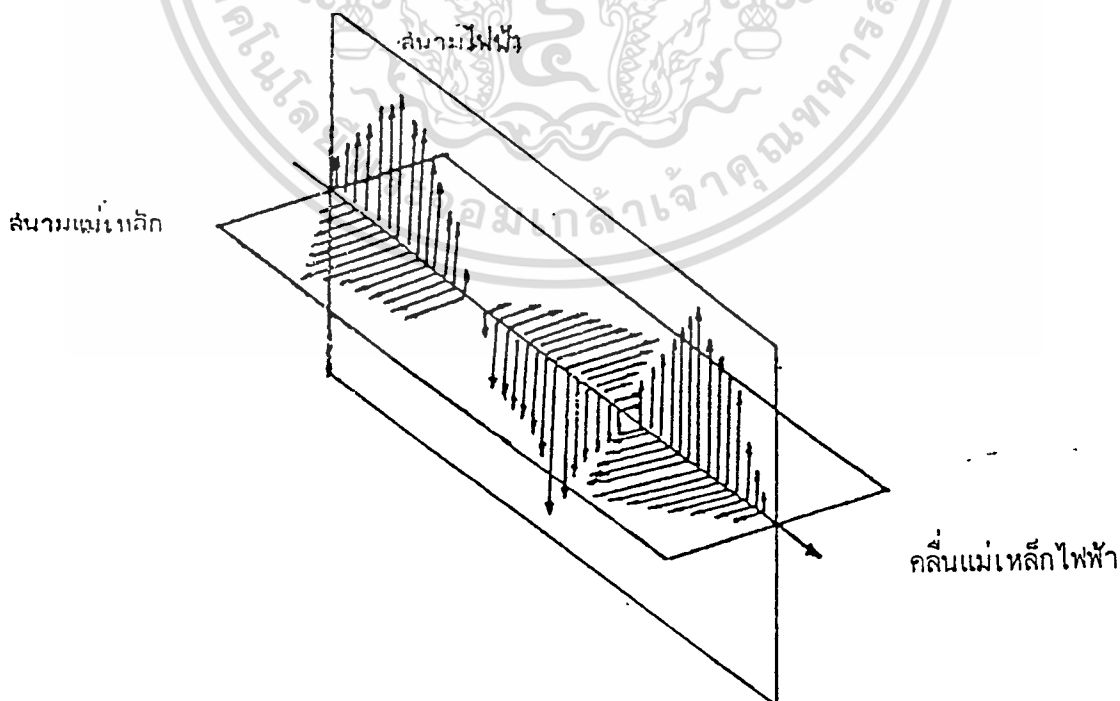
อัด ขยาย อัด ขยาย อัด ขยาย อัด



รูป 2.3 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว

2.2.6.2) คลื่นตามขวาง (Transverse Wave)

คลื่นตามขวางคือ คลื่นที่ทุก ๆ จุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดของตัวกลางใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่น และสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและก๊าซได้



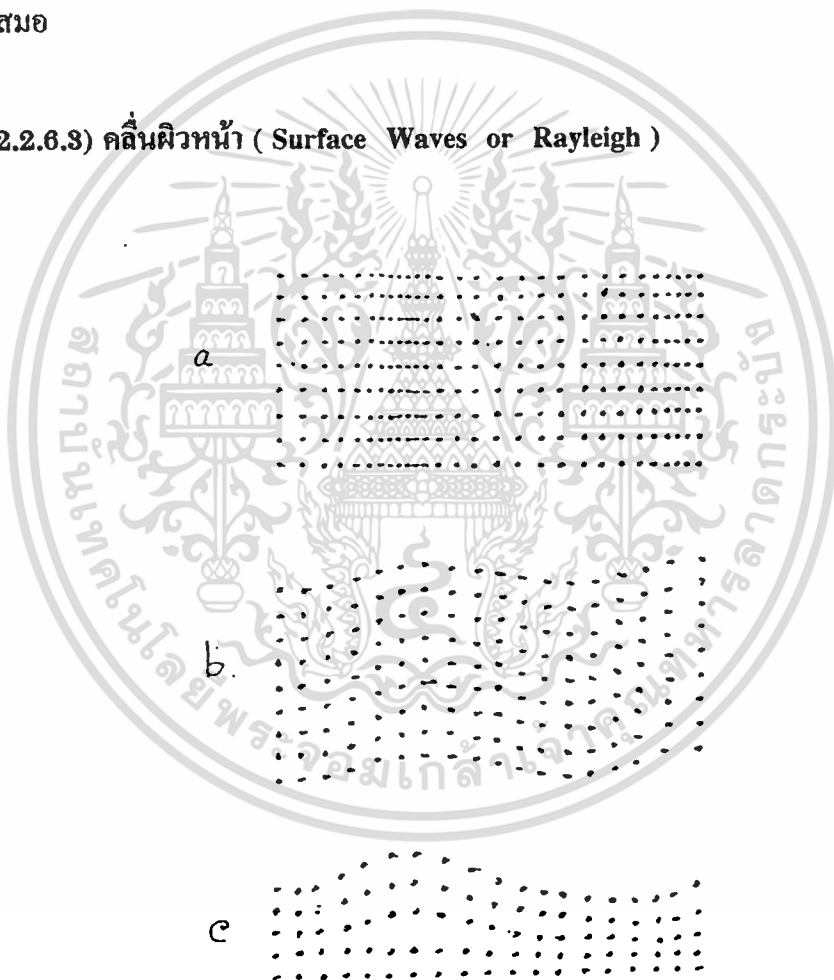
รูป 2.4 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นตามขวางมีลักษณะเหมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปเพียงทิศทางเดียว เช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไป ต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอันเนื่องจากการแกว่ง

ความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลงโดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกัน ความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

2.2.6.3) คลื่นผิวหน้า (Surface Waves or Rayleigh)



รูป 2.5 แสดงการสั่นของอนุภาคระหว่างการเคลื่อนที่ของคลื่น

- (a) การเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาว
- (b) การเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวาง
- (c) การเคลื่อนที่ของคลื่นผิวหน้าคลื่นผิวหน้าคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวางจะต่างกันตรงที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่เพียงอย่างเดียวแต่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวอนาคึ่งเหตุนี้อันคลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น

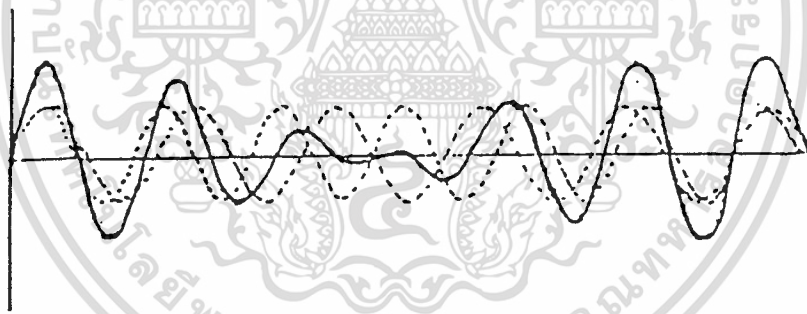
2.2.7 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอูตราโซนิค

คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นเสียง จะแสดงได้ 4 แบบ คือ

2.2.7.1) การแทรกสอดของเสียง (Tnterference)

การแทรกสอดของเสียงเกิดจากการรวมกันของคลื่น 2 คลื่นขึ้นไป ขณะเมื่อพบกันในตัวกลาง (Medium) เดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดผลได้หลายลักษณะ คือ

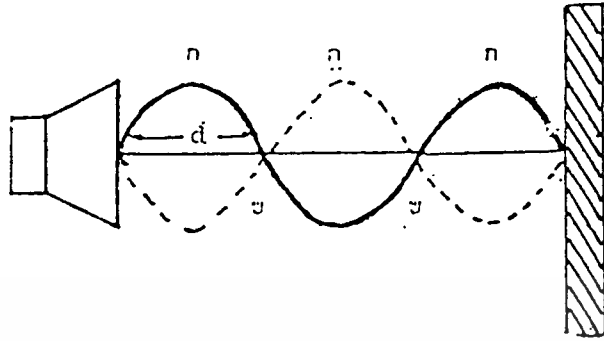
1) การบีบอัด (Beats) ของคลื่นเสียง เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกัน หรือต่างเฟสกันเคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วรวมเป็นคลื่นใหม่ ซึ่งทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูป 2.6



รูป 2.6 แสดงการบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น

จากรูป เป็นการแสดงการบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น ซึ่งได้คลื่นที่มีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงซึ่งประโยชน์ของการบีบอัดของคลื่นนั้น จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของคลื่นให้แสดงผลออกมาในลักษณะของแอมพลิจูดที่แตกต่างกันนี้

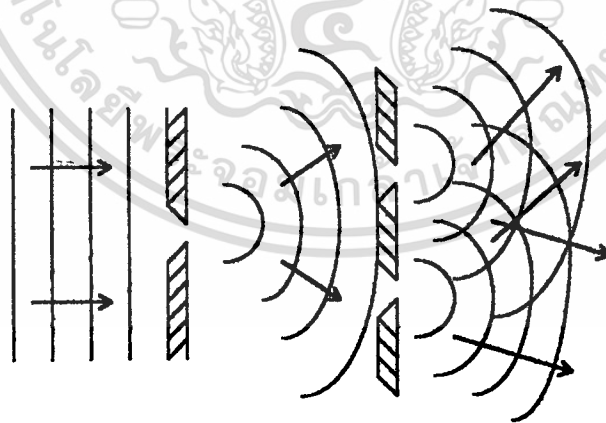
2) การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Waves) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นซูดที่มีแอมพลิจูดเท่ากันและความถี่เท่ากัน แต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามหรือมีเฟสตรงข้ามกัน ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่งดังรูป 2.7 เสียงจะมีความเข้มสูงสุดที่ตำแหน่ง ก. และเบาที่สุดที่ตำแหน่ง ข. ซึ่งระยะระหว่างขั้วทั้ง 2 เท่ากับ $d = \lambda/2$ หรือ $L = n(\lambda/2)$; $n = 1, 2, 3$



รูป 2.7 แสดงลักษณะของการเกิดคลื่นนิ่ง

2.2.7.2) การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (diffraction)

การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction) คลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือช่องแคบ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้พบในชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลาเช่น ในกรณีที่เราได้ยินเสียงแตรรถที่อยู่ถนนถนนของมุมตึก หรือการได้ยินเสียงที่ลอดผ่านช่องเล็ก ๆ จากอีกห้องหนึ่ง ดังแสดงในรูป 2.8

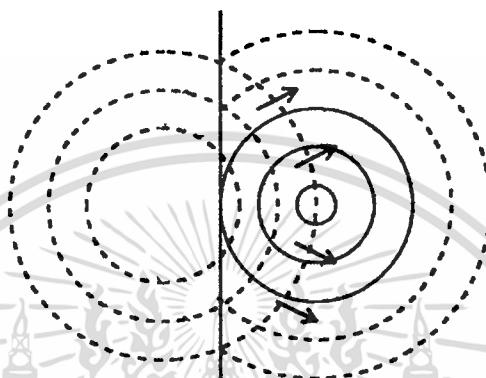


รูป 2.8 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบ ๆ

จนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่

2.2.7.3) การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection)

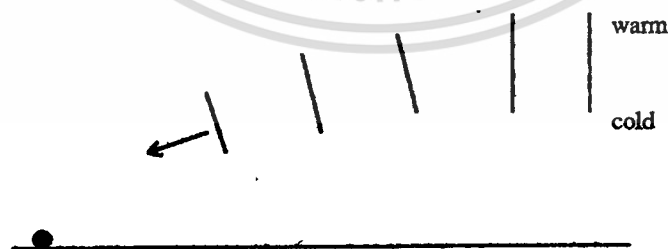
การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection) คลื่นเสียงสามารถสะท้อนได้เมื่อตกกระทบตัวกลาง โดยที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน และจะทำให้เกิดเสียงก้อง (Echo) ซึ่งเสียงก้องที่สะท้อนกลับมาในเวลาที่มากกว่า 50 ms จะทำให้เราได้ยินเสียงนั้นเป็นครั้งที่สอง



รูป 2.9 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง คลื่นที่สะท้อนกลับมาจะมีคลื่นเป็นวงกลมเช่นกัน

2.2.7.4) การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction)

การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction) คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของคลื่น ซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ยังคงที่อยู่



รูป 2.10 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

2.2.8 ลักษณะของคลื่น

2.2.8.1) ความถี่ (Frequency)

ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิลเลตที่สมบูรณ์ จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่ที่เดียวกัน เช่น อัตราการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 Hz มันก็就会有ความถี่เดียวกันกับคลื่นที่ถูกส่งและรับได้จากผู้ฟัง

2.2.8.2) ความยาวคลื่น (Wavelength)

ความยาวคลื่น (Wavelength) คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์ หรือการเดินทางครบรอบ (1 Cycle) สามารถกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (Successive Compressions) หรือการเบาบางของอากาศ (Rarefactions) การอัด คือการที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ ความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$v = f \cdot \lambda$$

(2.3)

โดยเมื่อ : v = ความเร็วของการเดินทาง (m/s)

f = ความถี่ (Hz)

λ = ความยาวคลื่น (m)

ในอากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเร็วของคลื่นประมาณ 334 m/s ดังนั้นช่วงความถี่ของคลื่นเสียงระหว่าง 20 ถึง 20 kHz ความยาวคลื่นจะอยู่ระหว่างประมาณ 17 m ถึง 1.7 m ข้อจำกัดของความยาวคลื่นสั้นในอากาศ (อุลตราโซนิก) ถูกตรวจสอบโดยทางเดินที่เป็นอิสระระหว่างโมเลกุลอากาศประมาณ 10^{-8} cm

2.2.8.3) ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิก

คลื่นที่เดินทางในตัวกลางที่แตกต่างกันด้วยความเร็วที่แตกต่างกันและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ทั้งหมดนี้เป็นสาเหตุแรกสำหรับการโค้งตัวของคลื่นในบรรยากาศสำหรับทฤษฎีที่แสดงสำหรับความเร็วของคลื่น (c) ในแก๊สอุดมคติ (Ideal Gas) จะเป็นดังนี้

$$v = \sqrt{\frac{1.4P}{\rho}} \quad (2.5)$$

ดังนั้นถ้าโมเลกุลของอากาศมีมวลเป็น M และปริมาตรเป็น V จะให้ความหนาแน่น

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2.6)$$

จาก

$$v = \sqrt{\frac{1.4P}{\rho}} \quad (2.7)$$

จะได้

$$v = \sqrt{\frac{1.4PV}{M}} \quad (2.8)$$

แต่จาก

$$PV = RT \quad (2.9)$$

โดยที่ : R = ค่าคงที่ของก๊าซ , T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ

ดังนั้น

$$v = \sqrt{\frac{1.4RT}{M}} \quad (2.10)$$

จากสมการ 2.8 ความเร็วของคลื่นในแก๊สอุดมคติจะขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊ส กับ อุณหภูมิ และเป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน แต่ในความเป็นจริงค่าความเร็วของคลื่น จะขึ้นอยู่กับค่าความดัน และความหนาแน่นของก๊าซด้วย กล่าวคือ ค่าความดันและความหนาแน่นของก๊าซ จะลดลง เมื่อความสูงเหนือจากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น

ความเร็วที่ยอมรับของคลื่นในอากาศที่อุณหภูมิปกติ มีความสัมพันธ์ดังสมการคือ

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad (2.11)$$

โดยที่ : $v_1 =$ ความเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ T_1 (m/s)

$v_2 =$ ความเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ T_2 (m/s)

$T_1 =$ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่หนึ่ง (K)

$T_2 =$ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่สอง (K)

หรือ

$$v = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} \quad (2.12)$$

โดยที่ : $v =$ ความเร็วเสียงที่อุณหภูมิใด ๆ (m/s)

$v_0 =$ ความเร็วเสียงที่ 0°C (331.5 m/s)

$t =$ อุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)

2.2.9 ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่นอัลตราโซนิกซึ่งจะมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อ ตารางเซนติเมตร (W/cm^2) เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นใน 1 วินาที

2.2.10 การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิก (Attenuation)

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (Beam) ของคลื่นอัลตราโซนิกจะสูญเสียความเข้มซึ่งเกิดจากการสูญเสียของลำคลื่นอัลตราโซนิก หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในตัวกลาง และอาจเกิดการดูดซับพลังงานส่วน หนึ่งของคลื่นโดยตัวกลางที่คลื่นเสียงที่ผ่าน พลังงานที่ดูดซับนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของวัตถุ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ ยิ่งความถี่สูงพลังงานจะยิ่งถูกดูดซับมาก

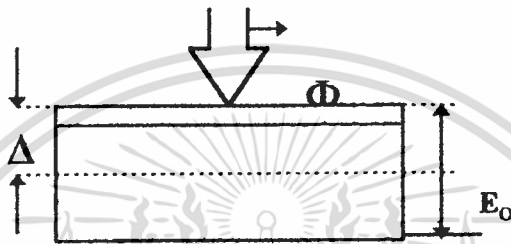
2.3 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

2.3.1 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

เพียโซอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้กล่าวคือถ้าป้อนแรงกลให้แก่ Soil Crystalline Dielectric ดังในรูปที่ 2.11 ก็จะเกิดความเค้น (Stress) ภายในคริสตัล และทำให้ Crystal

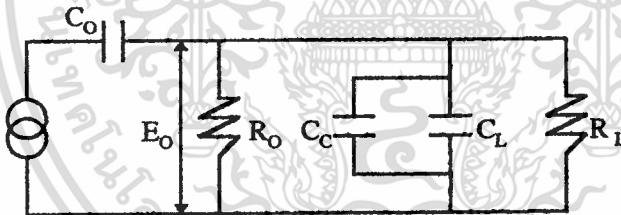
Lattice ผิดรูป เช่น พวกรควอทซ์ (Quartz) ผลก็คือ ประจุเปลี่ยนไป การผิดรูปร่างของแลตทิซเปลี่ยนไป การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามบนด้านตรงกันข้ามของคริสตอล เรียกว่า ผลของเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric effect)

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (Electrode) เข้าที่ผิวด้านนอกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสองข้าง ขนาด (Magnitude) และ การที่ขั้ว (Polarity) ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (Induced Surface Charge) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทาง (Direction) ของแรง (F) ที่มากระทำ



รูป 2.11 ผลของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

2.8.2 วงจรเสมือนของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์



รูป 2.12 วงจรเสมือนของเพียโซอิเล็กทริก

C_0 = คาปาซิแตนซ์ ของชิ้นส่วนเพียโซอิเล็กทริก

R_0 = leakage resistance ของเพียโซอิเล็กทริก ปกติจะมีค่าสูงประมาณ $10^8 - 10^{10}$

ความต้านทานระหว่างเทอร์มินอล โดยทั่วไปจะเป็นไปตามความต้านทานโหลด

R_L (ใน ช่วง $10^6 - 10^7$)

C_L = คาปาซิแตนซ์ ของ stage (load) ร่วมกับ connectin cable

หา E_0 ได้

$$E_0 = \frac{E_c}{C_c + C_L}$$

(2.19)

2.3.3 วัสดุเพียโซอิเล็กทริก

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น Quartz, Tourmaline Rochlle salt, Ammonium Dihydrogen Phosphate (PZI) โดยทั่วไปแล้วพวกควอทซ์ และคริสตอลที่เป็นเพียโซอิเล็กทริกธรรมชาติมักจะมีขั้วของตัวเองตามธรรมชาติแต่พวกวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียม ไททานเนค เซรามิก จะต้องนำมาทำการอบคริสตอลภายใต้แรงดันและวางวัสดุที่ได้นี้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของ DC มาก หลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกนำมาในสนามไฟฟ้าแล้ว คริสตอลนี้จะมีขั้วตามแนวทิศทางของสนาม และประพจน์ตัวตามคุณสมบัติของเพียโซอิเล็กทริก สำหรับชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ไม่มีข้อจำกัดทางขนาด โดยโครงสร้างของคริสตอลและยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ และทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

2.3.4 คุณสมบัติทางวัสดุของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

Solid State จะให้สัญญาณทางไฟฟ้าออกมาเมื่อให้แรงทางกลเข้าไป วัสดุสารกึ่งตัวนำเหล่านี้มักถูกนำมาใช้เปลี่ยนปรากฏการณ์ทางกลให้เป็นปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า แบ่งออกเป็นสองแบบ “Self - Generating Type” หมายความว่าเมื่อป้อนแรงเข้าไปจะสร้างประจุทางไฟฟ้าออกมาอีกแบบหนึ่งคือ “Passive Circuit Type” หมายถึงป้อนแรงเข้าไปจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ Piezoelectric Material เป็นแบบ Self - Generating Type ปรากฏการณ์ “Piezoelectric Effect” เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขึ้นภายใน Crystal Lattice ทำให้เกิดประจุบวกและประจุลบขึ้นที่พื้นผิวภายนอกคริสตอล วัสดุจำพวกแรกที่แสดงปรากฏการณ์ออกมาตามธรรมชาติได้แก่ พวก Highly Polar Crystal ยกตัวอย่างเช่น ควอทซ์, โรเซลซอลท์ และแอมโมเนียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต วัสดุเหล่านี้ได้แสดงปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก ออกมาตามธรรมชาติโดยไม่ต้องการวิธีการใด ๆ เพิ่มเติม แบเรียม ไททานเนค ซึ่งเป็นเซรามิกแบบหนึ่งที่สังเคราะห์ขึ้นให้มีคุณสมบัติของ เพียโซอิเล็กทริก ต่อมาในปี 1957 มันถูกแทนที่ด้วยสารผสม ลีทเซอร์โคเนตไตทานเนท ที่ใช้งานได้ อุณหภูมิสูงกว่าเดิม มีปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกแรงกว่าเดิม และมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหลายประการ เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการพัฒนา “Piezo Electric Polymer Film” ซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้น บางลง มีความยืดหยุ่นมากขึ้น และน้ำหนักเบา ทุก ๆ แบบของโพลีเมอร์ที่รู้จักกันจะมีพื้นฐานมาจาก Vinylidene Fluoride ซึ่งให้ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกสูงสุด



2.3.5 การแยกแยะ (Resolution)

การแยกแยะของการส่งระบบพัลส์คลื่นสะท้อนสามารถถูกใช้เป็นตัวกำหนดความสามารถ ของระบบที่แยกความแตกต่างระหว่างตัวสะท้อน 2 ตัว ที่อยู่ใกล้กัน การแยกแยะที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด

2.3.5.1) การแยกแยะทางด้านข้างเป็นความสามารถในการแยกความแตกต่างของวัตถุ 2 อันซึ่งวางตั้งฉากกับทิศทางของลำคลื่น และขึ้นอยู่กับความกว้างของลำคลื่นอุลตราโซนิก

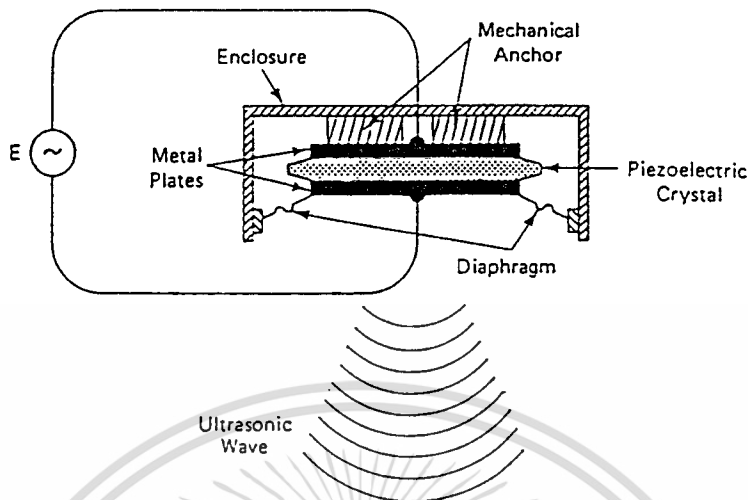
2.3.5.2) การแยกแยะตามแนวนอนของลำคลื่นเป็นการวัดความสามารถในการแยกความแตกต่างของวัตถุ 2 อัน ตามแนวแกนของลำคลื่น ซึ่งถูกกำหนด โดยความยาวของพัลส์คลื่นสะท้อนของอุลตราโซนิก จากวัตถุเล็ก ๆ ในทางอุดมคติพัลส์จะต้องสั้นเพราะถ้ายาวเกินไปพัลส์คลื่นสะท้อนจากวัตถุที่ระยะมากกว่า จะมาถึงตัวรับก่อนที่คลื่นอันแรกจะหมดไป ซึ่งจะทำให้คลื่นสะท้อนทั้งสองซ้อนทับกัน

2.3.6 โครงสร้างของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

โครงสร้างของตัวอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก โดยภายนอกตัวมัก จะสร้างเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและมีความสูงประมาณ 10-25 มม. ด้านหน้าจะ ทำเป็นช่องเปิดและมีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอุลตราโซนิกเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดนี้ได้โดย สะดวก และตะแกรงนี้ยังป้องกันสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ อีกเช่น แมลง ฯลฯ ถ้าตัวตั้งทำมาจาก โลหะก็ควรต่อตัวตั้งลงกราวนด์ เพื่อชิลด์บางสิ่งหรือที่ขาข้างหนึ่งจะต่อกับตัวตั้งเพื่อลงกราวนด์ไว้ เรียบร้อยแล้ว

โครงสร้างภายในจะประกอบด้วย “ชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริก” (Piezoelectric element) ซึ่งสามารถทำได้จากสารหลายชนิด เช่น ผลึกแร่ควอรตซ์ (Quartz) , แบเรียมติทานาต (Barium titanate), เกลือร็อกเชล (Rochelle salt) ฯลฯ แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริกที่ทำมาจากแบเรียม ติทานาต ซึ่งได้จากการผสมสารติทานาตกับแบเรียมคาบอเนท ที่อุณหภูมิประมาณ 1300-1400 องศาเซลเซียสและผลึกออกมาในรูปแบบของชิ้นสาร “เซรามิก” ซึ่งจะเป็รูปลิ่มเหลี่ยม โดยส่วนใหญ่

จากชิ้นเซรามิกนี้จะถูกประกบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่น ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากแผ่นเงิน เพื่อต่อเป็นขาของอิเล็กทรอนิกส์ต่อไปนั่นเอง ด้านข้างหนึ่งของแผ่นเพลทจะถูกยึดเพื่อไม่ให้เกิดการ สั่น ส่วนอีกด้านจะถูกยึดกับแผ่นไดอะแฟรม ซึ่งสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้โดยแผ่นไดอะแฟรมนี้ จะถูกสร้างให้มีลักษณะคล้ายเลนส์ เพื่อรวมคลื่นให้มีความเร็วสูงขึ้น



รูป 2.18 แสดงลักษณะ โครงสร้างภายในทั่ว ๆ ไปของทรานสดิวเซอร์
เพียโซอิเล็กทริกเอฟเฟค

2.3.7 ชนิดของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

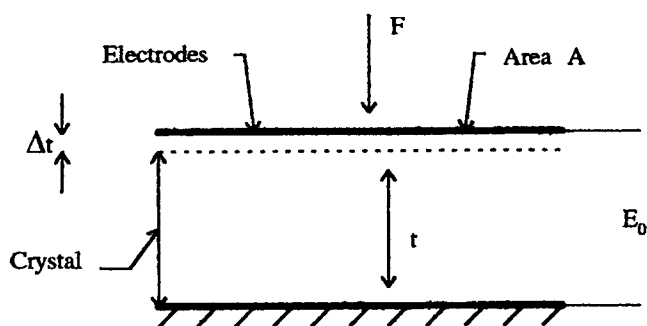
2.3.7.1) แบบ generation - action transducer ใช้เป็นตัวรับ โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากกระทำต่อวัตถุเพียโซอิเล็กทริก

2.3.7.2) แบบ motor - action transducer ใช้เป็นตัวส่ง โดยการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิคจะขึ้นอยู่กับขนาดความสูงและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ในทั้ง 2 กรณีค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับขนาดวัสดุ

2.3.8 ปฏิกิริยาของเพียโซอิเล็กทริก

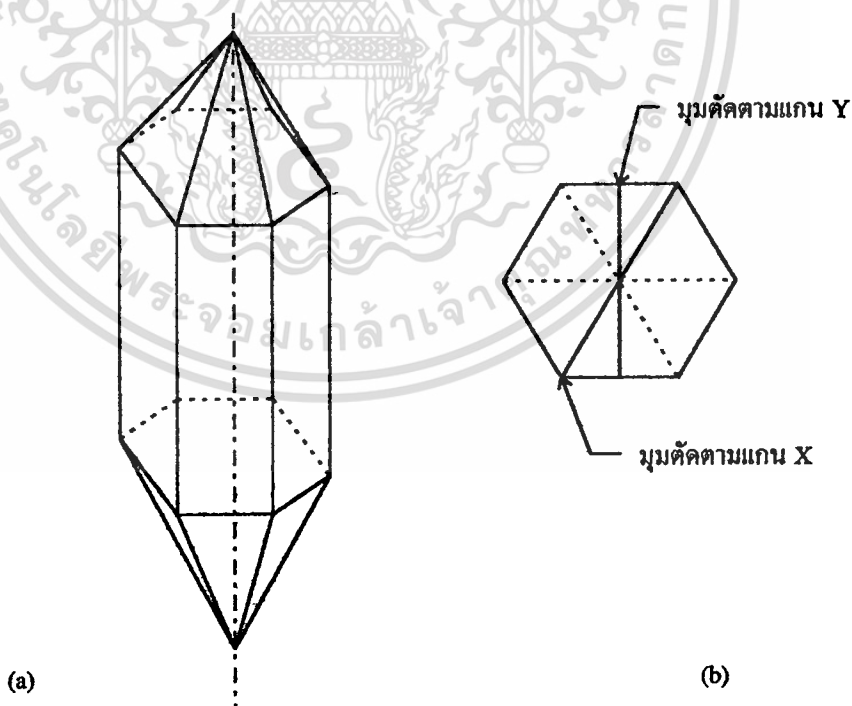
เพียโซอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ ถ้าป้อนแรงกลให้แก่ solid crystalline dielectric ดังในรูปที่ 2.14 ก็จะเกิดความเค้น (stress) ภายในคริสตอล และทำให้ crystal lattice ผิดรูปไปเช่น พวกควอตซ์ ผลก็คือประจุจะเปลี่ยนไปการผิดรูปของแลททิซ เป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่ (Displacement) ของประจุบวกและลบในแลททิซเปลี่ยนไป การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามบนด้านตรงกันข้ามของคริสตอล เรียกว่า “ ผลของเพียโซอิเล็กทริก ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

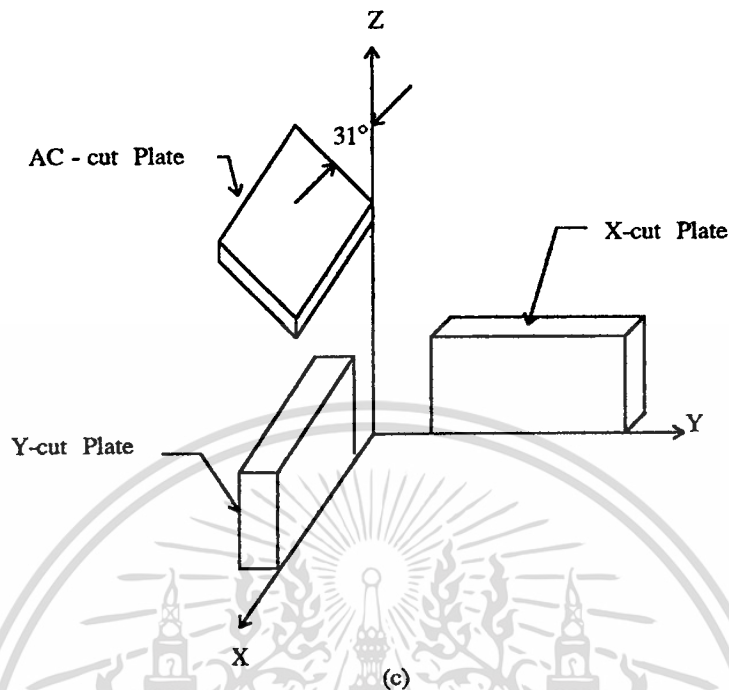


รูป 2.14 ผลของเพียโซอิเล็กทริก

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (Electrode) เข้าที่ผิวด้านนอกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด (Magnitude) และการมีขั้ว (Polarity) ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (Induced Surface Charge) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทาง (Direction) ของแรง (F) ที่มากระทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.15 แสดงผลึกควอทซ์และการตัด

ชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Element) จะมีการตัดแบบต่าง ๆ เพื่อผลทางสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ ซึ่งการตัดก็ถือวิธีตัดตามแกนต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.15

วัสดุ เปียโซอิเล็กทริก ที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น Quartz, Tourmaline Rochelle salt, Ammonium Dihydrogen Phosphate (ADP), Lithium Sulphate, Barium Titanate, Lead Zirconate Titanate (PZT) โดยทั่วไปแล้วพวกควอทซ์และคริสตอลที่เป็นเปียโซอิเล็กทริก ธรรมชาติมันจะมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติ แต่พวกวัสดุเปียโซอิเล็กทริก สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียม ไททานเต เซรามิก จะต้องนำมาทำการอบคริสตอลภายใต้แรงดันและวางวัสดุที่ได้นี้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของ DC มาก หลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกนำไปในสนามไฟฟ้าแล้ว คริสตอลนี้จะมีขั้วตามแนวของทิศทางของสนามและประพจน์ทิศทางตามคุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริก สำหรับชิ้นส่วนวัสดุที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ไม่มีข้อจำกัดทางขนาด โดยโครงสร้างของคริสตอลและยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ และทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างการผลิต

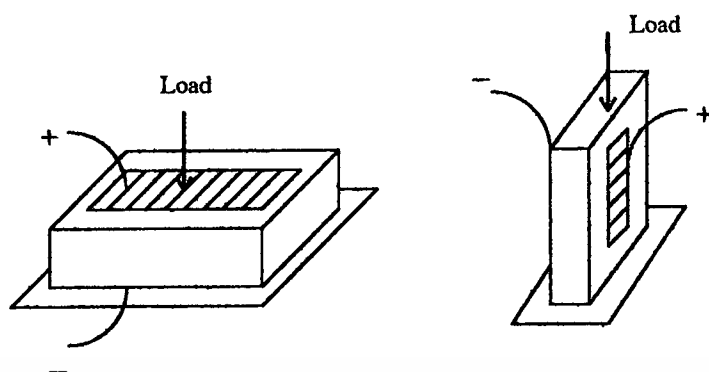
ตาราง 2.2 ค่าคงที่ของเป็ยโซอิเล็กทริก

Material	Orientation	Charge	Voltage
		sensitivity d $\frac{\text{coulomb} / \text{m}^2}{\text{newton} / \text{m}^2}$	sensitivity g $\frac{\text{volt} / \text{m}}{\text{newton} / \text{m}^2}$
Quartz	X cut : length along Y length longitudinal	2.25×10^{-12}	0.055
	X cut : thickness longitudinal	-2.04	-0.050
	Y cut : thickness shear	4.4	0.103
Rochelle salt	X cut 45 : length longitudinal	435	0.008
	Y cut 45 : length longitudinal	-73.4	-0.20
Ammonium dihydrogen phosphate	Z cut 0 : face shear	43	0.354
	Z cut 45 : length longitudinal	24	0.177

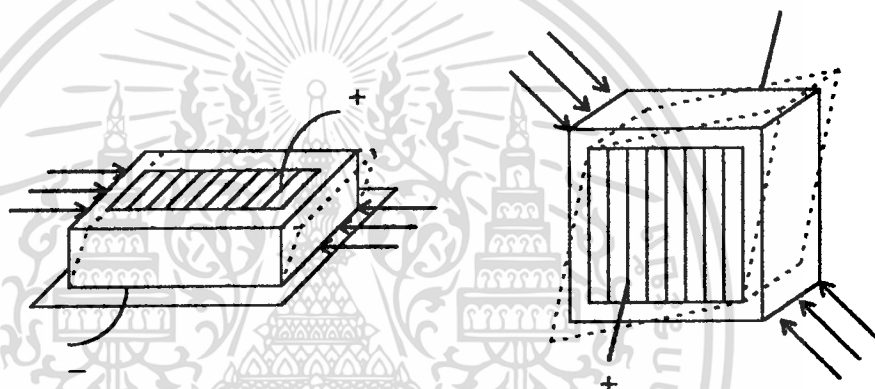
2.3.9 ลักษณะการปฏิบัติตัวของ เป็ยโซอิเล็กทริก (Mode of operation)

2.3.9.1) **จิมเปิดเพลท (Simple plate)** เป็นเป็ยโซอิเล็กทริก ชั้นเดียว โดยมีแรงมากระทำกับเพลทในทิศทางต่าง ๆ กันทำให้เกิดการยุบตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปไป ดังรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a). Thickness expander (TE) (b). Length expander (LE)



(c). Thickness Shear (TS) (d). Face Shear (FS)

