สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์ลำเลียง

TRANSPORT ROBOT

โดย

นายไพศาล กิจโพธิญาณ

นายสมัคร พละขันธ์

นายสิงหา ศรีสมบูรณ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....37109
วัน, เดือน, ปี- 4 ก.ย. 2543

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ หุ่นยนต์ลำเลียง

TRANSPORT ROBOT

จัดทำโดย นายไพศาล กิจโพธิญาณ

นายสมัคร พละขันธ์

นายสิงหา ศรีสมบูรณ์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปิติเขต สู้รักษา

อ.พิทักษ์ ธรรมวาริน

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2542

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัญฑิต

คณะกรรมการคุมสอบปริญญานิพนธ์

_____ประธานกรรมการ

( )

_____กรรมการ

( )

_____กรรมการ

( )

_____กรรมการ

( )

_____กรรมการ

( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ลำเลียง

นายไพศาล กิจโพธิญาณ
นายสมัคร พละขันธ์
นายสิงหา ศรีสมบูรณ์

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติเขต สู้รักษา
อ.พิทักษ์ ธรรมวาริน
ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาและสร้างหุ่นยนต์ควบคุมอัตโนมัติให้เคลื่อนที่ไปตามแถบเส้นสีดำที่กำหนดไว้และสามารถหยุดได้ในตำแหน่งที่ต้องทำการรับส่งสิ่งของได้ตรงจุดที่กำหนด แล้วจึงเคลื่อนที่ต่อไปหรือหยุดเมื่อมีสิ่งกีดขวาง อีกทั้งยังสามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้เมื่อนำสิ่งกีดขวางออกไปจากเส้นทางแล้วและสามารถรับส่งของได้ตรงจุดที่กำหนด ซึ่งทั้งหมดนี้ทำได้เองโดยอัตโนมัติ ส่วนการขับเคลื่อนจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด12 โวลต์ การเลี้ยวจะใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 24 โวลต์ และการรับส่งของจะใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 24 โวลต์สองตัว โดยมีเซ็นเซอร์แสงแบบโฟโต้ทรานซิสเตอร์(Phototransistor) อินฟาเรด(Infared) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51 สำหรับเขียนโปรแกรมในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ โดยใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ตรวจสอบสิ่งกีดขวาง และติดตามเส้นทางลำเลียงให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามแถบเส้นทางที่กำหนด และสามารถรับส่งสิ่งของได้ ผลการทดสอบสมรรถนะพบว่า การควบคุมแบบเกนผันแปรตามตารางโดยอาศัย(Gain Scheduling) กฎการควบคุม ให้ผลดีกว่าการควบคุมแบบ แบง-แบง (Bang-Bang Control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRANSPORT ROBOT

PHAISAN KHITPHOTIYAN

SAMAK PHALAKHAN

SINGHA SRISOMBOON

Academic Advisor

Asst. Dr.PITIKHATE SOORAKSA

Prof.PITAK THUMMAVARIN

Academic Year 1999

ABSTRACT

This thesis is the study and invention of "The Transport Robot" moving along the strip line and stopping at the assigned position. In case of facing an obstacle on the strip line, the robot can stop automatically,and will go again when the obstacle moves away from the strip line. The actuators of the robot are a 12-volts direct-current motor for driving the system, a 24-volts direct-current motor for turning a front wheel and a 24- volts direct-current motor for lifting and carrying the load. The rest of the robot's components are ultrasonic and phototransistor, sensor, other electronic devices and a microcontroller MCS–51. The microcontroller MCS-51 is used for controlling the motors, detecting obstacles, tracking the strip line and transporting the assigned load. The performance evaluation shows that the gain scheduling control scheme based on the control law has a much better performance than a Bang-Bang counterpart.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติเขต สู้รักษา และ อาจารย์ พิทักษ์ ธรรมวารินที่ให้โอกาสและให้การช่วยเหลือแนะนำต่างๆ จนปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอบพระคุณภาคเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนจนกระทั่งโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของโครงงาน	1
1.2 จุดประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษาและหลักการเบื้องต้น	2
1.4 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	
2.1 อุปกรณ์ทางไฟฟ้าและเครื่องกล	3
2.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	7
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	21
บทที่ 3 โครงสร้างของระบบหุ่นยนต์ลำเลียง	
3.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์	29
3.2 การออกแบบซอฟท์แวร์	41
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การทดสอบระบบตรวจสอบเส้นทาง	46
4.2 การทดสอบระบบตรวจสอบสิ่งกีดขวาง	55
4.3 การทดสอบระบบตรวจสอบสถานีรับส่งของ	57
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

ภาคผนวก ก.ส่วนโปรแกรมควบคุมการรับส่งของ
ภาคผนวก ข. ส่วนโปรแกรมควบคุมการเลี้ยว
ภาคผนวก ค. รูปถ่ายตัวหุ่นยนต์
ภาคผนวก ง. ตารางรหัสแอสกี
ภาคผนวก จ. ชุดคำสั่ง MCS-51
ภาคผนวก ฉ. รายละเอียดของ MCS-51
ภาคผนวก ช. รายละเอียดของวงจร
บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 เฟืองชนิดต่างๆ 5
รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ 8
รูปที่ 2.3 ลักษณะแถบพลังงานของไบโพลาร์โฟโต้ทรานซิสเตอร์
รอยต่อเฮเทโรขณะถูกไบแอสใช้งาน 8
รูปที่ 2.4 รอยต่อภายในของโฟโต้ทรานซิสเตอร์และการไหลของกระแสไฟฟ้าชนิดต่างๆ 9
รูปที่ 2.5 วงจรการใช้งานพื้นฐานของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ 9
รูปที่ 2.6 โฟโต้ทรานซิสเตอร์ชนิดต่างๆ 11
รูปที่ 2.7 แสดงการจัดขาใช้งานของ ISD 140 13
รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมภายในของไอซี ISD 1400 13
รูปที่ 2.9 ไทมิ่งไดอะแกรมของ ISD 1400 14
รูปที่ 2.10 วงจรประยุกต์ใช้งานของ ISD 1400 19
รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของการทำงานเบื้องต้นของอัลตร้าโซนิค 20
รูปที่ 2.12 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8051 22
รูปที่ 2.13 การต่อสัญญาณนาฬิกาที่ขา XTAL1 และ XTAL2 25
รูปที่ 2.14 การใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก 25
รูปที่ 2.15 การต่อสัญญาณรีเซต 26
รูปที่ 3.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ 29
รูปที่ 3.2 ขนาดโครงสร้างของหุ่นยนต์ลำเลียง 30
รูปที่ 3.3 การออกแบบระบบขับเคลื่อน 31
รูปที่ 3.4 การออกแบบระบบบังคับเลี้ยว 32
รูปที่ 3.5 การทำงานของระบบบังคับเลี้ยว 33
รูปที่ 3.6 การออกแบบระบบการรับและส่งของ 34
รูปที่ 3.7 ลักษณะการทำงานรับและส่งของ 35
รูปที่ 3.8 ตำแหน่งการติดตั้งลิมิตสวิตช์ 35
รูปที่ 3.9 การวางตำแหน่งเซนเซอร์ 36
รูปที่ 3.10 วงจรเซนเซอร์ด้านซ้าย 37
รูปที่ 3.11 วงจรเซนเซอร์ด้านขวา 37
รูปที่ 3.12 วงจรขับมอเตอร์ 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.13 วงจรเซนเซอร์ S3,S4 และ S5 39
รูปที่ 3.14 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก 41
รูปที่ 3.15 โปรแกรมหลักของระบบการบังคับเลี้ยว 43
รูปที่ 3.16 การทำงานของโปรแกรมย่อยเลี้ยวซ้าย 44
รูปที่ 3.17 การทำงานของโปรแกรมย่อยการปรับล้อตรง 45
รูปที่ 4.1 การทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 46
รูปที่ 4.2 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อติดตั้งเซนเซอร์ตรวจสอบ
เส้นทางไว้ที่ตัวโครงของหุ่นยนต์ 47
รูปที่ 4.3 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อติดตั้งเซนเซอร์ตรวจสอบ
เส้นทางไว้ที่คานดึงบังคับเลี้ยว 48
รูปที่ 4.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ของในแนวเส้นตรงเมื่อใช้เซ็นเซอร์ 2 ตัว 49
รูปที่ 4.5 ทิศทางของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่เลี้ยวซ้ายเมื่อใช้เซ็นเซอร์ 2 ตัว 49
รูปที่ 4.6 ทิศทางของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่เลี้ยวขวาเมื่อใช้เซ็นเซอร์ 2 ตัว 50
รูปที่ 4.7 บันทึกผลการทดลองหลังจากหุ่นยนต์ผ่านเลี้ยว 50
รูปที่ 4.8 เสถียรภาพการบังคับเลี้ยวของหุ่นยนต์ 51
รูปที่ 4.9 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อติดตั้งเซนเซอร์ตรวจสอบเส้นทางไว้ที่
คานดึงบังคับเลี้ยว ให้มีการคืนล้อและลดความเร็วของมอเตอร์บังคับเลี้ยว 52
รูปที่ 4.10 ทิศทางของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงที่แก้ไขแล้ว 53
รูปที่ 4.11 ทิศทางของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่เลี้ยวซ้ายที่แก้ไขแล้ว 53
รูปที่ 4.12 ทิศทางของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่เลี้ยวขวาที่แก้ไขแล้ว 54
รูปที่ 4.13 บันทึกผลการทดลองหลังจากหุ่นยนต์ผ่านเลี้ยวที่แก้ไขแล้ว 54
รูปที่ 4.14 แสดงการวางสิ่งกีดขวางในระยะต่างขวางตามทิศทางการ
เคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 55
รูปที่ 4.15 แสดงวงจรอัลตร้าโซนิคตัวรับ 56
รูปที่ 4.16 แสดงการติดตั้งแถบสถานีในเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 57
รูปที่ 4.17 ผลการทดลองเมื่อหุ่นยนต์หยุดหลังจากตรวจพบแถบสถานี 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าบางอย่างที่แตกต่างกันของไอซีในตระกูล ISD 1400 14
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ ISD 1400 18
ตารางที่ 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 21
ตารางที่ 2.4 สัญญาณต่างๆ ของ พอร์ต P3 28
ตารางที่ 3.1 การติดตั้งแถบรหัส 39
ตารางที่ 3.2 สภาวะการทำงานโปรแกรมการรับของ 42
ตารางที่ 3.3 สภาวะการทำงานโปรแกรมการส่งของ 42
ตารางที่ 3.4 แสดงการปรับความต้านทานตามระยะทางที่อัลตร้าโซนิคตรวจพบสิ่งกีดขวาง 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ที่มาของโครงงาน

ในปัจจุบันระบบอุตสาหกรรมจะต้องมีการย้ายวัสดุสิ่งของเป็นจำนวนมากทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานเป็นจำนวนมากเป็นการนำเอาทรัพยากรบุคคลมาใช้ในทางที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งยังทำให้เกิดความเบื่อหน่ายในการทำงาน และความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์โดยเฉพาะทางด้านไมโครคอมพิวเตอร์จึงได้มีการประดิษฐ์อุปกรณ์ที่ช่วยในการเคลื่อนย้ายวัสดุสิ่งของเพื่อให้เกิดความคล่องตัวมากยิ่งขึ้น มาใช้ในระบบอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งนับวันจะมีบทบาทมากขึ้นไปเรื่อยๆ เช่นสายพานลำเลียงที่เหมาะกับการเคลื่อนย้ายวัสดุที่มีทิศทางและตำแหน่งที่แน่นอน ปริมาณการขนถ่ายจำนวนมาก แต่ต้องใช้งบประมาณในการสร้างและชิ้นส่วนมากขึ้นตามไปด้วย จึงไม่เหมาะสำหรับการขนถ่ายวัสดุจำนวนไม่มากนัก และมีทิศทางที่ไม่แน่นอน

ดังนั้นระบบที่เหมาะสมกับงานประเภทนี้จะต้องเป็นรถที่มีราง เพื่อกำหนดทิศทางเพื่อไม่ต้องใช้คนขับ แต่ระบบนี้จะมีความสิ้นเปลืองเนื่องจากค่าใช้จ่ายของตัวรางและการวางราง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการสร้างรถสำหรับขนถ่ายวัสดุต่างๆ โดยไม่ต้องใช้ราง จึงประหยัดค่าใช้จ่ายในการวางรางได้ รถชนิดนี้จะอำนวยความสะดวกอย่างมากในการขนย้าย มีความแน่นอน ค่าใช้จ่ายในการสร้างน้อยและประหยัดเนื้อที่ ทั้งยังมีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่

1.2 จุดประสงค์

จุดประสงค์ของโครงงานนี้คือ การสร้างและควบคุมหุ่นยนต์ที่สามารถตรวจจับแถบเส้นสีดำซึ่งเป็นเส้นทางลำเลียงสิ่งของและเมื่อลำเลียงสิ่งของมาถึงตำแหน่งที่เป็นเป้าหมายก็จะมีการส่งสัญญาณเพื่อเตือนให้คนมารับของ และในกรณีที่หุ่นยนต์ตรวจจับพบสิ่งกีดขวางเส้นทางหุ่นยนต์ก็จะหยุด และส่งสัญญาณเตือนเพื่อให้นำสิ่งกีดขวางออกจากเส้นทาง เมื่อนำสิ่งขวางออกจากเส้นทางแล้วก็จะสามารถเคลื่อนที่ไปได้โดยปกติ ในส่วนการบรรทุกน้ำหนักสิ่งของสามารถบรรทุกได้ประมาณ 5 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษาและหลักการเบื้องต้น

จากความต้องการเบื้องต้นของการทำโครงงานคือ การใช้แถบนำทางเพื่อใช้ในการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งใช้หลักการสะท้อนของแสงจากแถบสีสะท้อนขึ้นมายังตัวรับแสงที่สะท้อนขึ้นมาจะมีค่าความเข้มที่ต่างกันขณะที่รถยังอยู่บนเส้น เซ็นเซอร์แสงจะส่งสัญญาณที่เป็นลอจิกสูง (เป็น 1) กลับมาอุปกรณ์ควบคุม หุ่นยนต์จะยังเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงต่อไป แต่เมื่อรถเริ่มออกนอกเส้นทางแสงจากแถบเส้นสีดำจะไม่สะท้อนมายังตัวรับทำให้เซ็นเซอร์แสงส่งสัญญาณที่เป็นลอจิกต่ำ(เป็น 0) ส่งมายังอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ของส่วนควบคุมการเลี้ยว เพื่อทำการควบคุมให้มอเตอร์บังคับให้หุ่นยนต์เลี้ยวเลี้ยวซ้ายหรือขวาเพื่อปรับให้รถเข้าสู่ตำแหน่งกึ่งกลางของแถบนำทางเสมอ

ส่วนการตรวจสอบตำแหน่งการรับหรือส่งของนั้นจะใช้หลักการของแถบรหัส โดยติดแถบรหัสไว้กลางเส้นแถบนำทาง เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่ติดแถบรหัสเซ็นเซอร์แสงที่ติดอยู่ด้านล่างของตัวรถจำนวนสามตัวหรืออาจมากกว่านั้น จะทำการรับแสงที่สะท้อนจากแถบรหัสแล้วเซ็นเซอร์แสงจะส่งสัญญาณที่เป็นลอจิกสูงหรือต่ำของแต่ละตัวส่งไปยังส่วนควบคุมเพื่อสั่งให้รถทำการรับหรือส่งของ หลังจากทำการรับหรือส่งของเสร็จรถจะเริ่มเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางต่อไป แต่ถ้าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกนอกเส้นทางจนเซ็นเซอร์ทุกตัวไม่สามารถตรวจเจอแถบเส้นได้เลย ส่วนควบคุมจะสั่งให้รีเลย์ควบคุมการจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ที่จ่ายไฟให้กับมอเตอร์เปิดวงจรออกชั่วคราว ทำให้มอเตอร์ทุกตัวหยุดทำงาน หุ่นยนต์จึงสามารถหยุดได้เองเมื่อหลุดออกจากเส้นทาง จากนั้นเมื่อนำรถกลับเข้าเส้นทาง รีเลย์ก็ปิดวงจรกลับไปทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้ แต่ถ้ามีสิ่งกีดขวางบนเส้นทาง หุ่นยนต์จะหยุดการเคลื่อนที่ ซึ่งการตรวจจับสิ่งกีดขวางสามารถทำได้โดยอาศัย อุปกรณ์อินฟาเรดในการตรวจจับแล้วส่งสัญญาณไปให้ส่วนควบคุม สั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน และเมื่อนำสิ่งกีดขวางออกจากเส้นทางแล้ว มอเตอร์จะกลับมาทำงานอีกครั้ง หุ่นยนต์ก็จะเคลื่อนที่ไปตามแถบเส้นต่อไปตามปกติ