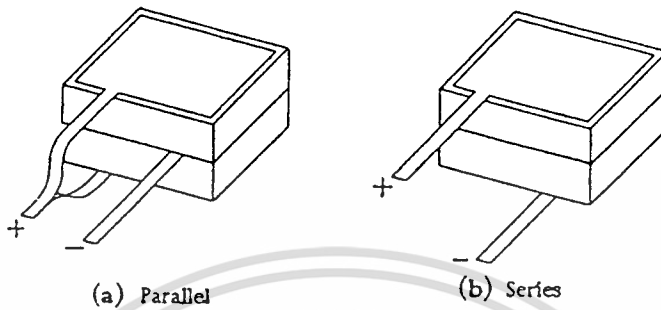
รูป 2.16 การเปลี่ยนทิศทางของชิ้นส่วนเพียโซอิเล็กทริก

2.3.9.2) Multiple arrangement (stacks)

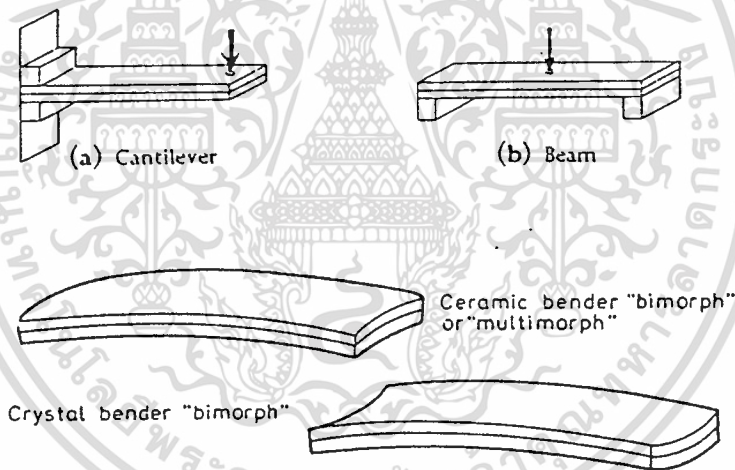
สามารถนำเอาชิ้นส่วน เพียโซอิเล็กทริก มาต่อกันในลักษณะ compression-expansion made ดังแสดงในรูป 2.17 โดยการนำเอาชิ้นส่วนมาต่ออนุกรมกันก็จะได้ เอาท์พุทโวลเตจ ออกมาสูงที่แรงกดคั่นอันเดียวกันหรือถ้าเอามาต่อขนานกันก็จะได้ เอาท์พุทอิมพีแดนท์ ต่ำกว่าชิ้นส่วนตัวเดียว สามารถแบ่งลักษณะต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) **Rimorphs, Benders** ได้แสดงในรูป 2.18 ประกอบด้วย transverse expomding plate 2 อันติดกันไว้อย่างแน่นหนา เมื่อป้อนแรงคั่นให้แก่มันก็จะเกิดการโค้งงอ ซึ่งถ้าใช้เป็นคริสตัล การโค้งจะเป็นในรูป 2.18 (a) และถ้าใช้ เพียโซอิเล็กทริก จะเป็นในรูป 2.18 (b) การโค้งงอของชิ้นส่วน เป็นเหตุให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดได้เช่นในรูป 2.18 (c) ติดตั้งขึ้น

ส่วนไวบนขาตั้งที่อยู่กับที่มีแรง F มากกระทำที่ตรงกลางในรูป 2.18 (d) ติดตั้งในลักษณะเป็นเท้าแบบ ระบบนี้เป็นที่ใช้บ่อยใน Phonograph pickup cartridge

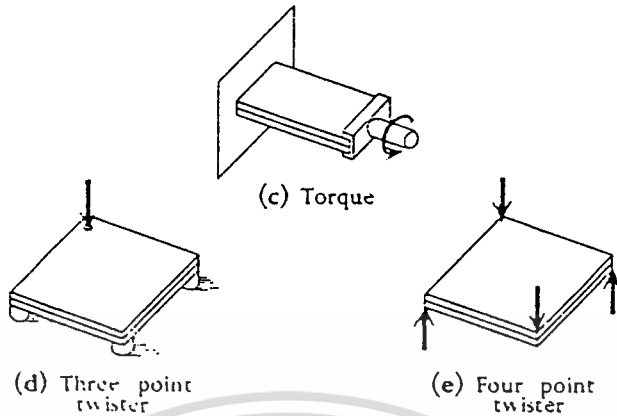


รูป 2.17 การต่อในลักษณะต่างๆของชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก



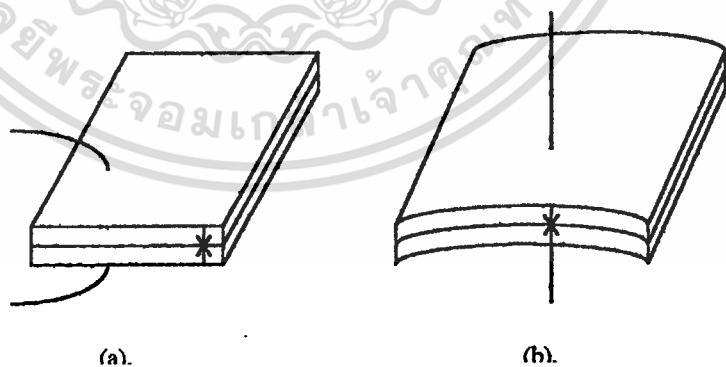
รูป 2.18 การต่อในลักษณะต่างๆของชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริกและผลของการโค้งงอเมื่อมีแรงดันระหว่างเพลททั้งสอง

2) Twisters ในรูป 2.19 แสดง face-shear plate 2 อัน วางประกบกันอย่างหนาแน่น ถ้าจ่ายแรงเคลื่อนให้เพลททั้งสอง มันจะเคลื่อนไหวโดยอิสระ การแผ่ขยายตัวจะมีมาก การขยายตัวก็จะเป็นไปในแนวเส้นทแยงมุม AC โดยที่ $A' C'$ ขยายตัวทำนองเดียวกันกับเส้นทแยงมุม BD ขยายตัวและ $B' D'$ ประกบกันอยู่



รูป 2.19 แสดง Face Shear Plate 2 อันที่วางประกบกัน

สำหรับในปัจจุบันวัสดุเป็ยโซอิเล็กทริก ที่นำมาใช้เป็นทรานสดิวเซอร์ ได้แก่ เซรามิกคริสตอล ชนิดแบเรียม ไททานต เซรามิก โดยใช้เป็นตัวกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิกที่มีความถี่อยู่ในย่าน 20-50 kHz รูปร่างทางเรขาคณิต (Geometry) ของมันจะเป็นตัวควบคุมความถี่ของอุลตราโซนิกที่ถูกสร้างขึ้น สำหรับ เป็ยโซอิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้จะประกอบด้วย ชั้นสารเซรามิกสี่เหลี่ยมซึ่งมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้งสองหน้าเพื่อให้สามารถต่อสายไฟมาเป็นขาสองขา ชั้นสารนี้ซึ่งประกอบจากสารเซรามิกสองชั้นประกบกันอยู่โดยวางให้โคโพลไฟฟ้าภายในอะตอมของมันมีทิศทางตรงกันข้ามโดยแสดงเป็นลูกศร ในรูป 2.20



รูป 2.20 แสดงโครงสร้างและผลของการป้อนแรงดันระหว่างเพลททั้งสอง

ก) โครงสร้างภายในอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบ เป็ยโซอิเล็กทริกที่ใช้สารเซรามิก

ข) เมื่อป้อนแรงดันให้แก่ตัวมันจะทำให้ชั้นสารโค้งตัวไปมาทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นสารเซรามิกจะถูกยึดติดภายในตัวถังอย่างดี เพื่อไม่ให้เกิดการสั่นขณะทำงานอยู่ได้รับผลกระทบกระเทือนจากภายนอก ตัวถังมักจะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและมีความสูงประมาณ 1-2.5 ซม. ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดมีตระแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอุลตราโซนิกเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดได้สะดวก ถ้าตัวถังทำมาจากโลหะก็ควรจะต้องตัวถังลงกราวด์เพื่อทำหน้าที่ชิลด์

ตาราง 2.3 คุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริก (Properties of Piezoelectric Materials)

Physical property	Units	Quartz (x - cut)	Lithium sulfate	Barium titanate
Density	10^3 Kg / m^3	2.65	2.06	5.5
Velocity	10^3 m / s	5.45	5.44	4.49
Acoustic impedance	$10^6 \text{ Kg / m}^2 \text{ s}$	14.4	11.2	24.7
Young's Modulus	10^{10} N / m^2	7.9	6.1	11.1
Dielectric constant	relative to vacuum	4.57	10.3	1250
Piezoelectric constant	10^{-12} m / v	2.25	16	145
Mechanical Quality factor	-	10^6	-	450
Curie temperature	C	575	75	115

2.3.10 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

เมื่อเซรามิกได้รับสัญญาณแรงดันมาตกคร่อม จะทำให้ชั้นสารเซรามิกโค้งงอทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นมาคังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วง ๆ (electrically) จากออสซิลเลเตอร์ก็จะทำให้ชั้นสาร โค้งงอมากขึ้นหรือทิศทางใดตามขนาด และทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณไฟฟ้าจากออสซิลเลเตอร์นั้นออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะเอกสสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกลงประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้า ที่ป้อนให้แก่เอาท์พุทจะสูงที่ค่านี้โดยประมาณก็ต่อเมื่อ ความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าชิ้นสารเซรามิกตรงกันกับความถี่เรโซแนนซ์ที่เป็น ความถี่ทางกลธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิกนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่า นี้ ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ มีการทำงานตรงกันข้ามกับตัวส่ง คือ เมื่อมีคลื่นเสียง ที่มีความถี่ต่างกับความถี่เรโซนามิกเข้ามา จะทำให้ชิ้นสารโก่งตัวไปมาและเกิดสัญญาณแรงดัน ไฟฟ้าขึ้นซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมัน

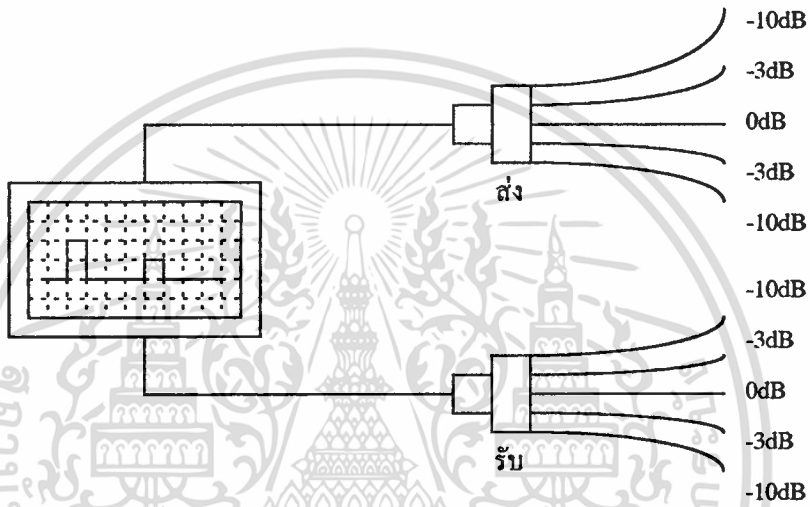
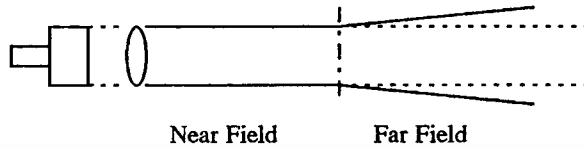
คุณสมบัติโดยทั่วไป ของอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ แบบเปียโซอิเล็กทริกก็คือมีความต้านทานทางไฟตรงสูงมากอาจสูงถึง $100\text{ M}\Omega$ เรียกว่าถ้าเอาอิมพีแดนซ์รวมมาตั้งสเกลวัด ค่าความต้านทานสูง ๆ เข้มจะไม่กระดิกเลย แต่ในขณะที่มันทำงานความต้านทานไฟสถับจะลดลง

2.3.11 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับพอที่จะสรุปเป็นแนวทางใช้งานดังนี้

- ไม่ควรให้ตัวด้านทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระทบหรือตกจากที่สูงเมื่อป้องกัน โครงสร้างภายในมิให้เสียหาย
- ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกัน โดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกิน 20 VRMS ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่ป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ ก็ควรอยู่ภายในขีดจำกัดนี้
- ความถี่ของเรโซแนนซ์ (ความถี่ที่ตัวมันทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด) ของทรานสดิวเซอร์ 40 kHz สำหรับตัวรับจะเห็นได้ว่าแถบความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้
- อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ภายในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส
- ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับประมาณ 30 องศาความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาจะลด จึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงเข้าหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อยู่ในห้องอาจจะเบี่ยงเบนจากกันได้มาก เพราะคลื่นเสียงอุลตราโซนิคสามารถสะท้อนกับกำแพง และวัตถุที่อยู่ในห้อง ทำให้คลื่นเสียงอุลตราโซนิคสามารถสะท้อนกับกำแพง และวัตถุที่อยู่ในห้อง ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง ดังรูป 2.21

อุลตราโซนิคนี้สามารถทำให้เป็นลำแคบได้โดยใช้เลนส์ที่เรียกว่า planococave lens วางข้างหน้าทรานสดิวเซอร์ แต่การทำให้เป็นลำแคบ (Beam) นี้เหมาะสำหรับใช้ทรานสดิวเซอร์ที่

สร้างคลื่นสูงที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานแพทย์ (Ultrasound) ที่มีความถี่ตั้งแต่ 2-5 Mhz เพื่อใช้ตรวจเนื้อเยื่อมีลักษณะการส่งเป็นลำแคบ ดังแสดงในรูป 2.22



รูป 2.21 แสดงการลดทอนของคลื่นที่เบี่ยงเบนออก

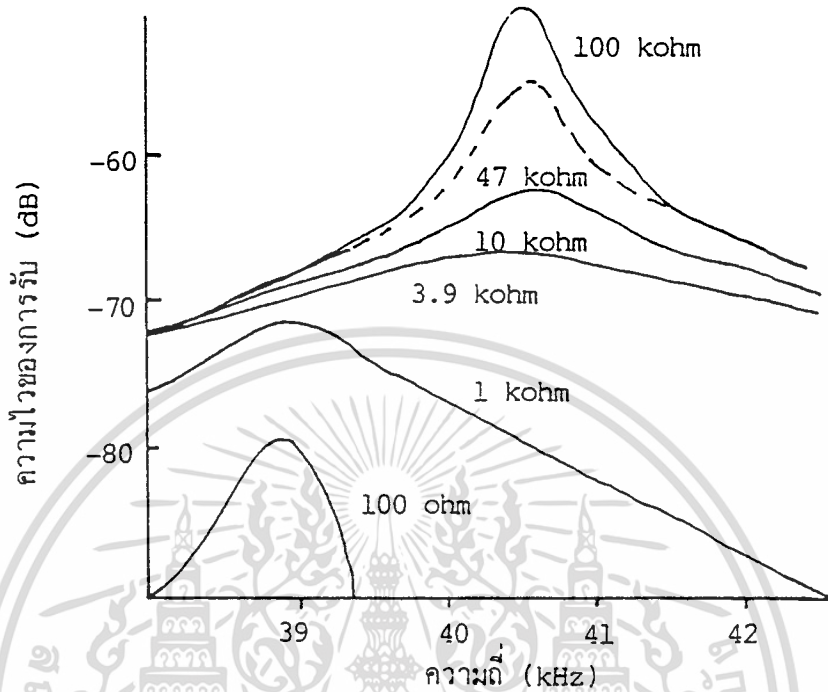


รูป 2.22 แสดงลักษณะการเป็นลำของคลื่น

-ในกรณีที่ใช้งาน ตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานคู่ขนานกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลดตามปกติแล้วตัวต้านทานนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วง 10k ถึง 100k จากการทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยนโหลดจาก 100k มาเป็น 10k ความไวจะลดลงประมาณ 10 ถึง 12dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลงไปอีกความถี่เรโซแนนท์ (ความถี่กลาง) จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงสักหน่อย เพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีแฉกความถี่แคบตัวอย่างการทดลองแสดงในรูป 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงค่าความถี่ ที่มีผลต่อความไวของการรับที่ค่าความต้านทานต่าง ๆ

-ตามปกติแล้วเราสามารถนำเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ในการใช้งานส่วนใหญ่ และตัวส่งหรือตัวรับของยี่ห้อใด รุ่นใด ก็สามารถใช้แทนกันได้ในงานส่วนใหญ่ของเพียงแต่ให้มีความถี่เรโซแนนซ์เดียวกันเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมมูลย์ทางด้านไฟฟ้าสลับเพื่อให้ลักษณะผลตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม

-ประโยชน์การใช้งานของคลื่นอุลตราโซนิก

คลื่นอุลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถเล็งคลื่นไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง ยิ่งคลื่นที่มีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ใช้เสียงนั้นออกมา) ของตัวที่ทำให้กำเนิดเสียงความถี่นั้น) เช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศ จะมีความยาวคลื่นถึงประมาณ 1 เมตรเศษ ๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องเปิดที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงที่ทำให้เกิดการกระจายทิศทางของคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอุลตราโซนิกทำให้เราสามารถนำไปใช้งานได้หลายทาง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยสังเกตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมาเครื่องวัดความลึกและตำแหน่งที่ได้ท้องทะเล ใช้ในเครื่องตำแหน่ง
 อวัยวะบางส่วนในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน
 เช่น ถ้าคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 kHz
 เพราะที่ความถี่สูงขึ้นไป อากาศจะถูกคลื่นเสียงได้เพิ่มมากขึ้น ทำให้ระดับความแรงของคลื่น
 เสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ ซึ่งต้องการรัศมีสั้น ๆ ก็
 อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 Mhz ขณะที่ความถี่เป็น Ghz(10^9 Hz) ก็มีใช้กันหลาย ๆ
 การใช้งานที่ตัวกลางคลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่อากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบโครงสร้างของตัวถังรถ

3.1 ลักษณะทั่วไปและส่วนประกอบของตัวถังรถ

ระบบขับเคลื่อน ในการออกแบบได้แบ่งระบบการขับเคลื่อนตามหน้าที่

ระบบส่งกำลัง

ในการพิจารณาวัสดุและอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการส่งกำลังให้เป็นไปตามจุดประสงค์นั้นเราจะพิจารณาเป็นอย่างไร ไป คือ

- 3.1.1. เพลา (SHAFT)
- 3.1.2. แบริ่ง (BEARING)
- 3.1.3. โช้,เฟือง และ สายพาน
- 3.1.4. มอเตอร์ (MOTOR)
- 3.1.5. แบตเตอรี่ (BATTERY)
- 3.1.6. ล้อ (WHEEL)

หลักการออกแบบส่วนประกอบและโครงสร้างต่างๆ ในตัวรถ

3.1.1. เพลา (Shaft)

เพลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป ตามลักษณะการใช้งานดังนี้

- เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง
- แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลา ไม่ว่าจะชิ้นส่วนจะหมุนหรือไม่หมุนก็ตาม

- สปินเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลาที่แทนกลิ้ง (Head Shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาดรูปร่างและส่วนอื่นออกมาต่อกับเพลาอื่นๆ

- เพลาแนว (Line Shaft) หรือเพลาที่ส่งกำลัง (Power Transmition Shift) หรือเพลาเมน (Main Shsft) เป็นเพลาที่ต่อตรงจากเครื่องต้นกำลังและใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรอื่นๆ โดยเฉพาะ

- แจ็กชาฟ (Jick Shaft) หรือเค้าน์เตอร์ชาฟ (Counter Shaft) เป็นเพลานาคนาสนัที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลามนหรือเครื่องจักรกล

- เพลาอ่อน (Flexible Shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งงอได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงดัน หรือหลายแรงร่วมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณก็ต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาสึกหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจะต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งาน นอกจากนี้เพลายังมีความแข็งแรง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่เหมาะสม ระยะโก่ง (Deflection) ของเพลาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเพลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลามีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแ่งขณะหมุนทำให้เกิดความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลามีการสั่นอย่างรุนแรง ในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของเพลาและที่รองรับเพลา เช่น บอลแบร์ริง (Ball Bearing) ก็ต้องมีการเอียงแนว (Misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลาคด้วย

การพิจารณาในการออกแบบเพลา

การคำนวณหาขนาดของเพลาที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานในบางครั้ง การหาขนาดของเพลา เพื่อให้เพลาทนต่อแรงที่มากกระทำอย่างเดียวเท่านั้นไม่เพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลาลูกเบี้ยว (Cam Shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งที่ตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ในพิคัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบร์ริงที่รองรับเพลาอยู่เกิดความสึกหายได้ง่ายขึ้น

ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐาน สำหรับพิคัดมุมของเพลาไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมัก จะใช้มุมบิดของเพลาในเครื่องจักรทั่วไป ไม่เกิน 0.3 องศาต่อความยาวเพลา 1 เมตร สำหรับเพลาส่งกำลังทั่วไป อาจจะให้มีมุมบิดถึง 1 องศาต่อความยาวเพลา 20 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลา ในกรณีของเพลาสำหรับลูกเบี้ยวของเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะทำให้มุมบิดไม่เกิน 0.5 องศาต่อความยาวของเพลา

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแรงทางด้านระยะโก่ง เพราะจะต้องใช้ระยะโก่งของเพลลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญในการกำหนดครยะเบียดด้วย (Clearanc) ระหว่างล้อสายพาน เฟือง โครงสร้างของเครื่องจักรตลอดจนการเลือกชนิดของแบร็งสำหรับรองรับเพลลาที่หมุนให้เหมาะสม ถ้าเพลลามีระยะโก่งมากเกินไป จะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลง เป็นผลให้อัตราส่วนการขบ (Contact Ratio) ของเฟืองลดลง ทำให้ส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกแบร็งชนิดที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวได้พอเหมาะกับระยะโก่งของเพลลาที่จะเกิดขึ้น

ระยะโก่งดังกล่าวนี้ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไป แล้วผู้ออกแบบอาจถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการคำนวณความแข็งแรงทางด้านระยะโก่งได้ดังนี้คือ

-สำหรับเพลลาเครื่องจักรฯ ทั่วไป ค่าระยะโก่งระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบร็งควรจะไม่เกิน 0.08 มม / ม

-สำหรับเพลลาที่มีเฟืองตรงคุณภาพดีอยู่แล้ว ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.125 มม. และความลาดเอียงของเพลลา ณ ตำแหน่งนี้ควรจะไม่เกินกว่า 0.0286 องศา

-สำหรับเพลลาที่มีเฟืองคอกงอกคุณภาพดีอยู่แล้ว ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.075 มม

จากเหตุผลดังกล่าวมาแล้วจะเห็นว่าขนาดของเพลลา อาจจะหามาได้โดยใช้ความแข็งแรงที่ต้องการ แทนที่จะเป็นความแข็งแรงในด้านการรับแรงภายนอกก็ได้ การหาระยะโก่งของเพลลา อาจทำได้โดยใช้วิธีกลศาสตร์วัสดุ

3.1.2. แบร็ง (Bearing)

เป็นตัวช่วยลดความเสียดทาน ความสึกหรอและความร้อน ที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่มีการเสียดสีกัน การหล่อลื่นทำได้โดยการใส่สารหล่อลื่น (Lubrication oil) หรือจารบี (Grease) หรืออากาศและอื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งาน ในการเลือกใช้แบร็งนั้นจะต้องเลือกใช้แบบให้เหมาะสมกับเพลลา

8.1.9. โഴ้ เฟือง และ สายพาน

ในการส่งกำลังทางกลส่วนใหญ่จะมีการส่งกำลังไปยังเพลาอาจจะทำได้ 3 วิธีคือ

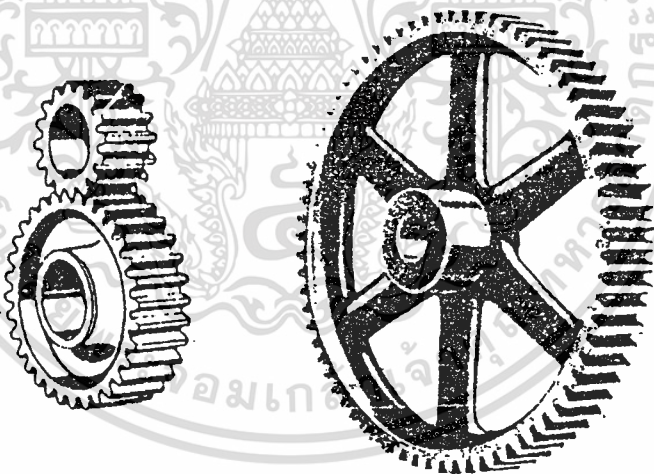
1) เฟือง (Gears)

เฟืองเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรกลอีกอย่างที่มีความสำคัญมากมีใช้ในงานวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง เพราะสามารถส่งกำลังได้แม่นยำเที่ยงตรง ไม่มีการสั่นไถล ให้อัตราทดที่แน่นอนเช่นเดียวกันกับการส่งกำลังด้วยสายพาน

เฟืองแบ่งตามลักษณะรูปร่างจะมีอยู่ 4 แบบคือ

1.1. เฟืองตรง (Spur gear)

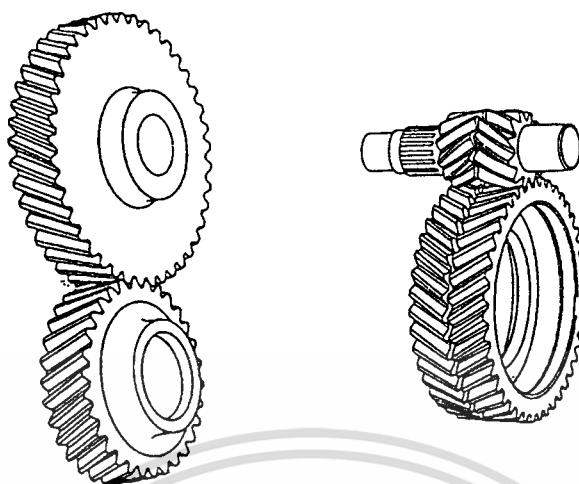
เฟืองตรงจะมีลักษณะเป็นล้อทรงกระบอกกลม มีฟันขนานกับแกนของตัวเฟืองหรือแกนของเพลา หน้าตัดของฟันจะมีขนาดเท่ากันและเหมือนกันตลอดทั้งฟันเฟือง ฟันเฟืองตรงจะมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เช่น ในเครื่องจักรนาฬิกาข้อมือ ในเครื่องวัดที่มีเข็ม (Meters) ชุดเฟืองทดในเครื่องจักรกลทุกชนิด ในกระปุกเกียร์รถยนต์ สำหรับเฟืองขนาดใหญ่จะพบได้ตามโรงงานรีดเหล็ก เฟืองตรงมีลักษณะดังรูป



รูป 8.1 เฟืองตรง

1.2. เฟืองเฉียงหรือเฟืองฟันเลื่อย (Helical and Spiral Gears)

เฟืองเฉียงมีลักษณะคล้ายกับเฟืองตรง จะต่างกันตรงที่ฟันของเฟืองเฉียงจะเอียงทำมุมกับแกนของตัวเฟืองหรือแกนของเพลา เฟืองเฉียงจะใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกัน เพลาที่ทำมุมตั้งฉากกันและเพลาทำมุมน้อยกว่ามุมฉาก เฟืองเฉียงอาจจะกัดร่องเฉียงเป็นมุมสองอยู่คนละด้านกัน ซึ่งจะเรียกว่า เฟืองก้างปลา (Herring -Bone gear) ซึ่งจะใช้ส่งกำลังได้ระหว่างเพลาที่ขนานกันเท่านั้น เฟืองเฉียงมีลักษณะดังรูป

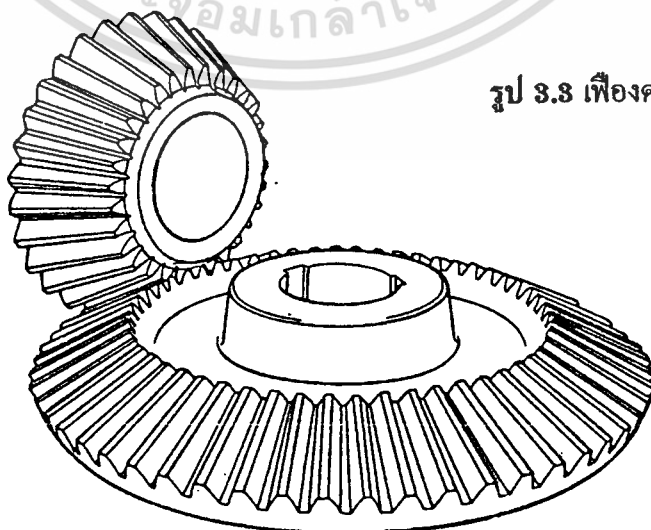


รูป 3.2 เฟืองเฉียงหรือเฟืองฟันเลื่อย

1.3. เฟืองดอกจอก (Bevel Gear)

เฟืองดอกจอกหรือบางครั้งอาจเรียกว่า เฟืองบายศรี มีลักษณะรูปร่างเป็นรูปทรงกรวย (Cone) มีฟันเฟืองอยู่โดยรอบผิวของทรงกรวย ฟันจะถูกตัดขนานกับแกนของเฟืองหรือเพลลาแกนหรือตัดด้านหน้ากับด้านหลังไม่เท่ากันเฟืองดอกจอกจะใช้สำหรับส่งกำลังสำหรับเพลลาที่ตั้งฉากกัน ส่งกำลังระหว่างเพลลาที่ทำมุมกันน้อยกว่า 90 องศา และมากกว่า 90 องศา

ฟันของเฟืองดอกจอกจะมีหลายแบบได้แก่ ฟันตรง ฟันเลื่อย ฟันเอียง เป็นต้น เฟืองดอกจอกจะใช้งานในระบบการส่งกำลังของเฟืองทำรถยนต์ ในระบบการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในเครื่องจักรกลต่างๆ ไป เฟืองดอกจอกมีลักษณะดังรูป



รูป 3.3 เฟืองดอกจอก

1.4. เฟืองหนอน (worm Gearing)

เฟืองหนอนจะประกอบด้วยตัวเกลิยหนอน และเฟืองหนอน ซึ่งจะใช้งานร่วมกันโดยเกลิยหนอนจะส่งกำลังหมุนไปจับให้เฟืองหนอนหมุนตาม ระยะพิตช์ของเกลิยกับระยะพิตช์ของเฟืองหนอนจะต้องมีค่าเท่ากัน เกลิยหนอนและเฟืองหนอนจะส่งกำลังระหว่างเพลาที่ตั้งฉากและเพลาที่วางข้ามกัน จุดเฟืองหนอนจะใช้ในชุดหัวแบ่ง (Indexing Head) ในเครื่องมือวัดบางอย่างและในเครื่องจักรกลบางชนิด ที่ต้องการทศรอบจากความเร็วสูงให้เป็นความเร็วต่ำมากๆ เฟืองหนอนมีลักษณะดังรูป



รูป 3.4 เฟืองหนอน

2) สายพาน

ในการส่งกำลังแบบสายพานนั้น เป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสียหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับการส่งกำลังแบบใช้เฟือง

ข้อดี คือ มีราคาถูกและใช้งานได้ง่ายและสะดวกในการติดตั้ง รับแรงกระตุกและแรงสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่เกิดเสียงดัง เหมาะสำหรับส่งกำลังระหว่างเพลาที่อยู่ห่างกันมากๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่า

ข้อเสีย คือ อัตราทดไม่แน่นอนต่อเนื่องจากสลিপหรือจากการเลื่อนไถลและการครีฟของสายพาน ระวังต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลลาหรือปรับแรงดึงในสายพานระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ยังไม่อาจใช้งานที่มีอัตราทดสูงมากได้ซึ่งมักจะใช้กับอัตราทดไม่เกิน 6

3) โซ่

การขับเคลื่อนด้วยโซ่มีใช้กันมากในงานเครื่องกล เนื่องจากมีลักษณะการขับเคลื่อนด้วยสายพาน โดยโซ่จะคล้องอยู่กับล้อโซ่หรือเฟืองโซ่ซึ่งติดอยู่บนเพลลาขับและเพลลาตาม อัตราทดของการขับเคลื่อนขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสอง และการขับเคลื่อนนี้จะไม่มีการสลลิปขึ้นระหว่างโซ่กับเฟืองโซ่

การขับเคลื่อนด้วยโซ่ มีข้อดีอยู่ระหว่างการขับเคลื่อนด้วยสายพานและ การขับเคลื่อนด้วยเฟืองทางด้านราคา สมรรถนะในการส่งกำลังและการบำรุงรักษา โซ่สามารถขับได้ในระยะทางไกลกว่าการขับเคลื่อนด้วยสายพานและการขับเคลื่อนได้พร้อมกันหลายๆ เพลลา ซึ่งมีทิศทางการหมุนตามกันหรือสวนกันก็ได้

ข้อดี

- ในการติดตั้งไม่ต้องการความเที่ยงตรงเท่ากับเฟือง
- ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงขั้นต้นในโซ่ด้านดึงเหมือนกับสายพาน ทำให้อายุการใช้งานของแบร็งที่รองรับเพลลาเพิ่มมากขึ้น
- ไม่มีการสลลิปในขณะที่ส่งกำลังเหมือนสายพาน ทำให้ได้อัตราทดที่แน่นอน
- มีขนาดกระทัดรัดกว่าสายพาน เมื่อใช้งานที่อัตราทดที่เท่ากัน เฟืองโซ่จะขนาดเล็กกว่าสายพาน และถ้าต้องการส่งกำลังเท่ากันความกว้างของโซ่จะน้อยกว่าความกว้างของสายพาน
- ติดตั้งง่ายกว่าสายพาน เพราะเพียงแต่คล้องเข้ากับเฟืองโซ่แล้วถอดสลักเท่านั้น
- ใช้งานได้อุณหภูมิสูง บริเวณที่มีความชื้นและฝุ่นละออง

ข้อเสีย

- มีเสียงดัง
- หากความเร็วรอบสูง จะเป็นอันตรายเมื่อโซ่ขาด
- เพลลาจะต้องขนานกัน และไม่มีความอ่อนตัวในการส่งกำลัง
- ราคาแพงกว่าสายพาน และต้องมีการหล่อลื่น

สิ่งจำกัดในการส่งกำลังด้วยโซ่เมื่อใช้งานด้วยความเร็วปานกลางจนถึงความเร็วสูงสุด คือ การสึกหรอของข้อต่อ และความต้านทานแรงดึงของวัสดุชิ้นส่วนโซ่ นอกจากนี้แล้วถ้าใช้งานด้วยความเร็วสูงจะต้องคำนึงถึงแรงที่เกิดขึ้นในโซ่เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลางในการขับเคลื่อนโดยใช้โซ่หลาย

เส้นขนานกัน อาจทำให้แรงที่กระทำกับโซ่ไม่กระจายไปเท่ากันตลอดความกว้างของโซ่ และถ้าหล่อลื่นไม่ดีพอก็จะเป็นสาเหตุประการสำคัญที่ทำให้โซ่สึกหรอได้มาก

โซ่คล้องอยู่บนเฟืองโซ่จะมีลักษณะคล้ายรูปหลายเหลี่ยมบนเฟืองโซ่ ทำให้แกนของแรงในแนวสัมผัสกับเฟืองโซ่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาที่ส่งกำลัง นอกจากนี้ในระหว่างเคลื่อนที่เข้าหาและเคลื่อนที่ออกจากเฟืองโซ่ ขั้วต่อโซ่แต่ละข้อจะเกิดการหมุนซึ่งการหมุนจะทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้น เป็นผลทำให้สูญเสียกำลังและสึกหรอ ผลต่อมาก็คือระยะพิทของโซ่เพิ่มขึ้นจนอาจจะหลุดออกจากเฟืองโซ่ได้

3.1.4. มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(Direct Current Motors)

3.1.4.1. หลักการของ Motor (Motor's Principle)

มอเตอร์ก็คือ ตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เพื่อนำพลังงานกลที่ได้ไปขับเคลื่อนสิ่งต่างๆ ตามที่ต้องการ อาการทางกลที่เกิดขึ้น ก็อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อมีกระแสไหลในตัวนำ ซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กนั้น ข้อมทำให้เกิดแรงขึ้นในทิศทางที่หาได้จากกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ขนาดของแรงที่เกิดขึ้น หาได้จาก

$$F = Bil$$

(3.1)

เมื่อ F = แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำหนึ่งตัว (นิวตัน)

B = ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า (เวเบอร์)

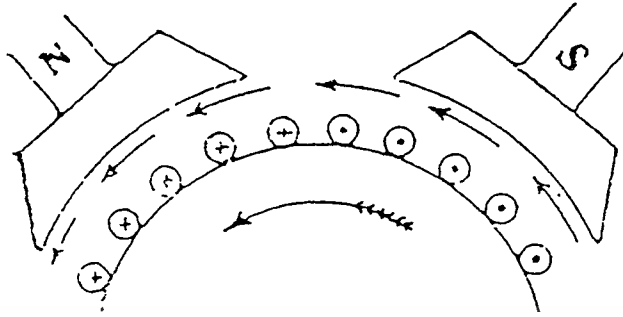
i = กระแสที่ไหลในตัวนำ (แอมป์)

l = ความยาวของตัวนำ (เมตร)

แรง F ที่เกิดขึ้น จะอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และกระแสที่ไหลผ่านในตัวนำนั้นๆ

เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงนี้ โดยหลักการพื้นฐานของโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟและมอเตอร์นั้น ไม่มีความแตกต่างในโครงสร้างเลยนั่นก็คือ เครื่องกลกระแสตรงเครื่องเดียวกันนี้สามารถนำไปใช้งานสลับกันได้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงก็คล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง นั่นก็คือ มีเครื่องแบบ Shunt - Wound หรือ Series - Wound หรือ Compound - Wound เช่นกัน



รูป 8.5 หลักการของมอเตอร์

จากรูปแสดงส่วนหนึ่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีหลายขั้วแม่เหล็ก เมื่อใส่ไฟเข้าเข้าไปในสนามกระตุ้น ข้อมทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก และเมื่อป้อนกระแสให้ไหลผ่านตัวนำที่อาร์มาเจอร์ ก็จะทำให้เกิดแรงขึ้นบนตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็กนั่นคือ ทำให้อาร์มาเจอร์หมุน ในที่นี้ได้กำหนดให้กระแสที่ไหลในตัวนำของอาร์มาเจอร์ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ N มีทิศทางของกระแสพุ่งเข้าไปข้างในดังหางลูกศรที่เป็นกาะะบาด ส่วนตัวนำที่อยู่ภายใต้ขั้วใต้นั้น ให้กระแสพุ่งออกมาข้างนอกดังหัวลูกศรที่เป็นจุด เมื่อเป็นเช่นนี้จึงหาทิศทางของการเคลื่อนที่ของตัวนำทุก ๆ ตัวที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กทั้ง N และ S ได้ โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง วิธีหาคือ กางมือซ้ายออก โดยให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้และนิ้วกลาง ตั้งฉากซึ่งกันและกัน จากนั้น ให้นิ้วชี้ชี้ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก คือชี้จากขั้ว N ไป S ให้นิ้วกลางชี้ไปตามทิศทางของกระแสของกระแส \mathbf{u} ที่ตัวนำที่ต้องการหาทิศทางที่เคลื่อนที่นั่นๆ นั่นคือ นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางของการเคลื่อนที่ของตัวนำนั้นๆ จะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำทุกๆ ตัว ภายใต้ขั้วแม่เหล็กเดียวกัน จะมีทิศทางไปในทางเดียวกัน และจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์มาเจอร์นั้นๆ และพบว่าแรงที่เกิดขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กทุกๆ ขั้ว ที่สลับกันไปนั้น จะมีทิศทางไปในทางเดียวกันทั้งสิ้น โดยแต่ละแรง จะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์มาเจอร์นั่นคือ ภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วก็จะมีแรงลัพธ์ขึ้นแรงหนึ่ง ฉะนั้นเมื่อมีหลายขั้วก็มีหลายแรงและทุกๆ แรงต่างก็รวมกันเป็นแรงบิดขึ้นมาแรงหนึ่ง ฉะนั้นจึงทำให้มอเตอร์หมุนไปได้จากแรงที่เกิดขึ้น

3.1.4.2. การเปรียบเทียบอาการปฏิกิริยาของเครื่องกำเนิดและมอเตอร์

(Comparison of Generator and Motor Action)

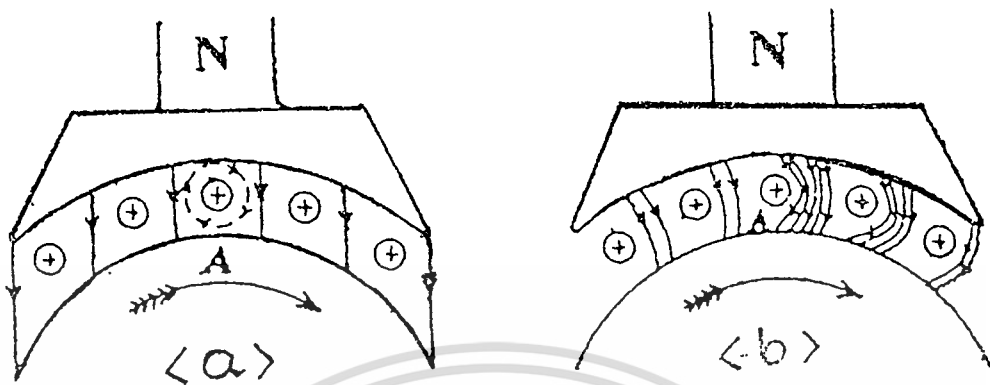
ดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่า เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเดียวกันนี้ สามารถใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็ได้ นั่นคือ เมื่อทำงานเป็นมอเตอร์นั้น ก็จำเป็นต้องใส่พลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับกระทรวงศึกษาธิการ เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานไฟฟ้าเข้าไปเพื่อให้ได้พลังงานกลออกมา และเมื่อนำมาใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านั้น ก็จำเป็นต้องใส่พลังงานกลเข้าไปจับให้ตัวหมุนเคลื่อนที่ เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าออกมาตามที่ต้องการ

จากที่กล่าวมาแล้วข้างบนนี้ เราลองมาทำการพิจารณาการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าว่าทำอะไรจึงให้เปลี่ยนพลังงานกลมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบกับอาการปฏิกิริยาของภายในอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ที่เกิดขึ้น

ตามรูป 3.6 (a) แสดงให้เห็นเพียงส่วนหนึ่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการหมุนอาร์มาเจอร์ซึ่งมีตัวนำวิ่งผ่านสนามแม่เหล็กหลักที่ขั้ว N หรือขั้ว S ก็ตาม แต่ในที่นี้เราจะพิจารณาเฉพาะตัวนำ A ที่อยู่บนอาร์มาเจอร์วิ่งผ่านขั้ว N ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา จากภูมิอชวาของเฟลมมิง ก็พบว่า มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าพุ่งเข้าไป ดังแสดงในรูป 3.6 (a) เมื่อเครื่องผลิตไฟฟ้าจ่ายกระแสไฟออกไปให้กับภาระไฟฟ้า จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ตัวนำทุกตัว แต่ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะตัวนำ A เท่านั้น ดังนั้นเมื่ออาร์มาเจอร์ยังถูกจับให้หมุนไปทางเดิม (ตามเข็มนาฬิกา) โดยพลังงานกลภายนอกอยู่ด้วยกำลังแรงเท่าเดิมอยู่ก็จะทำให้มีความรู้สึกที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเริ่มหมุนช้าลงไป ที่เป็นเช่นนี้เพราะมีแรงลากแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic drag) คอยต้านการเคลื่อนที่ของตัวขั้วนั่นเอง อาการปฏิกิริยา หรืออาการที่เกิดขึ้นเช่นนี้นั้น สามารถมองให้เห็นชัดหรือเข้าใจได้ง่ายดังรูป 3.6 (b) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เส้นแรงทางด้านขวาของตัวนำ A ที่อยู่ ในทิศทางเคลื่อนที่ของอาร์มาเจอร์นั้น มีจำนวนแม่เหล็กมากกว่าทางด้านซ้าย ทั้งนี้เพราะเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนตัวนำ A ของทางขวามือนั้น ไปอัดหรือรวมตัวกันกับเส้นแรงแม่เหล็กสำคัญ N ส่วนข้างซ้ายจะไปแยกตัวกับแม่เหล็กหลัก ฉะนั้นทางด้านซ้ายจะมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กน้อยกว่า การเกิดเส้นแรงแม่เหล็กบนตัวนำ A นี้ หาได้โดยใช้ Cork's Screw Rule เพื่อให้เข้าใจ การเข้าใจ จึงอาจจะเปรียบเทียบได้ว่า เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในกริยาอาการต่างๆ เหล่านี้ ต่างก็เปรียบเสมือนเส้นขาง หรือหนังสือที่ไขขิงนค โดยมี A ซึ่งเป็นตัวนั้นเปรียบเสมือนว่าเป็นลูกหิน ฉะนั้นถ้ามีเส้นแรงเกิดขึ้นทางขวามากเท่าไร ก็จะทำให้เกิดแรงต้านที่อาร์มาเจอร์มากขึ้น หรืออาจพูดว่าเมื่อยิ่งดึงหนังสือให้ยืดออกไปไกลเท่าไร ก็ย่อมจะมีแรงต้านในทิศทางตรงกันข้ามกับที่ยืดหนังสือออกไปมากเท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่อเครื่องผลิตกระแสไฟออกไปมากเท่าไร ก็จะทำให้เครื่องหมุนช้าลงไปทุกที ถ้าหากว่าตัวที่หมุนอาร์มาเจอร์ยังมีแรงดูดเท่าเดิม ฉะนั้นถ้าจะให้เครื่องผลิตไฟฟ้าวิ่งด้วยความเร็วเท่าเดิมได้ จึงจำเป็นต้องเพิ่มพลังงานกลขึ้นเช่นเดียวกัน สำหรับตัวนำอื่นที่อาร์มาเจอร์ ก็จะมีอาการปฏิกิริยาเช่นเดียวกับตัวนำ A ไม่ว่าตัวนำนั้นจะอยู่ภายใต้ขั้ว N และ S นั้นคือแรงต้านจะเกิดขึ้นทุกๆ ตัวนำรวมกันตาม Vector ก็จะเป็นแรงลัพธ์แรงหนึ่งที่คอยต้านการหมุนของอาร์มาเจอร์ในทิศทางสวนเข็มนาฬิกาตลอดเวลาที่เครื่องกำลังจ่ายโหลด



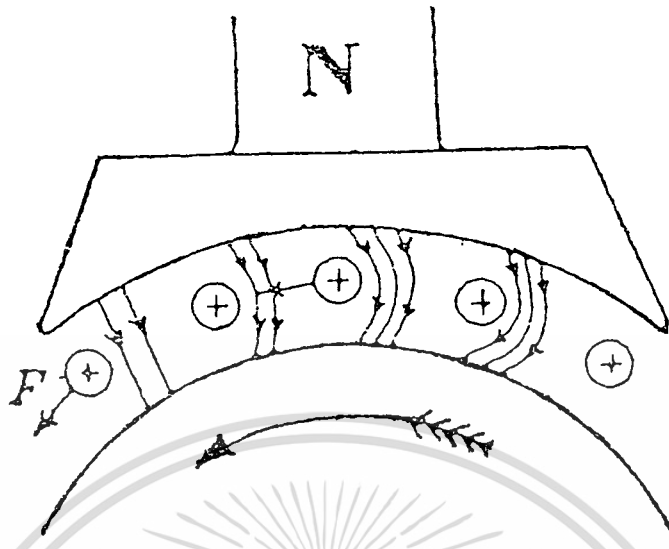
รูป 3.6 อากัปกริยาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อได้รับ Load

สมมติว่าเครื่องเดียวกันนี้ ถอดเอาตัวต้นกำลัง (Primover) ที่ใช้หมุนเครื่องกำเนิดไฟ ออก จากนั้นก็ใส่ไฟเข้าไป โดยให้กระแสไหลผ่านเข้าไปภายใต้ขั้ว N ดังรูปที่ 3.7

เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำในอาร์มาเจอร์ ซึ่งอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กขั้ว N ก็ย่อมจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นในตัวนำต่างๆบนอาร์มาเจอร้นั้นๆนั่นก็คือ เกิดแรงบิด (Torque) ขึ้นบนอาร์มาเจอร์ในทิศทางสวนเข็มนาฬิกา อากัปกริยานี้ เกิดขึ้นเช่นเดียวกับอากัปกริยาที่เกิดขึ้นในเครื่องผลิตไฟเช่นกัน แรงบิดที่เกิดขึ้นนี้ หากทิศทางเคลื่อนที่ได้โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง นั่นคือ ขณะที่เครื่องได้ทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ไปแล้วจะสังเกตเห็นว่า เมื่อกระแสที่ไหลในตัวนำยังอยู่ที่ทิศทางเดิม จะทำให้การเคลื่อนที่ไปในทิศทางสวนเข็มนาฬิกาเช่นเดิมซึ่งตรงกันข้ามกับทิศของต้นกำลัง (Primover) ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟ เมื่อเครื่องทำหน้าที่เป็นตัวผลิตไฟ (Generator) จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นพบว่า ในการเปลี่ยนรูปพลังงานนั้น ย่อมมีแรงต้านเกิดขึ้น นั่นคือ สำหรับเครื่องผลิตไฟฟ้านั้นจะเกิดแรงต้านทางกล หรือแรงแม่เหล็กลาก (Magnetic drag) ขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงที่ใส่เข้าไป ฉะนั้นจึงต้องใส่กำลังเข้าไปให้มากกว่าแรงลากที่เกิดขึ้นนี้ จึงจะได้กำลังไฟออกมาจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าตามที่ต้องการ ใต้นี้คือเครื่องผลิตไฟยังคงความเร็วที่ค่าๆ หนึ่ง บางทีอาจจะให้หมุนที่ความเร็วเดิมหรือน้อยกว่าก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่า จะให้ Voltage ที่ขั้วที่จ่ายภาระไฟฟ้า (Load) นั้นมีค่าคงที่ หรือใกล้เคียงคอนไม่มีภาระไฟฟ้า ส่วนมอเตอร์นั้น ก็ย่อมมีตัวต้านเกิดขึ้นเช่นกัน คือ แรงเคลื่อนไฟสวน (Back e.m.f.)

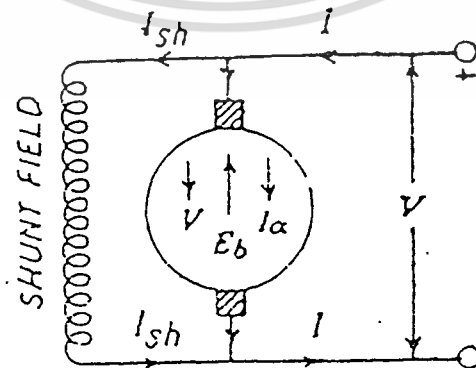
ทั้งมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต่างก็เกิด อากัปกริยาของมอเตอร์ และการผลิตไฟที่เกิดขึ้นในเครื่องเดียวกัน นั่นคือ เมื่อเป็นมอเตอร์ก็เกิดอากัปกริยาของมอเตอร์ (Motor action) ขึ้นก่อนแล้วจึงค่อยเกิดอาการของเครื่องกำเนิดไฟ (Generator action)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.7 อากิปรियाของมอเตอร์

จากที่กล่าวมาข้างบนนี้จะพบว่า เมื่อใส่กระแสเข้าไปในตัวนำ ย่อมทำให้เกิดการเคลื่อนที่ นั่นคืออาร์มาเจอร์ของมอเตอร์หมุน เมื่อตัวนำวิ่งตัดผ่านสนามแม่เหล็กย่อมทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในตัวนำตามหลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งทำได้โดยการใช้มือขวาของเฟลมมิ่ง แรงเคลื่อนไฟที่เกิดขึ้นนี้ จะมีทิศทางสวนหรือตรงกันข้ามกับแรงเคลื่อนที่ใส่เข้าไปให้กับมอเตอร์ดังรูปที่ 3.8 ฉะนั้นจะเรียกแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ว่า “แรงเคลื่อนสวน = Back e.m.f.” แรงเคลื่อนสวน E_b นี้ขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว จำนวนตัวนำทั้งหมดที่ต่ออนุกรมกัน ความเร็วที่มอเตอร์หมุนไป จำนวนขั้วแม่เหล็กที่อยู่ภายใน และจำนวนแฉก (Path) ที่ขนานกัน แรงเคลื่อนไฟนี้มีแรงเคลื่อนเช่นเดียวกับแรงเคลื่อนที่เกิดจากการหมุน (Motional e.m.f.) นั่นเอง



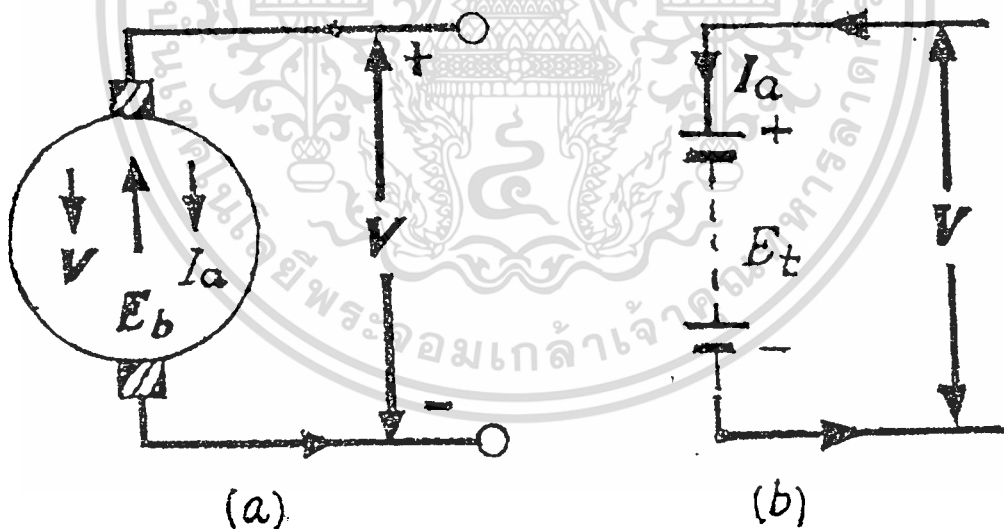
รูป 3.8 แสดงทิศทางแรงเคลื่อนไฟ และกระแสที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ซึ่งไหลไปในทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ แต่ตรงข้ามกับแรงเคลื่อนไฟสวน ญาติให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป จะเห็นได้ว่าแรงต้านทานที่เกิดขึ้นนั้นๆ จะเป็นแรงชนิดเดียวกับแรงที่ใส่เข้าไป นั่นคือ ถ้าเป็นเครื่องกำเนิดก็จะเกิดแรงต้านทางกลเกิดขึ้น เพราะใส่แรงกลเข้าไป และถ้าเป็นมอเตอร์ก็จะเกิดแรงต้านทางไฟฟ้าขึ้นเพราะใส่แรงเคลื่อนเข้าไป

3.1.4.3. ความสำคัญของแรงเคลื่อนไฟสวน (Significance of the Back e.m.f.)

เมื่ออาร์มาเจอร์เริ่มหมุน จะทำให้ตัวนำที่อยู่ในอาร์มาเจอร์ตัดเส้นแรงแม่เหล็กที่มาจากสนามแม่เหล็กหลัก หรือสนามแม่เหล็กพัทธ์ที่อยู่ในมอเตอร์นั้น นั่นคือ เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟบนตัวนำภายในอาร์มาเจอร์ ซึ่งเป็นไปตามกฎการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้หาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ โดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่งและพบว่ามิติศทางสวนกับแรงเคลื่อนไฟที่ใส่เข้าไปให้กับมอเตอร์ ดังนั้น จึงเรียกแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ว่า แรงเคลื่อนสวน (Back e.m.f. = E_b) ดังรูปที่ 3.9 (a) จากที่เกิด E_b ขึ้นนี้ จึงเขียนวงจรสมมูลของมอเตอร์ได้ดังรูป 3.9 (b) ซึ่งเหมือนกับว่า มีแบตเตอรี่ E_b ต่อคร่อมอยู่ระหว่างแรงเคลื่อนไฟ V ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ นั่นคือ ในการที่จะให้ I_a ไหลได้ในอาร์มาเจอร์นั้น จะต้องมีกำลังไฟจำนวนหนึ่งที่เราจะหาการสวนนี้ กำลังไฟที่เราจะหาการสวนนี้ได้ คือ $E_b I_a$



รูป 3.9 (a) วงจรของมอเตอร์ไฟตรง (b) วงจรของมอเตอร์ที่เขียนแทนแรงเคลื่อนไฟสวนได้ด้วยแบตเตอรี่ E_b

ในกรณีที่เซลหรือแบตเตอรี่ กำลังที่เราจะหาการสวนนี้ก็คือ กำลังที่เปลี่ยนไปเป็นกำลังทางเคมี แต่ในมอเตอร์นั้นกำลังที่เราจะหาการสวนนี้ ก็คือ กำลังที่เปลี่ยนไปเป็นกำลังกลนั่นเอง

$$\begin{aligned}
 \text{นั่นคือ กระแส } I_a \text{ จะมีค่า} &= \frac{\text{แรงเคลื่อนไฟที่ได้ในวงจร}}{\text{ค.ต.ท.ในวงจรของอาร์มาเจอร์}} \\
 &= \frac{\text{net voltage}}{\text{armature circuit resistance}} \\
 &= \frac{V - E_b}{R_a}
 \end{aligned}$$

$$\text{จากแรงเคลื่อนที่หมุนของตัวนำในสนามแม่เหล็กมีค่า } E = \phi ZSP \quad 60a$$

$$\text{ดังนั้นจะได้} \quad \boxed{E_b = \phi ZSP} \quad (3.2)$$

60a

จะพบว่า E_b ขึ้นอยู่กับตัวประกอบต่างๆ เช่น ϕ, Z, P และ a แต่เนื่องจากว่า $Z, P/a$ เป็นค่าคงที่ในการพันอาร์มาเจอร์ของแต่ละเครื่องที่แตกต่างกัน ไปดังนั้นจึงได้

$$\boxed{E_b = K_e \phi S} \quad (3.3)$$

$$K_e = \text{ค่าคงที่ทางไฟฟ้า} = \frac{PZ}{60a}$$

$P = \text{Pole}$

$Z = \text{จำนวนตัวนำทั้งหมดของอาร์มาเจอร์}$

$a = \text{จำนวนแฉงที่ขนานกันในอาร์มาเจอร์}$

$S = \text{จำนวนรอบต่อนาที}$

$\phi = \text{เส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้ว (Weber)}$

3.1.4.4 TORQUE (แรงบิด)

แรงบิดก็คือ การหมุนหรือเกิดการบิดของโมเมนต์ของแรงๆ หนึ่งที่กระทำรอบแกนอันหนึ่ง วัดได้จากผลคูณของแรงกับรัศมี ณ ที่แรงไปกระทำ

พิจารณาที่รัศมี r มีแรง F นิวตันมากระทำบนวงล้อนี่ จึงทำให้เกิดการหมุนด้วยความเร็ว S รอบ/วินาที

$$\text{แรงบิด} = F \times r \quad \text{นิวตัน - เมตร}$$

$$\text{งานที่ได้ใน 1 รอบจากแรงนี้} = \text{แรง} \times \text{ระยะทาง}$$

$$= F \times 2 \pi r \quad \text{จูลส์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{งานที่ทำต่อวินาที} \quad W &= F \times 2 \pi r \times S \\
 &= F \times r \times 2 \pi S \\
 \text{แต่} \quad 2 \pi S &= \text{มุมเป็นเรเดียนต่อวินาที} \\
 F \times r &= \text{แรงบิด } T \\
 \text{งานที่ทำต่อวินาที} &= T \times \theta \text{ จูลส์} \\
 \text{กำลังที่เกิดขึ้น} &= T \times \theta \text{ วัตต์}
 \end{aligned}$$

3.1.4.5. แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์มาเจอร์ (Armature Torque of a Motor)

ให้ T_m เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นจากอาร์มาเจอร์ เมื่อมอเตอร์วิ่งด้วยความเร็ว S รอบต่อวินาที

$$T_m = \frac{0.159 E_b I_a}{S} \quad \text{N-m} \quad (3.4)$$

$$= \frac{0.162 E_b I_a}{S} \quad \text{Kg-m} \quad (3.5)$$

เมื่อ S เป็นความเร็ว (r.p.s)

3.1.4.6. แรงบิดที่แกน (SHAFT TORQUE = T_{sh})

แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์มาเจอร่นั้น ไม่ได้นำไปใช้งานทีเดียว ทั้งนี้ต้องจ่ายให้กับการสูญเสียอันเนื่องมาจาก Iron และ Friction ใน Motor

$$T_{sh} = \frac{735.5 B.H.P.}{2\pi S} \quad T_{sh} \text{ metric} \quad (3.6)$$

B.H.P = กำลังที่ได้จากแกนหมุนของมอเตอร์ซึ่งเป็นกำลังม้าที่ได้จากการ Brake Motor

3.1.4.7. SPEED REGULATION

Speed Regulation เป็นค่าผลต่างของความเร็วระหว่างไม่มีโหลด (Load) กับเมื่อได้รับโหลด (Load) เพิ่มขึ้น

$$\% = \frac{(N.L.Speed - F.L.Speed) \times 100}{F.L.Speed} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.1.4.8. คุณลักษณะประจำของมอเตอร์ (Motor Characteristics)

คุณลักษณะประจำของมอเตอร์แบบขนาน (Characteristics of Shunt Motor)

1. การ Start ของ Shunt Motor ไม่สามารถ Start ตอนมีโหลด (Load) ที่หนักได้ เพราะการกระทำเช่นนี้ย่อมทำให้มอเตอร์ต้องดึงกระแสจำนวนมากไปใช้ด้วย
2. เนื่องจากมอเตอร์แบบขนาน (Shunt Motor) นี้ไม่มีการเปลี่ยนหรือลดความเร็วไปมากนัก จากตอนมีภาระถึงตอนที่มีการเติมที่ ดังนั้นจึงต่อเข้าหรือตัดออกได้จากภาระโดยทันทีทันใดได้ โดยไม่ต้องเกรงว่าจะมีความเร็วสูงมากเกินจนเป็นอันตราย อย่างไรก็ตามก็ดี มอเตอร์แบบนี้ให้แรงบิดตอนเริ่มแรกต่ำ (Low Starting Torque) ฉะนั้นจึงไม่นิยมใช้กับโหลด (Load) ที่ต้องการแรงบิดเริ่มแรกสูง แต่เนื่องจากว่าเป็นมอเตอร์ที่มีความเร็วค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ขับแกนของเครื่องกลึงและเครื่องจักรชนิดต่างๆ ที่ต้องการความเร็วคงที่โดยประมาณ

คุณลักษณะประจำของมอเตอร์ชนิดอนุกรม (Characteristics of Series Motor)

1. มอเตอร์แบบอนุกรมนี้เหมาะสมสำหรับที่จะถอดโหลด (Load) หนักๆ ได้ ดังนั้นจึงจะเหมาะสมกับโหลด (Load) หนักขณะเริ่มแรก เช่น บันจัน (Hoist) รถไฟฟ้า (Electric Trains)
2. เมื่อโหลดมากๆ จะทำให้มอเตอร์ต้องใช้กระแส I_a มากๆ ด้วย ดังนั้นความเร็วของมอเตอร์จะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าหากว่ามอเตอร์มีโหลด (Load) น้อยๆ จะทำให้ความเร็วมีค่าสูงขึ้นจะเป็นอันตรายต่อมอเตอร์ได้ นั่นคือ มอเตอร์อนุกรมต้องไม่ Start หรือหมุนในขณะที่ไม่มีโหลด (Load) มิฉะนั้นจะทำให้มีความเร็วสูงมากเกินไปจนเป็นอันตรายกับมอเตอร์ได้ อันเนื่องมาจากแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้น

คุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบผสม (Characteristics of Compound Motor)

ลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ การนำเอาคุณลักษณะของมอเตอร์ทั้ง 2 แบบมารวมกันทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน มอเตอร์ผสมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบโดยแบ่งตามลักษณะการต่อ Series Field เพิ่มเข้าไปให้กับ Shunt Motor

มอเตอร์แบบผสมชนิดสะสมหรือเสริมสนามแม่เหล็กให้มากขึ้น

(Cumulative Compound Motor) มอเตอร์แบบนี้จะเกิดแรงบิดที่อาร์มาเจอร์สูงในขณะที่ได้รับโหลดทันทีทันใด และยังมีความเร็วที่ค่าๆ หนึ่ง ในขณะที่มีภาระหรือโหลดนั้นก็คือแม้ว่าจะไม่มีภาระ ก็ไม่ทำให้มอเตอร์มีความเร็วสูงเกินไปจนเกิดอันตรายได้ ในการนำมอเตอร์นี้ไปใช้งานกับการขับโหลดที่หนักๆ เช่น เครื่องโม่หิน เครื่องตัดเหล็ก หรือเครื่องอัดขี้ ลีฟท์ เป็นต้น

มอเตอร์แบบชนิดที่มีสนามแตกต่างกัน (Differential-Compound) เมื่อมอเตอร์ได้รับ โหลดมากขึ้น แทนที่จะมีความเร็วลดลงไปก็กลับกลายเป็นว่ามีความเร็วเพิ่มขึ้นมาเท่าเดิมตามที่ โหลดเพิ่มขึ้น ดังนั้นมอเตอร์ชนิดนี้จึงต้องการนำไปใช้งานกับโหลดที่ต้องการให้มีค่าความเร็วคง ที่มากๆ ในขณะที่โหลดเพิ่มมากขึ้น แต่มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อเสียตรงที่ว่า เมื่อได้รับโหลดมากเกินไป ย่อมทำให้สนามแม่เหล็กอ่อนลงไปมาก นั่นคือความเร็วของมอเตอร์ ก็จะมีแนวโน้มเพิ่มสูง ขึ้นๆอย่างไม่เสถียรภาพ (Instability) และทำให้มอเตอร์วิ่งเกินเลขไป ซึ่งทำความเสียหายให้กับ มอเตอร์ได้



บทที่ 4

MCS.51

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยว

ในปัจจุบันมีไมโครคอนโทรลเลอร์เอ็มซีเอส 51 ซึ่งเป็นไมโครคอมพิวเตอร์แบบชิพเดี่ยว (ไม่ต้องต่อกับอุปกรณ์ภายนอกก็สามารถทำงานได้) มีความสะดวกในการใช้งาน และเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาเบสิกได้ โดยไม่ต้องศึกษาการทำงานของวงจรเหมือนกับภาษาแอสเซมบลี หรือบางท่านที่ถนัดภาษาแอสเซมบลีก็ยังสามารถใช้ได้เช่นกัน

เอ็มซีเอส 51 นี้เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาสนองความต้องการของผู้ใช้คือมีสายอินพุตและเอาต์พุตภายในตัวเองพอร์ตของอินพุตและเอาต์พุตบัพเฟอร์อินเทอร์เฟซ และสายควบคุมอื่นๆ ที่ใช้สำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูลกับแอดเดรสและยังมีชุดคำสั่งเพิ่มขึ้นเป็นพิเศษเพื่อจัดการข้อมูล แดมห่ายด้วยวงจรตั้งเวลากับวงจรมนับด้วย (ปกติวงจรมนับจะสามารถทำงานเป็นวงจรตั้งเวลาได้ด้วย จึงเรียกว่าควบคู่กัน ไปด้วย) วงจรตั้งเวลา/วงจรมนับ

ตารางที่ 4.1 เป็นรายการของตระกูล เอ็มซีเอส 51 ซึ่งแสดงถึง จำนวนของหน่วยความจำ วงจรตั้งเวลา/วงจรมนับและระดับของการขอินเตอร์รัพท์

เอ็มซีเอส 51 ไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วยคุณสมบัติ

- | | |
|---|---|
| - ซีพียู 8 บิต ที่ควบคุมได้ง่าย | ขนาด 4 หรือ 8 กิโลไบต์ (อีพรม 8751 และ 8752) |
| - เพิ่มการทำงานลอจิกครั้งละ 1 บิตได้ | - มีแอดเดรสของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม จำนวนทั้งหมด 64 กิโลไบต์ |
| - สายอินพุตและเอาต์พุตมีจำนวน 32 เส้น ใช้เลือกแอดเดรสแยกต่างหากจากกันได้ | - มีแอดเดรสของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล จำนวนทั้งหมด 64 กิโลไบต์ |
| - มีแรมบรรจุไว้ภายในขนาด 128 ไบต์หรือ 256 ไบต์ | - คำสั่งทั้งหมดมี 111 คำสั่ง (64 รอบ) |
| - วงจรตั้งเวลา/วงจรมนับมีขนาด 2, 3 หรือ 16 บิต | - ทำงานด้วยเลขฐานสิบ และฐานสิบหก |
| - กำหนดเป็น UART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter ที่รับส่งข้อมูลอนุกรมได้สองทิศทาง | - ตัวแปลภาษาเบสิกมีขนาด 8 กิโลไบต์ (8025 AH-BASIC) |
| - อินเตอร์รัพท์ แบ่งออกเป็น 2 ระดับ จาก 5 หรือ 6 แหล่ง | - ควบคุมอีพรมภายในด้วยภาษาเบสิก (8052 AH-BASIC) |
| - มีสัญญาณนาฬิกาอยู่ในตัว | - มีคำสั่งเฉพาะของภาษาเบสิกที่ใช้สำหรับอินพุตและเอาต์พุต วงจรมนับ และอินเตอร์เฟซแบบอนุกรม (8052 AH-BASIC) |
| - มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายใน | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1. ภายในหน่วยความจำ

จากรูปที่ 4.3 เป็นหน่วยความจำ ภายในตัว เอ็มซีเอส 51 หน่วยความจำนี้แบ่งได้ 2 กลุ่มคือหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล หน่วยความจำแรกมีแอดเดรสที่ต่ำกว่า 4 หรือ 6 กิโลไบต์บรรจุอยู่ในรอม ส่วนเอ็มซีเอส 51 ที่ไม่มีรอมภายในจะใช้หน่วยความจำภายนอกซึ่งอาจเป็นรอม , แรม หรือ อีพรอมแทนก็ได้

ตารางที่ 4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอ็มซีเอส 51

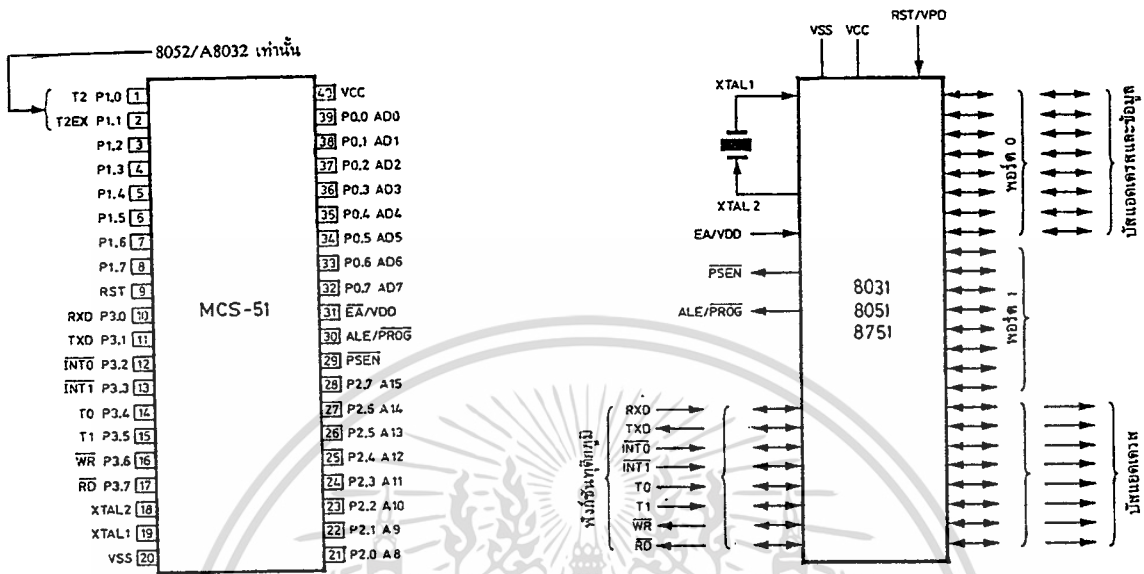
เบอร์	หน่วยความจำภายใน		ตั้งเวลา/นับ	อินเตอร์รัพต์หมายเลข
	โปรแกรม	ข้อมูล		
8052AH	8K × 8 ROM	256 × 8 RAM	3 × 16-Bit	6
8051AH	4K × 8 ROM	128 × 8 RAM	2 × 16-Bit	5
8051	4K × 8 ROM	128 × 8 RAM	2 × 16-Bit	5
8032AH	ไม่มี	256 × 8 RAM	3 × 16-Bit	6
-8031AH	ไม่มี	128 × 8 RAM	2 × 16-Bit	5
-8031	ไม่มี	128 × 8 RAM	2 × 16-Bit	5
8751H	4K × 8 EPROM	128 × 8 RAM	2 × 16-Bit	5
8751H-12	4K × 8 EPROM	128 × 8 RAM	2 × 16-Bit	5

เอ็มซีเอส จะอ่านหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม เข้ามาเป็นภาษาเครื่องตามลำดับ ส่วนหน่วยความจำ สำหรับเก็บข้อมูล จะใช้เป็นที่เก็บตัวแปร, การคำนวณหาผลลัพธ์ทันที, การจัดการกับข้อมูลที่มีขนาด 16 บิต (word), ตารางที่ใช้ค้นหาค่าต่าง ๆ และหน้าที่อื่นที่คล้ายกัน

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลใช้ร่วมกับหน่วยความจำภายนอกได้ถึง 640 กิโลไบต์ ซึ่งเลือกได้รอม หรือแรมก็ได้ และยังมีรีจิสเตอร์พิเศษที่ใช้หน่วยความจำภายนอกของแรมได้ 128 หรือ 256 กิโลไบต์

4.2. รีจิสเตอร์ภายในเอ็มซีเอส

เอ็มซีเอสมีรีจิสเตอร์ที่อำนวยความสะดวกในการใช้งานตามคำสั่งต่าง ๆ ประกอบด้วย แอคคิวมูเลเตอร์ รีจิสเตอร์ B ที่ใช้ในการคูณและหาร รีจิสเตอร์สถานะ สตैทเพอซันเตอร์ คำสั่งพอยน์เตอร์ (2 X 8 บิต หรือ 1 X 16 บิต) บอร์ดหมายเลขศูนย์ถึงพอร์ดหมายเลขสามรีจิสเตอร์แบบคู่ ซึ่งใช้ส่งและรับข้อมูลชนิดอนุกรม รีจิสเตอร์ 16 บิต ที่เป็นวงจรถ่วงเวลาและวงจรมีรีจิสเตอร์ซึ่งจองไว้สำหรับใช้สำหรับนับตัวที่ 3 รีจิสเตอร์คำสั่งหน้าที่พิเศษ (เช่นการอินเตอร์รัพต์ RTC : Read Clock) และอินพุต , เอาต์พุตแบบอนุกรม