1.4 เนื้อหาโดยสังเขป

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้เป็นส่วนประกอบของหุ่นยนต์ลำเลียง

บทที่ 3 จะกล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

บทที่ 4 จะกล่าวถึงการทดสอบการทำงานทั้งระบบของหุ่นยนต์ลำเลียง

บทที่ 5 เป็นการสรุปโครงงานและข้อเสนอแนะในการพัฒนาหุ่นยนต์ลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีพื้นฐาน

สำหรับเนื้อหาในบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้กับหุ่นยนต์ลำเลียงทั้งหมด ซึ่งสามารถแบ่งอุปกรณ์ทั้งหมดเป็นสามส่วนคือ อุปกรณ์ทางไฟฟ้าและเครื่องกล อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

2.1 อุปกรณ์ทางไฟฟ้าและเครื่องกล

2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

คุณลักษณะประจำของมอเตอร์(Motor Characteristics)

คุณลักษณะประจำของมอเตอร์ คือเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่างๆ ที่จะพิจารณามีดังนี้

1. แรงบิดและกระแสอาร์เมเจอร์หรือที่รู้จักกันในรูปของคุณลักษณะทางไฟฟ้า
2. ความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์
3. ความเร็วและแรงบิดหรือที่รู้จักกันรูปของคุณลักษณะทางกล

กำลังงานสูญ(Losses)

กำลังงานสูญ คือกำลังงานที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ แต่เสียไปในรูปความร้อนเป็นส่วนมาก เราสามารถแบ่งกำลังงานสูญออกได้เป็น 2 ชนิด ใหญ่ๆ คือกำลังงานสูญทางกล(Mechanical Loss)และกำลังงานสูญทางไฟฟ้า(Electrical Loss)

ประสิทธิภาพ(Efficiency)

ประสิทธิภาพ คือ ตัวเลขที่บอกให้ทราบว่าเครื่องจักรทำงานได้เป็นกี่เท่าที่เสียไป หรือกำลังงานเอาต์พุท เป็นกี่เท่าของกำลังงานอินพุท โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นเทียบกับอินพุทก็ได้

2.1.2 เฟือง

การจำแนกประเภทของเฟือง

การจำแนกประเภทของเฟืองสามารถจำแนกได้โดยการยึดเอาตำแหน่งเพลาทั้งสองทิศทางการหมุน และรูปร่างของฟันเป็นหลัก เฟืองแบบต่างๆ จำแนกได้ดังนี้

1. เฟืองตรง (spur gear) เป็นเฟืองที่ธรรมดาที่สุดโดยที่ฟันของเฟืองจะถูกตัดให้ขนานกับผิวของเพลาแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เฟืองเอียง (helical gear) ฟันทุกตัวที่ถูกตัดบนทรงกระบอกพิตช์จะเอียงเป็นก้นหอย แต่เนื่องจากจำนวนคู่ของฟันที่สัมผัสกันอยู่ (ซึ่งเรียกว่าอัตราส่วนสัมผัส ของเฟืองชนิดนี้ มีมากกว่าแบบเฟืองตรง ดังนั้น การขบกันจึงทำได้อย่างราบเรียบ และทำให้เหมาะกับการถ่ายทอดที่โลดและมีความเร็วสูงๆ อย่างไรก็ตาม เฟืองแบบนี้ต้องการการรองลื่นกันรุนและห้องเฟืองที่แข็งแกร่ง เนื่องจากแรงดันรุนที่ส่งมาจากเฟืองและผ่านต่อมายังเพลา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (ข)

3. เฟืองเอียงฟันคู่ (double helical) มีลักษณะที่มีฟันเอียงเป็นมุมกัน ทำให้แรงดันรุนสามารถทำให้หักล้างกันเองได้ อัตราทดความเร็วในแนวเส้นรอบวงเฟือง และกำลังที่ถ่ายทอดจะกระทำได้มาก แต่มีข้อเสียคือสร้างได้ยาก แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (ค)

4. เฟืองฟันใน (internal gear) มีประโยชน์ในการลดขนาดของเฟืองลงและให้อัตราทดสูง เนื่องจากมีเฟืองพีเนี่ยนวางไว้ภายในนั่นเอง แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (ง)

5. เฟืองรางและพีเนี่ยน (pinion and rack) เหมาะที่จะใช้กับงานที่ต้องการเปลี่ยนจากการหมุนไปเป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้น แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (จ)

6. เฟืองดอกจอกตรง (straight bevel gear) เป็นเฟืองที่มีผิวหน้าเป็นรูปทรงกรวยตรง พื้นผิวของกรวยที่มีจุดยอดร่วมกัน เรียกว่าพื้นผิวพิตช์ เฟืองดอกจอกตรงเป็นแบบที่ใช้มากที่สุดในชนิดของเฟืองดอกจอก แต่จะมีเสียงดังมากในขณะทำงาน ทั้งนี้เนื่องจากมีอัตราส่วนสัมผัสน้อย และยังมีความลำบากในการใส่รองลื่นรับที่ปลายทั้งสองของเพลาที่ประกอบกันกับเฟืองอีก แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (ฉ)

7. เฟืองดอกจอกเกลียว (spiral bevel gear) ให้อัตราส่วนสัมผัสมากกว่าเฟืองดอกจอกตรง ทำให้สามารถถ่ายทอดโหลดมากๆ และที่มีรอบสูงๆ ได้ มุมที่เพลาทั้งสองของเฟืองที่กระทำกันปรกติแล้วเท่ากับ 90องศา แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (ช)

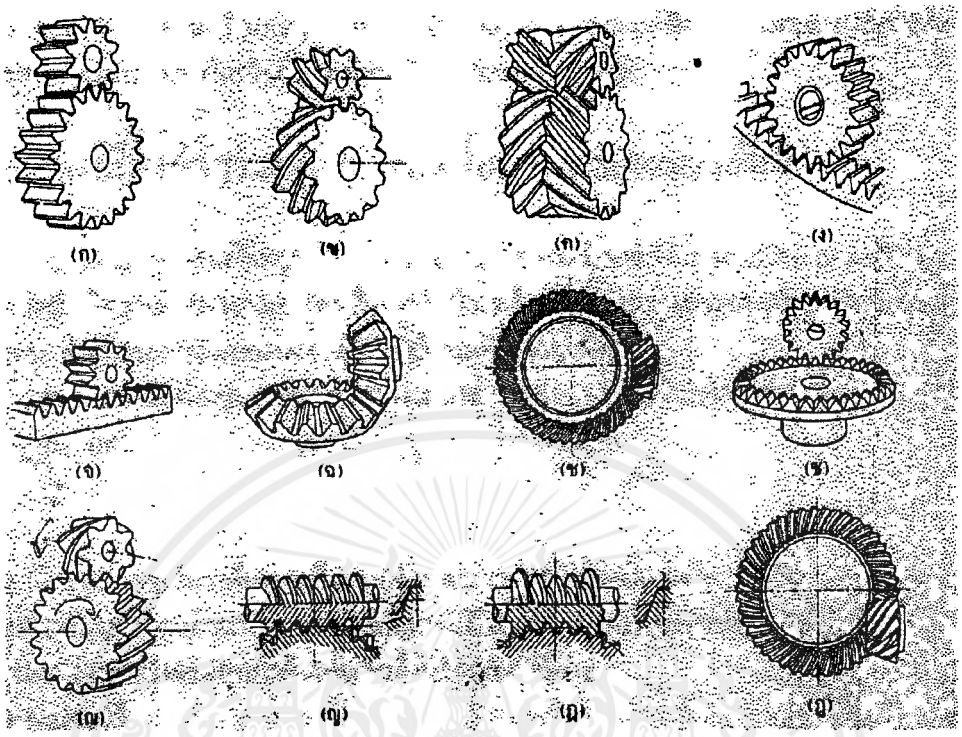
8. เฟืองหน้าตรง (face gear) ลักษณะการใช้งานเหมือนกับเฟืองดอกจอกตรง แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (ซ)

9. เฟืองเอียงขวาง (crossed helical gear) เป็นเฟืองที่ใช้ถ่ายทอดการหมุนกับเพลาข้าม แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (ฌ)

10. เฟืองหนอนทรงกระบอก (cyindrical worm gear) ใช้ถ่ายทอดการหมุนของเพลาข้ามที่ข้ามตั้งฉากกันด้วยอัตราที่สูง เฟืองหนอนทรงกระบอกเป็นแบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (ฌ)

10. เฟืองหนอนล้อมคู่ (double enveloping worm gear) สามารถใช้ถ่ายทอดโหลดที่สูงกว่าเฟืองหนอนทรงกระบอกเนื่องจากให้อัตราส่วนสัมผัสที่มากกว่า แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (ฌ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 เฟืองชนิดต่างๆ

อัตราส่วนความเร็ว และอัตราทดเฟือง

ให้ทางเพลาขับหมุนด้วยความเร็ว n1 (รอบ/นาที) เพลาตามหมุนด้วยความเร็ว n2 (รอบ/นาที) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมพิตช์ของเฟืองบนเพลา n1 และ n2 คือ d1 และ d2 (มิลลิเมตร) ตามลำดับ และจำนวนฟันแทนด้วย z1 และ z2 แล้ว อัตราส่วนความเร็ว u คือ

$$u = \frac{n2}{n1} = \frac{d1}{d2} = \frac{mz1}{mz2} = \frac{z1}{z2} = \frac{1}{I}$$

ค่า I เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันของเฟืองต่อจำนวนฟันของพีเนียน ซึ่งเรียกว่าอัตราทดของเฟือง ถ้าเป็นแบบเฟืองตรงอัตราทดของเฟืองจะมีค่าประมาณ 4 ถึง 5 และอาจจะสูงขึ้นถึง 7 ถ้าแอดเดนดัมที่ได้รับการแก้ไขบ้าง แต่ในกรณีของเฟืองเอียงและเฟืองเอียงคู่ อัตราทดนี้อาจจะมีค่าสูงขึ้นถึง 10 ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรกติการใช้เฟืองมักใช้เพื่อการทดความเร็วลงมา ดังนั้น ค่า u <1 และอัตราทดของเฟือง I >1 แต่บางทีเฟืองก็ถูกใช้ในการเพิ่มความเร็ว ซึ่งในที่นี้ อัตราส่วนความเร็ว u>1 และอัตราทดของเฟือง I<1

ระยะระหว่างจุดศูนย์กลาง a (มิลลิเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ d1 และ d2 (มิลลิเมตร) จะสัมพันธ์กันดังนี้

$$a = \frac{d1 + d2}{2} = \frac{m(z1 + z2)}{2}$$

$$d1 = \frac{2a}{(1 + I)}$$

$$d2 = \frac{2aI}{(1 + I)}$$

2.1.3 แบตเตอรี่(BATTERY)

แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่

- การอัดประจุด้วยกระแสคงที่(constant Current Charging)
- การอัดประจุด้วยแรงดันคงที่(Constant Voltage Charging)
- การอัดประจุโดยการแท็ปกระแส(Tapered Current Charging)
- คอมบิเนชั่นชาร์จจิ่ง(Combination Charging)

การประยุกต์เพื่อนำไปใช้งาน

การนำแบตเตอรี่แบบซีล ชนิดตะกั่วกรด มาประยุกต์ใช้งานนั้นสามารถแบ่งกว้างๆ ได้ 2 แบบ คือ

- การทำงานแบบวนรอบ(Cycle Operation) เป็นการทำงานเป็นรอบ ใช้เวลาในการอัดประจุสั้นๆ ต้องป้องกันการอัดประจุและการคายประจุเกิน
- การอัดประจุสำรอง(Standby / Back up Charging)ใช้ในงานที่ต้องการสำรองแบตเตอรี่ไว้ใช้ในยามที่ต้องการ ซึ่งใช้จ่ายให้โหลดเมื่อกระแสไฟจากแหล่งจ่ายผิดปกติ การทำงานสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ
- ริกเคิลชาร์จ(Trickle Charge) เมื่อเกิดความผิดปกติกับแหล่งจ่ายแบตเตอรี่จะถูกต่อเข้ากับโหลดแทนที่แหล่งจ่ายทันที
- โฟลทชาร์จ(Float Charge) โหลดและแบตเตอรี่จะต่อขนานกับวงจรเร็คติฟาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในโครงงานนี้ จะขอกล่าวถึงแค่เนื้อหาของอุปกรณ์เพียงสองชนิดคือ อุปกรณ์ที่ใช้เป็นเซ็นเซอร์คือโฟโต้ทรานซิสเตอร์(phototransistor) และอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกเสียงเท่านั้น เพราะเนื้อหาของอุปกรณ์ตัวอื่นๆ สามารถหาอ่านได้ตามหนังสือทั่วไปจึงขอไม่นำเอามากล่าวในที่นี้

2.2.1 โฟโต้ทรานซิสเตอร์

จากที่ทราบมาแล้วว่าโฟโต้ไดโอด(photodiode) เป็นอุปกรณ์ตรวจรับแสงที่ทำงานตอบสนองต่อแสงได้รวดเร็ว และเราสามารถเลือกวัสดุให้เหมาะกับความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการวัดได้สะดวก มีการใช้งานโฟโต้ไดโอดกันอย่างกว้างขวาง แต่โฟโต้ไดโอดก็ยังมีข้อเสียอยู่ตรงจุดที่กระแสไฟฟ้าและแรงดันเอาต์พุตมีค่าน้อย ดังนั้นโฟโต้ไดโอดจึงใช้งานเพียงแค่ตัวเดียวได้ยาก มักจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณด้วยวิธีการอื่นเข้ามาช่วย ดังนั้นจึงมีการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์ตรวจรับแสงที่ช่วยแก้ไขข้อบกพร่องของโฟโต้ไดโอดชนิดหนึ่งขึ้นนั่นคือ โฟโต้ทรานซิสเตอร์ซึ่งมีการขยายสัญญาณอยู่ภายใน

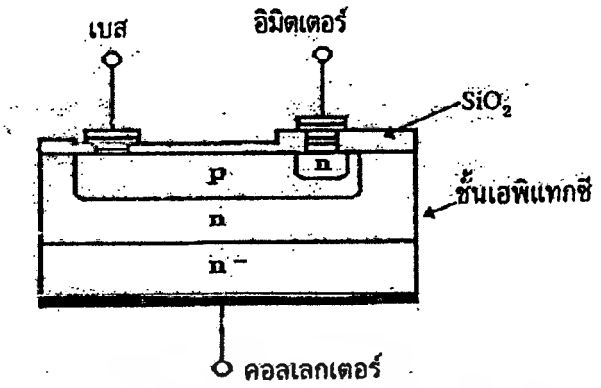
2.2.1.1 บทนำ

โฟโต้ทรานซิสเตอร์ คือสิ่งประดิษฐ์ตรวจรับแสงที่มีโครงสร้างเป็นทั้งโฟโต้ไดโอด(photodiode) และ ทรานซิสเตอร์ (transistor) ในตัวเดียวกัน โดยทั่วไปมีโครงสร้างคล้ายทรานซิสเตอร์กล่าวคือ มีรอยต่อของสารกึ่งตัวนำแบบรอยต่อ pnp หรือnpn หรืออาจออกแบบให้มีโครงสร้างแบบทรานซิสเตอร์ดาร์ลิงตันก็ได้ การใช้งานโฟโต้ทรานซิสเตอร์มีมานานกว่า 20 ปี มาแล้ว มักใช้ตรวจจับแสงว่ามีหรือไม่มี เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตของโฟโต้ทรานซิสเตอร์แปรเปลี่ยนกับความเข้มของแสงในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นดีนัก จึงไม่นิยมใช้เป็นตัววัดความเข้มแสง แต่นิยมใช้วัดว่ามีอินพุตเข้ามาหรือไม่เท่านั้นเช่น ใช้เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณแสงจากLED ใช้เป็นอุปกรณ์รับแสงในโฟโต้คัปเปลอร์ (photocoupler) ใช้ตรวจเช็คการวิ่งตัดแสงของวัตถุ ใช้ในโฟโต้อินเตอร์รัปเตอร์(photointerrupter) เป็นต้น

2.2.1.2 โครงสร้างและหลักการทำงานของโฟโต้ทรานซิสเตอร์

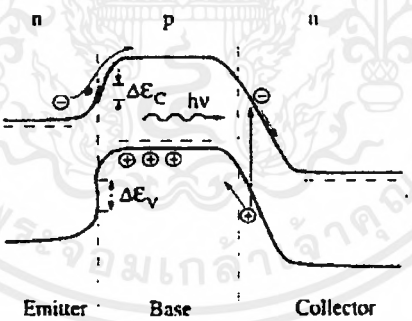
โฟโต้ทรานซิสเตอร์มีโครงสร้างพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 2.2 ได้แก่รอยต่อ pnp หรือnpn ของสารกึ่งตัวนำคล้ายทรานซิสเตอร์ แต่จะออกแบบพิเศษให้ชั้นเบสเปิดหน้าออก เพื่อให้ชั้นเบสรับแสงอินพุตได้โดยตรง และพยายามให้พื้นผิวรับแสงของเบสมีพื้นที่ขนาดใหญ่ๆ เพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าโฟโต้มากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของโฟโต้ทรานซิสเตอร์

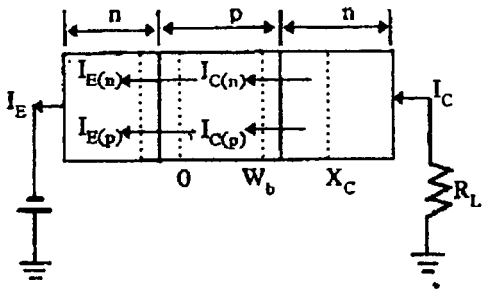
ลักษณะของแถบพลังงานของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ชนิด pnp แสดงในรูปที่ 2.3 ในรูปนี้ชั้นอิมิตเตอร์มีช่องว่างพลังงานกว้างกว่าชั้นเบส กล่าวคือเป็นรอยต่อชิดเฮเทโร บทบาทสำคัญของชั้นอิมิตเตอร์ซึ่งมีช่องว่างพลังงานกว้างมี 2 ข้อคือ ประการแรก ชั้นอิมิตเตอร์ทำหน้าที่เป็นชั้นหน้าต่างกว้างที่ยอมให้สัญญาณแสงเดินทางเข้าสู่ชั้นเบสได้ดีที่สุด จึงทำการดูดกลืนแสงส่วนใหญ่เกิดขึ้นในชั้นเบสและชั้นปลอดพาหะที่อยู่ระหว่างชั้นเบสและชั้นคอลเลกเตอร์ ประการที่สอง ชั้นอิมิตเตอร์มีช่องว่างพลังงานกว้างสามารถทำให้อัตตราการขยายของทรานซิสเตอร์มีค่าสูง



รูปที่ 2.3 ลักษณะแถบพลังงานของไบโพลาร์โฟโต้ทรานซิสเตอร์รอยต่อเฮเทโร ขณะถูกไบแอสใช้งาน

กระแสไฟฟ้าชนิดต่างๆ ที่ไหลในโฟโต้ทรานซิสเตอร์ โดยทั่วไปจะไม่มีการต่อสายไฟฟ้าเข้าสู่ชั้นเบส ชั้นเบสและชั้นคอลเลกเตอร์ทำหน้าที่เปรียบเสมือนโฟโต้ไดโอดซึ่งกำลังถูกไบแอสแบบย้อน ส่วนชั้นอิมิตเตอร์และเบสถูกไบแอสตาม เมื่อมีแสงอินพุตเข้ามา โฟโต้อิเลกตรอนที่เกิดขึ้นในชั้นเบสจะแพร่วิ่งจากชั้นเบสไปสู่ชั้นคอลเลกเตอร์ ส่วนโฮลจะยังคงค้างอยู่ในชั้นเบสซึ่งผลทำให้เกิดการไบแอสด้วยตนเองแบบบวกขึ้นในชั้นเบส ดังนั้นจึงทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่ออิมิตเตอร์ซึ่งกำลังถูกไบแอสและเกิดการขยายสัญญาณกระแสไฟฟ้ากลายเป็นกระแสไฟฟ้าคอลเล็กเตอร์ซึ่งไหลออกไปทางด้านขั้วคอลเลกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



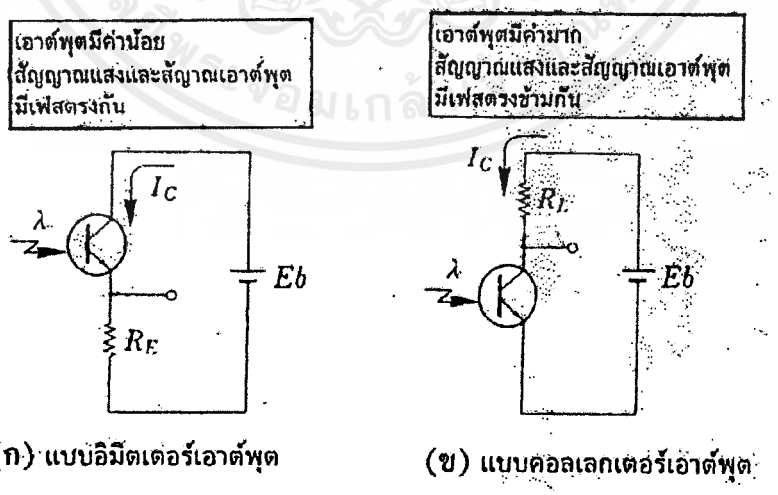
รูปที่ 2.4 รอยต่อภายในของโฟโต้ทรานซิสเตอร์และการไหลของกระแสไฟฟ้าชนิดต่างๆ

2.2.1.3 วงจรพื้นฐานสำหรับการใช้งานโฟโต้ทรานซิสเตอร์

วงจรพื้นฐานสำหรับการใช้งานโฟโต้ทรานซิสเตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 ขาของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ชนิดธรรมดามี 2 ขา รูป (ก) ต่อแบบอิมิตเตอร์เอาต์พุต และรูป (ข) ต่อแบบคอลเลกเตอร์เอาต์พุต การต่อทั้งสองแบบนี้จะให้ผลแตกต่างกันดังนี้

ในกรณี (ก) จะให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสตรงข้ามกับเฟสของสัญญาณแสงอินพุต และแอมพลิจูดสัญญาณเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับอัตราการขยายกระแสไฟฟ้าและทำงานได้ช้า

ในกรณี (ข) จะให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสตรงข้ามกับเฟสของสัญญาณแสงอินพุต แอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุตจะสูงและขึ้นอยู่กับอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นถ้าแสงอินพุตมีความเข้มเท่ากัน และความต้านทานโหลดเท่ากัน จะได้ผลว่าการต่อแบบกรณี (ข) จะให้แรงดันเอาต์พุตที่มีค่ามากกว่ากรณี (ก)



(ก) แบบอิมิตเตอร์เอาต์พุต (ข) แบบคอลเลกเตอร์เอาต์พุต

รูปที่ 2.5 วงจรการใช้งานพื้นฐานของโฟโต้ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

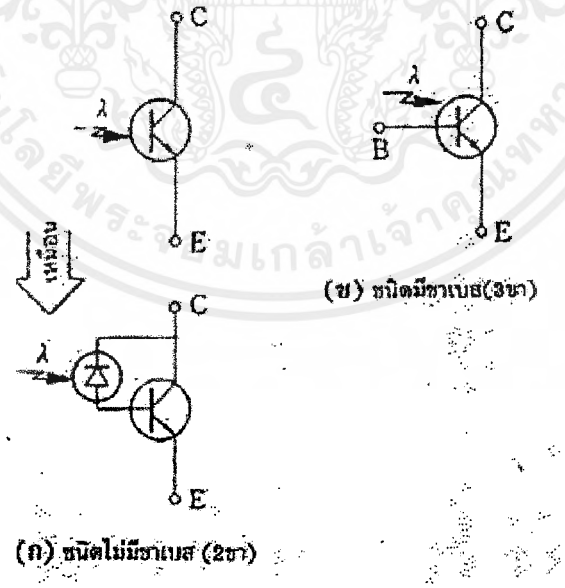
2.2.1.4 **ชนิดของโฟโต้ทรานซิสเตอร์**

โฟโต้ทรานซิสเตอร์ชนิดธรรมดามีขาต่อเอาต์พุต 2 ขา แต่บางชนิดมี 3 ขา ดังจะได้กล่าวข้อดีข้อเสียของชนิดต่างๆ ดังต่อไปนี้

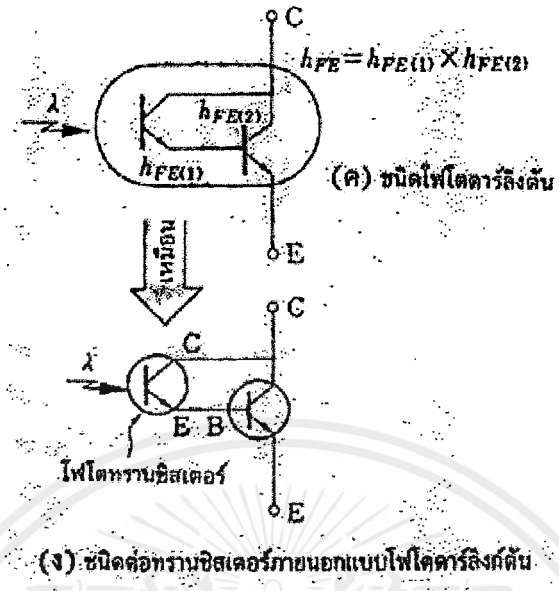
1) โฟโต้ทรานซิสเตอร์ชนิด 2 ขา เป็นโฟโต้ทรานซิสเตอร์ชนิดที่ใช้งานกันทั่วไป วงจรสมมูลแสดงในรูปที่ 2.6 (ก) แต่คุณสมบัติเชิงเส้นไม่ดี

2) โฟโต้ทรานซิสเตอร์ชนิด 3 ขา เรียกว่า โฟโต้ทรานซิสเตอร์ชนิดมีขาเบส ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ข) มีข้อเด่นที่กระแสไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าชนิด 2 ขา และการใช้งานก็สามารถกำหนดจุดการทำงานได้

3) โฟโต้ทรานซิสเตอร์ชนิดดาร์ลิงตันโฟโต้ทรานซิสเตอร์ มีโครงสร้างที่มีทรานซิสเตอร์ต่อพ่วงอีก 1 ตัวภายในชิปเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ค) เนื่องจากวงจรขยายเป็นแบบดาร์ลิงตันทรานซิสเตอร์ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าโฟโต้จึงถูกขยายขึ้นมาก อาจใช้ป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบรีเลย์ที่กินกระแสมากๆ ได้ แต่อย่างไรก็ตามยังมีกระแสไฟฟ้ามืดไหลมาก อนึ่งในการต่อแบบดาร์ลิงตันนี้อาจใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดธรรมดามาเชื่อมต่อภายนอกกับโฟโต้ทรานซิสเตอร์ที่หลังก็ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โฟโต้ทรานซิสเตอร์ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 อุปกรณ์บันทึกเสียงไอซี ISD1400

เป็นไอซีที่มีระยะเวลาในการบันทึกเสียงที่ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เป็นภาคขยายเสียงต่อร่วมภายนอก สามารถขับลำโพงได้โดยตรง ในส่วนของไมโครโฟนใช้ได้กับไดนามิคไมโครโฟนหรือคอนแดนเซอร์ไมโครโฟนก็ได้

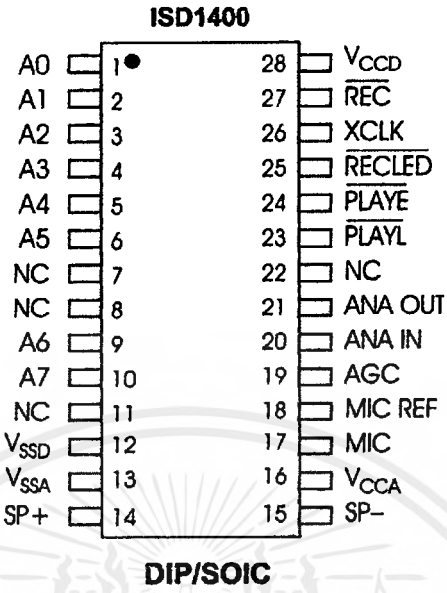
คุณสมบัติของ ISD1400

คุณสมบัติหลัก ๆ ที่สำคัญก็น่าจะครอบคลุมถึงความยุ่งยากต่าง ๆ ให้ง่ายและกะทัดรัดลงมาเสร็จสรรพในการใช้งานในตัวเดียวจริง ๆ ดังคุณสมบัติของISD1400 ต่อไปนี้

- เพียงไดซีตัวเดียวก็สามารถบันทึกและเล่นกลับได้อย่างง่ายดาย
-ไม่มีอุปกรณ์ประเภทไอซีอื่น ๆ ประกอบร่วมภายนอก
- ไม่ต้องพัฒนาระบบอื่นขึ้นมาเสริมเพื่อให้ใช้งานได้
- มีประสิทธิภาพในการบันทึก และเล่นกลับที่ให้เสียงได้เหมือนต้นกำเนิดเสียง
- ควบคุมการบันทึกและเล่นกลับด้วยสวิตช์หรือควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- มีระบบประหยัดพลังงานอัตโนมัติโดยกินกระแสเพียง 0.5 μA
- ระยะเวลาในการบันทึก/เล่นกลับตั้งแต่ 16 และ20 วินาที และสามารถต่อคาสเคดกันได้โดยตรงเพื่อเพิ่มระยะเวลาให้ยาวมากขึ้น
- ปิดการทำงานอัตโนมัติเมื่อไม่มีการบันทึกหรือเล่นกลับนานเกินไป
- สามารถเก็บความจำไว้ได้นาน 100 ปีไม่ต้องมีแบตเตอรี่สำรอง
- วงรอบการบันทึก 10,000 ครั้ง
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในตัว
- สามารถโปรแกรมควบคุมการเล่นกลับเพียงอย่างเดียวเพื่อพัฒนารูปแบบใช้งานได้

จากคุณสมบัติต่างๆที่รวมอยู่ในไอซีเพียงตัวเดียวจึงทำให้ง่ายแต่การใช้งานตั้งแต่วงจรขยายสัญญาณจากไมโครโฟนจนถึงหน่วยจัดเก็บข้อมูลที่ทำการบันทึกและขับออกลำโพงก็ถูกรวมไว้ในไอซีเพียงตัวเดียวในโหมดการบันทึกจะจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ ไว้ในหน่วยความจำที่เป็นเซลแบบไม่ต้องการแรงดันสำรอง เพื่อรักษาข้อมูลไม่ให้สูญหาย (nonvolatile memory cells) สัญญาณเสียงที่อยู่ในรูปแบบของสัญญาณอะนาลอก จะถูกบันทึกไว้ในหน่วยจัดเก็บความจำโดยตรง โดยอาศัยเทคโนโลยี DAST (Direct Analog Storage Technology) และการจัดเก็บความจำก็จะจัดเก็บในลักษณะที่เป็นสัญญาณอะนาลอกอยู่เช่นเดิม จึงทำให้การเล่นกลับสามารถให้สัญญาณเสียงที่เหมือนกับต้นกำเนิดเสียงมาก เพราะไม่มีกระบวนการเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเข้ามาเกี่ยวข้อง