รูป 4.1 แสดงการจัดวางขาต่าง ๆ ซีเอส 51

รูป 4.2 แสดงหน้าที่ของพอร์ตเมื่อคอนโทรลเลอร์ทำงานกับหน่วยความจำภายนอก

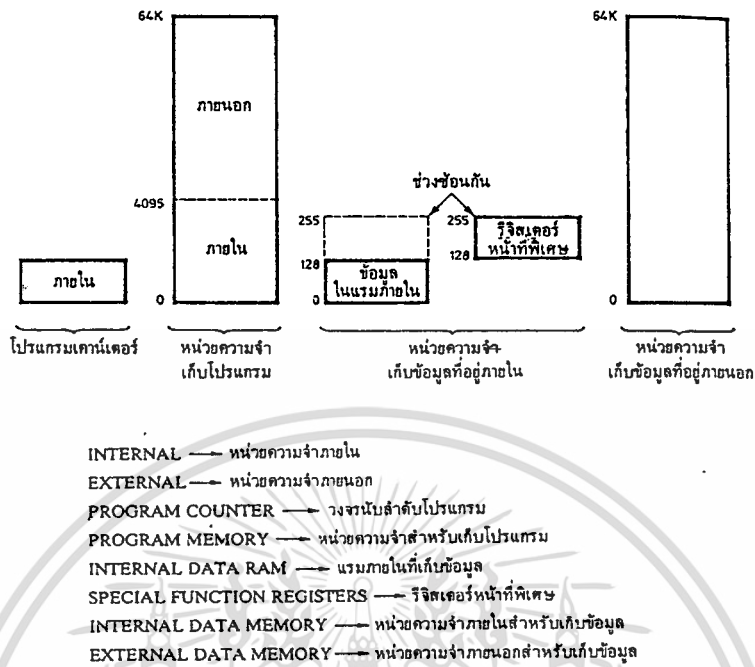
จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 นั้นแสดงจำนวนขา และหน้าที่ของ 8051 ที่ หมายถึงตระกูลเอ็มซีเอส 51 ทั้งหมด

8051 , 8051AH และ 8052AH เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยการควบคุมจาก โปรแกรมในหน่วยความจำ (รอม) โดยการโปรแกรมด้วยคัมเบบ เพื่อให้เกิดข้อมูลบรอมครั้งหนึ่งเป็นจำนวนมากจึงเหมาะกับการผลิตเพื่อใช้งานควบคุมจำนวนมาก ๆ (8051 นั้นมีหน่วยความจำรอมจำนวน 4 กิโลไบต์ ส่วน 8052AH จะมีหน่วยความจำเพิ่มขึ้น โดยสร้างจาก HMOS II)

มีอีกสองเบอร์ที่ทำงานคล้ายกันคือ 8031AH และ 8032AH ที่ใช้แทน 8051 และ 8052 AH ได้ตามลำดับ โดยไม่ต้องส่งให้โรงงานโปรแกรมให้ เพราะเราจะเขียนและทดสอบโปรแกรมด้วยหน่วยความจำภายนอกแทน (ไม่มีรอมภายใน)

สำหรับท่านที่ต้องการป้องกันการอ่านจากภายนอก ก็สามารถเลือก 8751 และ 8752 ที่มีอีพรอมภายในที่จัดค่าเวลาในการอ่านข้อมูล เพื่อกันการลอกเลียนโปรแกรม

เบอร์ที่น่าสนใจมากที่สุดสำหรับท่านที่ไม่ต้องการศึกษาภาษาแอสเซมบลีคือ 8052AH BASIC แตกต่างจากเบอร์อื่น คือ ใช้ตัวแปลภาษาเบสิกซึ่งเป็นรอมภายใน ที่เราจะมาศึกษาการใช้งานกันต่อไป



รูป 4.8 โครงสร้างภายในหน่วยความจำของเอ็มซีเอส 51

4.3. ความเร็วของเอ็มซีเอสเทียบกับ 6502 และ Z80

คำสั่งทั้งหมดของเอ็มซีเอส ทำงานด้วยรอบคำสั่งเดียวของภาษาเครื่องคือภายในระยะเวลาของสัญญาณนาฬิกา 12 ลูก เมื่อใช้ความถี่ 12 เมกะเฮิร์ตซ์ ดังนั้นในหนึ่งรอบคำสั่งภาษาเครื่องเท่ากับ 1 ไมโครวินาที ดังนั้นความเร็วของเอ็มซีเอส 51 เท่ากับ 6502 ซีพียูที่ใช้ความถี่ 2 เมกะเฮิร์ตซ์ หรือเท่ากับ Z80 ซีพียู ที่ความถี่ 8 เมกะเฮิร์ตซ์ นอกจากนี้ เอ็มซีเอส ยังมีความสามารถจัดการกับข้อมูลได้น้อยกว่า 8 บิต ต่อหนึ่งครั้ง เพื่อช่วยให้ความสะดวกในการเขียนโปรแกรมโดยไม่ต้องลำบากในการปิดกั้น (mask) บิตที่ไม่ต้องการ

4.4. สายต่าง ๆ ของบัสและพอร์ต

จะเห็นโครงสร้างภายในของเอ็มซีเอส 51 ในรูปที่ 4.4 เราจะสมมุติให้มีบัสสองทิศทาง 4 เส้น และพอร์ตขนาด 8 บิต ตามทฤษฎี แต่ที่จริงนั้นจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อมีการใช้หน่วยความจำภายในตัว (รวมหรือแรม)

เมื่อไม่ใช้หน่วยความจำภายในพอร์ต 0 หรือ 2 จะถูกใช้เป็นบัสของข้อมูลและแอดเดรส (ให้ย้อนกลับไปดูรูปที่ 4.2) ดังนั้นพอร์ต 2 พอร์ต ยังคงใช้งานเป็นอินพุตและเอาต์พุต พอร์ต 2 ทำหน้าที่เป็นสายสัญญาณ แอดเดรส $A_{15}...A_8$ ส่วนพอร์ต 0 ทำหน้าที่เป็นสายสัญญาณแอดเดรส $A_7...A_0$ ออกจากบิตข้อมูล $D_7...D_0$

เอาต์พุตของขา \overline{RD} และ \overline{WR} มาจากสายเอาต์พุตของพอร์ต 3 โดยโปรแกรมภายในใช้ สัญญาณ \overline{RD} และ \overline{WR} เพื่อการเขียนและอ่านข้อมูลกับข้อมูลของหน่วยความจำภายนอก

ขา \overline{PSEN}

ขา \overline{PSEN} เป็นขารับสัญญาณสำหรับเปิดให้มีการอ่านหน่วยความจำภายนอก ถ้าสังเกต ทุก ๆ รอบคำสั่งระหว่างการทำงานด้วยโปรแกรมในรอมหรืออีพรอม จะเห็นว่าสัญญาณ \overline{PSEN} ทำงานถึงสองครั้งเหมือนสัญญาณ \overline{ALE} เพราะว่ามี การอ่านข้อมูลจำนวน 2 ไบต์ ในแต่ละรอบคำสั่ง

ขา \overline{PSEN} นี้ไม่ทำงานเมื่อมีภาษาเครื่องเก็บอยู่ในหน่วยความจำภายในและถ้าหากหน่วยความจำภายนอกไม่มีข้อมูลบรรจุอยู่ \overline{PSEN} ก็จะไม่ทำงานด้วยเช่นกัน ส่วน 8052 /AH BASIC ไม่ใช้สัญญาณ \overline{PSEN} เลย เพราะใช้รอมภายในตัว ซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวแปลภาษาเบสิก

ขา \overline{EA}

เป็นขาอินพุตที่ใช้ร่วมกับแอดเดรสภายนอก โดยจะมีค่าลอจิก "0" เมื่อโปรเซสเซอร์อ่านคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก (ปกติโปรเซสเซอร์จะอ่านหน่วยความจำภายในน้อยกว่าอ่านจากหน่วยความจำภายนอก) ขา \overline{EA} ยังมีหน้าที่เป็นอินพุตสำหรับป้อนแรงดัน 21 โวลต์ เพื่อโปรแกรมให้กับอีพรอม (สำหรับกรณีที่ใช้ 8751 หรือ 8752)

4.5. วงจรนับ/วงจรตั้งเวลา

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่า 8052 มีวงจรนับและวงจรตั้งเวลาชนิด 16 บิต มากกว่า 8051 อยู่หนึ่งตัวต่อไปเราจะศึกษาการทำงานอย่างย่อ ๆ ของวงจรนับและวงจรตั้งเวลา

เมื่อทำงานเป็นวงจรตั้งเวลา

รีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ที่ตั้งเวลาจะเพิ่มค่าขึ้นหนึ่งของทุก ๆ รอบคำสั่งของเครื่อง และจะนับด้วยอัตราสูงสุดที่ $1/2$ ของความเร็ว สัญญาณนาฬิกาของโปรเซสเซอร์

เมื่อทำงานเป็นวงจรนับ

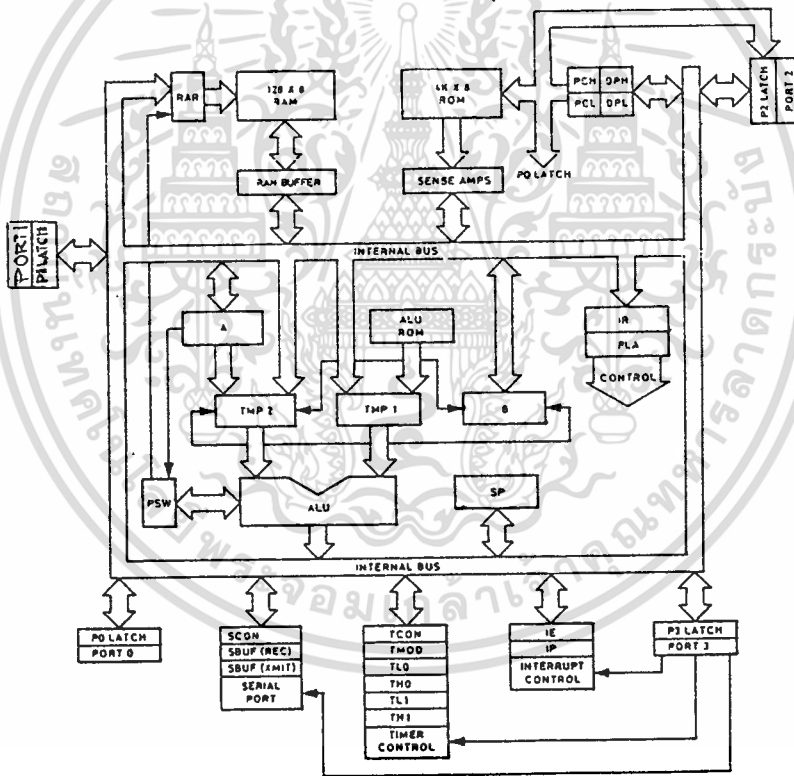
รีจิสเตอร์วงจรนับจะเพิ่มขึ้นหนึ่งเมื่อมีสัญญาณป้อนให้อินพุต TO, T1 หรือ T2 (T2 มีเฉพาะ 8052) เป็นขอบสัญญาณขาลง อัตราการนับสูงสุดคือ $1/2$ ของความเร็วสัญญาณนาฬิกาของโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรมุมและวงจรมุมตั้งเวลา 0 และ 1 มีวิธีโปรแกรมให้ทำงานได้ต่างกันถึง 4 แบบ รวมทั้งการทำงานเป็น 8 บิต หรือ 16 บิต และการบรรจุค่าพรีเซตหนึ่งค่าได้เองอย่างอัตโนมัติ วงจรมุมและวงจรมุมตั้งเวลาที่ 1 เลือกโปรแกรมให้ทำหน้าที่ เป็นตัวกำหนดสัญญาณของอัตราการส่งบิตออกไปอย่างอนุกรม สำหรับใช้ในการอินเตอร์เฟสได้

วงจรมุมและวงจรมุมตั้งเวลาที่ 2 (เฉพาะ 8052 เท่านั้น) มีการทำงานย่อย ๆ อีก 3 ชนิด

1. วงจรมุม 16 บิต ที่สามารถโหลดค่ากลับคืนเองอย่างอัตโนมัติ
2. วงจรมุมที่จองไว้ ชนิด 16 บิต
3. วงจรมุมกำเนิดสัญญาณของการส่งบิต เพื่อใช้อินเตอร์เฟส



รูป 4.4 โครงสร้างของเอ็มซีเอส 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6. พอร์ตขนิคอนุกรมที่อยู่ภายใน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมดในตระกูล เอ็มซีเอส 51 เป็นชิพที่มีอินเตอร์เฟซขนิคอนุกรมขนิคสองทิศทาง ทำให้รับและส่งข้อมูลพร้อมกัน ตัวรับข้อมูลขนิคอะซิงโครนัส (Asynchronous Receiver) มีบัฟเฟอร์สำหรับข้อมูลเป็นพิเศษเพื่อเพิ่มความเร็วในการสื่อสาร พอร์ตขนิคอนุกรมนั้น เราสามารถเลือกโปรแกรม เพื่อเลือกใช้การทำงานแบบใดแบบหนึ่งใน 4 แบบ ด้วยการใช้อินเตอร์เฟซขนิคการส่งข้อมูลและรูปแบบของข้อมูล อัตราการส่งข้อมูลที่เราเลือกใช้ได้จะสูงถึง 19,200 บิต/วินาที ด้วยความเร็วของสัญญาณนาฬิกา 1 เมกะเฮิรตซ์ สำหรับใช้ในระบบเครือข่าย (Networks) และระบบการสื่อสารของโปรเซสเซอร์หลายตัวร่วมกัน เราจะเลือกความเร็วของสัญญาณนาฬิกาด้วยวงจรมัดและวงจรถ่วงเวลา

4.7. อินเตอร์รัพต์และชุดคำสั่ง

8051 รับการอินเตอร์รัพต์ได้ 5 แหล่ง ส่วน 8052 รับอินเตอร์รัพต์จากอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ถึง 6 แหล่ง คือ ขา $\overline{INT0}$ และ ขา $\overline{INT1}$ (กำหนดให้ใช้ระดับพัลส์หรือขอบขาพัลส์ก็ได้) วงจรมัดและวงจรถ่วงเวลาที่ 0 และ 1 (สำหรับ 8052 เพิ่มวงจรถ่วงเวลา/วงจรมัดตัวที่ 2) และชุดท้ายจากพอร์ตขนิคอนุกรม เราสามารถกำหนด ลำดับความสำคัญของอินเตอร์รัพต์ได้ 2 ระดับ โดยไม่ต้องอาศัยวงจรมัดนอกช่วย แต่ละแหล่งของอินเตอร์รัพต์ 5 หรือ 6 แหล่งนั้นจะกำหนดเป็นเวกเตอร์เฉพาะ (ตัวชี้แอดเดรส) ดังนั้นเมื่อมีอินเตอร์รัพต์เข้ามาแล้ว ตัวโปรเซสเซอร์จะกระโดดไปที่ส่วนของโปรแกรมที่ทำงานตามวัตถุประสงค์ของอินเตอร์รัพต์นั้น หลังจากเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของโปรแกรมเคาน์เตอร์ส่งในสแต็ก ชุดคำสั่งทั้งหมดของตัวคอนโทรลเลอร์ในตระกูลเอ็มซีเอสแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

4.8. 8052AH-BASIC ชิพที่ไม่ต้องใช้ภาษาแอสเซมบลี

8052AH-BASIC นี้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่น่าสนใจมากที่สุด ในตระกูลเอ็มซีเอส 51 เนื่องจากใช้ภาษาสำหรับโปรแกรมง่ายกว่า และมีประสิทธิภาพสูงพอที่จะใช้กับโครงการด้านคอมพิวเตอร์ คือภาษาเบสิก ซึ่งจะอธิบายอย่างคร่าว ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรมต่อไป

อินเทล ได้บรรจุรวมไว้ในชิพขนาด 8 กิโลไบต์ โดยใช้เป็นตัวแปลภาษาเบสิก (BASIC interpreter) และยังเพิ่มวงจรมัดและวงจรถ่วงเวลา T3 ให้อีกหนึ่งตัว เพื่อทำหน้าที่อินเตอร์เฟซอย่างขนิคอนุกรม ซึ่งสามารถเลือกแยกใช้อัตราการส่งข้อมูลได้ต่างหาก

ตารางที่ 4.3 ชุดคำสั่งทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051/8052 จากบริษัทอินเทล

ARITHMETIC OPERATIONS

Mnemonic	Description	Byte	Cyc
ADD A,Rn	Add register to Accumulator	1	1
ADD A,direct	Add direct byte to Accumulator	2	1
ADD A,@Ri	Add indirect RAM to Accumulator	1	1
ADD #data	Add immediate data to Accumulator	2	1
ADDC A,Rn	Add register to Accumulator with Carry	1	1
ADDC A,direct	Add direct byte to A with Carry flag	2	1
ADDC A,@Ri	Add indirect RAM to A with Carry flag	1	1
ADDC #data	Add immediate data to A with Carry flag	2	1
SUBB A,Rn	Subtract register from A with Borrow	1	1
SUBB A,direct	Subtract direct byte from A with Borrow	2	1
SUBB A,@Ri	Subtract indirect RAM from A w/ Borrow	1	1
SUBB #data	Subtract immed. data from A w/ Borrow	2	1
INC A	Increment Accumulator	1	1
INC Rn	Increment register	1	1
INC direct	Increment direct byte	2	1
INC @Ri	Increment indirect RAM	1	1
DEC A	Decrement Accumulator	1	1
DEC Rn	Decrement register	1	1
DEC direct	Decrement direct byte	2	1
DEC @Ri	Decrement indirect RAM	1	1
INC DPTR	Increment Data Pointer	1	2
MUL AB	Multiply A & B	1	4
DIV AB	Divide A by B	1	4
DA A	Decimal Adjust Accumulator	1	1

LOGICAL OPERATIONS

Mnemonic	Destination	Byte	Cyc
ANL A,Rn	AND register to Accumulator	1	1
ANL A,direct	AND direct byte to Accumulator	2	1
ANL A,@Ri	AND indirect RAM to Accumulator	1	1
ANL #data	AND immediate data to Accumulator	2	1
ANL direct,A	AND Accumulator to direct byte	3	2
ANL direct,#data	AND immediate data to direct byte	3	2
ORL A,Rn	OR register to Accumulator	1	1
ORL A,direct	OR direct byte to Accumulator	2	1
ORL A,@Ri	OR indirect RAM to Accumulator	1	1
ORL #data	OR immediate data to Accumulator	2	1
ORL direct,A	OR Accumulator to direct byte	3	2
ORL direct,#data	OR immediate data to direct byte	3	2
XRL A,Rn	Exclusive-OR register to Accumulator	1	1
XRL A,direct	Exclusive-OR direct byte to Accumulator	2	1
XRL A,@Ri	Exclusive-OR indirect RAM to A	1	1
XRL #data	Exclusive-OR immediate data to A	2	1
XRL direct,A	Exclusive-OR Accumulator to direct byte	3	2
XRL direct,#data	Exclusive-OR immediate data to direct byte	3	2
CLR A	Clear Accumulator	1	1
CPL A	Complement Accumulator	1	1
RL A	Rotate Accumulator Left	1	1
RLC A	Rotate A Left through the Carry flag	1	1
RR A	Rotate Accumulator Right	1	1
RRC A	Rotate A Right through Carry flag	1	1
SWAP A	Swap nibbles within the Accumulator	1	1

DATA TRANSFER

Mnemonic	Description	Byte	Cyc
MOV A,Rn	Move register to Accumulator	1	1
MOV A,direct	Move direct byte to Accumulator	2	1
MOV A,@Ri	Move indirect RAM to Accumulator	1	1
MOV #data	Move immediate data to Accumulator	2	1
MOV Rn,A	Move Accumulator to register	1	1
MOV Rn,direct	Move direct byte to register	2	2
MOV Rn,#data	Move immediate data to register	2	1
MOV direct,A	Move Accumulator to direct byte	3	2
MOV direct,Rn	Move register to direct byte	2	2
MOV direct,direct	Move direct byte to direct byte	3	2
MOV direct,@Ri	Move indirect RAM to direct byte	2	2
MOV @Ri,A	Move Accumulator to indirect RAM	1	1
MOV @Ri,direct	Move direct byte to indirect RAM	2	2
MOV @Ri,#data	Move immediate data to indirect RAM	2	2
MOV DPTR,#data	Load Data Pointer with 16-bit constant	3	2

DATA TRANSFER (cont.)

Mnemonic	Description	Byte	Cyc
MOVC A,@A+DPTR	Move Code byte relative to DPTR to A	1	2
MOVC A,@A+PC	Move Code byte relative to PC to A	1	2
MOVX A,@Ri	Move External RAM (8-bit addr) to A	1	2
MOVX A,@DPTR	Move External RAM (16-bit addr) to A	1	2
MOVX @Ri,A	Move A to External RAM (8-bit addr)	1	2
MOVX @DPTR,A	Move A to External RAM (16-bit addr)	1	2
PUSH direct	Push direct byte onto stack	2	2
POP direct	Pop direct byte from stack	2	2
XCH A,Rn	Exchange register with Accumulator	1	1
XCH A,direct	Exchange direct byte with Accumulator	2	1
XCH A,@Ri	Exchange indirect RAM with A	1	1
XCHD A,@Ri	Exchange low-order Digit ind. RAM w/A	1	1

BOOLEAN VARIABLE MANIPULATION

Mnemonic	Description	Byte	Cyc
CLR C	Clear Carry flag	1	1
CLR bit	Clear direct bit	1	1
SETB C	Set Carry flag	1	1
SETB bit	Set direct bit	1	1
CPL C	Complement Carry flag	1	1
CPL bit	Complement direct bit	1	1
ANL C,bit	AND direct bit to Carry flag	2	2
ANI C,/bit	AND complement of direct bit to Carry	2	2
ORL C,bit	OR direct bit to Carry flag	2	2
ORL C,/bit	OR complement of direct bit to Carry	2	2
MOV C,bit	Move direct bit to Carry flag	2	1
MOV bit,C	Move Carry flag to direct bit	2	2

PROGRAM AND MACHINE CONTROL

Mnemonic	Description	Byte	Cyc
ACALL addr11	Absolute Subroutine Call	2	2
LCALL addr16	Long Subroutine Call	3	2
RET	Return from subroutine	1	2
RETI	Return from interrupt	1	2
AJMP addr11	Absolute Jump	2	2
LJMP addr16	Long Jump	3	2
SJMP rel	Short Jump (relative addr)	2	2
JMP @A+DPTR	Jump indirect relative to the DPTR	1	2
JZ rel	Jump if Accumulator is Zero	2	2
JNZ rel	Jump if Accumulator is Not Zero	2	2
JC rel	Jump if Carry flag is set	2	2
JNC rel	Jump if No Carry flag	2	2
JB bit,rel	Jump if direct Bit set	3	2
JNB bit,rel	Jump if direct Bit Not set	3	2
JBC bit,rel	Jump if direct Bit is set & Clear bit	3	2
JCNE A,direct,rel	Compare direct to A & Jump if Not Equal	3	2
CJNE A,#data,rel	Comp. immed. to A & Jump if Not Equal	3	2
CJNE Rn,#data,rel	Comp. immed. to reg. & Jump if Not Equal	3	2
CJNE @Ri,#data,rel	Comp. immed. to ind. & Jump if Not Equal	3	2
DJNZ Rn,rel	Decrement register & Jump if Not Zero	2	2
DJNZ direct,rel	Decrement direct & Jump if Not Zero	3	2
NOP	No operation	1	1

Notes on data addressing modes:
 Rn - Working register R0-R7
 direct - 128 internal RAM locations, any I/O port, control or status register
 @Ri - Indirect internal RAM location addressed by register R0 or R1
 #data - 8-bit constant included in instruction
 data16 - 16-bit constant included as bytes 2 & 3 of instruction
 bit - 128 software flags; any I/O pin control or status bit

Notes on program addressing modes:
 addr16 - Destination address for LCALL & LJMP may be anywhere within the 64-Kilobyte program memory address space.
 addr11 - Destination address for ACALL & AJMP will be within the same 2-Kilobyte page of program memory as the first byte of the following instruction.
 SJMP and all conditional jumps include an 8-bit offset byte. Range is +127-128 bytes relative to first byte of the following instruction.

All mnemonics copyrighted © Intel Corporation-1979

ชุดคำสั่งภาษาเบสิก (เวอร์ชัน 1.1) ดังรายการในตารางที่ 4.4 นั้น ถ้าเราสังเกตให้ละเอียด จะเห็นว่าคำสั่งเฉพาะที่ทำหน้าที่ได้แทนภาษาแอสเซมบลี หลังจากทดสอบด้วยตัวเลขและการหาค่าต่าง ๆ ก็สรุปได้ว่า 8052AH-BASIC ตัวนี้ เหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ ที่ความคุมการรับส่งข้อมูล และบันทึกข้อมูล เครื่องมือ เครื่องวัด และ เครื่องควบคุมในอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

ข้อเสียของตัวแปลภาษาเบสิก คือ ความเร็วจะต่ำกว่าภาษาแอสเซมบลี แต่มีข้อที่เหนือกว่าคือ ใช้คำสั่งในโปรแกรมที่คล้ายภาษาพูดจึงตรวจสอบและแก้ไขได้ง่ายแม้แต่ผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับวงจรเลยก็สามารถทำความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมควบคุมได้อย่างรวดเร็ว

4.9. โปรแกรมให้อีพรวม

เราสามารถโปรแกรม 8052AH-BASIC ด้วยเครื่องโปรแกรมอีพรวมทั่วไปที่มีเวลา 50 มิลิวินาที ต่อแอดเดรส โดยการป้อนแรงดันในการโปรแกรมเข้าที่ขา EA ต่อไปจะเป็นชุดคำสั่งที่น่าสนใจ ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ชุดคำสั่งภาษาเบสิกของ 8052AH-BASIC ประกอบด้วยคำสั่งที่เพียงพอ

COMMANDS	STATEMENTS	OPERATORS
RUN	BAUD	ADD (+)
CONT	CALL	DIVIDE (/)
LIST	CLEAR	EXPONENTIATION (^)
LIST#	CLEAR#B	MULTIPLY (*)
LIST#	CLOCK(140)	SUBTRACT (-)
NEW	DATA	LOGICAL AND (AND)
NULL	READ	LOGICAL OR (OR)
P&M	RESTORE	LOGICAL X-OR (XOR)
ROM	DIM	LOGICAL NOT
AFER	DO-WHILE	ABS()
PROG	DO-UNTIL	INT()
PROG1	END	SQR()
PROG2	FOR-TO-STEP	SIN()
PROG3	NEXT	COS()
PROG4	GOSUB	TAN()
PROG5	RETURN	ATN()
PROG6	GOTO	+ , > , < , << , >>
FPROG	ON-GOTO	ASC()
FPROG1	ON-GOSUB	CHR()
FPROG2	IF-THEN-ELSE	CBY()
FPROG3	INPUT	DSY()
FPROG4	LET	XY()
FPROG5	ONERR	GET
FPROG6	ONEX1	IE
	ONTIME	IP
	PRINT	PORT1
	PRINT#	PCON
	PRINT#	RCAP2
	PH0	TROON
	PH0#	TCON
	PH1	TM00
	PH1#	TIME
	PGM	TIMER0
	PUSH	TIMER1
	POP	TIMER2
	PWM-	XTAL
	REM	MTOP
	RETI	LEN
	STOP	FREE
	STRING	PI
	UN(160)	
	UN(160)	
	ID6	
	STM	
	IDLE	
	PROM	

4.10. คำสั่ง (Commands)

ในตารางที่ 4.4 RAM , ROM และ XFER เป็นคำสั่งสำหรับจัดการและส่งถ่ายหน่วยความจำเป็นชุด ความสามารถหลาย ๆ อย่าง และความสามารถในการโปรแกรมนั้นได้จาก statements คือ คำสั่งที่มีเงื่อนไขตามกรณีที่แตกต่างกันดังนี้

BAUD กำหนดอัตราการส่งข้อมูลออกไปอย่างอนุกรม ดังได้กล่าวมาแล้ว

CALL ใช้เรียกโปรแกรมย่อยภาษาเครื่องจากภาษาเบสิก

CLOCK 1 และ **CLOCK 0** ควบคุมนาฬิกาตามเวลาจริง

CLEARs ใช้ในการเริ่มต้นสแต็กที่เก็บข้อมูล ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นในการเปลี่ยนพารามิเตอร์ภาษาเครื่องหรือใช้สำหรับเก็บตัวแปรคงที่ก็ได้

สิ่งที่น่าสนใจนอกเหนือจากนี้คือ **ONTIME** เป็นคำสั่งเงื่อนไขให้มีการสร้างค่าอินเตอร์รัพต์ของ INT (เป็นลักษณะพิเศษ ที่อินเตอร์รัพต์ของวงจรตั้งเวลาและวงจรถ่ายนอกสามารถเรียกผ่านภาษาเบสิกได้ ซึ่งแตกต่างจากการอินเตอร์รัพต์อื่น ๆ ทั่วไป)

PH 0 และ **PH 1** สำหรับการพิมพ์ตัวเลขฐานสิบหก

PUSH และ **POP** สำหรับจัดการกับสแต็กในภาษาเบสิก และสุดท้าย

PWM สำหรับสร้างสัญญาณที่มอดูเลตกันด้วยความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulated) ชุดคำสั่งตามเงื่อนไขประกอบด้วยชุดคำสั่งต่าง ๆ ที่เรียกโปรแกรมของตัวแปลภาษาเบสิกโดยตรง คือ U10 , U01 และ U00

Operator จากแนวตั้งที่ 3 ของตารางที่ 4.4 แสดงการทำงานค้ำตัวเลขและการทำงานเฉพาะอย่างคือ

CBY () : เครื่องหมายนี้ จัดการควบคุมสายต่าง ๆ ของอินพุตและเอาต์พุต และการจัดวางหน่วยความจำ เช่น ใช้ **CBY ()** และ **DBY ()** เพื่อเขียนหรืออ่านจากโปรแกรมภายใน และจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

GET : เพื่ออ่านตัวอักษรจากอินเตอร์เฟสอย่างอนุกรม

TIMER2 : ใช้สำหรับอ่านและเขียนกับรีจิสเตอร์ ที่บ่งชี้ด้วยตัวอยู่ที่ตรงกัน

XTAL : จัดการให้ข้อมูลของความถี่ของสัญญาณนาฬิกา เพื่อให้โปรเซสเซอร์สามารถทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาตามเวลาจริง

MTOP : สามารถอ่านสถานะของหน่วยความจำที่เหลือสูงสุดได้ตลอดเวลา

LEN : บอกความยาวของคำสั่งต่าง ๆ ในโปรแกรม

FREE : บอกจำนวนของตำแหน่งในหน่วยความจำที่เหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

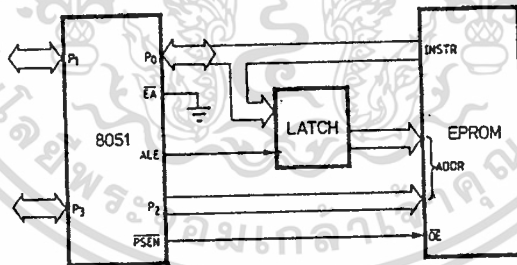
ข้อสังเกต 8052 AH-BASIC มีหน้าที่ต่าง ๆ ที่เรียกจากภาษาแอสเซมบลีหน้าที่เหล่านี้ประกอบด้วย การคำนวณ เลขยกกำลัง สมการของคณิตศาสตร์ และโปรแกรมย่อยของอินพุตและเอาต์พุต

4.11. การจัดหน่วยความจำ

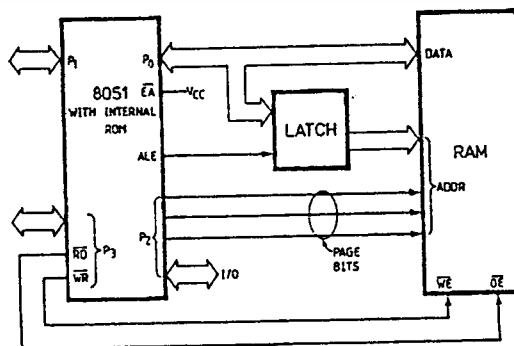
ในระบบของ MCS-51 จะมีการแบ่งหน่วยความจำเหมือนกับซีพียูทั่ว ๆ ไปคือ จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะตามชนิดของข้อมูลที่เก็บดังนี้

1. หน่วยความจำข้อมูล (data memory)
2. หน่วยความจำโปรแกรม (program memory)

ถ้าจะพูดกันง่าย ๆ หน่วยความจำข้อมูลก็หมายถึงหน่วยความจำส่วนที่เป็นแรม (RAM) ซึ่งเราสามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา แต่ไม่สามารถรับโปรแกรมบนหน่วยความจำส่วนนี้ได้ ส่วนหน่วยความจำโปรแกรมจะหมายถึงหน่วยความจำที่อ่านได้อย่างเดียว (ROM) ซึ่งบรรจุโปรแกรมที่จะให้ MCS-51 ทำงาน โดยหน่วยความจำทั้ง 2 ประเภทนี้จะถูกแยกออกจากกันด้วยคำสั่งทางซอฟต์แวร์และลักษณะการติดต่อทางฮาร์ดแวร์ด้วย กล่าวคือ จะมีคำสั่ง เฉพาะสำหรับการติดต่อกับหน่วยความจำชนิดใดชนิดหนึ่งและจัดสัญญาณสโตรบในการติดต่อกับหน่วยความจำแต่ละชนิดแยกต่างหากกันด้วย ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



รูป 4.5 การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม

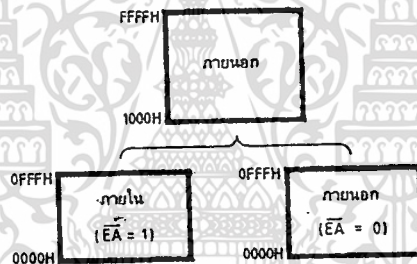


รูป 4.6 การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในสำนักงานเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12. หน่วยความจำโปรแกรม

ใน MCS-51 จะแบ่งหน่วยความจำโปรแกรมออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรมภายในและหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก หน่วยความจำโปรแกรมภายในก็คือหน่วยความจำประเภท ROM หรือ EPROM ที่อยู่ภายในตัว MCS-51 เบอร์ 8051 หรือ 8751 ตามลำดับ ซึ่งมีขนาด 4 กิโลไบต์ ส่วนหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกก็คือ หน่วยความจำที่ต่ออยู่ภายนอกตัว MCS-51 โดยอาจจะเป็นการต่อเพื่อขยายหน่วยความจำเพิ่มเนื่องจากหน่วยความจำภายในไม่พอ หรืออาจต่อเป็นหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมดเลยก็ได้ในกรณีของ 8031 เพราะภายในตัวมันไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมเหมือนเบอร์ 8051 หรือ 8751 โดย MCS-51 สามารถเลือกให้รันโปรแกรมในหน่วยความจำโปรแกรมภายในหรือภายนอกก็ได้โดยควบคุมที่ขา \overline{EA} (ขา 31) แต่สำหรับเบอร์ 8031 จะต้องต่อขา \overline{EA} ลงกราวด์เสมอ การจัดแบ่งพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอก ดังรูปที่ 4.7



รูป 4.7 การจัดพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอก

4.13. หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลของ MCS-51 ก็ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนเหมือนกันคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในและภายนอก โดยหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะเข้าถึงได้ก็ด้วยคำสั่ง MOVY เท่านั้น สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในของ 8031/8051 และ 8751 จะมีทั้งหมด 256 ไบต์ โดยแบ่งเป็น 128 ไบต์ ส่วนบน ซึ่งใช้เป็นที่อยู่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ และอีก 128 ไบต์ส่วนล่าง ซึ่งจะถูกใช้งานทั่วไป ดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลภายในส่วน 128 ไบต์ล่าง (ตำแหน่ง 00 H-7FH) จะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของรีจิสเตอร์แบงก์ (00H-1FH) , ส่วนพิเศษที่สามารถเข้าถึงตำแหน่งบิตได้โดยตรง (20H-2FH) และส่วนที่ใช้งานทั่วไป (30H-7FH)

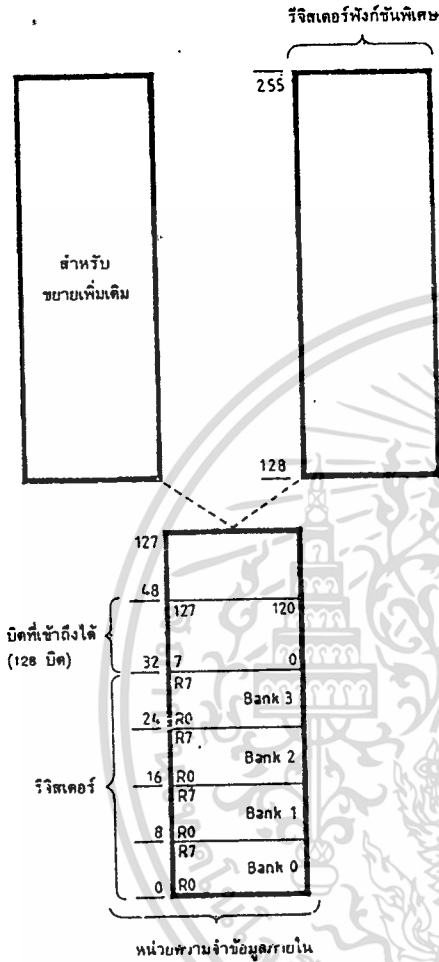
ส่วนของรีจิสเตอร์แบงก์มีทั้งหมด 4 แบงก์ แต่เราสามารถใช้ได้ครั้งละแบงก์เท่านั้น การ