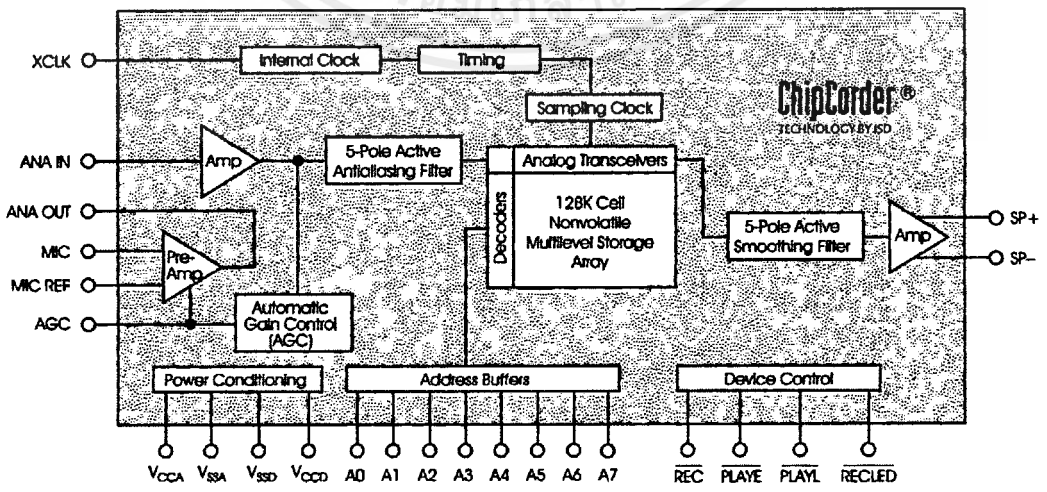
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NOTE: *NC means must Not Connect.*

รูปที่ 2.7 แสดงการจัดขาใช้งานของ ISD1400

ในรูปที่ 2.8 เป็นรูปแสดงบล็อกไดอะแกรมภายในของ ISD1400 ยังมีบล็อกมัลติเพล็กซ์สัญญาณอินพุตของเพาเวอร์แอมป์ภายในไอซี เพื่อทำการเลือกที่จะขยายสัญญาณที่ถูกบันทึกเก็บไว้ อัตราการทำงานของไอซีในตระกูล ISD1400 ก็แตกต่างกันดังจะแสดงข้อมูลทางด้านการบันทึกสัญญาณของไอซีในตระกูลไว้ในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมภายในของไอซี ISD1400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบอร์ไอซี	ระยะเวลาบันทึก	การสุ่มสัญญาณทางอินพุต	ความถี่ที่ผ่านวงจรกรอง	ความถี่สัญญาณนาฬิกาภายใน
ISD1416	16 วินาที	8.0 กิโลเฮิรตซ์	3.3กิโลเฮิรตซ์	1024 กิโลเฮิรตซ์
ISD1420	20 วินาที	6.4 กิโลเฮิรตซ์	2.6 กิโลเฮิรตซ์	819.2 กิโลเฮิรตซ์

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าบางอย่างที่แตกต่างกันของไอซีในตระกูล ISD14xx

Figure 2: Record

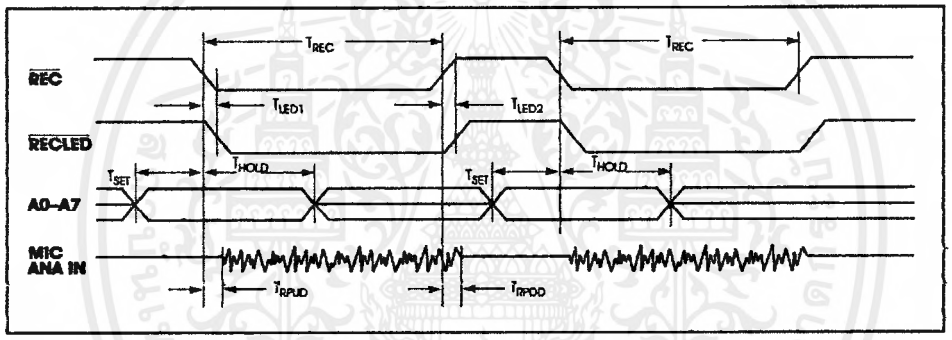
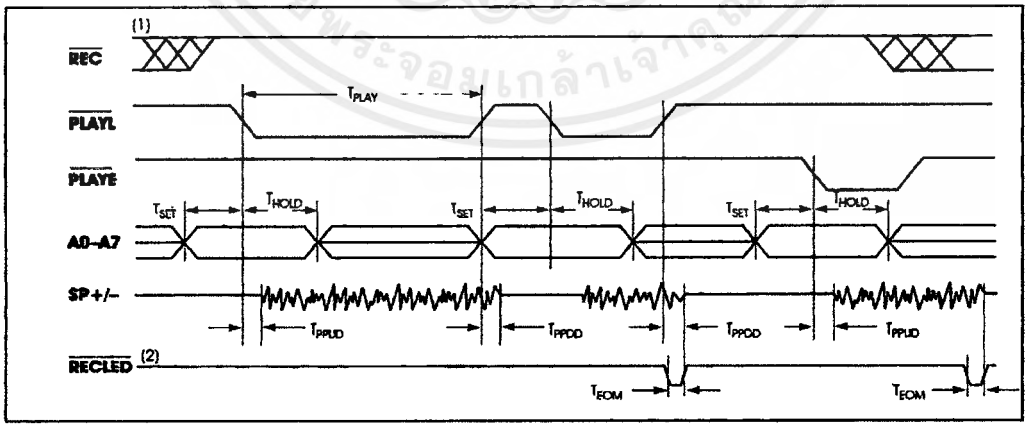


Figure 3: Playback



1. *REC must be HIGH for the entire duration of a playback cycle.*
2. *RECLED functions as an EOM during playback.*

รูปที่ 2.9 TIMING DIAGRAMS ของ ISD 1400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานเบื้องต้น

หลักการเบื้องต้นของการทำงานนั้นต้องทำความเข้าใจหรือทราบรายละเอียดของคุณสมบัติทางเทคนิคของไอซีตระกูลนี้กันเสียก่อน ดังแสดงตารางคุณสมบัติทางเทคนิคหรือไฟฟ้าไว้ในตารางที่ 2.2 รายละเอียดในตารางนี้มีความสำคัญมากต่อการใช้เป็นค่าอ้างอิงในการออกแบบใช้งาน และการทำงานเบื้องต้นในที่นี้จะกล่าวถึงหน้าที่การใช้งานของแต่ละขาทั้งหมด เพราะหากกล่าวถึงการทำงานธรรมดาก็คือ ไอซีบันทึกเสียงนั่นคือการทำงาน แต่การทำงานของแต่ละขาและหน้าที่ของแต่ละขาจะมีความสำคัญมากกว่า เพราะจะสามารถนำเอาไอซีไปใช้งานได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย (ไอซีไม่เสียหายก่อนจะใช้งานได้)

แอดเดรสอินพุท (A0-A7) ขาแอดเดรสและโหมดอินพุตจะมีอยู่สองฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับระดับของสอง MSB ของแอดเดรส ถ้าแอดเดรสใดแอดเดรสหนึ่งของสอง MSBs เป็น “0” อินพุตก็จะมาปรากฏที่แอดเดรสบิตทั้งหมดและใช้เป็นแอดเดรสเริ่มต้นสำหรับวงรอบการบันทึกหรือเล่นกลับ และขาแอดเดรสจะเกิดการแลตช์โดยขอบขาลงของพัลส์ที่ขา PLAYE,PLAYL,หรือREC

ขาต่อออกลำโพง (Sp+,SP-) ขา 14 และ 15 เป็นขาเอาต์พุตต่อออกลำโพง ในตระกูล ISD1400 นี้ จะมีวงจรขับสัญญาณความแตกต่างออกสู่ลำโพง ซึ่งประกอบอยู่ในตัวไอซีเรียบร้อยแล้ว โดยมีความสามารถในการขับลำโพงเอาต์พุตได้ 50 มิลลิวัตต์ ที่โหลดลำโพง 16 โอห์ม ขาต่อลำโพงเอาต์พุตทั้งสองนี้จะไม่ต่อขนานกันโดยตรงเด็ดขาดเมื่อต้องถูกใช้ต่อเฉพาะในบางครั้งขาเอาต์พุตลำโพงสามารถต่อคาสเคดกับไอซีอีกตัวได้โดยตรง เพราะมีตัวเก็บประจุคับปลิ้งอยู่ภายในเรียบร้อย

ขาต่อออกไมโครโฟน (MIC) ขา 17 จะรับสัญญาณอินพุตที่ผ่านเข้ามายังไมโครโฟนแล้วส่งผ่านสัญญาณเข้าสู่วงจรปรีแอมป์ที่ประกอบอยู่ภายในตัวไอซี ภายในประกอบด้วยวงจรควบคุมอัตราการขยายอัตโนมัติ (AGC) โดยวงจรนี้จะทำหน้าที่ควบคุมอัตราการขยายของวงจรปรีแอมป์ให้มีอัตราการขยายอยู่ในช่วง -15 ถึง 24 เดซิเบล ไมโครโฟนภายนอกจะถูกคับปลิ้งผ่านตัวเก็บประจุภายนอกในลักษณะอนุกรมกับขา 17 นี้ค่าความจุของตัวเก็บประจุคับปลิ้งจะกำหนดค่าโดยคำนึงถึงค่าความต้านทาน 10 กิโลโอห์มที่ต่ออยู่ภายในกับขา 17 ของไอซีเพื่อทำให้เกิดการคัดออฟที่ความถี่ต่ำ

ขาสัญญาณอ้างอิงไมโครโฟน(MIC REF) ขา18 จะต่อขา18 นี้เข้ากับกราวด์อะนาลอก (Vssa) โดยมีตัวเก็บประจุต่ออนุกรมอยู่ก่อน เพื่อทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวนทางอินพุตขา 17 และเพื่อให้เกิดการชดเชยทางด้านสัญญาณรบกวนให้ดีกว่า 10 เดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุตควบคุมอัตโนมัติ (AGC INPUT) ขา 19 เป็นขาอินพุตเพื่อควบคุมการปรับอัตราการขยายของปรีแอมป์ไมโครโฟนทางด้านไดนามิก เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับระดับสัญญาณที่มีย่านกว้างมากของสัญญาณทางอินพุตจากไมโครโฟน และเพื่อให้ระดับสัญญาณที่ทำการบันทึกมีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุดขา AGC นี้ จะต้องต่อร่วมกับอุปกรณ์ RC เพื่อกำหนดค่าเวลาคงที่ โดยมีค่าความต้านทานภายใน 5 กิโลโอห์มและจะต่อร่วมกับตัวเก็บประจุภายนอกอีกหนึ่งตัวผ่านลงกราวด์อะนาลอก ค่าที่เหมาะสมบางครั้งกำหนดไว้ที่ค่าความต้านทาน 470 กิโลโอห์ม และตัวเก็บประจุ 4.7 ไมโครฟารัด

ขาอะนาลอกอินพุท (ANA IN) ขา 20 จะรับสัญญาณที่ผ่านวงจรปรีแอมป์ออกมาทางขา 21 โดยผ่านตัวเก็บประจุคับปลิงภายนอกคับปลิงสัญญาณเข้าที่ขา 20 นี้ เพื่อผ่านสัญญาณเข้าไปทำการบันทึกไว้ภายในตัวไอซี ตัวเก็บประจุคับปลิงภายนอกนี้ จะต้องสัมพันธ์กันกับค่าความต้านทานภายในค่า 3 กิโลโอห์ม ซึ่งเป็นอินพุตอิมพีแดนซ์ เพื่อที่จะทำให้เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำแบบคัตออฟ

ขาอะนาลอกเอาต์พุต(ANA OUT) ขา 21 เป็นขาเอาต์พุตของวงจรปรแอมป์ขยายสัญญาณจากไมโครโฟนที่ได้รับการควบคุมอัตราการขยายจากวงจร AGC ภายในแล้ว

จุดสิ้นสุดข้อมูล(EOM) เป็นส่วนของอุปกรณ์นอนโวเลไทล์ (nonvolatile) ภายในตัวไอซีที่จะใช้กำหนดหรือระบุการสิ้นสุดของการเก็บข้อมูลที่ทำการบันทึกขา EOM นี้จะให้เอาต์พุตออกมาเป็น “0” เมื่อข้อมูลที่ถูกบันทึกอยู่ถูกเล่นกลับออกมาหมดแล้ว

ขาสัญญาณนาฬิกาภายนอก(XCLK) ขา 26 เป็นขารับสัญญาณนาฬิกาภายนอกเพื่อกำหนดค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาในการสุ่มสัญญาณ แต่โดยปกติได้ระบุไว้ว่าสัญยาณนาฬิกาการสุ่มสัญญาณถูกกำหนดไว้ภายในแล้ว ซึ่งจะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิภายนอกหรือย่านแรงดันไฟเลี้ยงที่ไม่คงที่ การใช้งานปกติแล้วจะต่อขา 25 นี้เข้ากับกราวด์ของไฟเลี้ยง

แรงดันอินพุต(V_{CCA}, V_{CCD}) ขา 28 และ ขา 16 วงจรอะนาลอกและดิจิตอล ภายใน ISD1400 ใช้แยกสายเพาเวอร์ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนต่ำ ขารับแรงดันต้องการแรงดันไฟเลี้ยง +5 โวลต์ และต้องเป็นแรงดันไฟเลี้ยงที่มีสัญญาณรบกวนต่ำมาก

กราวด์อินพุต คล้ายกับ V_{CCA} และ V_{CCD} วงจรอะนาลอกและดิจิตอลภายใน ISD1400 ให้แยกสายกราวด์ให้มีสัญญาณรบกวนต่ำ

บันทึกเสียง (REC) ขา27โดยปกติสัญญาณป้อนเข้ามีขา REC จะเป็นลอจิกสูงเมื่อต้องการบันทึกที่เพียงให้สัญญาณที่ขา REC เป็นลอจิกต่ำเราสามารถจะนำการบันทึกในระหว่างการเล่นกลับ ได้โดยเมื่อเราป้อนสัญญาณลอจิกต่ำที่ขา REC การเล่นกลับจะหยุดลงอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แล้วการบันทึกจะเริ่มขึ้น และเมื่อสัญญาณที่ ขา REC เป็นลอจิกสูงก็จะมีการปรับเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานอัตโนมัติ

ขาถอดรหัสสัญญาณการเล่นกลับ(PLAYE) ขา 24 เมื่อมีสัญญาณลอจิกต่ำผ่านเข้ามาที่ขา PLAYE จะมีการถอดรหัสสัญญาณเข้าวงรอบการเล่นกลับจะเริ่มขึ้น การเล่นกลับจะกระทำต่อเนื่องจนกระทั่งหมดข้อมูลหรือหมดเนื้อที่หน่วยความจำ (EOM) ในเวลาที่สิ้นสุดการเล่นกลับจะมีการเข้าไปสู่ระบบประหยัดพลังงานอัตโนมัติ ในระหว่างการทำงานถ้าป้อนสัญญาณลอจิกสูงเข้าไปการทำงานก็คงยังทำต่อไปจนสิ้นสุดข้อมูล

ขาควบคุมระดับสัญญาณการเล่นกลับ (PLAYL) ขา23 เมื่อสัญญาณอินพุต เปลี่ยนจากลอจิกสูง เป็นลอจิกต่ำวงรอบการเล่นกลับก็จะเริ่มขึ้น จนกว่าสัญญาณที่ขา PLAYL เป็นลอจิกสูง และสิ้นสุดข้อมูลหรือเนื้อที่หน่วยความจำเต็ม และก็จะกลับเข้าสู่ระบบประหยัดพลังงานอัตโนมัติ เมื่อสิ้นสุดวงรอบการเล่นกลับ

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด	ชนิด	ค่าสูงสุด	หน่วย	เงื่อนไข
V_{IL}	Input Low Voltage			0.8	V	
V_{IH}	Input High Voltage	2.4			V	
V_{OL}	Output Low Voltage			0.4	V	IOL = - 4.0
V_{OH}	Output High Voltage	2.4			V	IOH = - 1.6
ICC	Vcc Current (Operating)		15	30	mA	Vcc = 5.5 V , REXT = α
I_{SB}	Vcc Current (Standby)		0.5	10	μA	
I_{IL}	Input Leakage Current			±1	μA	
I_{ILPD}	Input Current HIGH w/Pull Down			130	μA	Force Vcc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37109

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด	ชนิด	ค่าสูงสุด	หน่วย	เงื่อนไข
R_{EXT}	Output Load Impedance	16				Speaker Load
R_{MIC}	Preamp In Input Resistance	4	9	17	KΩ	Pins 17, 18
$R_{ANA\ IN}$	ANA IN Input Resistance	2.5	3	5	KΩ	
A_{PRE1}	Preamp Gain 1	20	23	26	dB	AGC = 0.0 V
A_{PRE2}	Preamp Gain2		-45	-15	dB	AGC = 2.5 V
A_{ARP}	ANA IN to SP+/- Gain	20	22	25	dB	
R_{AGC}	AGC Output Resistance	2.5	5	9.5	KΩ	
I_{PREH}	Preamp Out Source		-2		mA	@VOUT = 1.0 V
I_{PREL}	Preamp In Sink		0.5		mA	@VOUT = 2.0 V

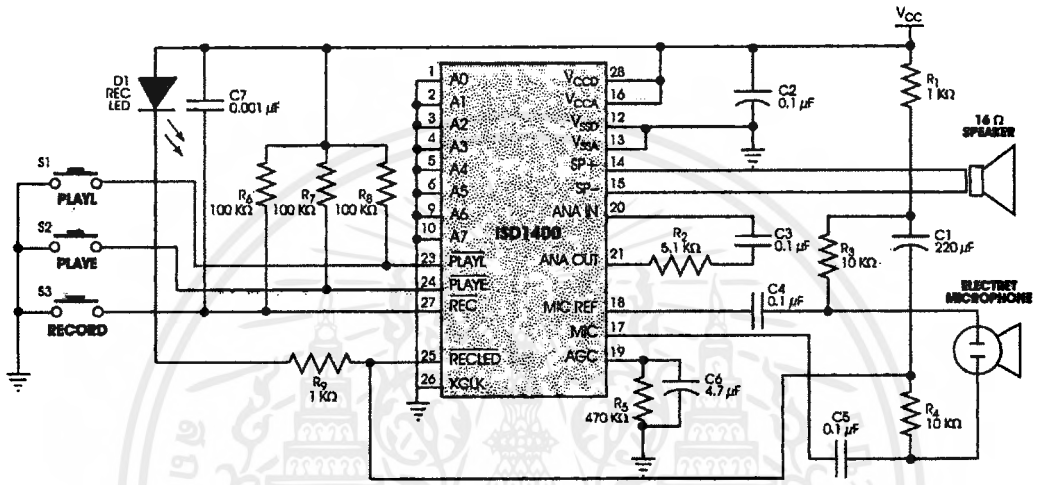
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ ISD 1400

การประยุกต์ใช้งาน

การประยุกต์ใช้งานไอซี ISD 1400 จากลักษณะการทำงานของขาไอซีแต่ละขาที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เราสามารถนำเอาอุปกรณ์ต่างๆมาต่อเข้ากับขาของไอซีได้โดยตรงดังรูป โดยเราสามารถต่อลำโพงขนาด 16 โอห์ม เข้ากับขาไอซีได้โดยตรงเพราะมีตัวเก็บประจุคับปลิ้งอยู่ภายในเรียบร้อยแล้ว ส่วนไมโครโฟนนั้นหากใช้แบบไดนามิกไมโครโฟนก็สามารถต่อเข้ากับอินพุตไมโครโฟนหรือไอซีได้โดยตรงหากเป็นแบบคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนจะต้องมีการไบอัสค่าแรงดันให้กับไมโครโฟนอย่างเหมาะสมดังที่ได้แสดงไว้ในวงจรประยุกต์ใช้งานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งานไอซีนอกเหนือจากนั้นก็คือ การประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม และการพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ก็สามารถที่จะทำให้ ISD1400 ทำการบันทึกและเล่นกลับได้ในหลากหลายของฟังก์ชันการทำงานขึ้นกับความสามารถและประสิทธิภาพของโปรแกรมควบคุม



รูปที่ 2.10 วงจรประยุกต์ใช้งานของ ISD 1400

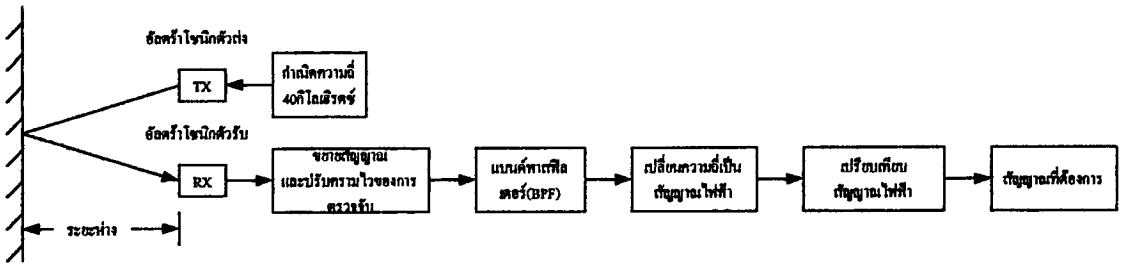
2.2.3 อัลตร้าโซนิค

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวาง สามารถเลือกใช้ได้หลายตัว เช่น อินฟราเรด โฟโต้ทรานซิสเตอร์ อัลตร้าโซนิค เป็นต้น แต่สำหรับในโครงงานนี้เลือกใช้อุปกรณ์อัลตร้าโซนิค เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงและมีราคาที่ไม่แพงจนเกินไป

หลักการทำงานอัลตร้าโซนิค

การตรวจสอบสิ่งกีดขวาง นี้ ทำงาน โดยใช้อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ส่งและรับคลื่นเสียง โดยอุปกรณ์อัลตราโซนิคที่ใช้จะทำงานที่ความความถี่ 40 กิโลเฮิรตซ์ โดยมีสัญญาณไฟสลับมาปรากฏที่เปียซโซอิเล็กตริกคริสตอล ตัวคริสตอลจะสั่นและกำเนิดสัญญาณเสียงออกมา โดยความถี่ที่ใช้คือ 40 กิโลเฮิรตซ์ และเมื่อความถี่ที่ออกมาไปกระทบกับวัตถุ ก็จะเกิดการสะท้อนกลับมายังตัวรับ โดยความถี่ที่สะท้อนจากวัตถุมายังตัวรับจะถูกขยายและปรับค่าความไวแล้วส่งไปยังวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ เพื่อตรวจสอบหาช่วงของความถี่ที่ต้องการและเปลี่ยนความถี่ไปเป็นแรงดันไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้งานต่อไปดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.11 บล็อกไดอะแกรมของการทำงานเบื้องต้นของอัลตร้าโซนิค

ข้อดี ของการใช้อัลตร้าโซนิคในการตรวจสอบสิ่งกีดขวาง คือ สีของวัตถุจะไม่มีผลต่อการตรวจ สอบสิ่งกีดขวางของอัลตร้าโซนิค

ข้อเสียของการใช้อัลตร้าโซนิคในการตรวจสอบสิ่งกีดขวาง คือ การปรับเสถียรภาพของอัลตร้าโซนิคทำได้ยากเนื่องจากมีความถี่รบกวน และความไวต่อความถี่ของตัวรับที่ไวต่อความถี่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 อุปกรณ์ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรเลอร์ขนาด 8 บิต ที่มีอุปกรณ์สนับสนุนอยู่ภายใน หลายอย่างได้แก่ หน่วยความจำ สำหรับเก็บข้อมูล หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ อุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม เนื่องจากโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ภายในนี้เอง ทำให้การใช้งานง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดย ไม่ต้องมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมมากเหมือนกับตัวไมโคโปรเซสเซอร์ทั่วไป นอกจากนี้หากเราต้องการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอุปกรณ์อื่นเพิ่มเติม เช่น ไอซี 8255 หรือหน่วยความจำภายนอก เรายังสามารถนำมาเชื่อมต่อเพิ่มเติมเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อีกด้วย

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีให้เลือกใช้หลายเบอร์ดังแสดงในตารางที่ 2.3

Device Name	EPROM	ROM Bytes	RM Bytes	16 BIT TIMER/COUNTER	INTERRUPT
8031	-	-	128*8	2	5
8031 AH	-	-	128*8	2	5
8031 BH	-	-	128*8	2	5
8032 AH	-	-	256*8	3	6
8051	-	4K*8	128*8	2	5
8051 AH	-	4K*8	128*8	2	5
8051 BH	-	4K*8	128*8	2	5
8052 AH	-	8K*8	256*8	3	6
8751 H	4K*8	-	128*8	2	5
8752 H	8K*8	-	256*8	3	6

ตารางที่ 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โครงสร้างภายในพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51เบอร์ 8051 แสดงในรูปที่ 2.11 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

-หน่วยความจำภายในสำหรับเก็บข้อมูลขนาด 128 ไบต์ (Internal data memory 128 byte)

-หน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมขนาด 4 กิโลไบต์ (Internal program memory 4 Kbytes)

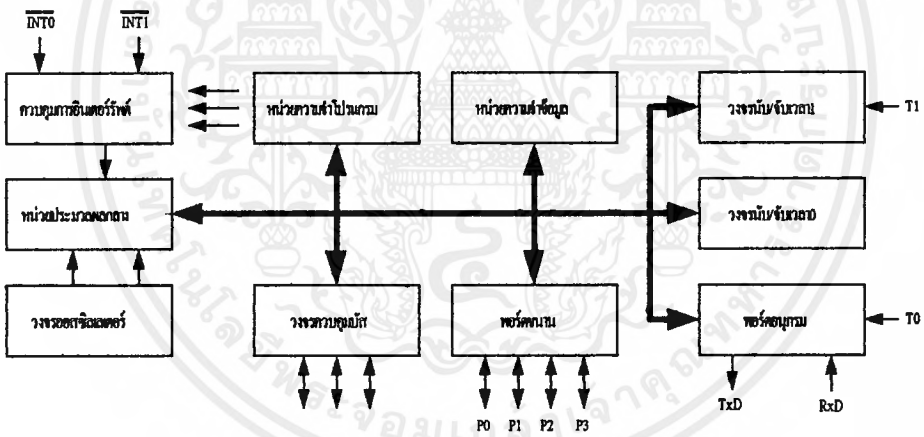
-อุปกรณ์ควบคุมการอินเตอร์รัพต์ (Interrupt Control Unit)

-ตัวตั้งเวลาและตัวนับขนาด 16 บิต 2 ชุด (Timer/Counter0 and Timer/Counter1)

-พอร์ตควบคุมการสื่อสารอนุกรมแบบ Full Duplex ซึ่งสามารถรับและส่งข้อมูลพร้อมกันได้

-พอร์ตขนานสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกจำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต

-วงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายใน



รูปที่2.12 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8051

การทำงานของส่วนประกอบต่างๆ ที่อยู่ในไมโครคอนโทรเลอร์จะเป็นดังต่อไปนี้

2.2.3.2 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Internal Program Memory)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมทำหน้าที่เก็บโปรแกรมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยหน่วยความจำจะเป็นแบบ ROM มีความจุ 4 Kbytes (ตำแหน่ง 0000H-0FFFH) ในการใช้งาน เราสามรถกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกใช้โปรแกรมที่เก็บอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำ (EPROM) ที่อยู่ภายนอกก็ได้ การเลือกการติดต่อทำได้โดยการป้อนสัญญาณควบคุมให้ที่ขา EA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(External Access) ถ้าต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต่อขานี้กับลอจิก 1 หากต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอกจะต่อขานี้กับลอจิก 0 การติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกจะติดต่อได้ทั้งหมด 64 Kbytes (ตำแหน่ง 0000H-FFFFH)

ในกรณีที่กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อได้ 4 Kbytes (สำหรับเบอร์ 8051)
หากตำแหน่งของโปรแกรม มีค่าเกินกว่าตำแหน่งของหน่วยความจำภายใน (โปรแกรมยาวเกินกว่า 4Kbytes) ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายนอกอัตโนมัติ

2.2.3.3 หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory)

หน่วยความจำข้อมูลภายในทำหน้าที่เก็บข้อมูลทั่วไป แบะทำหน้าที่เป็นสแตก (Stack) บางส่วนหน่วยความจำข้อมูลภายในของเบอร์ 8051 มีอยู่ 128 ไบต์ โดยอยู่ในตำแหน่ง 00H-7FH

2.2.3.4 อุปกรณ์ควบคุมการอินเตอร์รัพต์ (Interrupt Control Unit)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการอินเตอร์รัพต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีการร้องขออินเตอร์รัพต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด คือ สัญญาณจากภายนอก 2 สัญญาณจากตัว Timer0, Timer1 และ Timer2 (เบอร์ 8051 มี Timer เพียง 2 ตัวดังนั้นจะมีแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัพต์ 5 แหล่ง) และจากอุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม 1 สัญญาณ สัญญาณอินเตอร์รัพต์ที่เกิดขึ้นเราสามารถควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตอบรับหรือไม่ตอบรับก็ได้ นอกจากนี้เรายังสามรถจัดลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัพต์ (Interrupt priority) จากสัญญาณต่าง ๆ ได้เป็น 2 ระดับแตกต่างกัน

2.2.3.5 ตัวตั้งเวลาและตัวนับ (Timer/Counter)

ในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ตัวตั้งเวลาตัวนับขนาด 16 บิตจำนวน 2 ชุด คือ Timer0 และ Timer1 สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8052 จะมี Timer2 เพิ่มขึ้นอีก 1 ตัวโดย Timer ทั้งหมดสามารถกำหนดให้ทำงานในลักษณะของตัวนับหรือตัวจับเวลาก็ได้

การทำงานในโหมดของตัวตั้งเวลา ค่าในรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นทุก ๆ แมชชีนไซเกิลโดย 1 แมชชีนไซเกิลประกอบด้วยสัญญาณนาฬิกา 12 ลูก ดังนั้นอัตราการจับเวลาจะเป็น 1/12 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกาของระบบ ค่าสูงสุดที่ตั้งได้คือ 2^{16}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานในโหมดการนับ ค่าของการนับจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ขา T0 หรือ T1 เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ความเร็วในการนับสูงสุดคือ 1/24 เท่าของสัญญาณนาฬิกา โดยสัญญาณที่เข้ามาที่ขา T0 หรือT1 จะมี Duty Cycle เท่าใดก็ได้

2.2.3.6 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ประกอบด้วยพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง (Bidirectional) จำนวน 4 พอร์ต แต่ละพอร์ตมีอุปกรณ์แลทช์ข้อมูลและเอาต์พุตไดรเวอร์ประกอบอยู่ทางด้านเอาต์พุต และทางด้านอินพุตจะมีบัฟเฟอร์ (พอร์ตทั้ง 4 เป็นรีจิสเตอร์พิเศษชื่อ P0, P1, P2 และ P3) เราสามารถใช้งานแต่ละพอร์ตเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้ตามต้องการ แต่ละบิตของพอร์ตสามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณ TTL ได้โดยตรง

ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกพอร์ต P0 และ P2 จะใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอก โดยพอร์ต P0 จะทำงานในลักษณะของมัลติเพล็กซ์คือเป็นทั้งพอร์ตตำแหน่งและพอร์ตข้อมูล โดย P0 จะเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำด้านต่ำ (Low byte) และ P2 จะเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำด้านสูง (High byte)

2.2.3.7 สัญญาณต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

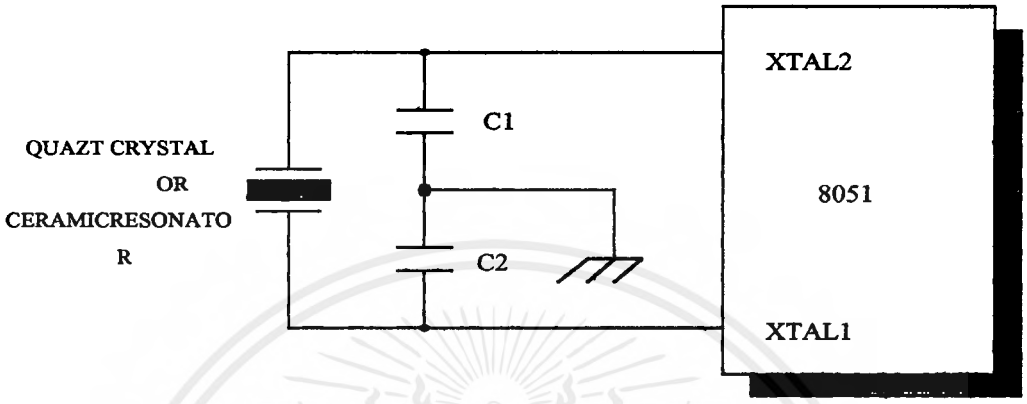
ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 เป็นไอซีขนาด 40 ขาซึ่งมีสัญญาณต่าง ๆ สัญญาณต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถจำแนกตามการทำงานเป็น 3 กลุ่ม คือ