เลือกใช้แบงก์ไหนอยู่ที่เรากำหนดค่าในรีจิสเตอร์ PSW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งที่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งจะแบ่งลักษณะการกำหนดเลขที่อยู่ของหน่วยความจำข้อมูลได้ 4 โหมดด้วยกันคือ



รูป 4.8 การจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูล

	(MSB)								(LSB)
7FH									127
2FH	7F	7E	7D	7C	7B	7A	79	78	47
2EH	77	76	75	74	73	72	71	70	46
2DH	6F	6E	6D	6C	6B	6A	69	68	45
2CH	67	66	65	64	63	62	61	60	44
2BH	5F	5E	5D	5C	5B	5A	59	58	43
2AH	57	56	55	54	53	52	51	50	42
29H	4F	4E	4D	4C	4B	4A	49	48	41
28H	47	46	45	44	43	42	41	40	40
27H	3F	3E	3D	3C	3B	3A	39	38	39
26H	37	36	35	34	33	32	31	30	38
25H	2F	2E	2D	2C	2B	2A	29	28	37
24H	27	26	25	24	23	22	21	20	36
23H	1F	1E	1D	1C	1B	1A	19	18	35
22H	17	16	15	14	13	12	11	10	34
21H	0F	0E	0D	0C	0B	0A	09	08	33
20H	07	06	05	04	03	02	01	00	32
1FH	แบ่งที่ 3								31
18H	แบ่งที่ 3								24
17H	แบ่งที่ 2								23
10H	แบ่งที่ 2								16
0FH	แบ่งที่ 1								15
08H	แบ่งที่ 1								8
07H	แบ่งที่ 0								7
00H	แบ่งที่ 0								0

รูป 4.9 พื้นที่การกำหนดตำแหน่งบิตของหน่วยความจำข้อมูลภายในจากรูป 4.8

โหมดการกำหนดเลขที่อยู่รีจิสเตอร์ จะเป็นการติดต่อกับข้อมูลที่อยู่ในรีจิสเตอร์โดยตรง ตัวอย่างเช่น

```
MOV A, R0 ; ย้ายค่าใน R0 ไปไว้ที่ ACC
```

```
ADD A, R3 ; บวกค่าใน ACC กับค่าใน R3 แล้วนำผลลัพธ์ไปไว้ใน ACC
```