- กลุ่มสัญญาณตำแหน่ง เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำ
- กลุ่มสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- กลุ่มสัญญาณข้อมูลเป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์กับหน่วยความจำ หน้าที่และการใช้งานของสัญญาณต่าง ๆ เป็นดังนี้

- VCC สำหรับต่อกับไปเลี้ยง 5 โวลท์
- VSS สำหรับต่อกับกราวน์
- XTAL1 เป็นอินพุตของภาคขยายสัญญาณแบบอินเวิร์สของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา
- XTAL2 เป็นเอาต์พุตของภาคขยสยสัญญาณแบบอินเวิร์สของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา

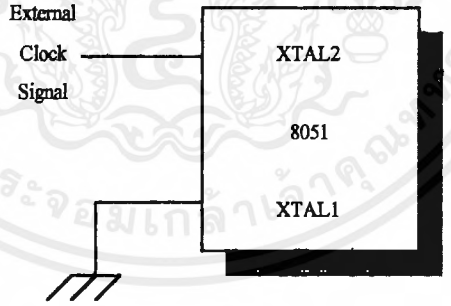
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อใช้งานของขา XTAL1 และ XTAL2 เพื่อสร้างวงจรผลิตสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้คริสตอลสามารถทำได้ดังรูปที่2.12



รูปที่ 2.13 การต่อสัญญาณนาฬิกาที่ขา XTAL1 และ XTAL2

หากต้องการใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกจะต่อ XTAL1 ลงกราวด์และต่อสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกเข้าที่ขา XTAL2 ดังรูปที่ 2.13

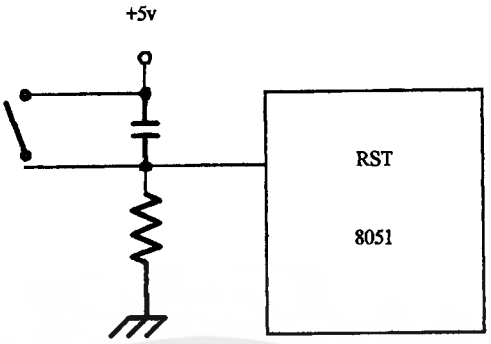


รูปที่ 2.14 การใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก

- RST

สัญญาณรีเซต ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกรีเซตเมื่อสัญญาณที่ขานี้มีค่าเป็น ลอจิก 1 นานไม่ต่ำกว่า2 แมชชีนไซเกิล การต่อขารีเซตจะเป็นดังรูป 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การต่อสัญญาณรีเซต

- ALE/RPOG : (Address Latch Enable)

เป็นเอาต์พุตซึ่งไมโคร คอนโทรลเลอร์จะส่งออก ไปเป็นพัลส์เพื่อแลทช์ค่าตำแหน่งไบต์ต่ำที่อยู่ที่พอร์ตP0ในขณะติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกสัญญาณนี้จะถูกส่งออกไปด้วยอัตราคงที่คือ 1/6 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกาซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับอุปกรณ์ภายนอกได้ สัญญาณพัลส์นี้จะถูกข้ามไปพัลส์เมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory) และสัญญาณนี้จะใช้เป็นอินพุตเพื่อควบคุมโปรแกรม PROM ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วย

- PSEN (Program Store Enable)

เป็นเอาต์พุต สำหรับส่งสัญญาณสโตรป (พัลส์ต่ำ)เพื่ออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) เมื่อซีพียูอ่านรหัสคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก จะส่งสัญญาณสโตรปออกมา 2 ครั้งใน 1 แมชชีนไซเกิลแต่สัญญาณสโตรปทั้ง 2 ครั้งจะถูกข้ามไปหากเป็นช่วงที่ซีพียูติดต่อกับ External Data Memory

- EA (External Access)

เป็นสัญญาณอินพุต ใช้สำหรับควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกติดต่อโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรมภายใน หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หากให้ค่าลอจิก 1 ที่ขานี้จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หากต้องการให้ซีพียูติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกต้องต่อสัญญาณเข้ากับลอจิก 0 หรือ VSS ถึงแม้ว่าเบอร์ 8031 ไม่มี EPROM ภายในต้องต่อขานี้ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราวด์ด้วย ในกรณีของการโปรแกรม ROM ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะต่อขานี้เข้ากับไฟ 21 V ถ้าเป็น 8751 AH แต่หากเป็น 8751 BH ต้องต่อกับ 12.75 V

- Port 0

เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทางแบบ Open drain ขนาด 8 บิต P0.1 – P0.7 เมื่อใช้เป็นเอาต์พุตสามารถต่อกับไอซี TTL ตระกูล LS ได้ 8 ตัว เมื่อต้องการใช้งานเป็นอินพุตต้องส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้ลอยซึ่งจะเป็นอิมพีแดนซ์สูงพอร์ต P0 จะทำงานอีกหน้าที่หนึ่งคือ เป็นมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณตำแหน่งด้านต่ำและสัญยาณข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก การทำงานในลักษณะนี้จะใช้การพุลอัพ (Pull up) จากภายในที่สามารถจ่ายกระแสให้กับอินพุตของ TTL ได้ 8 ตัว นอกจาก 2 หน้าที่ดังกล่าวแล้ว พอร์ต P0 ยังใช้เป็นตัวรับข้อมูลในช่วงการโปรแกรม EPROM ซึ่งจะต้องใช้พูลอัพจากภายนอกในขณะทำการตรวจสอบโปรแกรมการสร้างสัญญาณตำแหน่ง A0-A7 และสัญญาณข้อมูล D0-D7 ทำโดยใช้อุปกรณ์แลทช์ข้อมูลอุปกรณ์ที่นำมาใช้แลทช์ตำแหน่ง A0-A7 ที่ออกมาจากพอร์ต P0 คือ ไอซี 74LS373 ซึ่งเป็น 8 บิตแลทช์เราสามารถนำมาต่อใช้งานได้

-Port 1

เป็นพอร์ตอินพุต / เอาต์พุตแบบ 2 ทาง ขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายใน ในกรณีเอาต์พุตจะต่อกับอินพตุของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการใช้เป็นอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิกออกไปที่พอร์ตนี้ก่อน เพื่อทำให้เกิดพูลอัพภายใน เมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็น 0 เข้ามาจะทำให้ พอร์ตจ่ายกระแสอออกเนื่องจากมีการพูลอัพภายใน นอกจากนี้พอร์ต P1 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งด้านต่ำในช่วงของการโปรแกรม EPROM และช่วงการตรวจสอบโปรแกรมใน ROM หรือ EPROM อีกด้วย สำหรับเบอร์ 8032 AH และ 8052 AH ขา P1.0 และ P1.1 จะทำหน้าที่เป็น T2 และ T2EX อีกหนึ่งหน้าที่

- Port 2

เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทาง ขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายใน ในกรณีเอาต์พุตจะต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการทำเป็นอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิกออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้เกิดการพูลอัพภายใน เมื่อสัญญาณอินพุตเข้ามาเป็น 0 จะทำให้พอร์ต P2 จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพภายใน ในระหว่างการติดต่อกับโปรแกรมภายนอกหรือการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่มีการอ้างตำแหน่งแบบ 16 บิต พอร์ต P2 จะส่งตำแหน่งไบต์สูงออกไป ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จะมีการพูลอัพภายในอยู่ ในช่วงของการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่มีการพูลอัพภายในอยู่ ในช่วงของการติดต่อกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่ใช้การอ้างตำแหน่งแบบ 8 บิต (คำสั่ง MOVX @Ri) สัญญาณที่ขาของพอร์ต P2 จะมีค่าเท่ากับรีจิสเตอร์ P2 ที่อยู่ใน SFR นอกจากนี้พอร์ต P2 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งไบต์สูง ในช่วงของการโปรแกรม EPROM และการตรวจสอบโปรแกรมใน ROM และ EPROM อีกด้วย

-Port 3

เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต 2 ทาง ขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายในในกรณีเอาต์พุต สามารถต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการทำเป็นอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้เกิดการพูลอัพภายใน เมื่อสัญญาณอินพุตเข้ามาเป็น 0 จะทำให้พอร์ต P3 จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพภายใน นอกจากนี้ พอร์ต P3 ยังทำหน้าที่เป็นสัญญาณอื่น ๆ อีกดังนี้

พอร์ต	สัญญาณ	หน้าที่
P3.0	RXD	อินพุตของพอร์ตอนุกรม
P3.1	TXD	เอาต์พุตของพอร์ตอนุกรม
P3.2	INT0	สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากาภายนอกตัวที่ 0
P3.3	INT	สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกตัวที่ 1
P3.4	T0	อินพุตจากภายนอกของตัวตั้งเวลา 0
P3.5	T1	อินพุตจากภายนอกของตัวตั้งเวลา 1
P3.6	WR	สัญญาณการเขียนข้อมูลออกไปภายนอก
P3.7	RD	สัญญาณการอ่านข้อมูลจากภายนอกเข้ามา

ตารางที่ 2.4 สัญญาณต่าง ๆ ของพอร์ต P3

เมื่อต้องการใช้งานพอร์ต P3 ให้ทำหน้าที่เป็นสัญญาณต่าง ๆ จะต้องเริ่มด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปแลทช์ที่พอร์ต P3 ก่อนเพื่อให้เกิดการพูลอัพภายใน หากเรากำหนดให้มีค่าลอจิก 0 จะทำให้สัญญาณที่ขาต่าง ๆ มีค่าเป็น 0 ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
โครงสร้างของระบบหุ่นยนต์ลำเลียง

3.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

3.1.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์

หุ่นยนต์ชนิดนี้มีลักษณะเป็นรถชนิดปรับทิศทางและรับส่งวัสดุอัตโนมัติ โดยการทำงานจะถูกควบคุมโดยอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์และโปรแกรมของไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51 ลักษณะทั่วไปเป็นแบบ 4 ล้อ ขับเคลื่อนด้วยล้อหลังและบังคับเลี้ยวด้วยล้อหน้า

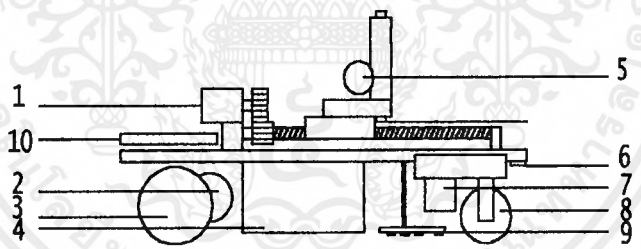
หุ่นยนต์มีขนาด 38x42x50 เซนติเมตร

หุ่นยนต์มีน้ำหนัก 20 กิโลกรัม

หุ่นยนต์มีความเร็ว 5 เมตร ต่อ นาที

หุ่นยนต์มีรัศมีการเลี้ยวสูงสุด 15 องศา

โครงรถทำจากเหล็กภายในมีอุปกรณ์ต่างๆทำงานเชื่อมโยงกัน ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 3.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์

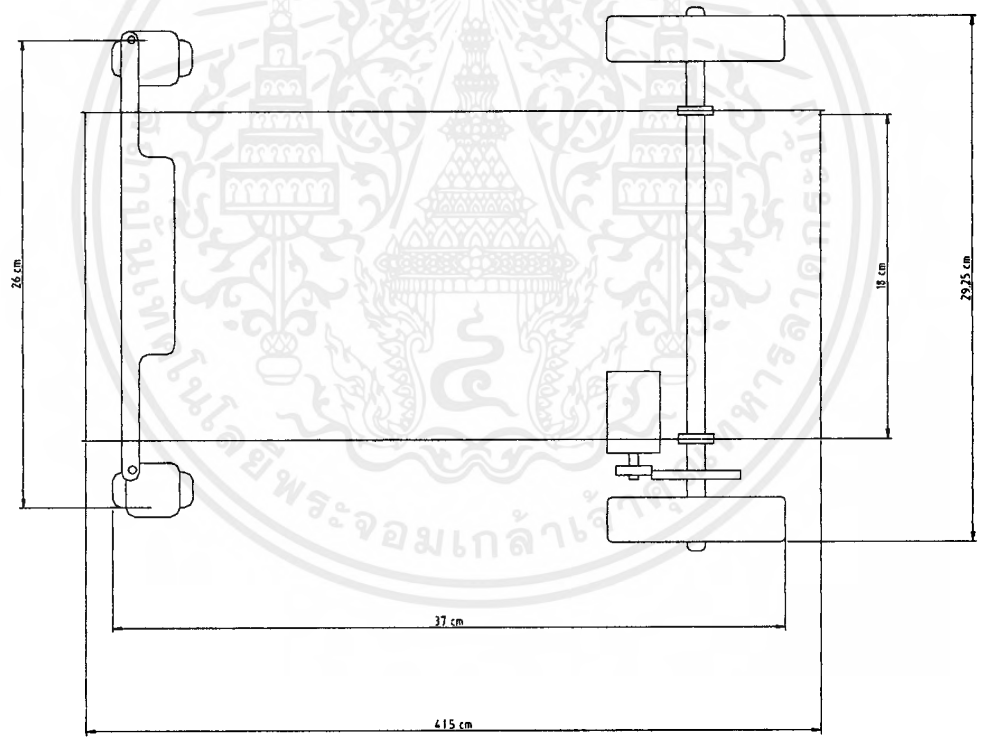
1. มอเตอร์ยกของใช้ในการเลื่อนเข้าและเลื่อนออก (M3)
2. มอเตอร์ขับเคลื่อน (M1)
3. ล้อหลัง เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร
4. แบตเตอรี่
5. มอเตอร์ยกของใช้ในการยกขึ้นและยกลง (M4)
6. อุปกรณ์อินฟาเรดใช้ตรวจจับสิ่งกีดขวาง
7. มอเตอร์ควบคุมการเลี้ยว
8. ล้อหน้า เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. โฟโต้ทรานซิสเตอร์ ใช้ตรวจสอบเส้นทางและตรวจหาตำแหน่งรับส่งของ

10. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และโคดอนโทรลเลอร์ MCS-51

ลักษณะภายนอกของหุ่นยนต์เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างทั้งหมดจะถูกติดตั้งรวมกันไว้ทั้งหมดภายในตัวโครงนี้ทั้งหมด ซึ่งวัสดุที่ใช้ทำโครงทำมาจากเหล็ก เนื่องจากเหล็กมีราคาถูก แข็งแรง และสามารถเชื่อมต่อกันง่าย ลำตัวหุ่นยนต์มีความยาว 42 เซนติเมตร ความกว้าง 18 เซนติเมตร ความสูง 36 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.2

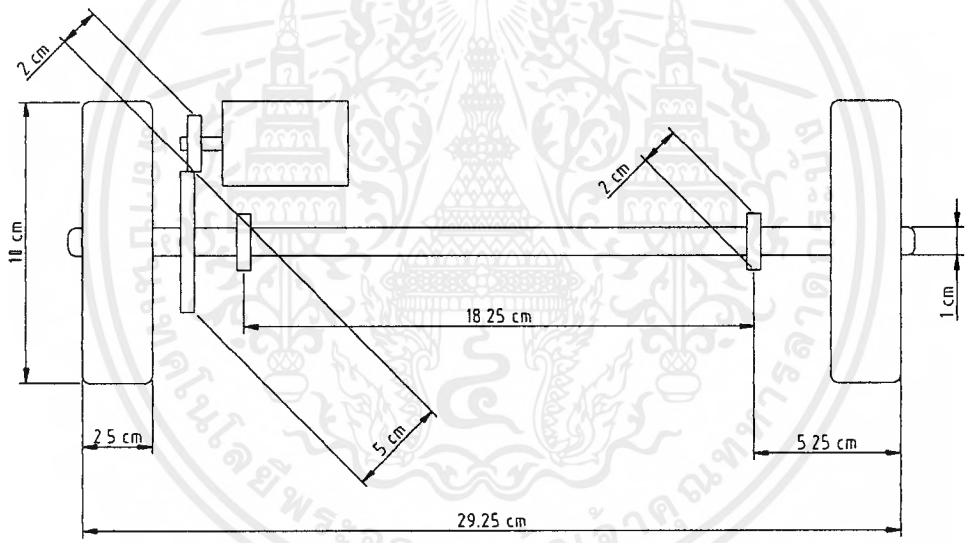


รูปที่ 3.2 ขนาดโครงสร้างของหุ่นยนต์ลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ระบบขับเคลื่อน