โหมดการกำหนดเลขที่อยู่โดยตรงจะเป็นการติดต่อกับข้อมูลที่ตำแหน่งแอดเดรสที่กำหนดโดยตรง ซึ่งจะต้องอยู่บริเวณตำแหน่งของแรมภายใน 128 ไบต์ ตัวอย่างเช่น

```
MOV A, 40H ; ย้ายค่าข้อมูลในหน่วยความจำ แรมตำแหน่ง 40H ไปเก็บไว้ใน ACC
```

```
ADD A, 41H ; บวกข้อมูลใน แรมตำแหน่ง 41H กับข้อมูลใน ACC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมคการกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลโดยทันที จะเป็นการติดต่อกับข้อมูลคงที่ ตัวอย่างเช่น

MOV A, #40H ; นำค่า 40H ไปเก็บใน ACC

ADD A, #41H ; บวกค่า 41H เข้ากับค่าใน ACC ตำแหน่ง 41H

โหมคการกำหนดเลขที่อยู่รีจิสเตอร์โดยอ้อม จะเป็นการติดต่อกับข้อมูลที่ใส่ค่าในตัวรีจิสเตอร์ RO หรือ R1 เป็นตัวชี้ตำแหน่ง ตัวอย่างเช่น

MOV A, @RO ; นำค่าข้อมูลในหน่วยความจำที่ถูกชี้ด้วย RO ไปเก็บใน ACC

MOV A, @R1 ; บวกค่าของข้อมูลในหน่วยความจำที่ถูกชี้ด้วย R1 กับค่าใน ACC

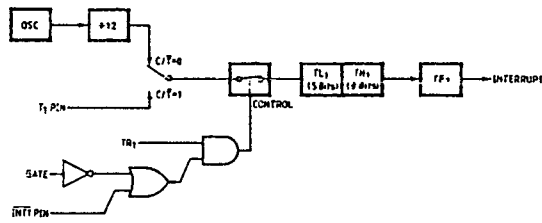
4.14. ตัวจับเวลา/ตัวนับ (Timer/Counter)

ในเบอร์ 8031/8051 และ 8751 จะมีตัวจับเวลา/ตัวนับขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว คือ ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ส่วนเบอร์ 8032/8052 จะมีเพิ่มอีก 1 ตัว โดยแต่ละตัวสามารถที่จะกำหนดให้ทำงานเป็นตัวจับเวลาหรือตัวนับได้โดยการเซตหรือเคลียร์บิต C/\bar{T} ที่ตัวรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ

ในการกำหนดให้ทำงานเป็นตัวจับเวลา ตัวรีจิสเตอร์ TH1 และ TL1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเก็บค่าจำนวนพัลส์ที่เข้ามาจะเพิ่มค่าทุก ๆ แมกซ์ไซเคิล โดยแต่ละแมกซ์ไซเคิลจะประกอบด้วย 12 คาบของสซิงเกิลเตอร์ ดังนั้นอัตราการนับแต่ละครั้งจะใช้เวลาเท่ากับ $1/12$ ของความถี่ของสซิงเกิลเตอร์ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในงานอินเตอร์รัพท์ RTC (Real Time Clock) และถ้าให้ทำงานเป็นตัวนับ รีจิสเตอร์ตัวนับจะเพิ่มค่าทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก “1” เป็น “0” ที่ขา TO หรือ T1 โดยอัตราความถี่สูงสุดที่สามารถนับได้คือไม่เกิน $1/24$ ของความถี่ของสซิงเกิลเตอร์

ตัวจับเวลา/ตัวนับสามารถโปรแกรมให้มันทำงานได้ต่างกันถึง 4 โหมค โดยการตั้งค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ซึ่งจะกล่าวถึงการทำงานของแต่ละโหมคดังนี้

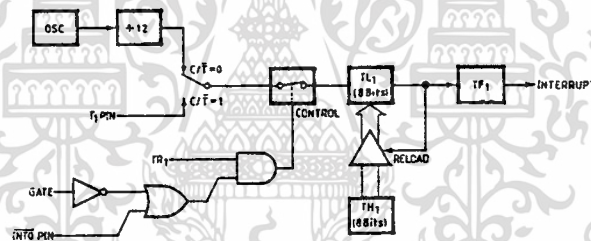
โหมค 0 รีจิสเตอร์ตัวนับจะถูกกำหนดให้มี 13 บิต ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ TH1 8 บิต และ TL1 อีก 5 บิตอันดับค่า ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นตัวจับเวลาหรือตัวนับได้โดยเซตหรือเคลียร์ที่บิต C/\bar{T} ในตัวรีจิสเตอร์ TMOD การทำงานของรีจิสเตอร์ตัวนับจะนับขึ้นครั้งละ 1 เมื่อมีสัญญาณเข้ามา 1 ลูกและ เมื่อนับจนเป็น “1” หมดทุกบิต ก็จะกลับมาเป็น “0” หมดทุกบิตใหม่ ซึ่งจะเป็นการเกิดโอเวอร์โฟลว์ (Overflow) ไปทศแฟล็กอินเตอร์รัพท์ TF1 ให้เป็น “1” ลักษณะวงจรเป็นดังรูป 4.10



รูป 4.10 แสดงวงจรการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 1 ในโหมด 0 และโหมด 1

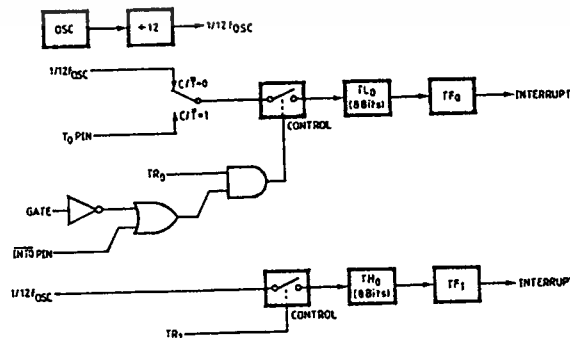
โหมด 1 การทำงานเหมือนกับโหมด 0 ทุกอย่างยกเว้นรีจิสเตอร์ตัวนับจะเป็นขนาด 16 บิต

โหมด 2 จะใช้รีจิสเตอร์ TL1 เป็นตัวนับเพียงตัวเดียวและเมื่อ TL1 นับจนเป็น "1" หมดทุกบิต ก็จะมีการโหลดค่าจากรีจิสเตอร์ TH1 เข้าไปไว้ใน TL1 โดยอัตโนมัติ และทำการทำแฟลทอินเตอร์รัปต์ TF1 ให้เป็น "1" ค่าใน TH1 นี้ เราสามารถตั้งค่าได้ด้วยซอฟต์แวร์ ลักษณะวงจรแสดงในรูปที่ 4.11



รูป 4.11 แสดงวงจรการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 1 ในโหมด 2

โหมด 3 เป็นการเพิ่มตัวจับเวลาขึ้นอีก 1 ตัว แต่ละจะเป็นขนาด 8 บิตทั้งคู่ ซึ่งลักษณะการทำงานอื่น ๆ จะเหมือนกับโหมด 0 การทำงานแสดงในรูป 4.12



รูป 4.12 วงจรการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 0 ในโหมด 3

สำหรับรายละเอียดบิตควบคุมในรีจิสเตอร์ TMOD และรีจิสเตอร์ TCON แสดงในรูปที่

4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

TIMER/COUNTER 1				TIMER/COUNTER 0			
GATE	C/T	MI	MO	GATE	C/T	MI	MO

GATE : เซตเป็น "1" จะเป็นการรีนาเบิ้ลตัวจับเวลา/ตัวนับให้ถูกควบคุมด้วยขา INTx ต้อง มีสถานะสูง และบิต TRX ใน TCON ต้องเซตเป็น "1" จึงจะเริ่มทำงาน แต่ถ้า GATE เป็น "0" ตัวจับเวลา/ตัวนับจะถูกควบคุมให้เริ่มทำงานด้วยบิต TRX เท่านั้น

C/T : เป็นบิตควบคุมในการเลือกทำงานเป็นตัวจับเวลาหรือตัวนับ ถ้าเป็น "0" จะทำงาน เป็นตัวจับเวลา ถ้าเป็น "1" ทำงานเป็นตัวนับ

MI, MO: เป็นตัวเลือกโหมดการทำงานดังนี้

MI	MO	โหมดการทำงาน
0	0	โหมด 0
0	1	โหมด 1
1	0	โหมด 2
1	1	โหมด 3

รูป 4.13 แสดงบิตควบคุมที่อยู่ในรีจิสเตอร์ TMOD

TF ₁	TR ₁	TF ₀	TR ₀	IE ₁	IT ₁	IE ₀	IT ₀
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

TF_x : เป็นแฟล็กอินเตอร์รัพต์จะถูกเซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อเกิด โอเวอร์ โฟลวของตัวจับเวลา/ตัวนับ และจะเคลียร์ตัวเองโดยอัตโนมัติ เมื่อทำงานอินเตอร์รัพต์นั้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว

TR_x : เป็นบิตควบคุมให้ตัวจับเวลา / ตัวนับเริ่มทำงานโดยการเซตให้เป็น "1" และให้หยุดทำงานด้วยการเคลียร์ให้เป็น "0" โดยซอฟต์แวร์

IE_x : เป็นแฟล็กอินเตอร์รัพต์จากสัญญาณภายนอก เซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อมีสัญญาณขอการอินเตอร์รัพต์ปรากฏที่ขา INT_x และจะเคลียร์ตัวเองโดยอัตโนมัติเมื่อกระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคดไปทำงานบริการอินเตอร์รัพต์ที่ขอมารียบร้อยแล้ว

IT_x : เป็นบิตควบคุมรูปแบบสัญญาณอินเตอร์รัพต์ภายนอกจะเซต/เคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ โดยถ้าเซตเป็น “1” จะถูกอินเตอร์รัพต์ด้วยสัญญาณขอบขาลง และถ้าเคลียร์เป็น “0” จะถูกอินเตอร์รัพต์ด้วยสัญญาณระดับแรงดันต่ำ

หมายเหตุ x หมายถึงเลข 1 หรือ 0

รูป 4.14 แสดงบิตควบคุมที่อยู่ในรีจิสเตอร์ TCON

4.15 พอร์ตอนุกรม

MCS-51 จะมีพอร์ตอนุกรมเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ (full duplex) สามารถที่จะส่งและรับข้อมูลได้พร้อมกันเพราะมีบัฟเฟอร์ 2 ตัว ใช้ในการรับตัวหนึ่งและส่งตัวหนึ่ง โดยโครงสร้างของรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ทั้ง 2 ตัวนี้จะแยกกันแต่การติดต่อจะให้ชื่อเดียวกันคือ SBUF พอร์ตอนุกรมของ MCS-51 สามารถที่จะโปรแกรมให้ทำงานได้แตกต่างกัน 4 โหมด

โหมด 0 ข้อมูลจะเข้าและออกทางขา RXD โดยการเลื่อนสัญญาณนาฬิกาออกที่ขา TXD ข้อมูลจะเป็น 8 บิตโดยจะส่งบิตน้อยสำคัญต่ำ (LSB) ก่อน อัตราบิตจะคงที่ที่ 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์

โหมด 1 เป็นการรับ/ส่งข้อมูลขนาด 10 บิต โดยการส่งออกทางขา TXD และรับเข้าทางขา RXD รูปแบบบิตจะประกอบด้วย 1 บิตสตาร์ทเป็น “0” , 8 บิตข้อมูล และ 1 สตอปบิตเป็น “1” อัตราบิต (baud rate) แปรผันได้ตามการตั้งตัวจับเวลาตัวที่ 1 โดยมีสูตรดังนี้

$$\text{Baud.Rate} = \frac{2^{\text{SMOD}}}{32} \times \frac{\text{Frequency.osc}}{12 \times (256 - \text{TH1})} \quad (4.1)$$

โหมด 2 เป็นการรับส่งข้อมูลขนาด 11 บิต เข้าทางขา RXD และส่งออกทางขา TXD ประกอบด้วย 1 บิตสตาร์ทมีค่า “0” , 9 บิตข้อมูล และ 1 บิตสตอป โดยการรับข้อมูลบิตที่ 9 จะถูกนำมาเก็บที่บิต RB8 ใน SCON ส่วนการส่งจะตั้งใส่บิตที่ 9 ไว้ใน TB8 ของ SCON ก่อนอัตราบิตสามารถเลือกได้ 2 อัตราคือ 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ขึ้นอยู่กับการเซตบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON ซึ่งรายละเอียดของรีจิสเตอร์ SCON แสดงในรูปที่ 4.15

โหมด 3 จะเหมือนกับโหมด 2 ทุกอย่าง ยกเว้นอัตราบิตจะแปรผันตามการตั้งตัวจับเวลา 1 ซึ่งจะใช้สูตรเดียวกับโหมด 1

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	----	----

SM0 , SM1 : เป็นตัวกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมดังนี้

SM0	SM1	โหมด
0	0	0
0	1	1
1	0	2
1	1	3

SM2 : ควบคุมอีนามเปิดการใช้โปรเซสเซอร์หลายตัวในการสื่อสารซึ่งกันและกัน
ในโหมด 2 และ 3

REN : ตัวอีนามเปิดอนุกรมการรับเมื่อเซตเป็น "1" และถ้าเป็น "0" เป็นการคิฮเอเปิด

TB8 : เป็นตัวเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่จะส่งในโหมด 2 และ 3

RB8 : เป็นตัวรับข้อมูลบิตที่ 9 ในโหมด 2 และ 3 ส่วนในโหมด 1 จะเป็นสต็อบบิต

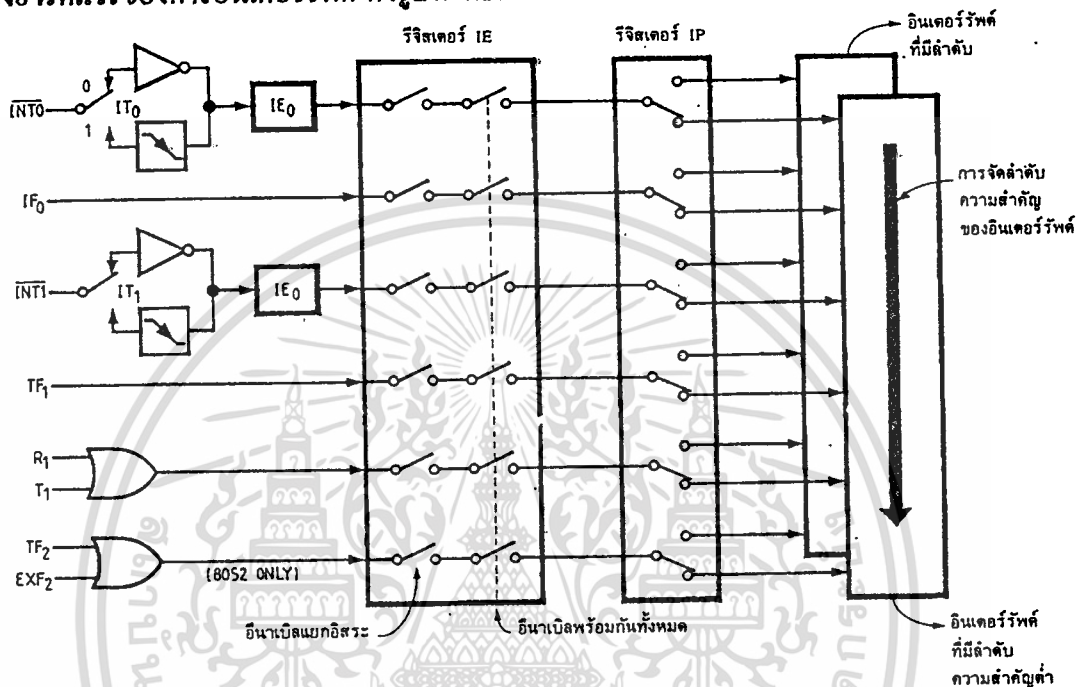
TI : เป็นแฟลกอินเตอร์รัพต์การเซตด้วยฮาร์ดแวร์ที่ปลายช่วงของบิตที่ 8 ในโหมด 0 หรือที่จุดเริ่มต้นของบิตสต็อบในโหมดอื่น ในการส่งแบบอนุกรมของทุกโหมดจะต้องเคลียร์บิตนี้ด้วย โปรแกรมหลังการส่ง

RI : เป็นแฟลกอินเตอร์รัพต์การรับ เซตด้วยฮาร์ดแวร์ที่ปลายช่วงของบิตที่ 8 ในโหมด 0 หรือ จุดครึ่งของช่วงบิตสต็อบในโหมดอื่น ในการรับแบบอนุกรมจะต้องเคลียร์บิตนี้ด้วย โปรแกรมหลังการรับทุกครั้ง

รูป 4.15 แสดงควบคุมที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON

4.16. การอินเทอร์รัพต์

ในระบบของ MCS-51 จะอินเทอร์รัพต์ได้จาก 5 แหล่ง (ยกเว้นเบอร์ 8032/8052 มี 6 แหล่ง) โดยสามารถตั้งระดับความสำคัญได้ 2 ระดับคือ ระดับสูงและระดับต่ำ ซึ่งจะมีแผนภูมิทางฮาร์ดแวร์ของการอินเทอร์รัพต์ ดังรูปที่ 4.16



รูป 4.16 แผนภูมิทางฮาร์ดแวร์ของแหล่งอินเทอร์รัพต์ชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.5 ลำดับความสำคัญของแหล่งการอินเทอร์รัพต์ต่าง ๆ

แหล่งการอินเทอร์รัพต์	ลำดับความสำคัญ
อินเทอร์รัพต์ 0 จากภายนอก	1
อินเทอร์รัพต์โอเวอร์โฟลว์ของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 0	2
อินเทอร์รัพต์ 1 จากภายนอก	3
อินเทอร์รัพต์โอเวอร์โฟลว์ของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 1	4
อินเทอร์รัพต์ของพอร์ตอนุกรม	5
อินเทอร์รัพต์โอเวอร์โฟลว์ของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 2	6

ตารางที่ 4.6 แสดงตำแหน่งที่อยู่ของการกระโดดแต่ละแหล่งอินเทอร์รัพต์

แหล่งการอินเทอร์รัพต์	ตำแหน่งที่อยู่ในการกระโดดทำงาน
External Interrupt 0	0003H
Timer 0 Overflow	000BH
External Interrupt 1	0013H
Timer 1 Overflow	001BH
Serial Port Interrupt	0023H

การอินเทอร์รัพต์ความสำคัญต่ำ สามารถที่สำคัญที่จะถูกอินเทอร์รัพต์จากอินเทอร์รัพต์ตัวอื่นที่มีระดับความสำคัญสูงได้แต่ไม่สามารถที่จะถูกอินเทอร์รัพต์จากอินเทอร์รัพต์ตัวอื่นที่มีระดับเดียวกันได้ แต่ถ้าเป็นการอินเทอร์รัพต์จากตัวที่มีความสำคัญสูงจะไม่สามารถถูกอินเทอร์รัพต์จากตัวอื่นได้เลย โดยเราสามารถตั้งระดับความสำคัญของแต่ละแหล่งอินเทอร์รัพต์ได้ที่รีจิสเตอร์ IP และถ้าในเหตุการณ์ที่มีการร้องขออินเทอร์รัพต์ในระดับความสำคัญเดียวกันเข้ามาพร้อมกัน ก็จะต้องมีการจัดระดับความสำคัญของแต่ละแหล่ง ดังตารางที่ 4.5

การถูกขัดจังหวะให้มาทำงานบริการอินเทอร์รัพต์แต่ละแหล่งก็จะต้องมีตำแหน่งที่จะกระโดดไปทำงานที่แน่นอนซึ่งใน MCX-51 จะกำหนดที่อยู่ของตำแหน่งที่จะกระโดดไปทำงานเมื่อถูกอินเทอร์รัพต์ ดังตารางที่ 4.6 ส่วนรายละเอียดบิต ควบคุมของรีจิสเตอร์ IE แสดงในรูปแบบที่ 4.17

EA	-	ET2	ES	ET1	EX	ET0	EX0
----	---	-----	----	-----	----	-----	-----

- EA : ถ้า EA = 0 จะคิฮอเปิดการอินเทอร์รัพต์ทั้งหมด ถ้า EA=1 จะสามารถอินเทอร์รัพต์ได้โดยแต่ละแหล่งอินเทอร์รัพต์จะมีอิสระในการเซต/เคลียร์ให้นาเปิดหรือคิฮอเปิดได้
- ET_x : จะเป็นบิตควบคุมการยอมรับอินเทอร์รัพต์โอเวอร์โฟลว์ของตัวจับเวลา/ตัวนับ x โดยการเซตเป็น "1" จะยอมรับแต่ถ้าเป็น "0" จะไม่ยอมรับ
- ES : จะเป็นบิตควบคุมการยอมรับอินเทอร์รัพต์พอร์ต อนุกรมโดยถ้า ES = "0" จะยอมรับแต่ถ้า ES เป็น "1" จะไม่ยอมรับ
- EX_x : เป็นบิตควบคุม การยอมรับอินเทอร์รัพต์ภายนอกจากขา INT_x ถ้าเป็น "1" จะเป็นการยอมรับ แต่ถ้าเป็น "0" จะไม่ยอมรับ

รูป 4.17 แสดงบิตควบคุมการอินเทอร์รัพต์ในรีจิสเตอร์ IE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.17. ชุดคำสั่งของ MCS-51

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงชุดคำสั่งของ MCS-51 ซึ่งถูกแบ่งเป็นลักษณะการทำงานตามฟังก์ชันได้ คือ

กลุ่มการถ่ายเทข้อมูล

แบ่งออกเป็น 2 ชุดคำสั่งคือ ชุดคำสั่งถ่ายเทข้อมูลใน RAM ภายในดับชุดคำสั่งถ่ายเทข้อมูลใน RAM ภายนอก และหน่วยความจำโปรแกรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การถ่ายเทข้อมูลใน RAM ภายใน

ชุดคำสั่งของการถ่ายเท RAM ภายในนั้น แสดงดังตารางที่ 4.7 ซึ่งเวลาที่ใช้ใน 1 คำสั่งนั้นจะเป็นเวลาเมื่อขณะใช้ความถี่ในการทำงานของ CPU ที่ความถี่ 12 Mhz และรายละเอียดของแต่ละคำสั่งมีดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงชุดคำสั่งของการถ่ายเทข้อมูลใน RAM ภายใน

นี่โมนิก	การกระทำ	โหมดการแอดเดรส				เวลาการเอ็ก ซิคิวต์(μS)
		Dir	Ind	Reg	Imm	
MOV A , <src >	A=<src>	X	X	X	X	1
Mov <dest> , A	<dest>=A	X	X	X		1
MOV <dest> , <src>	<dest>=<src>	X	X	X	X	2
MOV DPTR , #data16	DPTR=16-bit immediate constant.				X	2
PUSH <src>	INC SP : MOV "@SP",<src>	X				2
POP <dest>	MOV <dest>, "@SP":DEC SP	X				2
XCH A ,<byte>	ACC and<byte>exchange data	X	X	X		1
XCHD A , @Ri	ACC and @Ri exchange low nibbles		X			1

MOV จะทำงานในลักษณะการถ่ายเทข้อมูลเป็นขนาดไบต์หรือบิตก็ได้ จากแหล่งกำเนิดเข้าสู่ตัวรับข้อมูลในฟิลด์โอเปอร์เรนด์

PUSH จะทำงานโดยเพิ่มค่าในรีจิสเตอร์ SP ก่อน แล้วจึงถ่ายข้อมูล 1 ไบต์จากแหล่งกำเนิดที่ฟิลด์โอเปอร์เรนด์กำหนดไว้ไปยังบริเวณสแต็คตามตำแหน่งที่รีจิสเตอร์ SP กำหนด

POP การถ่ายเทข้อมูลขนาด 1 ไบต์ จากบริเวณสแต็คตามตำแหน่งที่รีจิสเตอร์ SP กำหนดไปยังรีจิสเตอร์ที่โอเปอร์เรนด์กำหนด และหลังจากนั้นรีจิสเตอร์ SP จะลดค่าลงหนึ่ง

XCH คำสั่งแลกเปลี่ยนไบต์ระหว่างแหล่งกำเนิดโอเปอร์เรนด์กับรีจิสเตอร์ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XCHD คำสั่งแลกเปลี่ยนขนาดนิบเบิตทางอันดับต่ำของแหล่งกำเนิดโอเปอร์เรนด์กับนิบเบิตอันดับต่ำของแอสเซมบลีแอสเซมบลี

ตัวอย่างเช่น จะทำการเลื่อนข้อมูลไป 2 ไบต์ทางขวาซึ่งจะมี 2 วิธีคือ ใช้คำสั่ง MOV หรือใช้คำสั่ง XCH รายละเอียดโปรแกรมที่ใช้คำสั่งทั้ง 2 แบบ แสดงในรูปที่ 4.18

รูปแบบคำสั่ง ตำแหน่ง	2A	2B	2C	2D	2E	ACC
MOV A , 2EH	00	12	34	56	78	78
MOV 2EH , 2DH	00	12	34	56	78	78
MOV 2DH , 2CH	00	12	34	56	78	78
MOV 2CH , 2BH	00	12	34	56	78	78
MOV 2BH , #0	00	12	34	56	78	78

(ก)

รูปแบบคำสั่ง ตำแหน่ง	2A	2B	2C	2D	2E	ACC
CLR A	00	12	34	56	78	78
XCH A , 2BH	00	12	34	56	78	78
XCH A , 2CH	00	12	34	56	78	78
XCH A , 2DH	00	12	34	56	78	78
XCH A , 2EH	00	12	34	56	78	78

(ข)

รูป 4.18 โปรแกรมเลื่อนข้อมูลไปทางขวา 2 ไบต์
โดยใช้คำสั่ง MOV (ก) และใช้คำสั่ง XCH (ข)

2. การถ่ายเทข้อมูลใน RAM ภายนอก และหน่วยความจำโปรแกรม

คำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูลใน RAM ภายนอกนั้น จะดูคำสั่งได้ในตารางที่ 4.8 ซึ่งจะมีตัวชี้อยู่ 2 แบบ คือ ใช้รีจิสเตอร์ RO และ R1 เป็นตัวชี้และอีกแบบคือ ใช้รีจิสเตอร์ DPTR เป็นตัวชี้ ซึ่งถ้าเราใช้ R1 (RO หรือ R1) เป็นตัวชี้มันจะชี้ได้เพียง 256 ไบต์เท่านั้น แต่ถ้าใช้ DPTR จะสามารถชี้ได้ถึง 64 กิโลไบต์ทีเดียว ส่วนชุดคำสั่งของการถ่ายเทข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมนั้นจะอยู่ในตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงชุดคำสั่งการถ่ายเทข้อมูลใน RAM ภายนอก

นิโมติก	การกระทำ	เวลาการเอ็ก ซีคิวต์(μ S)
JMP addr	Jump to addr	2
JMP @A + DPTR	Jump to A + DPTR	2
CALL addr	Call subroutine at addr	2
RET	Return from subroutine	2
RETI	Return from interrupt	2
NOP	No operation	1

ตารางที่ 4.9 แสดงชุดคำสั่งการถ่ายเทข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรม

นิโมติก	การกระทำ	เวลาการเอ็ก คิวต์(μ S)
MOVC A , @A+DPTR	Read Pgm Memory at (A+DPTR)	2
MOVC A , @A+PC	Read Pgm Memory at (A+PC)	2

4.18 การประยุกต์ใช้งาน

ในส่วนนี้จะเป็นตัวอย่างการเชื่อมต่อตัว MCS-51 กับอุปกรณ์ภายนอก และเทคนิคการเขียนโปรแกรมควบคุมพอร์ต อนุกรม , พอร์ตขนาน และการโปรแกรมตัวจับเวลา/ตัวนับซึ่งจะอธิบายถึงการเริ่มติดตั้งตัวจับเวลา/ตัวนับ และการเขียนโปรแกรมในการรับข้อมูลและส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม โดยเขียนเป็นลักษณะโปรแกรมย่อย ซึ่งจะถูกรวมใช้จากโปรแกรมหลัก

วงจรแรกในรูปที่ 4.19 เป็นการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก ซึ่งแสดงทั้งทางการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล โดยใช้ไอซี 2764 ซึ่งเป็นอีพ롬ขนาด 8K X 8 ไบต์ เป็นตัวเก็บข้อมูลและใช้ไอซีเบอร์ 74LS373 เป็นตัวแลตช์ข้อมูลแอดเดรส เพราะ PO จะเป็นมัลติเพล็กซ์ข้อมูลกับแอดเดรส ส่วนการเข้าถึงข้อมูลที่แรมจะใช้ขา RD และ WD เป็นขาคควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ขั้นตอนและวิธีการสร้างและผลการทดลอง

โครงการในหัวข้อ Robot นี้มีลักษณะเป็นรถที่สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อย่างอัตโนมัติ โดยอาศัยการควบคุมการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสามารถรับรู้ว่ามีสิ่งกีดขวางได้จาก วงจรเซนเซอร์ระยะทางว่าขณะนี้รถอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวางเท่าใด ถ้าระยะทางระหว่างรถกับสิ่งกีดขวางน้อยเกินไปจากที่เรากำหนดไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการสั่งให้ระบบควบคุมสั่งให้รถเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวา เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางนั้น ๆ ระบบนี้อาจนำไปประยุกต์ใช้งานกับรถจริงเพื่อเป็นตัวตัดสินใจในกรณีที่รถอาจจะชนสิ่งกีดขวางได้ ในส่วนที่กล่าวมานี้คือประโยชน์และขอบเขตของโครงการ จะกล่าวถึงหลักการและวิธีการสร้างอย่างละเอียด

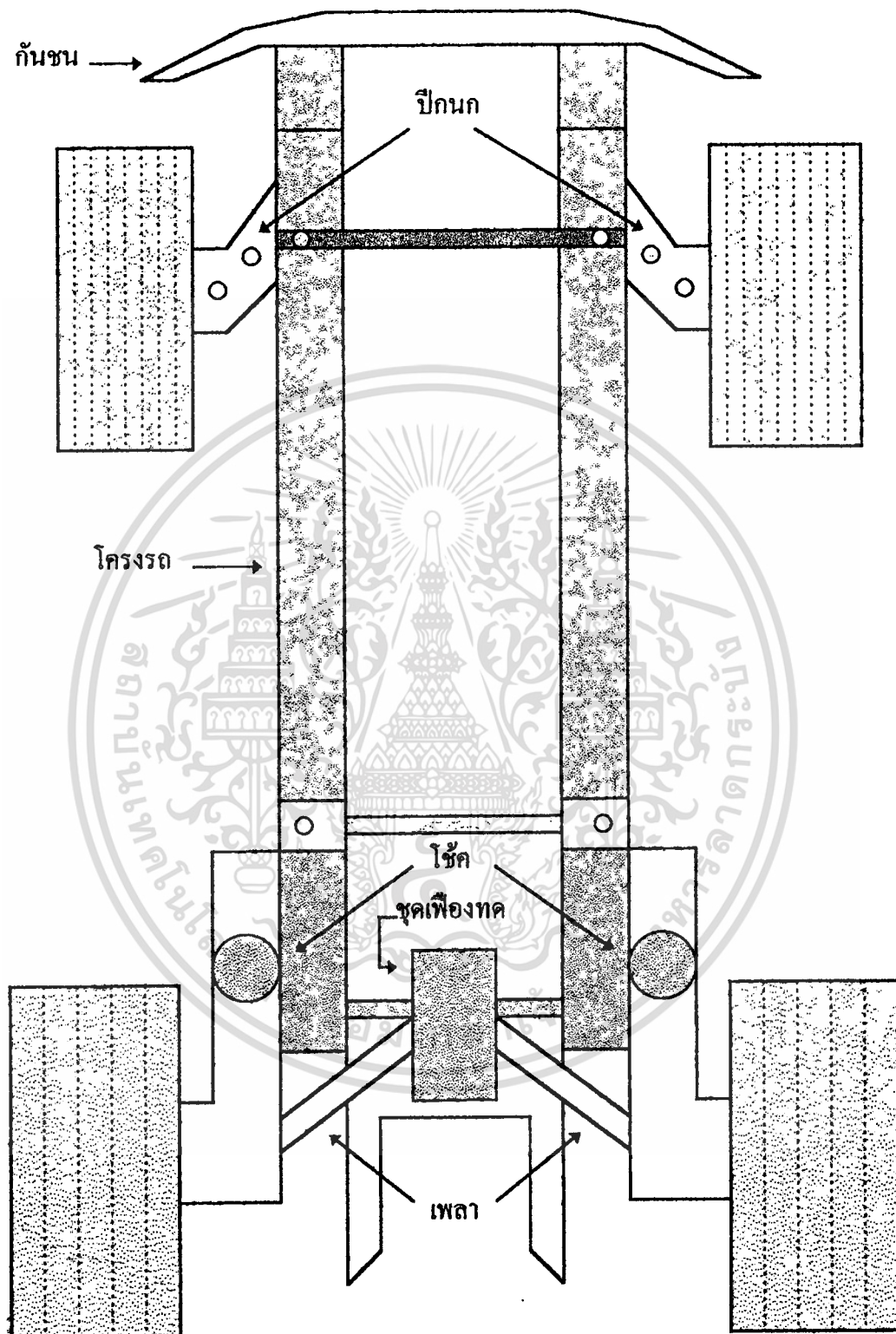
โครงสร้างและระบบกลไกของ Robot

โครงสร้างของ Robot ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด เพราะถ้าส่วนนี้ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว แม้ว่าส่วนควบคุมจะดีเพียงใด Robot ก็ไม่สามารถทำงานตามขอบเขตที่กำหนดไว้ได้ โครงสร้างของตัวรถนี้วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นอลูมิเนียมและพลาสติก ซึ่งสามารถตัดเป็นชิ้นส่วนเพื่อประกอบได้ง่าย เพราะโครงการนี้สร้างในลักษณะของแบบจำลองเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริงต่อไป ในส่วนของระบบขับเคลื่อนและระบบการเลี้ยวจะใช้ดีซีมอเตอร์ ซึ่งระบบกลไกทั้งหมดจะอยู่ที่ระบบขับเคลื่อนและระบบเลี้ยวนี้ โดยในระบบกลไกจะใช้เพียงเป็นส่วนใหญ่ และเนื่องจากมีความรู้ทางด้านกลไกไม่ดีเท่าที่ควร การสร้างจึงมีลักษณะเป็นไปแบบลองผิดลองถูกดังนั้นประสิทธิภาพของรถอาจไม่ดีเท่าที่ควรแต่ก็สามารถใช้งานได้ดีส่วนประกอบต่าง ๆ สามารถแบ่งได้ดังนี้

5.1. โครงสร้างทางด้านกลไก

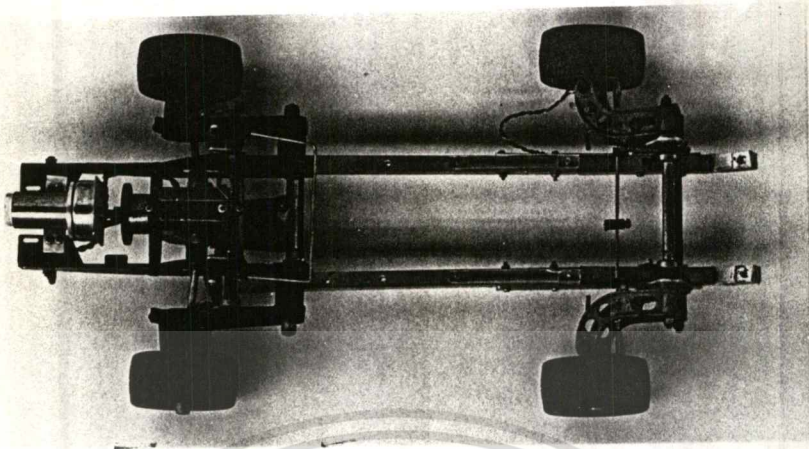
โครงสร้างของตัวรถจะประกอบด้วย โครงรถ ,ล้อ, โช้ค ,ปีกนก และ กันชน ซึ่งโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นอลูมิเนียม ทุกชิ้นส่วนสามารถถอดประกอบได้ โครงรถเป็นแท่งอลูมิเนียมสองแท่งเพื่อเป็นที่ยึดของส่วนประกอบอื่น โช้คหลังจะมีลักษณะเป็นโช้คน้ำมัน และยังมีโช้คสปริงเป็นตัวช่วยอีกตัวหนึ่งด้วย ทั้งโช้คน้ำมันและโช้คสปริงเป็นตัวช่วยรับแรงและแบกน้ำหนักส่วนหลังของตัวรถ ปีกนกทำหน้าที่รับน้ำหนักทางด้านหน้า ทั้งโช้คและปีกนกจะทำให้ตัวรถสามารถยึดหยุ่นจากการรับน้ำหนักและแรงกระแทกได้ โครงสร้างของตัวรถแสดงได้ดังรูป 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.1 แสดงโครงสร้างของตัวรถ

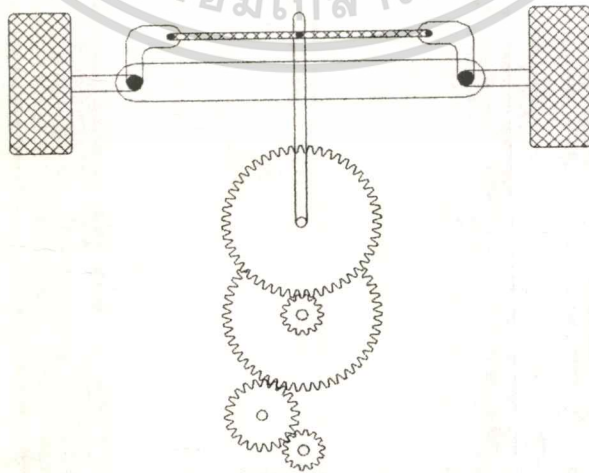
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



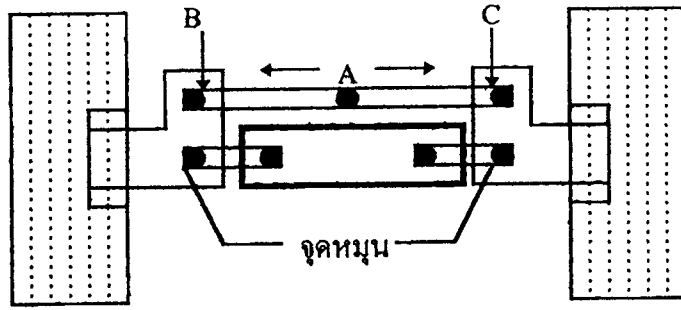
รูป 5.2 ภาพถ่ายแสดงโครงสร้างของตัวรถ

5.2 ระบบเลี้ยว

ระบบเลี้ยวเราจะใช้ DC MOTOR เป็นตัวขับเคลื่อนระบบกลไก ที่ใช้เพื่อทดทั้งหมด 8 ตัวเริ่มจากเฟืองเล็กขับเฟืองตัวใหญ่ขึ้นไปเรื่อย ๆ ทำให้กำลังสูงขึ้น เพื่อไปยังคัมแกนให้หมุนไปทางซ้ายหรือขวา เพื่อไปเลื่อนแกนบังคับล้อให้หมุนไปทางซ้ายหรือขวาได้ตามต้องการดังแสดงในรูป 5.3 และ 5.4 ซึ่งเป็นการแสดงหลักการการทำงานของระบบการเลี้ยวสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ถ้าแกนบังคับล้อบังคับให้จุด A เลื่อนไปทางซ้าย จะทำให้จุด B และ C เลื่อนตามมาทางซ้ายด้วย เป็นผลให้ล้อทั้งสองเลื่อนตามกันอย่างขนาน มาทางซ้ายทำให้รถสามารถเลี้ยวซ้ายได้ดังรูป 5.4.1 ในทางกลับกัน ถ้าจุด A ถูกแกนบังคับล้อบังคับให้เลื่อนไปทางขวาก็จะทำให้ล้อทั้งสองเลื่อนตามมาทางขวาได้เช่นเดียวกัน ดังรูป 5.4.2



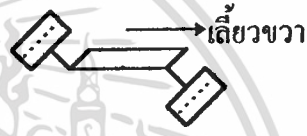
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูป 5.3 แสดงชุดเฟืองทดที่ใช้ในกลไกการเลี้ยวหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.4 แสดงกลไกการเลี้ยวของล้อหน้า



รูป 5.4.1 แสดงการเลี้ยวซ้าย

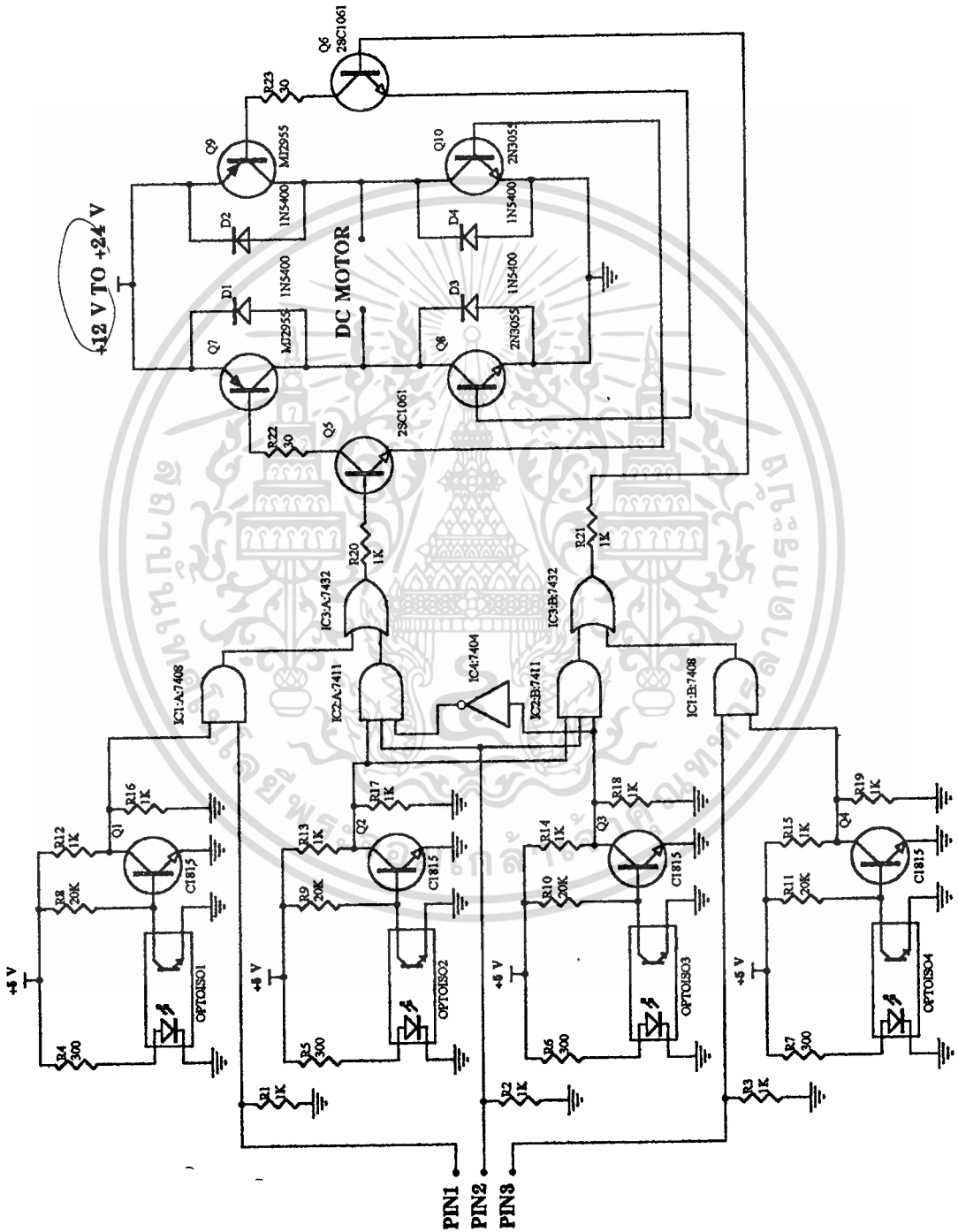


รูป 5.4.2 แสดงการเลี้ยวขวา

การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อน

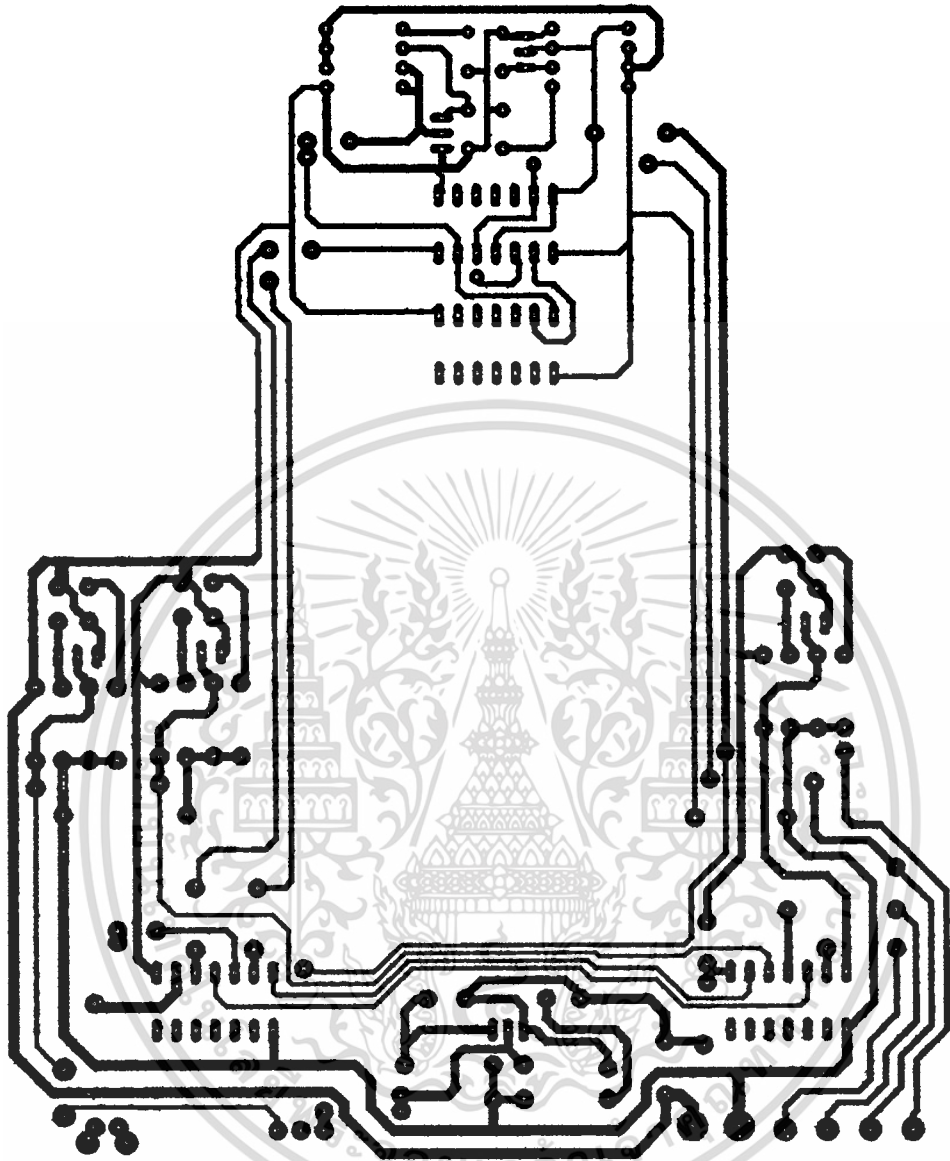
จากรูป 5.5 การทำงานของวงจรขับเคลื่อนจะใช้ตัว Sensor เข้ามาเพื่อทำการบังคับมุมเลี้ยวของระบบขับเคลื่อน ถ้าหากว่าเราไม่มีการบังคับมุมเลี้ยวของรถแล้วจะทำให้มีการเลี้ยวเกิน อาจจะทำให้ทำให้เป็นอันตรายต่อระบบขับเคลื่อนได้ ดังนั้นขอปได้ทรานซิสเตอร์ (Opto transistor) แบบแยกตัวรับและตัวส่งจึงได้ถูกนำมาใช้ โดยเรามีการใช้ออปได้ทรานซิสเตอร์ทั้งหมด 4 ตัว ออปได้ทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 จะเป็นตัวบังคับระบบขับเคลื่อนไม่ให้เกิดการเลี้ยวเกินมุมที่เรากำหนดทางด้านซ้ายออปได้ทรานซิสเตอร์ตัวที่ 4 จะทำงานเหมือนกับตัวที่ 1 แต่ว่าเป็นการบังคับมุมการเลี้ยวทางขวา ส่วนออปได้ทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 และ 3 นั้นจะเป็นตัวบังคับให้รถมีการวิ่งในทิศทางตรง ดังนั้นจากคุณสมบัติของออปได้ทรานซิสเตอร์จะมึการทำงานอยู่ว่า เมื่อได้รับแสงจาก LED จะทำให้ทรานซิสเตอร์มีการทำงาน หรือมีการนำกระแส แต่ถ้าเรามีการบังแสงจาก LED จะทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแส ซึ่งในการอธิบายการทำงานนั้นจะขออธิบายการทำงานเป็น ส่วนๆ ไปโดยจะทำการอธิบายในส่วนของ Sensor ที่ใช้ก่อนว่ามีการทำงานอย่างไรและหลังจากนั้นจะเป็นการอธิบายโดยรวมในการทำงานนั้นถ้าหากว่าเราไม่มีการบังแสงแล้วจะทำให้ออปได้ทรานซิสเตอร์ทำงานดังนั้นจะทำให้ขาเบสของทรานซิสเตอร์มีระดับแรงดันเป็น 0 โวลต์เนื่องจากว่ามีการต่อลงกราวด์ด้วยออปได้ทรานซิสเตอร์ เมื่อมีสถานะเป็น 0 โวลต์จะทำให้

ทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแส ดังนั้นเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าประมาณ 5 โวลท์หรือมีค่าลอจิกเท่ากับ 1 แต่ถ้ามีการบ่งแสงเกิดขึ้นจะทำให้มีค่าลอจิกเป็น 0 ดังนั้นการทำงานของ Sensor ทั้งหมด 4 ตัวจะ มีการทำงานที่เหมือนกัน เราสามารถแบ่งสภาวะการทำงานได้ทั้งหมด 4 สภาวะด้วยกันคือ



รูป 5.5 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ขั้วเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.6 แสดงลายวงจรของวงจรควบคุมการเลี้ยว

สภาวะที่ 1 ถ้าเรามีการให้ลอจิกที่ Pin1 เท่ากับ 1 และ Pin2 เท่ากับ 0 และ Pin3 เท่ากับ 0 แล้วจะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ก็จะทำให้รถมีการเลี้ยวไปทางด้านซ้ายแต่ถ้าแผ่นบังแสงไปบังแสงที่ตัวอปโตทรานซิสเตอร์ (Sensor ตัวที่ 1) ก็จะทำให้ตัวทรานซิสเตอร์ไม่ทำงานเอาท์พุทที่ได้จะมีค่าลอจิกเป็น 0 ดังนั้นจะทำให้มอเตอร์หยุดหมุนถึงแม้ว่าเราจะมีการให้ลอจิกดังกล่าวข้างต้นตลอดไปก็ตาม

สภาวะที่ 2 ถ้าเรามีการให้ลอจิกที่ Pin1 เท่ากับ 0 และ Pin2 เท่ากับ 0 และ Pin3 เท่ากับ 1 แล้วจะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เป็นผลให้รถมีการเลี้ยวไปทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขวาแต่เมื่อมีแผ่นบังแสงไปบังแสงที่ตัวออปโตทรานซิสเตอร์ (Sensor ตัวที่ 4) ก็จะทำให้ตัวทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน เอาท์พุทที่ได้จะมีค่าเป็น 0 ดังนั้นจะทำให้มอเตอร์หยุดหมุนถึงแม้ว่าเราจะมีการให้ลอจิกคิงกล่าวข้างต้นตลอดไปก็ตาม

สถานะที่ 3 ถ้าหากว่าเรามีการเลี้ยวไปทางด้านซ้ายแต่ยังไม่ถึงมุมบังคับของการเลี้ยว (Sensor ตัวที่ 1 ติดตั้งอยู่) เราสามารถที่จะบังคับให้รถมีการเลี้ยวมาอยู่ในตำแหน่งตรง โดยการให้ค่าลอจิกที่ Pin1 เท่ากับ 0 และ Pin2 เท่ากับ 1 และ Pin3 เท่ากับ 0 ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมาถึงในตำแหน่งที่มีการติดตั้งออปโตทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 และ 3 เมื่อมีการบังแสงและไม่มีการบังแสงเกิดขึ้นจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานและไม่ทำงาน ดังนั้นค่าเอาท์พุทที่ได้จะมีค่าของลอจิกเท่ากับ 0 และ 1 ตามลำดับ จะทำให้มอเตอร์หยุดหมุน

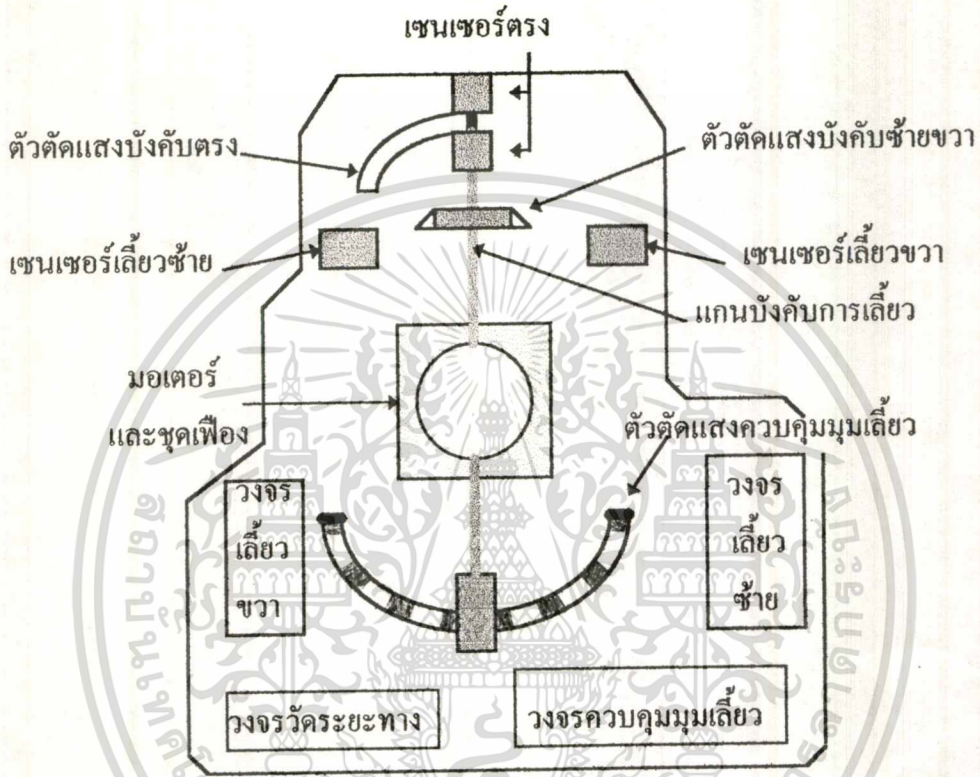
สถานะที่ 4 ถ้าหากว่าเรามีการเลี้ยวไปทางด้านซ้ายแต่ยังไม่ถึงมุมบังคับของการเลี้ยว (Sensor ตัวที่ 1 ติดตั้งสถานะที่ 3 ถ้าหากว่าเรามีการเลี้ยวไปทางด้านขวาแต่ยังไม่ถึงมุมบังคับของการเลี้ยว (Sensor ตัวที่ 4 ติดตั้งอยู่) เราสามารถที่จะบังคับให้รถมีการเลี้ยวมาอยู่ในตำแหน่งตรง โดยการให้ค่าลอจิกที่ Pin1 เท่ากับ 0 และ Pin2 เท่ากับ 1 และ Pin3 เท่ากับ 0 ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเมื่อมาถึงในตำแหน่งที่มีการติดตั้งออปโตทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 และ 3 เมื่อมีการบังแสงและไม่มีการบังแสงเกิดขึ้นจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานและไม่ทำงาน ดังนั้นค่าเอาท์พุทที่ได้จะมีค่าของลอจิกเท่ากับ 0 และ 1 ตามลำดับ จะทำให้มอเตอร์หยุดหมุน

หมายเหตุ ออปโตทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 และ 3 จะมีการติดตั้งในตำแหน่งตรงกัน เพราะว่าการออปโตทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 จะมีการทำงานเมื่อมีการปิดแสงแต่ตัวออปโตทรานซิสเตอร์ตัวที่ 3 นั้นจะทำงานในข้างบังแสงครึ่งหนึ่งและไม่บังแสงครึ่งหนึ่ง

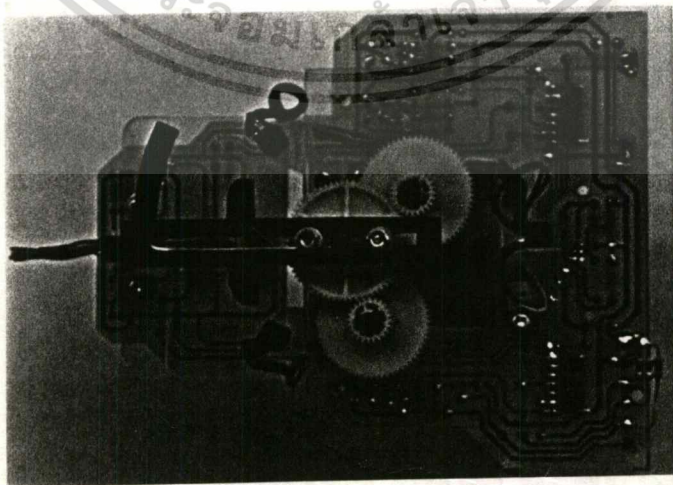
จากการทำงานที่กล่าวมานี้จะมีการทำงานอยู่ 4 สถานะ แต่ว่าการทำงานของมอเตอร์ที่เราต้องการมีอยู่ 2 สถานะดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องนำเอาวงจรถมมาทำการออกแบบเพื่อให้ได้การทำงานอยู่ 2 สถานะ จากสถานะที่ 3 และ 4 นั้นมีความต้องการที่จะให้รถมีการวิ่งในทิศทางตรง เราจึงนำมาผ่านแอนด์เกต (And Gate) 3 อินพุท 2 ตัว ซึ่งเป็นการแอนด์กันระหว่าง Pin2 กับ Sensor ตัวที่ 2 และ Sensor ตัวที่ 3 ต่อกันดังรูป เราจะสังเกตเห็นได้ว่าจะมีการต่ออินพุทเกต (Not Gate) ไว้ระหว่างแอนด์เกต 2 ตัวเนื่องจากต้องการให้ทำงานคนละสถานะ จากเอาท์พุทแอนด์เกตจะนำมากระทำการออร์ (Or Gate) กันกับเอาท์พุทที่มาจากการแอนด์ของเกต 2 อินพุท ซึ่งเป็นการแอนด์กันระหว่าง Pin1 กับ Sensor ตัวที่ 1 และ Pin3 กับ Sensor ตัวที่ 4 หลังจากที่ได้จากออร์เกตแล้ว (จะมีอยู่ 2 สถานะของการทำงาน) ก็จะมีการต่อไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ (Q5 และ Q6) ดังนั้นการทำงานต่อไปก็เหมือนกับการทำงานของวงจรถมเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ค่าลอจิกที่ได้นั้นมาจากพอร์ทเอาต์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) ซึ่งจะมีการควบคุมการทำงานจากโปรแกรม สำหรับการวางตัวเซนเซอร์และวงจรควบคุม แสดงได้ดังในรูป 5.7 - 5.9

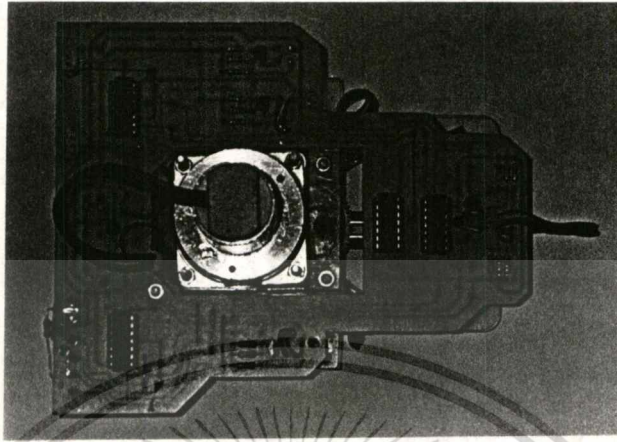


รูป 5.7 แสดงการวางวงจรและกลไกของระบบเลี้ยว

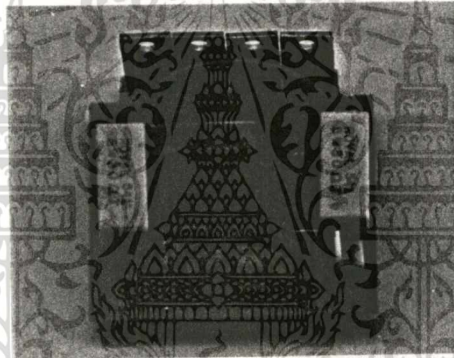


รูป 5.8 ภาพถ่ายแสดงวงจรและกลไกควบคุมการเลี้ยวด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.9 ภาพถ่ายแสดงวงจรและกลไกควบคุมการเลี้ยวค้ำบน



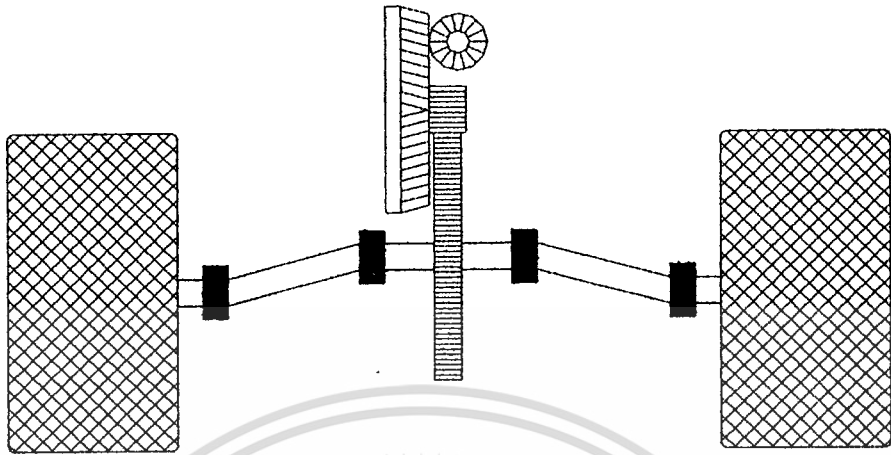
รูป 5.10 ภาพถ่ายแสดงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

5.3 ระบบขับเคลื่อน

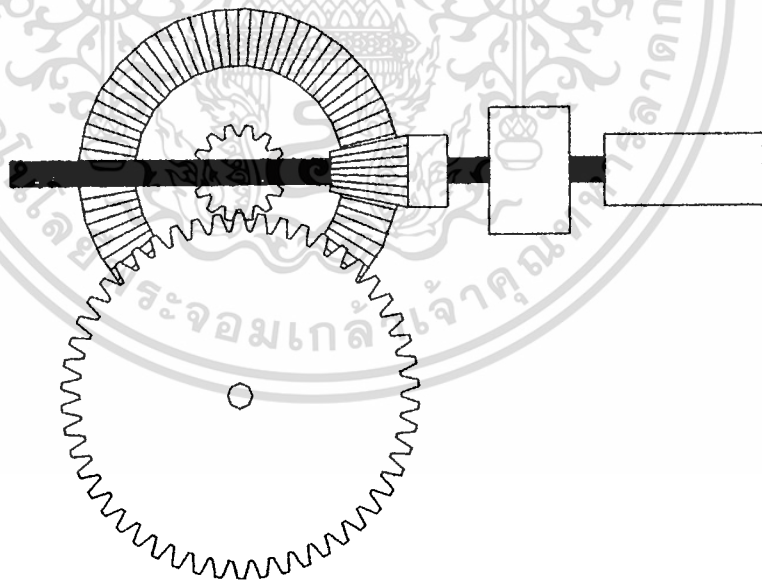
ระบบขับเคลื่อนคือส่วนที่ควบคุมให้รถสามารถเคลื่อนที่ ไปด้านหน้าหรือด้านหลังโดยจะใช้ DC MOTOR เป็นตัวขับเคลื่อนเช่นเดียวกับระบบเลี้ยวด้วยชุดเฟืองที่เป็นระบบกลไกช่วยทดแรงอันประกอบไปด้วยเฟืองคอกจอก และเฟืองตรงซึ่งประกอบกันเป็นชุด ซึ่งจะส่งแรงไปยังล้อโดยผ่านเพลาดังรูป 5.11

จากรูปที่ 5.11 และ 5.12 เมื่อคีมอเตอร์หมุนแกนซึ่งยึดติดอยู่กับเฟืองคอกจอกตัวเล็กจะทำให้เฟืองคอกจอกตัวใหญ่หมุนตามไปด้วย ซึ่งเฟืองคอกจอกตัวใหญ่จะยึดติดอยู่กับเฟืองตรงตัวเล็ก ซึ่งเฟืองตรงตัวเล็กนี้จะขบอยู่กับเฟืองตรงตัวใหญ่อีกตัวหนึ่งทำให้เฟืองตรงตัวใหญ่นี้หมุนตามไปด้วย และที่เฟืองตรงตัวใหญ่ก็จะยึดติดอยู่กับเพลาส่งต่ออยู่กับล้อเป็นผลให้ล้อหมุน รถจึงสามารถเคลื่อนที่ไปได้ จากการใช้เฟืองทดชุดนี้ทำให้มีกำลังในการขับเคลื่อนสูงเพราะเป็นการทดแรงจากเฟืองตัวเล็กสู่เฟืองตัวใหญ่ ความเร็วจะน้อยแต่กำลังจะสูงขึ้น สำหรับโครงสร้างของ

เอกสารระบบขับเคลื่อนแสดงได้ดังรูป 5.13 งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

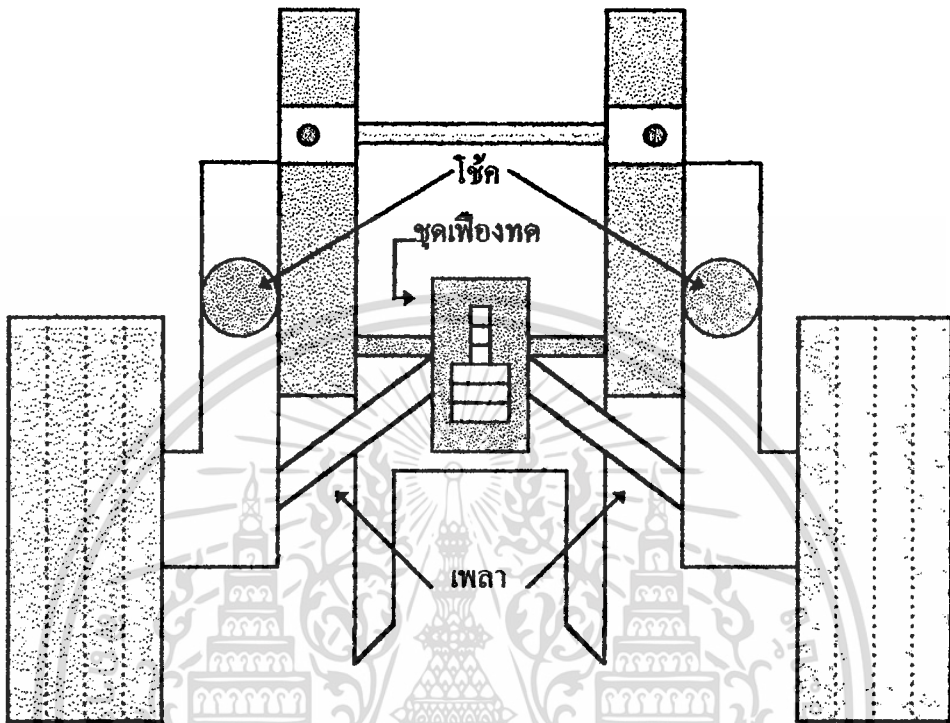


รูป 5.11 แสดงชุดเฟืองที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนด้านหน้า



รูป 5.12 แสดงชุดเฟืองที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

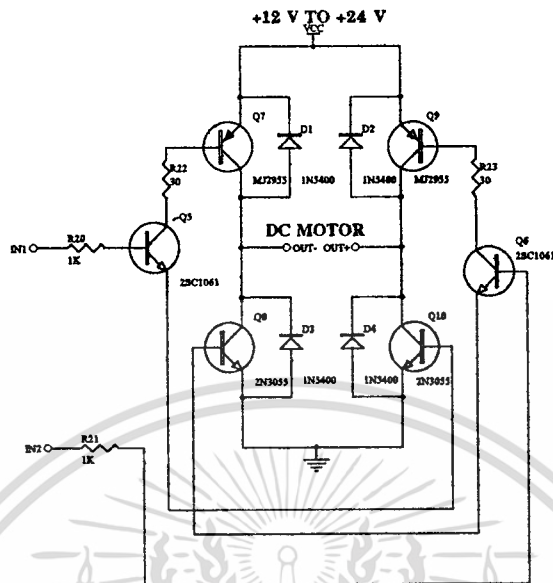


รูป 5.13 โครงสร้างระบบขับเคลื่อน

ระบบขับเคลื่อนนี้เราสามารถสั่งการให้เดินหน้าหรือถอยหลังได้โดยการกลับขั้วของมอเตอร์ สำหรับวงจรที่ใช้สำหรับระบบขับเคลื่อนนี้คือวงจรที่แสดงในรูป 5.14

จากวงจรในรูป 5.14 สามารถอธิบายได้ คือ จะมีสัญญาณจาก MCS-51 ส่งมายังวงจร Drive Motor ว่าต้องการให้รถเดินหน้าหรือถอยหลัง โดย Transistor 2SC1061 ทางด้านขวาเป็นตัวรับสัญญาณอินพุต เมื่อ 2SC1061 ทำงาน กระแส I_c ของ 2SC1061 จะเป็นกระแส I_B ของ Transistor MJ 2955 ทางด้านขวาซึ่งเป็น Transistor ชนิด PNP ทำงาน และกระแส I_E ของ MJ2955 จะเป็น I_B ของ Transistor 2N3055 ทางด้านซ้ายทำให้ Transistor ทำงาน ดังนั้นถ้ามีมอเตอร์ต่ออยู่มอเตอร์ก็สามารถหมุนได้ ในทางกลับกันถ้ามีอินพุตเข้ามาที่ Transistor 2SC1061 อีกตัวหนึ่งการทำงานก็จะเป็นไปในลักษณะเดียวกันแต่ต่างทิศทางกันเป็นผลให้มอเตอร์สามารถหมุนกลับทิศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.14 วงจรควบคุมการขับเคลื่อน

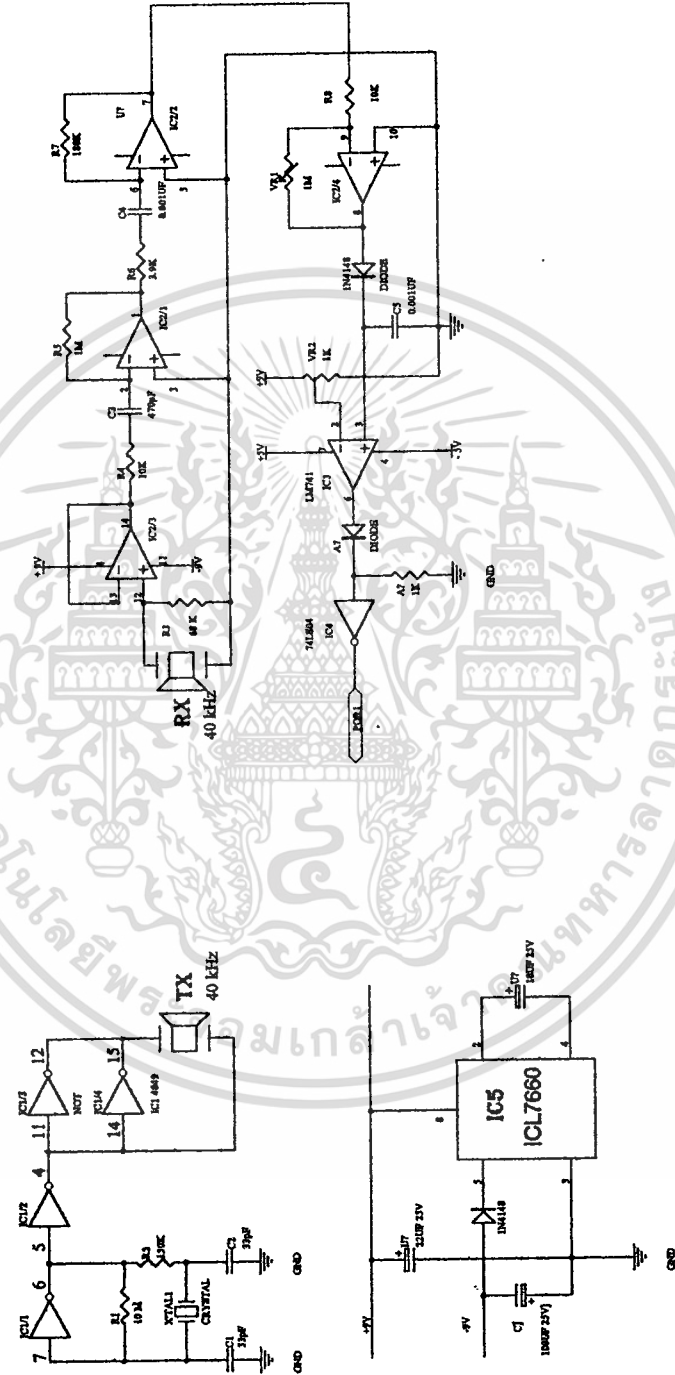
5.4 ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง

ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางจะใช้ อัลตราโซนิกซึ่งเป็นคลื่นในย่านความถี่เสียง เนื่องจากถ้าใช้คลื่นที่เป็นย่านความถี่แสงแล้ว ในกรณีที่สิ่งกีดขวางเป็นวัตถุโปร่งแสงจะทำให้แสงทะลุผ่านไปได้ แต่ถ้าเป็นคลื่นเสียงแล้วจะสามารถสะท้อนกลับมาได้ ในโครงการนี้จะใช้ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางทั้งหมด 4 จุด คือ ตรวจจับสิ่งกีดขวางทางด้านหน้า , ด้านหลัง , ด้านขวา , ด้านซ้าย สำหรับวงจรที่ใช้แสดงได้ดังรูป 5.15 ซึ่งจะประกอบไปด้วย สองส่วนคือ

1. ภาคส่ง

ภาคส่งจะทำหน้าส่งสัญญาณความถี่ 40 kHz ออกไป จากรูปวงจรภาคส่งจะประกอบไปด้วย Crystal , C 33 pF , R 10 M , Notgate และ Ultrasonic ตัวส่ง

การทำงานคือ Crystal จะผลิตความถี่ 40 kHz ออกมาแล้วส่งให้ Notgate ขยายสัญญาณ ส่วน Notgate สองตัวที่เหลือจะนำเอาสัญญาณที่เหลื่อมที่ถูกขยายแล้วสองสัญญาณซึ่งมีเฟสต่างกันมาป้อนให้ตัวส่งเพื่อส่งความถี่ 40 kHz ออกไปในอากาศ



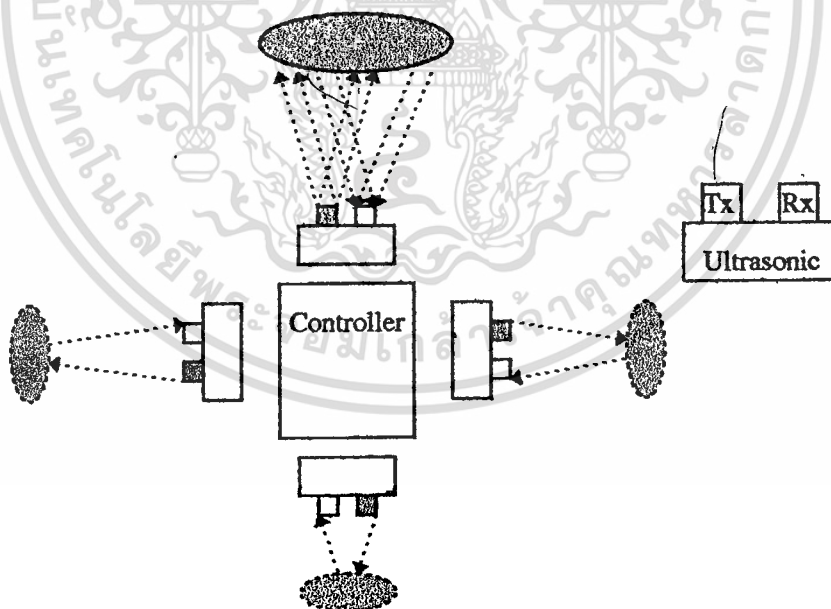
รูป 5.15 วงจรตรวจจับสิ่งกีดขวาง (อนุตร้าโซนิคส์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

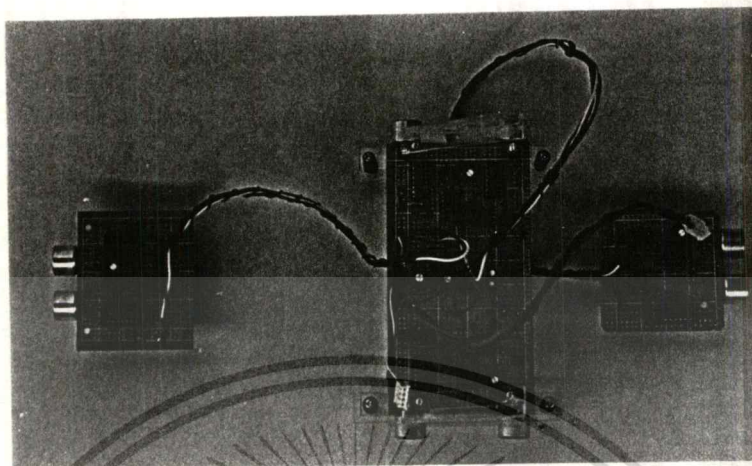
2. ภาครับ