ระบบขับเคลื่อนมีต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ โดยมีการทดเฟืองจากแกนของมอเตอร์กับแกนของเพลาหมุนล้อ ในการเพิ่มแรงบิดให้มอเตอร์ให้สูงขึ้นเพื่อลดความเร็วของมอเตอร์ และให้มอเตอร์สามารถขับเคลื่อนหุ่นยนต์ที่มีน้ำหนักมากๆ ได้ โดยเฟืองที่ติดตั้งอยู่ที่แกนมอเตอร์มีขนาด 2 เซนติเมตร และเฟืองที่ติดตั้งอยู่ที่แกนเพลาล้อมีขนาด 5 เซนติเมตร และการติดตั้งแกนเพลากับตัวโครงของหุ่นยนต์ เราใส่ลูกปืนแบริ่งขนาด2 เซนติเมตร เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างแกนเพลากับโครงของหุ่นยนต์ในช่วงที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ ดังแสดงในรูป 3.3

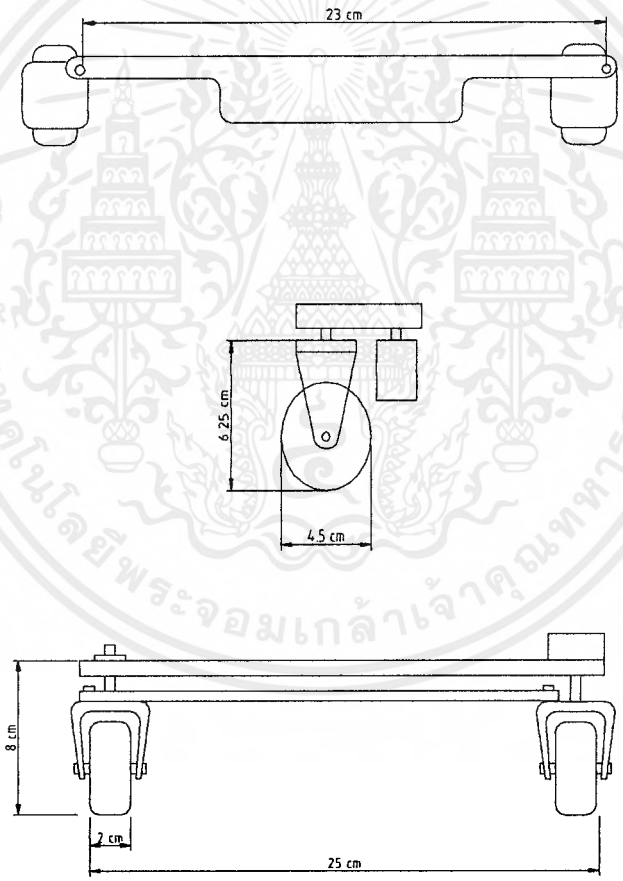


รูปที่ 3.3 การออกแบบระบบขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ระบบบังคับเลี้ยว

ระบบการบังคับเลี้ยวของหุ่นยนต์ลำเลียงนี้ใช้หลักการคล้ายกับการบังคับเลี้ยวของรถยนต์โดยทั่วไป กล่าวคือใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำหน้าที่เหมือนพวงมาลัยรถยนต์ทำหน้าที่หมุนบังคับให้ล้อหน้าทั้งคู่เลี้ยวไปในทิศทางที่กำหนด ซึ่งมีไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการบังคับเลี้ยวแทนมนุษย์ สำหรับข้อมูลในการตัดสินใจของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะได้มาจากโฟโต้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบเส้นทาง ซึ่งติดตั้งอยู่กับคานยึดระหว่างล้อหน้าทั้งสอง สำหรับการออกแบบระบบบังคับเลี้ยวแสดงดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 การออกแบบระบบบังคับเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานเบื้องต้น

เมื่อหุ่นยนต์เริ่มการทำงานครั้งแรก ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะทำการตรวจสอบตำแหน่งของล้อหน้าว่าอยู่ในลักษณะที่เคลื่อนที่ไปเป็นเส้นตรงหรือไม่ โดยตรวจสอบที่โฟโต้ทานซิสเตอร์ตัวกลางว่าตัวรับที่ติดอยู่กับตัวหุ่นยนต์และตัวส่งที่ติดอยู่กับคานดึงล้อหน้าว่าตรงกันหรือเปล่า กล่าวคือถ้าตัวรับและตัวส่งตรงกันแสดงว่าล้อหน้าอยู่ในลักษณะที่เคลื่อนที่ไปเป็นเส้นตรงแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ก็จะสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า แต่ถ้าตัวรับและตัวส่งยังไม่ตรงกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ก็จะสั่งให้มอเตอร์หมุนหาจนกว่าตัวรับและตัวส่งจะตรงกันเสียก่อนจึงจะสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ ลักษณะการทำงานแสดงไว้ในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 การทำงานของระบบบังคับเลี้ยว

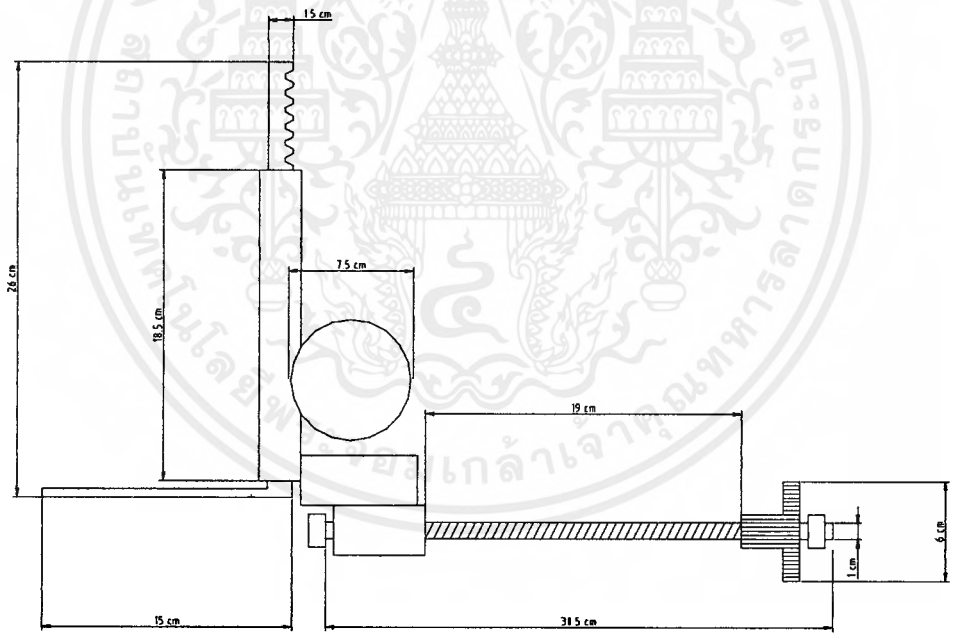
เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปพบกับทางที่จะต้องเลี้ยวซ้าย ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51จะรู้ได้จากโฟโต้ทรานซิสเตอร์ตรวจสอบเส้นทางด้านซ้ายที่เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในแถบเส้นสีดำ ตัวรับแสงจะส่งสัญญาณลอจิก " 0 " เข้ามาที่พอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51ส่งสัญญาณลอจิก " 1 " ออกไปยังเอาต์พุตเพื่อสั่งสั่งให้มอเตอร์บังคับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยวหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เพื่อดึงคานดึงที่ยึดติดกับล้อหน้าทั้งคู่เคลื่อนที่ไปทางซ้าย เป็นผลให้คานดึงนั้นดึงล้อทั้งคู่ให้เลี้ยวซ้ายตามไปด้วย โดยการหมุนของมอเตอร์จะถูกกำหนดให้หมุนได้ไม่เกิน 20 องศา ซึ่งกำหนดได้โดยลิมิตสวิตช์ที่ติดไว้ข้างล้อทั้งสองข้าง หรือจะหมุนจนกว่าโฟโต้ทรานซิสเตอร์ด้านซ้ายจะเคลื่อนที่ออกจากเส้นดำแล้วเท่านั้น ส่วนการเลี้ยวขวานั้นจะทำงานเหมือนกับการเลี้ยวซ้ายแต่ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ และทิศทางการเคลื่อนที่ของคานดึงจะเป็นไปในลักษณะตรงกันข้าม

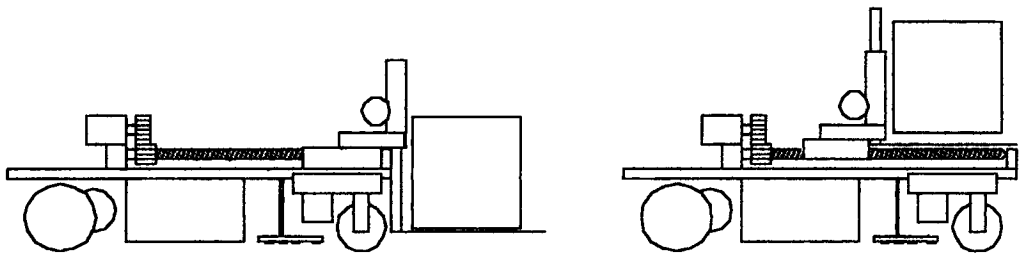
3.1.4 ระบบการรับส่งสิ่งของ

ระบบนี้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 24 โวลต์ จำนวน 2 ตัว โดยมอเตอร์ตัวแรกมีไว้สำหรับการเลื่อนเข้าและเลื่อนออก ส่วนมอเตอร์ตัวที่สองมีไว้สำหรับการยกขึ้นยกลง ซึ่งมอเตอร์ทั้งสองตัวนี้จะทำงานสัมพันธ์กันตามขั้นตอนที่กำหนด ลักษณะการออกแบบแสดงไว้ในรูป 3.6



รูปที่ 3.6 การออกแบบระบบการรับและส่งของ

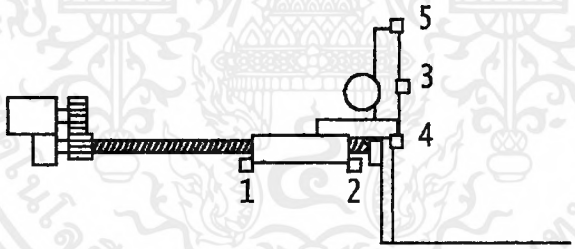
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) การรับส่งของ　　ข) การวางของขณะเคลื่อนที่

รูปที่ 3.7 ลักษณะการทำงานขณะรับและส่งของ

ลำดับขั้นการทำงานจะถูกกำหนดโดยลิมิตสวิตช์ ซึ่งลิมิตสวิตช์จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่เป็นลอจิกไปยังไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51 เพื่อทำการประมวลผลจากโปรแกรมเพื่อสั่งให้มอเตอร์ M1,M3 และ M4 ทำงาน ตำแหน่งการติดตั้งลิมิตสวิตช์ แสดงดังรูปที่ 3.8



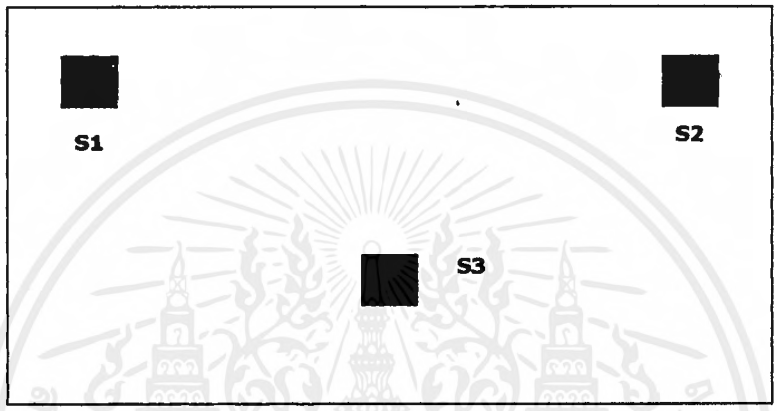
รูปที่ 3.8 ตำแหน่งการติดตั้งลิมิตสวิตช์

1. ลิมิตสวิตช์หยุดการหมุนเพื่อเลื่อนเข้าของมอเตอร์M3
2. ลิมิตสวิตช์หยุดการหมุนเพื่อเลื่อนออกของมอเตอร์M3
3. ลิมิตสวิตช์หยุดการหมุนเพื่อเคลื่อนที่ของมอเตอร์M1
4. ลิมิตสวิตช์หยุดการหมุนเพื่อยกลงของมอเตอร์M4
5. ลิมิตสวิตช์หยุดการหมุนเพื่อยกขึ้นของมอเตอร์M4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 ระบบเซนเซอร์

ระบบเซนเซอร์ที่ใช้ในโครงการนี้มี 3 ระบบคือ ระบบตรวจสอบทิศทางกับระบบตรวจสอบตำแหน่งรับหรือส่งวัสดุ ซึ่งใช้โฟโต้ทรานซิสเตอร์เป็นเซนเซอร์ ซึ่งมีการวางตำแหน่งเซนเซอร์ดังรูปข้างล่างนี้ ส่วนระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางจะใช้อุลตร้าโซนิคเป็นเซนเซอร์ (จะกล่าวในหัวข้อ ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง)



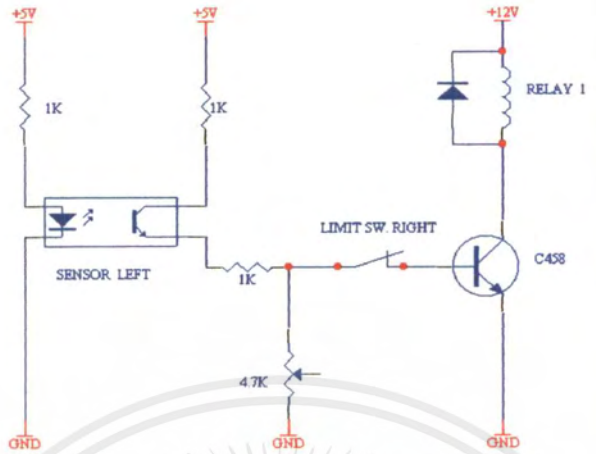
รูปที่ 3.9 การวางตำแหน่งเซนเซอร์

3.1.5.1 การทำงานของระบบตรวจสอบทิศทาง

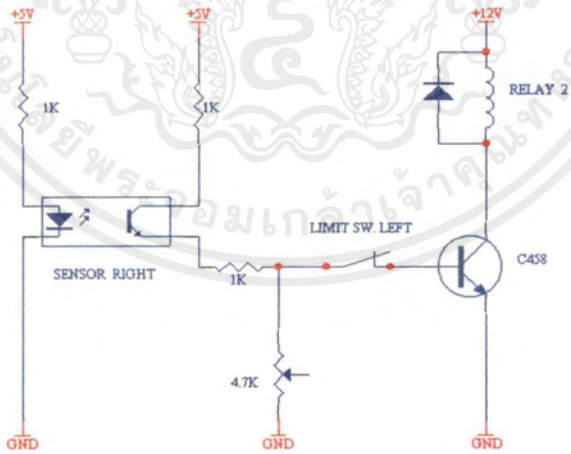
ระบบนี้ใช้เซ็นเซอร์แบบอินฟราเรดจำนวน 2 ตัวเป็นตัวตรวจจับการสะท้อนแสงจากบริเวณริมเส้นด้านนอก การทำงานของระบบจะทำงานโดยที่พื้นที่จะมีแถบนำทางสีดำติดไว้ซึ่งมีความกว้างประมาณ 8 เซนติเมตร ส่วนตัวอุปกรณ์เซนเซอร์ทั้งสองจะทำการตรวจสอบเส้นทางตลอดเวลา เมื่อรถเคลื่อนที่ออกนอกเส้นทางไปทางขวาเซนเซอร์ทางด้านซ้ายจะเลื่อนเข้าสู่เส้นทาง หลังจากนั้นสัญญาณไปยังวงจรควบคุมการเลี้ยวของมอเตอร์หมุนไปทางซ้ายจนกว่าเซนเซอร์ทางด้านซ้ายเลื่อนออกจากแถบเส้น และในกรณีที่รถเคลื่อนที่ออกนอกแถบเส้นไปทางซ้าย ก็จะทำงานในลักษณะเดียวกันคือรถจะถูกบังคับให้เลี้ยวเพื่อกลับมาอยู่ในเส้นทางเดิม