การทำงานของภาครับ จะเริ่มจากการที่ ตัวรับรับสัญญาณความถี่ 40 kHz ที่สะท้อนกลับมา จากการที่ภาคส่งส่งออกไป จากนั้นสัญญาณที่รับเข้ามาจะผ่าน Buffer แล้วจึงผ่านไปยังวงจรกรองความถี่สูงโดยจะยอมให้เฉพาะความถี่สูงกว่า 30 kHz สัญญาณจากวงจรกรองความถี่สูงจะถูกนำไปขยายโดย Opamp ก่อนที่จะทำการ Filter เพื่อส่งสัญญาณเข้าวงจร Comparator ซึ่งมีหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณกับแรงดันอ้างอิงซึ่งเรากำหนดได้ด้วยการปรับความต้านทาน(VR 2) สัญญาณที่ได้จะนำไป Rectifier ก่อนจะส่งไปยัง Notgate เพื่อส่งไปยัง Port ของ Board MCS-51 เพื่อทำการประมวลผลคำสั่งต่อไป สำหรับ IC L7660 ทำหน้าที่สร้างไฟบวกลบเพื่อเลี้ยงวงจร

ระบบตรวจจับนี้มีหลักการคือจะส่งคลื่นอุลตราโซนิกออกไปเมื่อกระทบสิ่งกีดขวางก็จะสะท้อนกลับมายังตัวรับ ที่ภาครับ ซึ่งจะมีการเปรียบเทียบแรงดันคั้งที่ได้อธิบายแล้วในตอนต้นคือจะมีเอาท์พุทออกมาเมื่อระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางนี้อยู่ห่างจากสิ่งกีดขวางตามระยะทางที่เราทำการปรับแต่งเอาไว้ว่าต้องการระยะทางเท่าใดจึงจะส่งเอาท์พุทออกไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งการให้ระบบอื่น ๆ ทำงานเพื่อให้รถสามารถหลบพ้นจากสิ่งกีดขวางนั้น ๆ การจัดวางวงจรตรวจจับแสดงไว้ในรูป 5.16



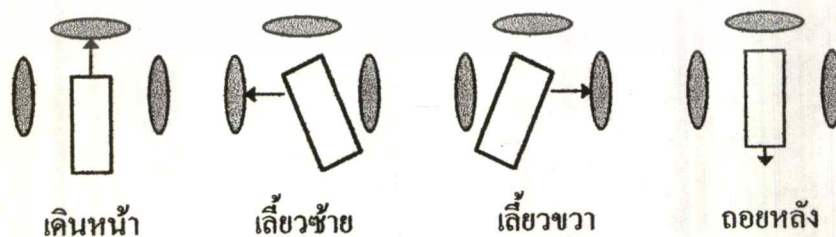
**รูป 5.16 แสดงการวางวงจรของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง
และทิศทางของคลื่นอุลตราโซนิก**



รูป 5.17 ภาพถ่ายแสดงการวางวงจรของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง

5.5 ระบบควบคุม

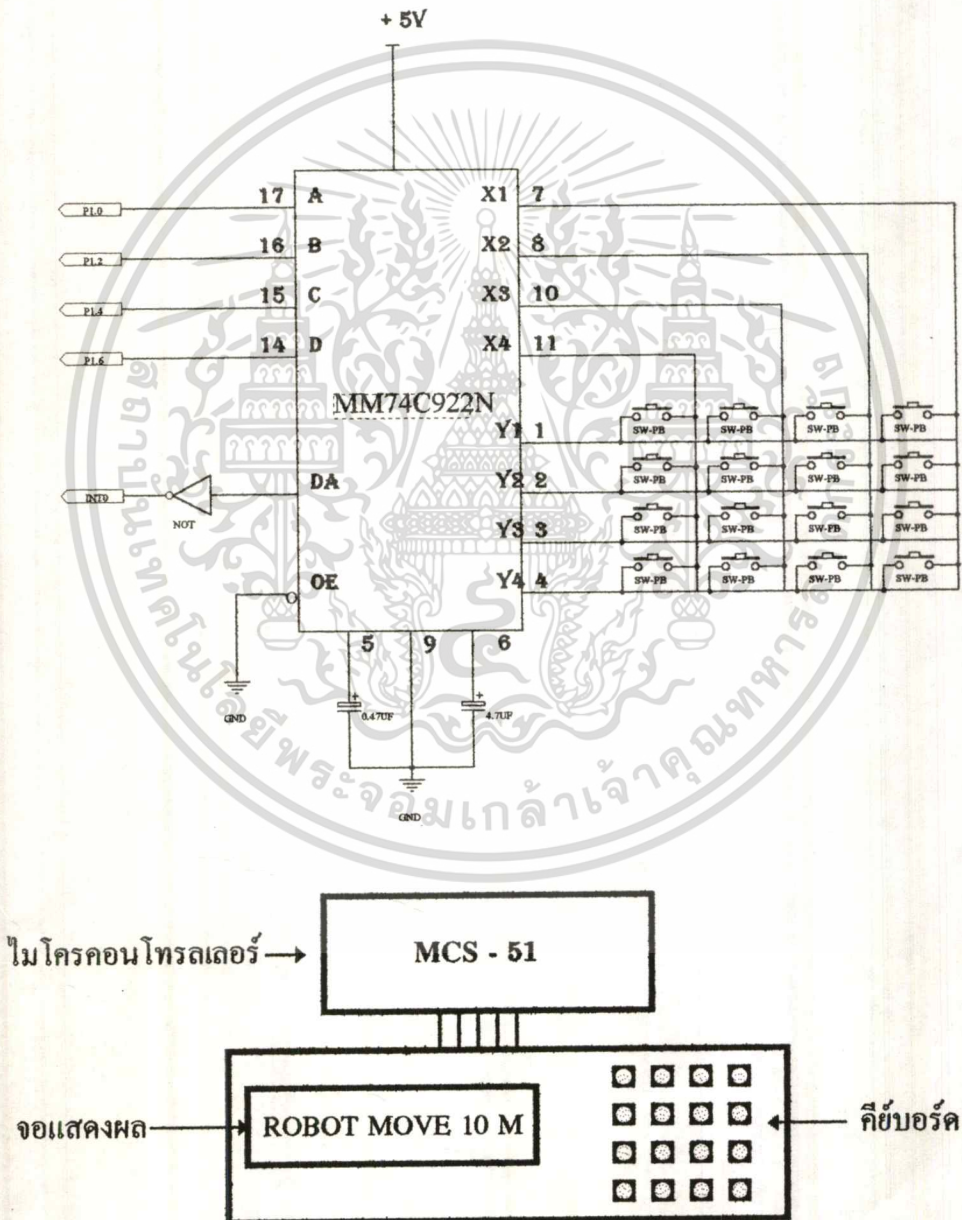
ระบบทั้งหมดจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ผ่านพอร์ต 8255 ซึ่งเป็นพอร์ต อินพุต / เอาท์พุท โดยหลักการคือเมื่อระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางตรวจพบว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้า ก็จะทำการส่งสัญญาณให้ MCS-51 ทราบ MCS-51 เมื่อถูกอินเทอร์รัพ ก็จะสั่งการให้ระบบเลี้ยวทำงานตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ว่าจะเลี้ยวทางด้านซ้ายหรือด้านขวาก่อน เช่น ถ้ากำหนดว่าเมื่อพบสิ่งกีดขวางด้านหน้าให้ทำการเลี้ยวซ้ายก่อนแต่ถ้าปรากฏว่าเลี้ยวซ้ายไปแล้วระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางพบว่ามีสิ่งกีดขวางขวางอยู่ MCS-51 ก็จะสั่งการให้ทำการเลี้ยวขวา ถ้าปรากฏว่าเลี้ยวขวาแล้วยังพบสิ่งกีดขวางอยู่ก็จะทำการถอยหลังกลับมาระยะหนึ่งโดยที่ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางทั้งหมดจะทำงานอยู่ตลอดเวลา ถ้าปรากฏว่าไม่พบสิ่งกีดขวางใดแล้วก็จะสั่งให้รถวิ่งต่อไปเพื่อให้ถึงเป้าหมายซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่แสดงดังรูป 5.18



รูป 5.18 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่เพื่อการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบหลักของระบบควบคุมคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51 , คีย์บอร์ด และส่วนแสดงผล โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการรับอินเตอร์รัพจากเซนเซอร์และควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ ส่วนคีย์บอร์ดจะใช้ IC MM74C922N ทำหน้าที่รับสถานะคำสั่งจากคีย์ว่าต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำโปรแกรมใด โดยที่ส่วนแสดงผลซึ่งเป็นจอ LCD จะแสดงให้เห็นถึงสถานะคำสั่งซึ่งจะแสดงเป็นตัวอักษรสามารถเข้าใจได้โดยง่าย ส่วนประกอบของระบบควบคุมแสดงไว้ในรูป 5.19

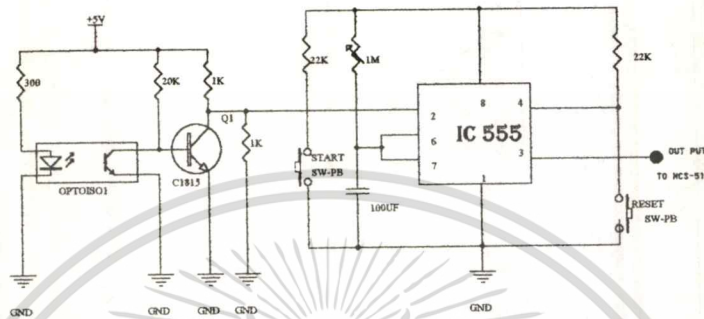


รูป 5.19 แสดงวงจรคีย์บอร์ดส่วนประกอบของระบบควบคุม

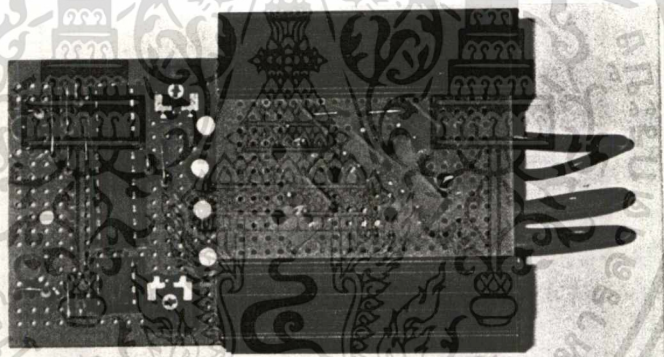
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ระบบควบคุมระยะทางและควบคุมองศาการเลี้ยว

ระบบนี้นับว่ามีส่วนสำคัญมากเพราะทำให้ทราบว่าจะเลี้ยวไปได้ระยะทางเท่าใดแล้ว และเมื่อพบสิ่งกีดขวางจะเลี้ยวด้วยมุมเท่าใดวงจรที่ใช้แสดงไว้ดังรูป 5.20



รูป 5.20 วงจรควบคุมระยะทางและองศาการเลี้ยว

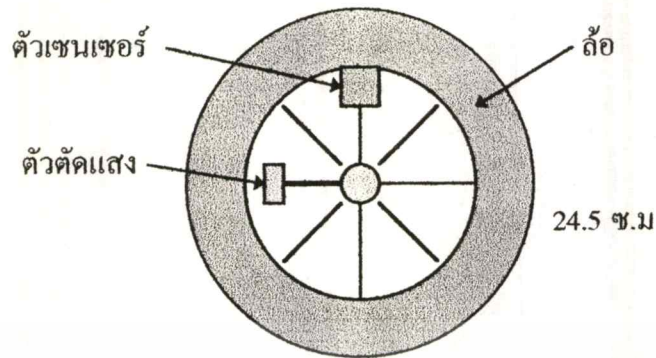


รูป 5.21 ภาพถ่ายแสดงวงจรควบคุมระยะทางและองศาการเลี้ยว

วงจรระบบควบคุมนี้จะใช้ Opto Transistor เป็นตัวเซ็นเซอร์เช่นเดียวกับระบบควบคุมการเลี้ยว ขณะที่ไม่มีตัวบ่งแสงมาบังแสงของ Opto Transistor ที่ขา C ของ Q₁ จะมีสถานะ 0 เป็นอินพุทให้ขา 2 ของ IC 555 ซึ่งต่อเป็นวงจร Monostable อยู่ ทำให้มีพัลส์เป็นเอาต์พุตออกมาเพื่อส่งให้แก่ไมโครโปรเซสเซอร์ แต่ถ้ามีตัวบ่งแสงมาบังแสงที่ขา C ของ Q₁ จะมีสถานะ 1 จะไม่มีพัลส์ออกเอาต์พุตของ Monostable

ระบบควบคุมระยะทาง มีหลักการทำงานคือจะทำการวัดเส้นรอบวงของล้อซึ่งมีความยาว 24.5 เซนติเมตร จากนั้นก็จะใช้หลักการการทำงานของวงจรข้างต้นเพื่อทำการนับจำนวนรอบว่าล้อหมุนได้กี่รอบจึงจะได้ระยะทางตามที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการให้รถวิ่งไปได้เป็นระยะทาง 10 เมตร วงจรนับจะต้องนับได้ $10 \text{ เมตร} / 24.5 \text{ ซม.} = 40.8 \approx 41$ รอบ ดังรูป 5.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.22 แสดงการวางตัวเซนเซอร์ระยะทาง

ระบบควบคุมองศาการเลี้ยว สำหรับการควบคุมองศาที่ใช้หลักการเช่นเดียวกับการวัดระยะทางคือ เซนเซอร์ด้วย Opto Transistor แล้วทำการนับจำนวนครั้งของการตัดแสง โดยกำหนดไว้คร่าว ๆ ว่าการตัดแสงจะห่างกันด้วยมุม 5 องศา ตัวตัดแสงจะมีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม เพื่อให้สามารถหมุนไปได้พร้อมกับระบบเลี้ยว (ภาพ 5.7 ประกอบ) โดยจะแบ่งช่องแสงทางด้านซ้ายและขวาด้านละ 8 ช่อง ซึ่งก็หมายความว่าสามารถเลี้ยวได้ข้างละ 40 องศา ดังภาพ 5.23



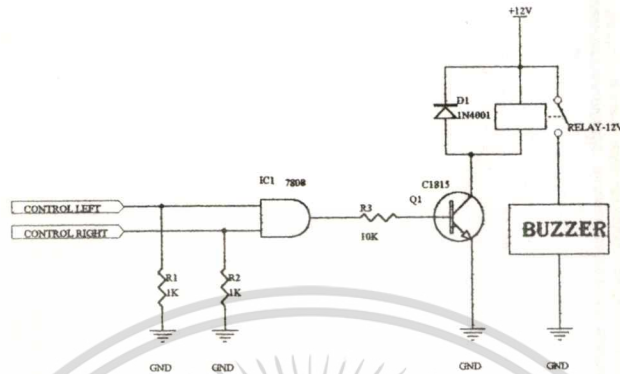
รูป 5.23 แสดงการวางตัวเซนเซอร์ระบบควบคุมองศา

5.7 ระบบป้องกันการลัดวงจร

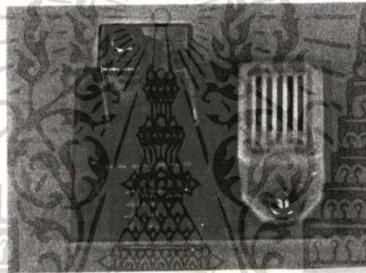
ระบบป้องกันการลัดวงจรนี้เป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อป้องกันวงจร Drive Motor ของระบบเลี้ยวและระบบขับเคลื่อน เนื่องจากวงจรทั้งสองนี้ (ดูรูป 5.14 ประกอบ) ถ้ามีอินพุตเข้ามาพร้อมกันสองอินพุตจะเป็นผลให้ Transistor ทุกตัวทำงาน จะเกิดการลัดวงจรขึ้นทำให้เกิดความเสียหายกับวงจรและแหล่งจ่ายได้หรืออาจมีผลกระทบไปยังวงจรอื่น ๆ อีกได้ ส่วนนี้จึงมีความสำคัญมากจึงต้องมีการป้องกัน

ระบบป้องกันจะใช้วงจรในรูป 5.24 ซึ่งมีหลักการดังนี้ คือถ้ามีสัญญาณอินพุตเข้ามายัง AND Gate สองอินพุต เอาท์พุทของ AND Gate จะมีสถานะ “ 1 ” สัญญาณจะถูกขยายด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistor C1815 ให้แรงพอที่จะไปขับให้ RELAY ทำงาน เพื่อต่อวงจรให้ Buzzer ส่งเสียงเตือน และตัดไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้หยุดสั่งการการทำงานทั้งหมด เพื่อรอการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

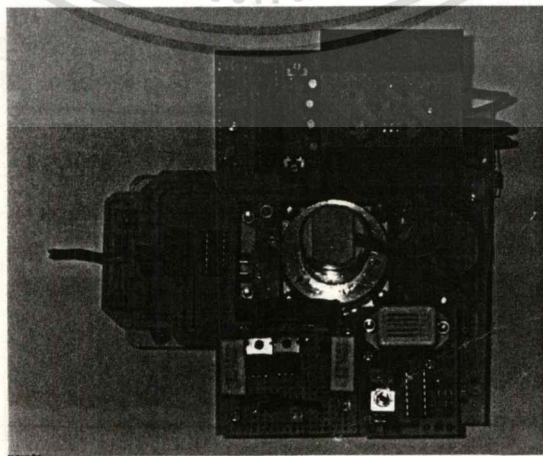


รูป 5.24 วงจรตรวจจับและป้องกันการลัดวงจร



รูป 5.25 ภาพถ่ายแสดงวงจรตรวจจับและป้องกันการลัดวงจร

ระบบการทำงานหรือวงจรส่วนใหญ่จะถูกวางไว้ทางด้านหน้าของตัวรถอันได้แก่ ระบบ Drive Motor การเลี้ยว , ระบบป้องกันการลัดวงจร , ระบบควบคุมระยะทางและควบคุมองศาการเลี้ยว และระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางทางด้านหน้า ซึ่งวงจรทั้งหมดจะถูกติดตั้งไว้บนกลไกของระบบการเลี้ยวดังรูป 5.26

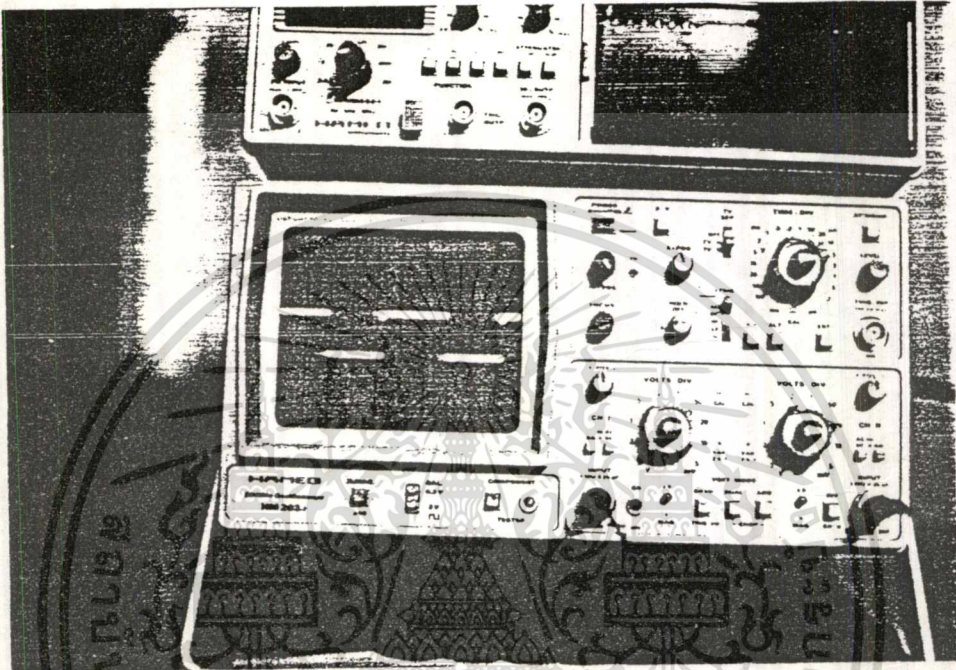


รูป 5.26 ภาพถ่ายแสดงการติดตั้งระบบต่าง ๆ บนกลไกการเลี้ยว

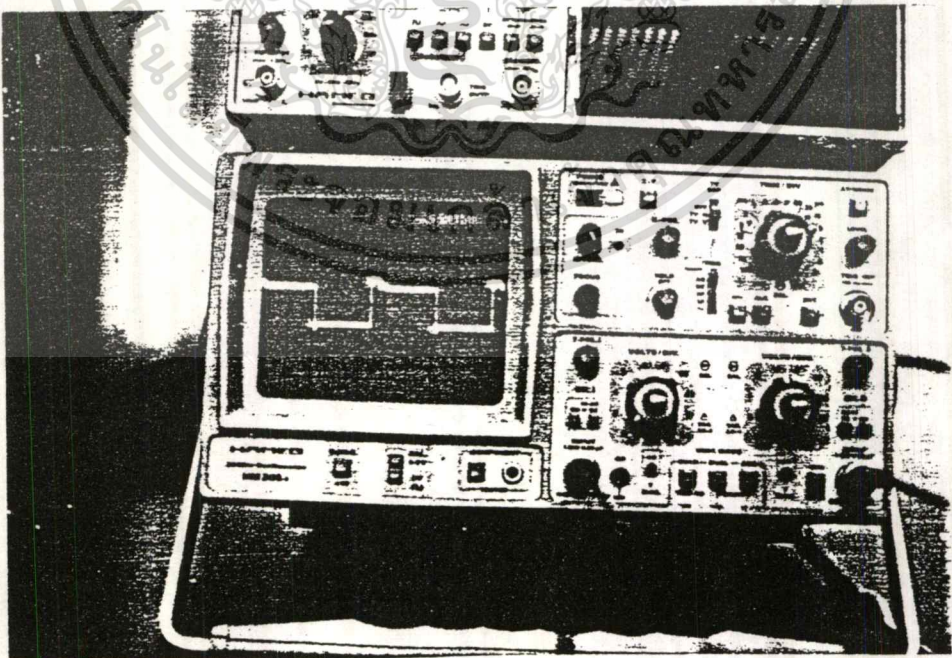
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 ผลการทดลอง

การทดลองในส่วนของภาคส่งคลื่นอุตร้าโซนิคส์เป็นส่วนองระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง จะต้องส่งความถี่ 40 kHz ออกมา ผลจากการวัดรูปคลื่นของสัญญาณด้วยสโคป ของตัวกำเนิดความถี่ซึ่งใช้คริสตอล และเอาท์พุทของทรานสดิวเซอร์เป็นดังรูป 5.27 และ 5.28



รูป 5.27 แสดงเอาท์พุทของคริสตอลความถี่ 40 kHz



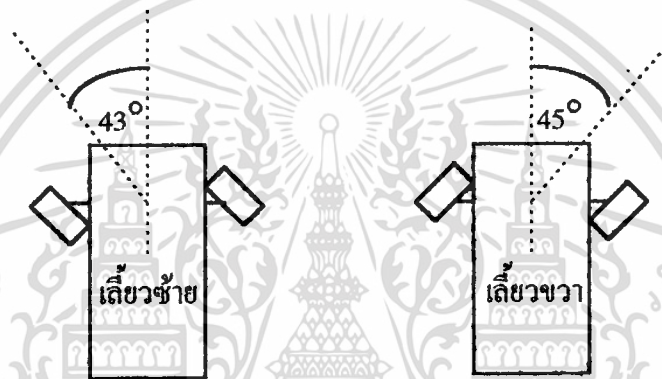
รูป 5.28 แสดงเอาท์พุทความถี่ 40 kHz เมื่อนำทรานสดิวเซอร์มาต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองทางด้านกายภาพของตัวรถ คือ การทดลองวัดองศาในการเลี้ยว , การทดลองวัดความเร็วของรถ และการวัดรัศมีการเลี้ยว

5.8.1. การทดลองในการวัดองศาในการเลี้ยวของล้อ

การทดลองในการวัดองศาในการเลี้ยวของล้อ คือ จะสั่งการให้รถทำการเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวาให้สุดแล้วทำการวัดมุมของล้อที่เบี่ยงเบนไปจากจุดอ้างอิงซึ่งก็คือตำแหน่งที่ล้ออยู่ในตำแหน่งวิ่งตรง ซึ่งจากการทดลองมุมที่ล้อสามารถเลี้ยวได้ คือ ด้านซ้าย 43 องศา ด้านขวา 45 องศา ดังรูป 5.29



รูป 5.29 แสดงมุมของการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา

5.8.2. การทดลองในการวัดความเร็วของรถ

การทดลองในการวัดความเร็วของรถมีขั้นตอนในการทดลองคือ จะกำหนดระยะทางขึ้นมาระยะหนึ่ง และทำการจับเวลาในขณะที่รถเริ่มเคลื่อนที่จนถึงระยะทางที่ถูกกำหนดไว้ ในการทดลองจะกำหนดระยะทาง 10 เมตร สามารถจับเวลาได้ประมาณ 21.17 วินาที เมื่อนำไปคำนวณจะได้ว่า

$$V = \frac{S}{t} = \frac{10 \text{ m}}{21.1 \text{ s}} = 0.4 \text{ m/s} = 1.7 \text{ km/hr}$$

เมื่อ

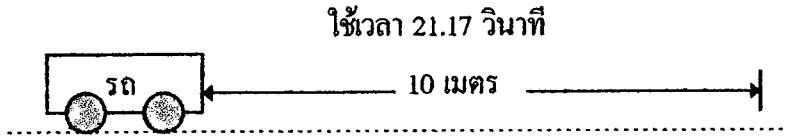
V = ความเร็ว (m / s)

S = ระยะทาง (m)

t = เวลา (sec)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

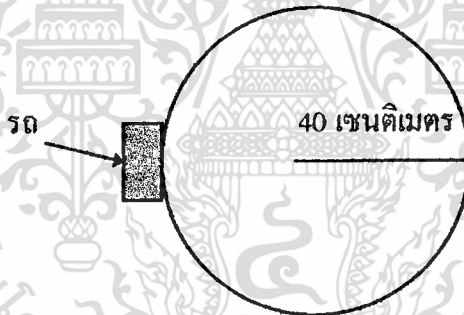
จากการทดลองพบว่ารถสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็ว 1.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขั้นตอนการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูป 5.30



รูป 5.30 แสดงการทดลองในการวัดระยะทาง

5.8.3. การวัดรัศมีของการเลี้ยว

การวัดรัศมีการเลี้ยวนี้วัดเพื่อศึกษาว่าเมื่อรถเลี้ยวสุดแล้วรัศมีการเลี้ยวจะเป็นเท่าใด เพื่อที่จะสามารถกำหนดระยะทางได้ว่ารถต้องห่างจากสิ่งกีดขวางเท่าใดจึงจะทำการเลี้ยวได้พ้นจากสิ่งกีดขวางนั้น ๆ จากการทดลองสามารถวัดรัศมีการเลี้ยวได้ 40 เซนติเมตร ดังรูป 5.31



รูป 5.31 แสดงรัศมีการเลี้ยวของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและปัญหาต่าง ๆ

โครงการนี้เป็นโครงการที่มีแนวคิดที่จะเพื่อสร้าง Robot ที่สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อย่างอัตโนมัติโดยอาศัยการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51 เพื่อประโยชน์ในการใช้งานสำหรับการขนส่งของภายในโรงงานภายในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเส้นทางเคลื่อนที่ที่แน่นอน โดยในโครงการจะทำการสร้าง Robot ในลักษณะของรถ ซึ่งมีหลักการทำงานคล้ายกับรถยนต์เคลื่อนที่สี่ล้อทั่ว ๆ ไป คือเคลื่อนด้วยสองล้อหน้าและขับเคลื่อนด้วยสองล้อหลัง แต่ระบบการเคลื่อนที่จะมีเทคนิคทางด้านกลไกและการควบคุมจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาควบคุม ซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากรถยนต์จริง โครงการนี้จะสร้างในลักษณะของแบบจำลองซึ่งมีขนาดเล็ก ถ้าสามารถใช้งานได้จริงก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับรถที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้

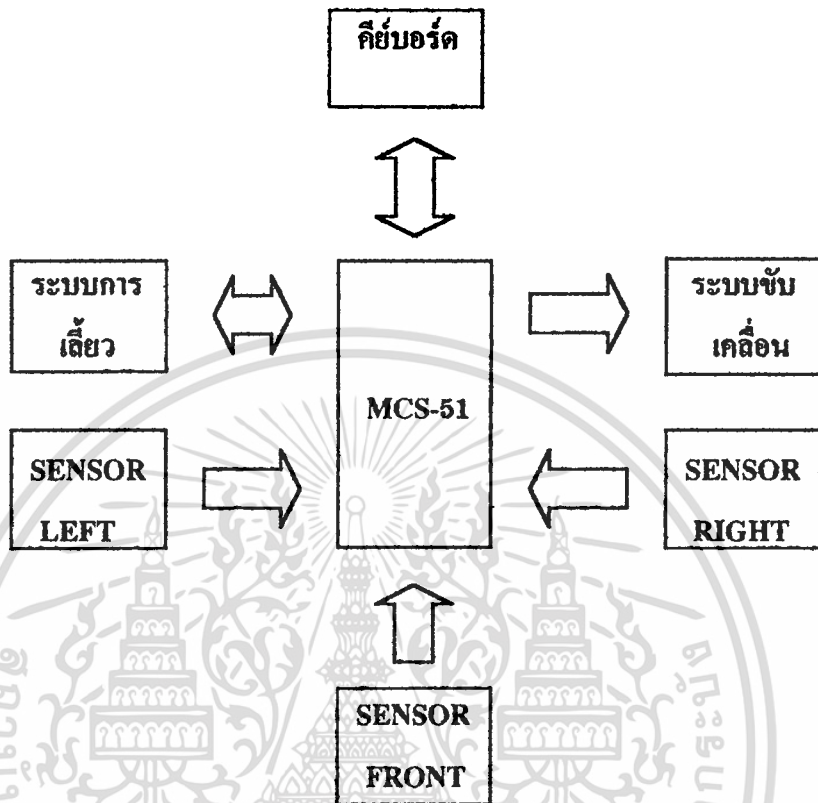
แผนการดำเนินงาน

1. ออกแบบกลไกของระบบเคลื่อนที่และออกแบบตัวรถ
2. ออกแบบระบบเซนเซอร์ระยะทางของตัวรถ
3. ออกแบบระบบเซนเซอร์ตรวจสอบสิ่งกีดขวางของตัวรถ
4. ต่อพอร์ทอินพุทเอาต์พุทระหว่างระบบเซนเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
5. เขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

6.1. ระบบตรวจสอบ (SENSOR) สิ่งกีดขวาง

ระบบ SENSOR สิ่งกีดขวางจะใช้ชุดคร่ำโซนิคซึ่งเป็นคลื่นในย่านความถี่เสียงเนื่องจากถ้าเราใช้คลื่นในย่านความถี่แสงในกรณีที่สิ่งกีดขวางเป็นวัสดุโปร่งแสง คลื่นแสงก็จะทะลุผ่านไป ได้โดยไม่มีกระสะท้อนกลับมาเพื่อทำการตรวจสอบดังเช่นคลื่นในย่านความถี่เสียง โดยจะมี Sensor ทั้งหมดสามชุดได้แก่ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวาโดยจะทำหน้าที่ตรวจจับสิ่งกีดขวางแล้วส่งสัญญาณกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการวิเคราะห์หลังจากทำการวิเคราะห์ได้แล้วก็จะส่งสัญญาณมาคอนโทรลระบบเคลื่อนที่และระบบขับเคลื่อนเพื่อสามารถที่จะหลบหลีกสิ่งกีดขวางนั้น ๆ แสดงได้ดัง Block Diagram ในรูป 6.1

Block Diagram



รูป 6.1 Block Diagram ของโครงการ

6.2. ระบบขับเคลื่อน

ระบบขับเคลื่อนประกอบด้วยชุดเฟือง , ดีซีมอเตอร์ และวงจร Drive Motor ทำหน้าที่ขับเคลื่อนสองล้อทางด้านหลังทำให้รถสามารถเคลื่อนที่เดินหน้าหรือถอยหลังได้จากการสั่งการของไมโครคอนโทรลเลอร์

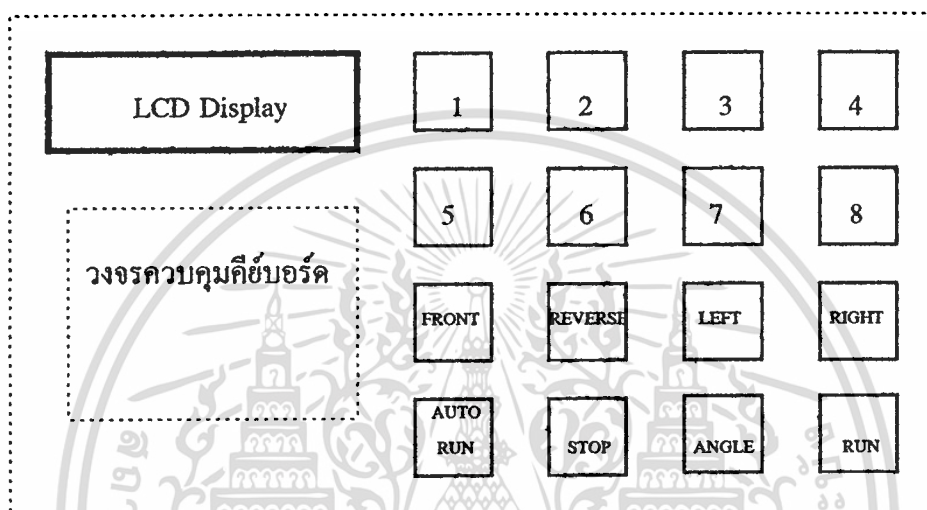
6.3. ระบบเลี้ยว

ระบบเลี้ยวประกอบด้วยชุดเฟืองเลี้ยว , ดีซีมอเตอร์ , วงจร Drive Motor และวงจรควบคุมตรวจสอบการเลี้ยว ซึ่งถือว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดของโครงการนี้ก็ว่าได้ เพราะเป็นตัวบังคับให้รถสามารถเลี้ยวหลบสิ่งกีดขวางได้ โดยหลักการคือใช้ Opto Transistor เป็นตัวเซนเซอร์ ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS -51 ควบคุมการเลี้ยวซ้ายสุด , ขวาสุด และกลับมายู่ตำแหน่งวิ่งตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4. คีย์บอร์ด

คีย์บอร์ดทำหน้าที่รับคำสั่งจากภายนอกหรือเลือกโหมดการทำงานของโปรแกรมเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS -51 สามารถทำงานได้ตามจุดประสงค์ที่ต้องการได้ โดยมีปุ่มต่าง ๆ ซึ่งแสดงได้ดังรูป 6.2 ซึ่งคำสั่งต่าง ๆ จะแสดงผลทางจอ LCD



รูป 6.2 แสดงปุ่มต่าง ๆ ของคีย์บอร์ด

1. ปุ่ม Front เป็นการสั่งการให้รถเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้า
2. ปุ่ม Reverse เป็นการสั่งการให้รถเคลื่อนที่ไปทางด้านหลัง
3. ปุ่ม Left เป็นการสั่งการให้รถเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้าย
4. ปุ่ม Right เป็นการสั่งการให้รถเคลื่อนที่ไปทางด้านขวา
5. ปุ่ม Auto Run เป็นการสั่งการให้รถเคลื่อนที่ทำการวิ่งโดยอัตโนมัติเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง
6. ปุ่ม Stop เป็นการสั่งการให้รถหยุดการเคลื่อนที่
7. ปุ่ม Angle เป็นปุ่มที่รับคำสั่งว่าต้องการมุมการเลี้ยวเท่าใด
8. ปุ่ม Run ที่สั่งให้รถเริ่มทำงานตามโปรแกรม

6.5. ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาทางด้านกลไก

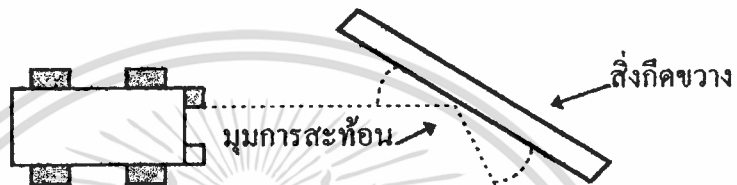
ปัญหาและอุปสรรคที่พบ ปัญหาในส่วน โครงสร้างของตัวรถเนื่องจากความไม่เชี่ยวชาญทางด้านระบบกลไกคือ ดั้งนั้นการสร้างจึงทำไปในลักษณะลองผิดลองถูกและเมื่อมีการผิดพลาดเกิดขึ้นการแก้ไขจะเป็นไปอย่างยากลำบาก เนื่องจากชิ้นส่วนอุปกรณ์บางอย่างเป็นหลักบางอย่างเป็นพลาสติก ซึ่งการทำให้ชิ้นส่วนเหล่านี้เป็นไปตามที่เราต้องการนั้นค่อนข้างยากและใช้เวลาต่างกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถ้ามีลายปริ้นท์ก็สามารถลงอุปกรณ์ได้อย่างง่ายดายดังนั้นการสร้างตัวรถนี้จึงค่อนข้างใช้ระยะเวลาสูงและถ้าส่วนของตัวรถยังไม่เสร็จ การดำเนินการในขั้นต่อไปก็จะไม่สามารถทำได้เพราะการควบคุมจะต้องควบคุม โครงสร้างของตัวรถ สำหรับปัญหาและอุปสรรคที่พบคือ ในการสร้างระบบเวลานั้นจะใช้เฟืองมาประกอบกันเพื่อหมุนแกนให้ไปบังคับล้อให้หมุนซ้ายหรือขวานั้น ในช่วงแรกจะใช้เฟืองเพียง 3 ตัว ซึ่งเมื่อทดลองแล้วพบว่ารถจะเลี้ยวอย่างรวดเร็วแต่จะขาดกำลัง คือถ้าวางรถลงและมีน้ำหนักกดลงบนตัวรถ รถจะไม่สามารถเลี้ยวได้ จึงต้องทำการทดเฟืองเป็น 8 ตัวจึงจะทำให้รถเลี้ยวได้พอดีกับความต้องการและกำลังในการเลี้ยวค่อนข้างสูงแต่การใช้เฟืองหลายตัวนั้นจะทำให้มีช่องว่างระหว่างเฟืองหรือการขบของเฟืองไม่สนิท และเนื่องจากเฟืองเป็นพลาสติกเมื่อถูกใช้งานมาก ๆ จะเกิดการสึกหรอทำให้ช่องว่างระหว่างเฟืองยิ่งมากขึ้นเป็นผลให้แกนบังคับล้อสามารถเคลื่อนที่ได้เล็กน้อย ผลของการเคลื่อนที่ของแกนบังคับล้อนี้เป็นผลให้ล้อมีการเฉหรือส่ายในขณะที่ทำการเลี้ยวได้ซึ่งปัญหานี้จะพบเมื่ออายุการใช้งานมากขึ้น ต้องทำการแก้ไขโดยการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่สึกหรอ

ปัญหาในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์

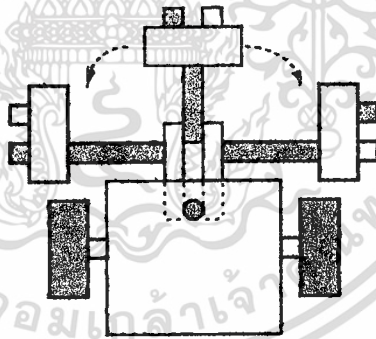
ปัญหาในส่วนของวงจร DRIVE MOTOR นั้นคือวงจรจะต้องใช้กระแสสูงในช่วงแรก ออกแบบให้ใช้ RELAY เป็นตัวตัดต่อวงจร ปัญหาที่พบคือขณะเปิดเครื่องจะมีการกระชากของแรงดันทำให้น้ำคอนแทคของรีเลย์ทุกตัว ON ทำให้ขั้วบวกขั้วลบของแบตเตอรี่ ค่อยถึงกัน เกิดการสปาร์กของหน้าคอนแทคเป็นผลให้น้ำคอนแทคเสียหายได้ ต่อมาจึงออกแบบวงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังเป็นตัวจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ โดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวปรับทิศทางการไหลของกระแสดังที่ได้อธิบายไว้ในส่วนการทำงานของวงจร ซึ่งจะพบว่ากรณีที่มีอินพุตเข้ามายังวงจร DRIVE MOTOR สองอินพุตจะทำให้เกิดการลัดวงจร ทำให้เกิดความเสียหายกับวงจรได้จึงมีการสร้างวงจรป้องกันการลัดวงจรขึ้นมา คือถ้ามีอินพุตสองอินพุตเข้ามายังวงจร DRIVE MOTOR ก็จะมีอินพุตไปสั่งการให้วงจรป้องกันนี้ทำงาน RELAY ของวงจรป้องกันจะทำงาน จะตัดไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมกับส่งเสียงเตือนว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาในส่วนของวงจรถอดรื้อโซนิคส์ ปัญหาที่พบมีไขมาจากรังจรโดยตรง แต่เป็นปัญหาทางด้านคุณสมบัติการสะท้อนของคลื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับแนวทางของการตกกระทบกับระนาบของวัตถุ คือหลักการของวงจรถอดรื้อโซนิคส์ออกไปแล้วรอรับคลื่นที่สะท้อนกลับมาเมื่อกระทบวัตถุ แต่ถ้ามุมตกกระทบน้อยเกินไปจะทำให้คลื่นไม่สามารถสะท้อนกลับมายังตัวรับได้ดังรูป 6.3 จึงมีการแก้ไขด้านกลไกโดยชุดเซนเซอร์ด้านหน้าสามารถเคลื่อนที่ตามทิศทางการเลี้ยวของล้อได้ ดังรูป 6.4



รูป 6.3 แสดงการสะท้อนของคลื่นอุลตราโซนิคส์



รูป 6.4 แสดงการเลี้ยวของตัวเซนเซอร์ตามการเลี้ยวของล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความเมตตา รวมทั้งการให้แนวทางตลอดจนข้อแนะนำต่าง ๆ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสนับสนุนโครงการ จาก อาจารย์ รศ.ดร.รัศมิภร วราวุธศิริพันธ์ ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ รวมทั้งพ่อและแม่ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการจนประสบความสำเร็จ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ทนา โชติสรยุทธ์, “เทคนิคการใช้งานอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์สำหรับนักทดลอง”, เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, หน้า 83-95, ซีอีคยูเคชั่น, 2536

ทีมงานซีอีค, “รวม 301 วงจร”, ซีอีคยูเคชั่น, 2535

โยธิน เปรมปราชญ์, “ระบบเซอร์โวและอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์”, สจล., 2533

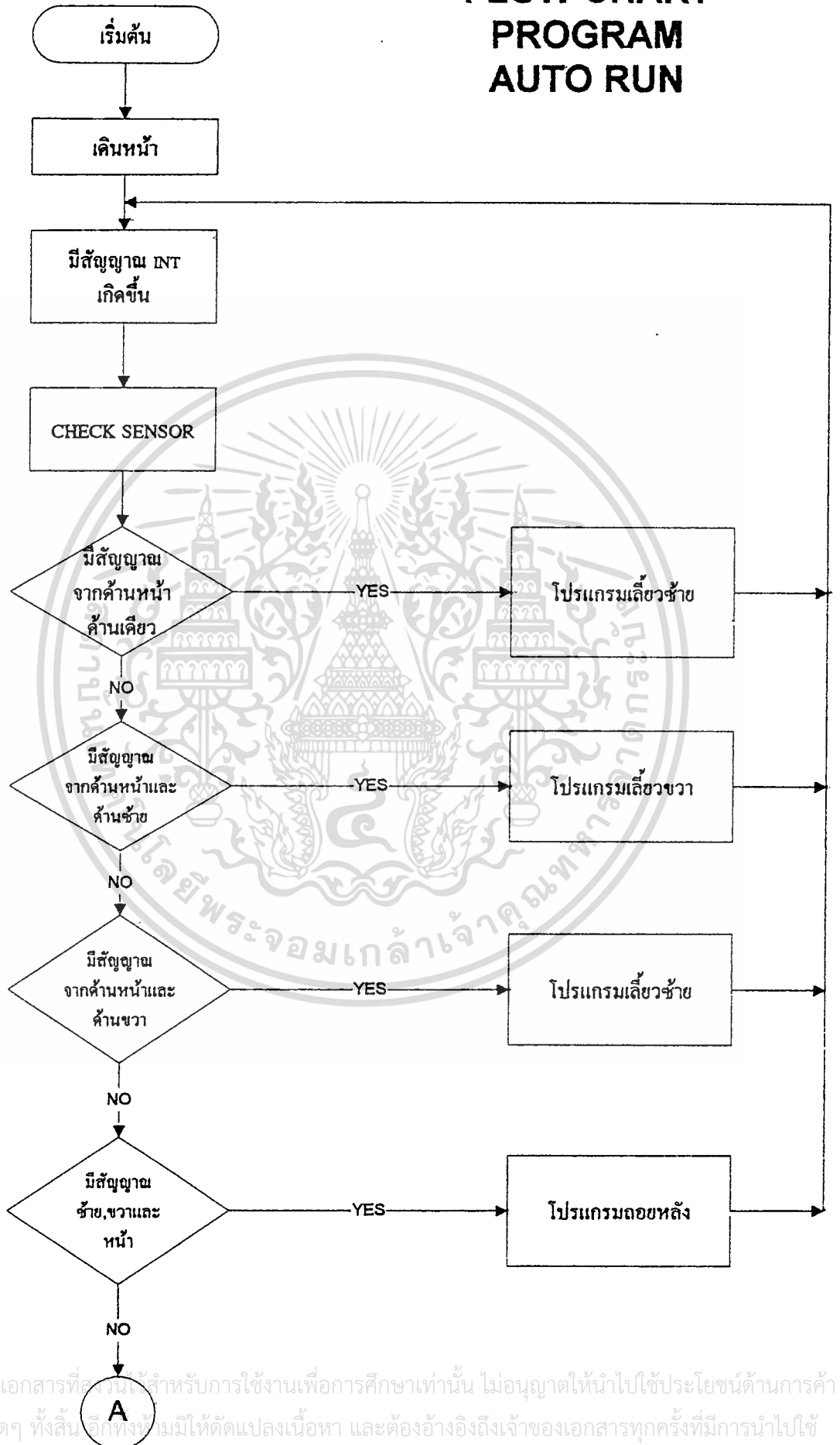
ธีรชัย บุญยะกุล, “เทคนิคยานยนต์ เล่ม 3”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2531

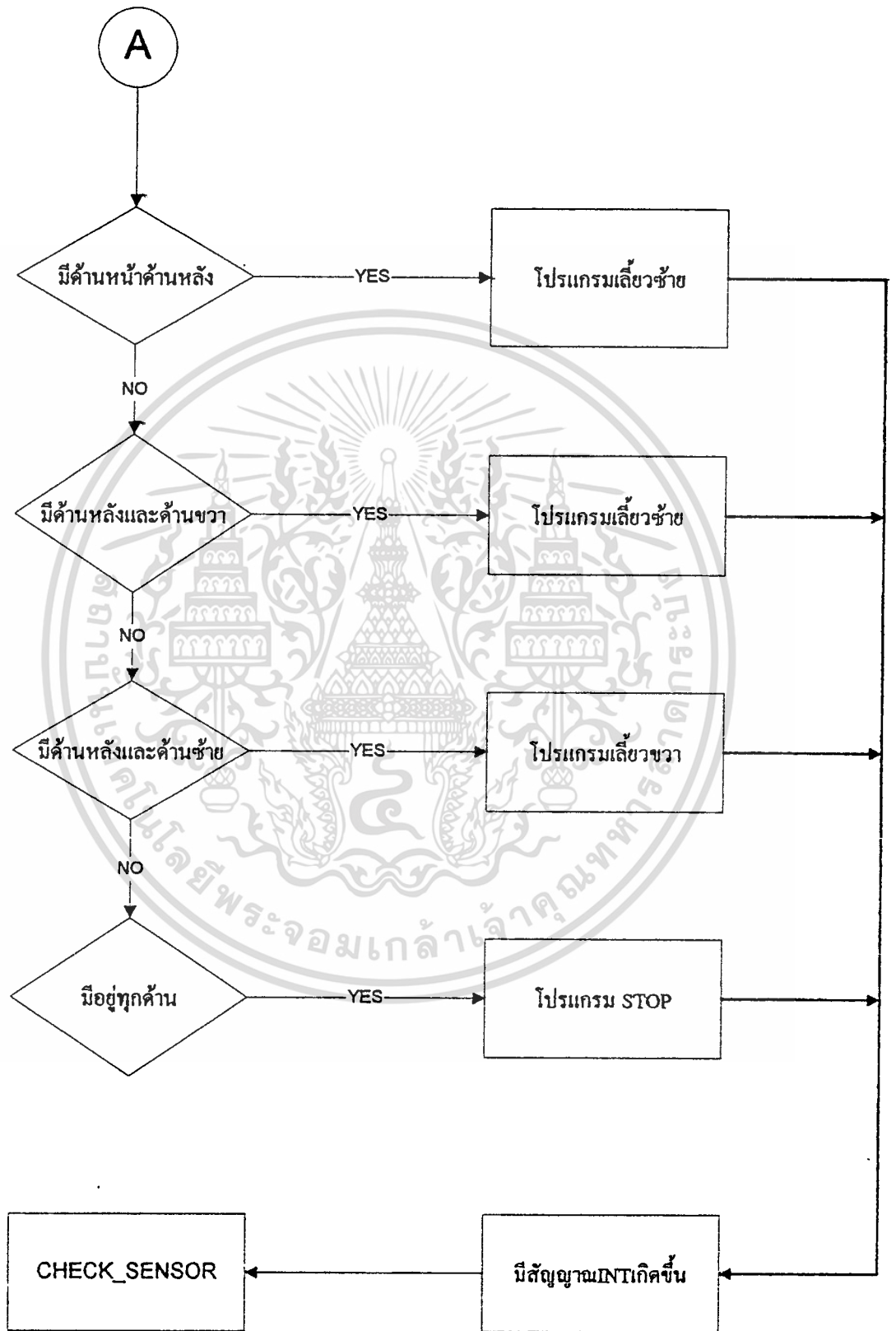
รศ. สัมพันธ์ หาญขเล “เครื่องกลไฟฟ้า 1”, สจธ., 2534



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW CHART PROGRAM AUTO RUN





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;***** KMITL *****
      ORG      0000H
      LJMP     SETINT
      ORG      0003H
      LJMP     CHECK_KEY
      ORG      000BH
      DEC      R6
      SJMP     CCHECK
      ORG      0001BH
      RETI
      ORG      0013H
      LJMP     TEST_A
;***** SET INTERRUPT *****
SETINT:
      LCALL   DELAY1
      LCALL   VARIABLE
      MOV     A,#01H
      MOV     DPTR,#P1A
      MOVX    @DPTR,A
      LCALL   DELAY
      LCALL   SET_LCD
      LCALL   ROBOT
      SETB    EA
      SETB    EX0
      SETB    ET0
      SETB    ET1
      SETB    PX0
      MOV     R0,#080H
      MOV     P1,0FFH
      MOV     TH1,#0FBH
      SJMP    $
;*****
CCHECK:
      CJNE    R6,#00H,CCECK
      INC     R0
      LJMP    START_L
CCECK:
      CJNE    R4,#10H,CCECK1
      LJMP    PRO_FRONT
CCECK1:
      CJNE    R4,#20H,CCECK2
      LJMP    PRO_ANGLEL
CCECK2:
      CJNE    R4,#30H,CCECK3
      LJMP    PRO_ANGLER
CCECK3:
      CJNE    R4,#40H,CCECK4
      LJMP    PRO_LEFT
CCECK4:
      CJNE    R4,#080H,CCECK5
      LJMP    PRO_RIGHT
CCECK5:
      CJNE    R4,#0C0H,CCECK6
      LJMP    PRO_REVERSE
CCECK6:
      LJMP    THEEND
;*****
LOOP_1:
      MOV     A,#80H
      LCALL   LOOPSTRUC
      LCALL   WRITER
      MOV     A,#0C0H
      LCALL   LOOPSTRUC
      LCALL   WRITER
      RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
LOOPSTRUC:  PUSH  DPH
            PUSH  DPL
            MOV   DPTR,#STRUC
            MOVX  @DPTR,A
            LCALL CHECK_BUSY
            POP   DPL
            POP   DPH
            RET

;*****
CHECK_BUSY: MOV  DPTR,#BUSY
            MOVX A,@DPTR
            CLR  C
            RLC  A
            JC   CHECK_BUSY
            RET

;*****
WRITER:    MOV   RO,#08H
LOOP:      CLR   A
            MOVC A,@A+DPTR
            PUSH DPH
            PUSH DPL
            MOV  DPTR,#WRITE
            MOVX @DPTR,A
            LCALL CHECK_BUSY
            POP  DPL
            POP  DPH
            INC  DPTR
            DJNZ RO,LOOP
            RET

;*****
CHECK_KEY: MOV  A,P1
            ANL  A,#055H
            MOV  R1,A
KEY0:      CJNE R1,#055H,KEY1
            LCALL SET_LCD
            MOV  R1,#00H
            RETI
KEY1:      CJNE R1,#054H,KEY2
            LCALL SET_LCD
            MOV  R1,#00H
            RETI
KEY2:      CJNE R1,#051H,KEY3
            LCALL SET_LCD
            MOV  R1,#00H
            RETI
KEY3:      CJNE R1,#050H,KEY4
            LCALL SET_LCD
            MOV  R1,#00H
            RETI
KEY4:      CJNE R1,#045H,KEY5
            LCALL SET_LCD
            MOV  R1,#00H
            RETI

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

KEY5:      CJNE  R1,#044H,KEY6
           LCALL SET_LCD
           MOV   R1,#00H
           RETI
KEY6:      CJNE  R1,#041H,KEY7
           LCALL SET_LCD
           MOV   R1,#00H
           RETI
KEY7:      CJNE  R1,#40H,KEY8
           LCALL SET_LCD
           MOV   R1,#00H
           RETI
KEY8:      CJNE  R1,#15H,KEY9           ;*** FRONT
           LJMP  KEY_8A
KEY9:      CJNE  R1,#14H,KEY10        ;*** REVERSE
           LJMP  KEY_9A
KEY10:     CJNE  R1,#11H,KEY11        ;*** TURN LEFT
           LJMP  KEY_10A
KEY11:     CJNE  R1,#10H,KEY12       ;*** TURN RIGHT
           LJMP  KEY_11A
KEY12:     CJNE  R1,#05H,KEY13       ;*** AUTO RUN
           MOV   R7,#0AH
           LJMP  PRO_AUTO
KEY13:     CJNE  R1,#04H,KEY14        ;*** KEY STOP
           LJMP  KEY_13A
KEY14:     CJNE  R1,#01H,KEY15       ;*** KEY ANGLE
           LCALL SET_LCD
           MOV   R1,#00H
           RETI
KEY15:     CJNE  R1,#00H,KEY15A       ;*** KEY ENTER
           SETB  EX1
           SETB  ET0
           SETB  ET1
           SETB  IT0
           SETB  IT1
           SETB  TR1
           MOV   TMOD,#055H
           MOV   TH0,#0FFH
           MOV   TH1,#0FFH
           MOV   TLO,#0FBH
           MOV   TL1,#0FBH
           MOV   R7,#0A0H
           LCALL VARIABLE
           LCALL PROJECT7
KEY15A:    LJMP  KEY_15A
;***** CHECK R6 *****
CHECK_R06: CJNE  R6,#08H,CHE1_R6
           LCALL KEY_8M
           RETI
CHE1_R6:   CJNE  R6,#07H,CHE2_R6
           LCALL KEY_7M
           RETI
CHE2_R6:   CJNE  R6,#06H,CHE3_R6
           LCALL KEY_6M
           RETI

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CHE3_R6:    CJNE  R6,#05H,CHE4_R6
             LCALL KEY_5M
             RETI
CHE4_R6:    CJNE  R6,#04H,CHE5_R6
             LCALL KEY_4M
             RETI
CHE5_R6:    CJNE  R6,#03H,CHE6_R6
             LCALL KEY_3M
             RETI
CHE6_R6:    CJNE  R6,#02H,CHE7_R6
             LCALL KEY_2M
             RETI
CHE7_R6:    CJNE  R6,#01H,CHE8_R6
             LCALL KEY_1M
             RETI
CHE8_R6:    CJNE  R6,#00H,CHE9_R6
CHE9_R6:    LCALL KEY_0M
             RETI
;***** CHECK *****
TEST_A:     MOV   A,P1
TEST_00:    ANL   A,#0AAH
             MOV   R1,A
             CJNE R1,#0AAH,TEST_01
             LCALL DIS_FRONT0
             LJMP  FRONT
TEST_01:    CJNE R1,#0A8H,TEST_1
             LCALL STOP
             MOV   A,#04H
             MOV   DPTR,#P1A
             MOVX  @DPTR,A
             LCALL DELAY1
             LCALL DELAY1
             LJMP  FRONT
TEST_1:     CJNE R1,#0A2H,TEST_2
             LJMP  TURN_RIGHT
TEST_2:     CJNE R1,#0A0H,TEST_3
             LJMP  REVERS_RIGHT
TEST_3:     CJNE R1,#08AH,TEST_4
             MOV   A,#04H
             MOV   DPTR,#P1A
             MOVX  @DPTR,A
             LCALL DELAY1
             LJMP  FRONT
TEST_4:     CJNE R1,#088H,TEST_5
             LJMP  REVERS_LEFT
TEST_5:     CJNE R1,#082H,TEST_6
             LJMP  FRONT
TEST_6:     CJNE R1,#080H,TEST_7
             LJMP  STOP11
TEST_7:     CJNE R1,#02AH,TEST_8
             LJMP  FRONT
TEST_8:     CJNE R1,#028H,TEST_9
             LJMP  FRONT
TEST_9:     CJNE R1,#022H,TEST_10
             MOV   A,#02H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY1
LJMP   FRONT
TEST_10: CJNE  R1,#020H,TEST_11
MOV    A,#02H
MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY1
LCALL  DELAY1
LCALL  DELAY1
LJMP   FRONT
TEST_11: CJNE  R1,#0AH,TEST_12
MOV    A,#04H
MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY
LJMP   FRONT
TEST_12: CJNE  R1,#08H,TEST_13
LJMP   TURN_LEFT
TEST_13: CJNE  R1,#02H,TEST_14
LJMP   FRONT
TEST_14: CJNE  R1,#00H,STOP1
STOP1:  LJMP   STOP
STOP2:  LJMP   STOP1
;***** DELAY TIME *****
DELAY:  MOV    R1,#0FFH
DELAY0: MOV    R2,#0FFH
        DJNZ  R2,$
        DJNZ  R1,DELAY0
        MOV   R3,#0FFH
        DJNZ  R3,$
        RET
DELAY2: MOV    R1,#0F0H
DELAY22: MOV   R2,#0F0H
        DJNZ  R2,$
        DJNZ  R1,DELAY
        MOV   R3,#0FFH
        DJNZ  R3,$
        RET
DELAY3: MOV    R1,#070H
DELAY33: MOV   R2,#070H
        DJNZ  R2,$
        DJNZ  R1,DELAY
        MOV   R3,#08FH
        DJNZ  R3,$
        RET
DELAY4: MOV    R1,#010H
DELAY44: MOV   R2,#010H
        DJNZ  R2,$
        DJNZ  R1,DELAY
        MOV   R3,#0FH
        DJNZ  R3,$
        RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DELAY1:      LCALL DELAY
             LCALL DELAY
             LCALL DELAY
             LCALL DELAY
             LCALL DELAY
             LCALL DELAY
             LCALL DELAY
             LCALL DELAY
             LCALL DELAY
             LCALL DELAY
             LCALL DELAY
             RET

;***** AUTO_RUN *****
FRONT:       LCALL DIS_FRONT0
             MOV   A,#09H
             MOV   DPTR,#P1A
             MOVX  @DPTR,A
             LCALL DELAY
             RETI

REVERSE:     LCALL DIS_REVERSE
             MOV   A,#011H
             MOV   DPTR,#P1A
             MOVX  @DPTR,A
             LCALL DELAY2
             LCALL DELAY
             RETI

REVERS_RIGHT: MOV  R0,#02H
BBBB1:       MOV   A,#04H
             MOV   DPTR,#P1A
             MOVX  @DPTR,A
             LCALL DELAY1
             MOV   A,#08H
             MOV   DPTR,#P1A
             MOVX  @DPTR,A
             DEC   R0
             MOV   A,#P1
             ANL   A,#08H
             MOV   R2,A
             CJNE  R2,#00H,BBBB2
             CJNE  R0,#00H,BBBB1
             LJMP  TEST_A

BBBB2:       MOV   A,#02H
             MOV   DPTR,#P1A
             MOVX  @DPTR,A
             LCALL DELAY1
             MOV   A,#10H
             MOV   DPTR,#P1A
             MOVX  @DPTR,A
             LCALL DELAY1
             MOV   A,#04H
             MOV   DPTR,#P1A
             MOVX  @DPTR,A
             LCALL DELAY1
             LCALL DELAY1
             LCALL DELAY1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY
MOV    A,#010H
MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY
MOV    A,#04H
MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY1
MOV    A,#08H
MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY
LCALL  DELAY
MOV    A,#P1
ANL    A,#02H
MOV    R2,A
CJNE   R2,#02H,TTT
LCALL  FRONT
TTT:   LJMP TEST_A
; *****
TURN_LEFT1: LCALL DIS_LEFT
MOV    A,#04H
MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY1
LCALL  DELAY1
LCALL  DELAY1
MOV    A,#08H
MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY
MOV    A,#00H
MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
MOV    A,#P1
ANL    A,#20H
CJNE   A,#20H,CHEC_LEFT
LCALL  TURN_RIGHT
CHEC_LEFT: MOV    A,#P1
ANL    A,#0AH
CJNE   A,#0AH,CHE_FRONT
LJMP   FRONT
CHE_FRONT: CJNE   A,#02H,TURN_RIGHT
LJMP   TURN_LEFT1
; *****
TURN_RIGHT: LCALL DIS_RIGHT
MOV    A,#01H
MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY1
LCALL  DELAY1
MOV    A,#04H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BBBB3:      MOV    A,#09H
            MOV    DPTR,#P1A
            MOVX   @DPTR,A
            MOV    A,#P1
            ANL   A,#08H
            MOV    A,R2
            CJNE  R2,#00H,BBBB3
            LCALL FRONT
;*****
REVERS_LEFT:  MOV    R0,#02H
AAAA1:      MOV    A,#02H
            MOV    DPTR,#P1A
            MOVX   @DPTR,A
            LCALL DELAY1
            MOV    A,#08H
            MOV    DPTR,#P1A
            MOVX   @DPTR,A
            DEC   R0
            MOV    A,#P1
            ANL   A,#20H
            MOV    R2,A
            CJNE  R2,#00H,AAAA2
            CJNE  R0,#00H,AAAA1
            LJMP  TEST_A
AAAA2:      MOV    A,#04H
            MOV    DPTR,#P1A
            MOVX   @DPTR,A
            LCALL DELAY1
            MOV    A,#10H
            MOV    DPTR,#P1A
            MOVX   @DPTR,A
            LCALL DELAY1
            MOV    A,#02H
            MOV    DPTR,#P1A
            MOVX   @DPTR,A
            LCALL DELAY1
            LCALL DELAY1
            LCALL DELAY1
AAAA3:      MOV    A,#09H
            MOV    DPTR,#P1A
            MOVX   @DPTR,A
            MOV    A,#P1
            ANL   A,#08H
            MOV    A,R2
            CJNE  R2,#00H,AAAA3
            LCALL FRONT
;*****
TURN_LEFT:   LCALL DIS_LEFT
            MOV    A,#01H
            MOV    DPTR,#P1A
            MOVX   @DPTR,A
            LCALL DELAY4
            LCALL DELAY1
            LCALL DELAY1
            MOV    A,#02H

```

```

MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY
MOV    A,#011H
MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY
MOV    A,#02H
MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY1
LCALL  DELAY
MOV    A,#08H
MOV    DPTR,#P1A
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY
LCALL  TEST_A
RETI
STOP:  MOV    A,#00H
        MOV    DPTR,#P1A
        MOVX   @DPTR,A
        LCALL  KEY_STOP
        LCALL  DELAY4
        LCALL  SEC10
        LCALL  DELAY4
        LCALL  SEC09
        LCALL  DELAY4
        LCALL  SEC08
        LCALL  DELAY4
        LCALL  SEC07
        LCALL  DELAY4
        LCALL  SEC06
        LCALL  DELAY4
        LCALL  SEC05
        LCALL  DELAY4
        LCALL  SEC04
        LCALL  DELAY4
        LCALL  SEC03
        LCALL  DELAY4
        MOV    A,#11H
        MOV    DPTR,#P1A
        MOVX   @DPTR,A
        LCALL  SEC02
        LCALL  SEC01
        LCALL  DELAY4
        LCALL  SEC00
        LCALL  DELAY4
        RET
STOP11: MOV    A,#00H
        MOV    DPTR,#P1A
        MOVX   @DPTR,A
        LCALL  KEY_STOP
        LCALL  DELAY4
        LCALL  SEC10
        LCALL  DELAY4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCALL SEC09
LCALL DELAY4
LCALL SEC08
LCALL DELAY4
LCALL SEC07
LCALL DELAY4
LCALL SEC06
LCALL DELAY4
LCALL SEC05
LCALL DELAY4
LCALL SEC04
LCALL DELAY4
LCALL SEC03
LCALL DELAY4
LCALL SEC02
MOV A,#10H
MOV DPTR,#P1A
MOVX @DPTR,A
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL SEC01
MOV A,#02H
MOV DPTR,#P1A
MOVX @DPTR,A
LCALL DELAY4
LCALL SEC00
LCALL DELAY4
LCALL DELAY1
MOV A,#08H
MOV DPTR,#P1A
MOVX @DPTR,A
LCALL DELAY1
LCALL TEST_A
RET
;***** DISPLAY AUTO RUN *****
PRO_AUTO: LCALL SET_LCD
MOV DPTR,#AUTO_RUN
LCALL LOOP_1
LCALL CHECK_BUSY
LCALL DELAY
SETB EA
SETB EX1
MOV P1,#0FFH
LCALL VARIABLE
MOV A,#09H
MOV DPTR,#P1A
MOVX @DPTR,A
LCALL DIS_FRONT0
RETI
AUTO_RUN: DB " AUTO RUN "
```

```
;*****
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ROBOT:      MOV     DPTR,#ROB
            LCALL  LOOP_1
            LCALL  CHECK_BUSY
            RET

DIS_FRONT0: MOV     DPTR,#DIS_FRONT00
            LCALL  LOOP_1
            LCALL  CHECK_BUSY
            RET

DIS_LEFT:   MOV     DPTR,#DIS_LEFT1
            LCALL  LOOP_1
            LCALL  CHECK_BUSY
            RET

DIS_RIGHT:  MOV     DPTR,#DIS_RIGHT1
            LCALL  LOOP_1
            LCALL  CHECK_BUSY
            RET

DIS_REVERSE: MOV    DPTR,#DIS_REVERSE1
            LCALL  LOOP_1
            LCALL  CHECK_BUSY
            RET

KEY_STOP:   MOV     DPTR,#DIS_STOP
            LCALL  LOOP_1
            LCALL  CHECK_BUSY
            RET

;***** TABLE DISPLAY *****
ROB:        DB     "  ROBOT 1997  "
DIS_FRONT00: DB    "  FRONT  "
DIS_LEFT1:  DB     "  LEFT  "
DIS_RIGHT1: DB     "  RIGHT  "
DIS_REVERSE1: DB   "  REVERSE  "
DIS_STOP:   DB     "  STOP  "

;***** SETLCD*****
SET_LCD:    STRUC  EQU  0FA00H
            BUSY   EQU  0FA01H
            WRITE  EQU  0FA02H
            MOV    A,#01H
            LCALL  LOOPSTRUC
            MOV    A,#38H
            LCALL  LOOPSTRUC
            MOV    A,#0EH
            LCALL  LOOPSTRUC
            MOV    A,#06H
            LCALL  LOOPSTRUC
            RET

;***** SET PORT *****
VARIABLE:  P1A    EQU  0F800H
            P1B    EQU  0F801H
            P1C    EQU  0F802H
            P1P    EQU  0F803H
            MOV    A,#83H      ;***** USE PORT1*****
            MOV    DPTR,#P1P   ; P1A = O/P P1B = I/P
            MOVSX @DPTR,A      ; P1CH = O/P P1CL = I/P
            RET

            END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ;***** นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้