การทำงานของภาคบังคับเลี้ยวจะประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญสองส่วนคือ ส่วนของวงจรเซนเซอร์ และส่วนของวงจรที่ใช้ขับมอเตอร์(DRIVE) ประกอบไปด้วยโฟโต้ทรานซิสเตอร์ 1, 2 จะเป็นตัวที่คอยตรวจจับเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

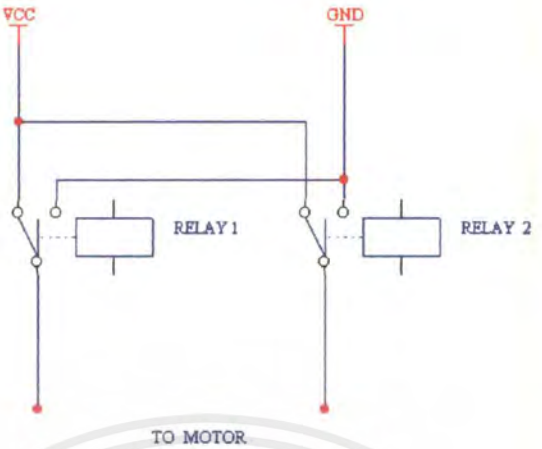


รูปที่ 3.10 วงจรเซนเซอร์ด้านซ้าย



รูปที่ 3.11 วงจรเซนเซอร์ด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 วงจรขับมอเตอร์

การทำงานของวงจร

ก่อนอื่นจะขอกล่าวถึงหลักการสำคัญของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ก่อน กล่าวคือโฟโต้ทรานซิสเตอร์นั้นจะอาศัยหลักการการดูดกลืนและการสะท้อนของแสง วัตถุที่มีสีดำเมื่อมีแสงมาตกกระทบวัตถุนั้นจะดูดกลืนแสงเกือบหมด ส่วนวัตถุที่มีสีขาวเมื่อมีแสงมาตกกระทบแสงส่วนมากจะสะท้อนกลับ จากหลักการนี้เองจึงได้มีการพัฒนาเป็นโฟโต้ทรานซิสเตอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

จากวงจรที่ 1 และ 2 เมื่อโฟโต้ทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวอยู่นอกเส้นทาง(สีขาว) จะทำให้รีเลย์(Relay)1 และ 2 ทำงาน แต่จากวงจรรูปที่ 3 จะพบว่ามอเตอร์จะหมุนซ้ายหรือหมุนขวาก็ต่อเมื่อรีเลย์ทั้งสองอยู่ในสถานะที่แตกต่างกัน ดังนั้นตอนนี้มอเตอร์ยังไม่ทำงาน เมื่อโฟโต้ทรานซิสเตอร์ ตัวใดตัวหนึ่งล้ำเข้ามาอยู่ในเส้นทาง(สีดำ) จะทำให้มอเตอร์หมุนจนกว่าจะไปชนลิมิตสวิตช์ หรือหมุนจนเซนเซอร์อยู่ภายนอกเส้นทาง ซึ่งแกนของมอเตอร์จะต่อกับล้อของหุ่นยนต์ทำให้หุ่นยนต์สามารถเลี้ยวได้

3.1.5.2 การทำงานของระบบตรวจสอบตำแหน่งการรับส่งสิ่งของ

ระบบนี้ใช้เซนเซอร์แบบอินฟราเรดจำนวน 3 ตัวติดไว้อยู่ตรงกลางตัวรถ เป็นตัวตรวจจับแสงที่สะท้อนมาจากแถบรหัสที่ติดไว้ตรงกลางของเส้นแถบนำทาง เมื่อรถเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่งรับของคือจุดที่ติดแถบรหัสเซนเซอร์จะตรวจจับแสงที่สะท้อนมาแล้วส่งสัญญาณที่เป็นลอจิกไปยังไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51 เพื่อประมวลผลว่าเป็นตำแหน่งที่ต้องรับของหรือส่งของ หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51จะควบคุมให้หุ่นยนต์ทำการรับหรือส่งของตามโปรแกรมที่กำหนดไว้

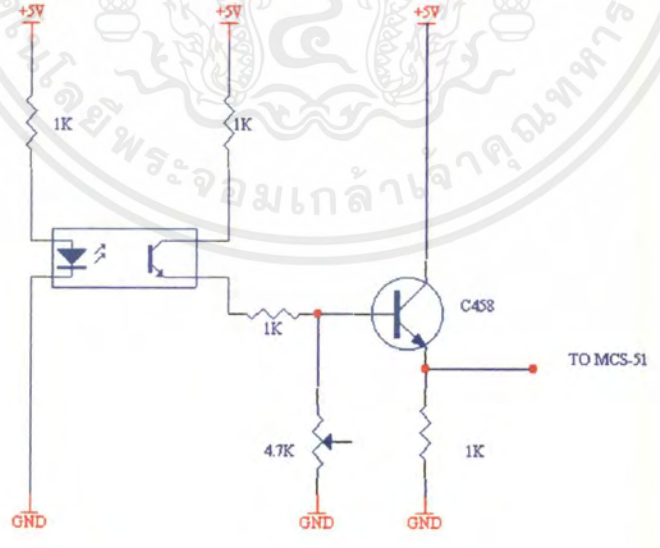
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟโต้ทรานซิสเตอร์ S3, S4 และ S5 ติดตั้งเพื่อที่จะเป็นตัวตรวจจับสัญญาณที่อยู่ภายในเส้นทางซึ่งเราจะกำหนดแถบสีของจุดที่ใช้เป็นสถานีรับและสถานีส่งให้มีรหัส(CODE) ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้หุ่นยนต์ทราบว่าตอนนี้ถึงจุดรับของหรือจุดส่งของ สัญญาณที่ได้จากโฟโต้ทรานซิสเตอร์ S3, S4 และ S5 จะถูกส่งเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะนำไปประมวลผลต่อไป

การกำหนดตำแหน่งรับและส่งของ กำหนดได้ตามแถบรหัสดังนี้

ตำแหน่ง	S1	S2	S3
รับของ	0	0	1
ส่งของ	0	0	1

ตารางที่ 3.1 การติดตั้งแถบรหัส



รูปที่ 3.13 วงจรของเซนเซอร์ S3, S4 และS5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5.3 การทำงานของระบบตรวจสอบสิ่งกีดขวาง

ระบบนี้ใช้เซนเซอร์แบบอุลตร้าโซนิค โดยเซนเซอร์จะถูกติดอยู่ด้านหน้าของตัวหุ่นยนต์ โดยอุลตร้าโซนิคทำการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้า เมื่อตรวจเจอสิ่งกีดขวางเซนเซอร์จะส่งสัญญาณไปให้ไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51สั่งให้มอเตอร์ทั้งหมดหยุดทำงานและส่งสัญญาณเตือนให้นำสิ่งกีดขวางออกนอกเส้นทาง เมื่อนำสิ่งกีดขวางออกจากเส้นทางแล้ว ทำให้เซนเซอร์ตรวจไม่พบสิ่งกีดขวางแล้วเซนเซอร์จึงส่งสัญญาณไปยัง ไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51 หยุดการเตือนและสั่งให้มอเตอร์ทำงานตามปกติ

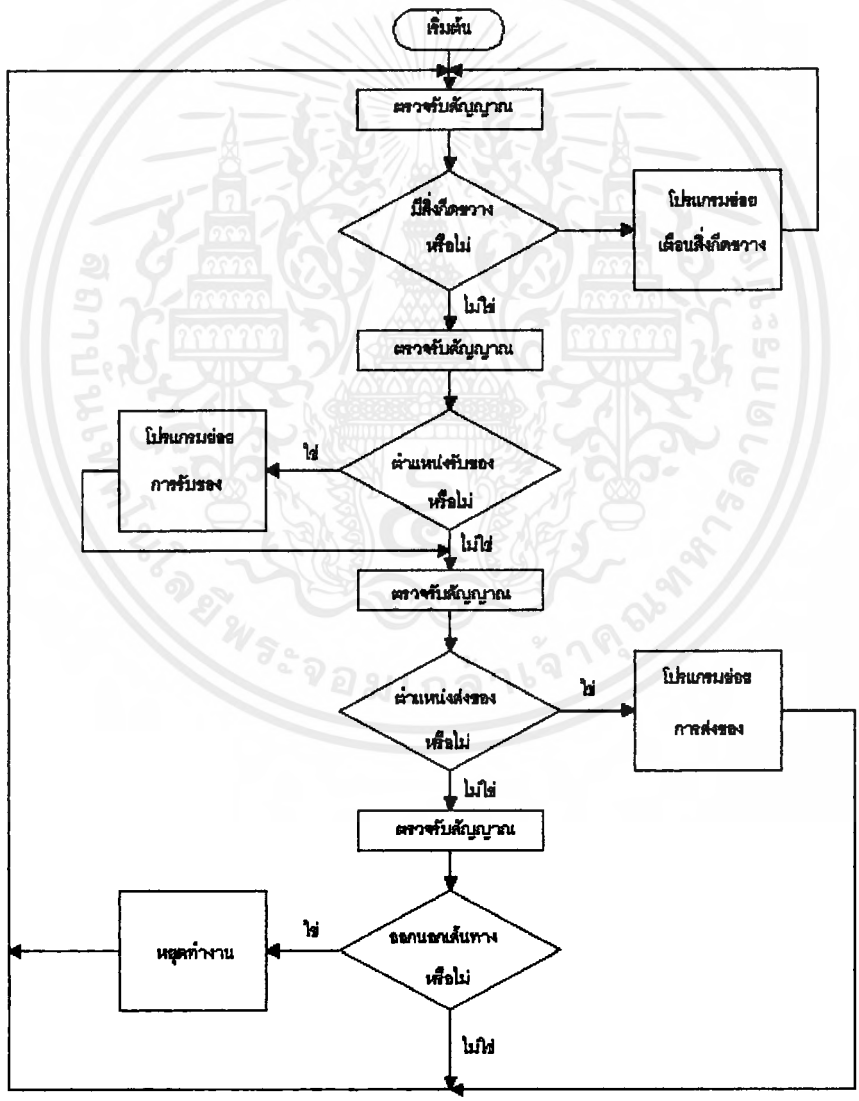
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์

การออกแบบซอฟต์แวร์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ การออกแบบระบบการรับส่งของ และการออกแบบระบบการบังคับเลี้ยว

3.2.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ระบบการรับส่งของ

การออกแบบซอฟต์แวร์นั้นจะมีส่วนการทำงานย่อยหลักอยู่ 3 ส่วนคือ โปรแกรมย่อยเตือนสิ่งกีดขวาง โปรแกรมย่อยการรับของ และโปรแกรมย่อยการส่งของจะทำงานเมื่อถึงตำแหน่งให้ส่งของ สามารเขียนลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลักได้ดังโฟลชาร์จต่อไปนี้



รูปที่ 3.14 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโปรแกรมการรับของสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

Limit SW.					M1	M2		M3		สภาวะ
1	2	3	4	5	P1.4	P1.0	P1.2	P1.3	P1.4	
X	X	X	X	X	1	0	0	0	0	ไม่อยู่ในสภาวะรับส่ง
1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	(เริ่มรับ) เลื่อนออก
0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	หยุดเลื่อนออก ยกลง
0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	หยุดยกลง รถเคลื่อนที่
0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	หยุดรถ ยกขึ้น
0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	หยุดยกขึ้น เลื่อนเข้า
1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	หยุดเลื่อนเข้า ออกรถ

ตารางที่ 3.2 สภาวะการทำงานโปรแกรมการรับของ

การทำงานของโปรแกรมการส่งของสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.3

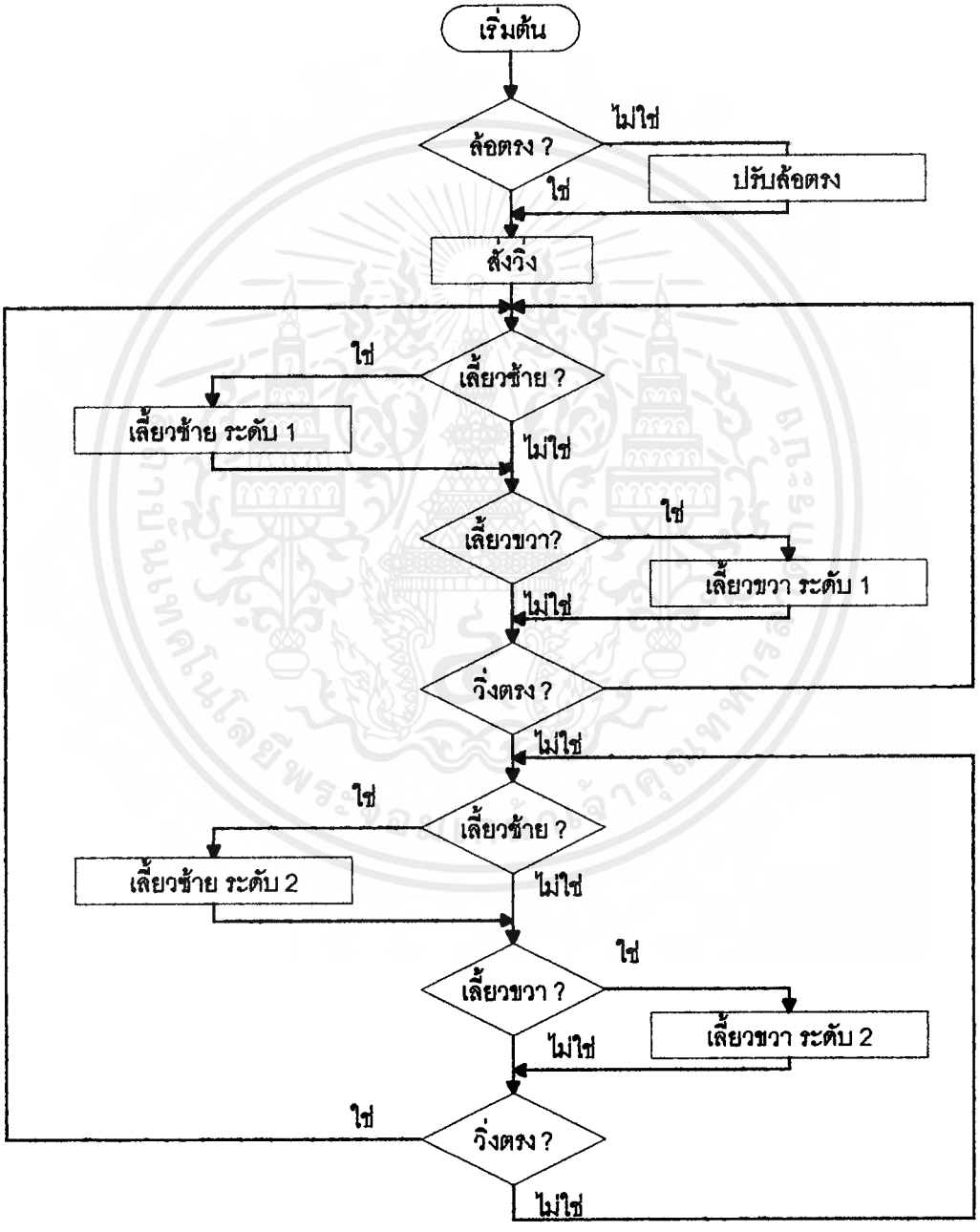
Limit SW.					M1	M2		M3		สภาวะ
1	2	3	4	5	P1.4	P1.0	P1.1	P1.2	P1.3	
X	X	X	X	X	1	0	0	0	0	ไม่อยู่ในสภาวะรับส่ง
1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	(เริ่มส่ง) เลื่อนออก
0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	หยุดเลื่อนออก ยกลง
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	หยุดยกลง รอส่งของ
0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	ส่งของเสร็จ ยกขึ้น
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	หยุดยกขึ้น เลื่อนเข้า
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	หยุดเลื่อนเข้า ออกรถ

ตารางที่ 3.3 สภาวะการทำงานของโปรแกรมการส่งของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ระบบการบังคับเลี้ยว

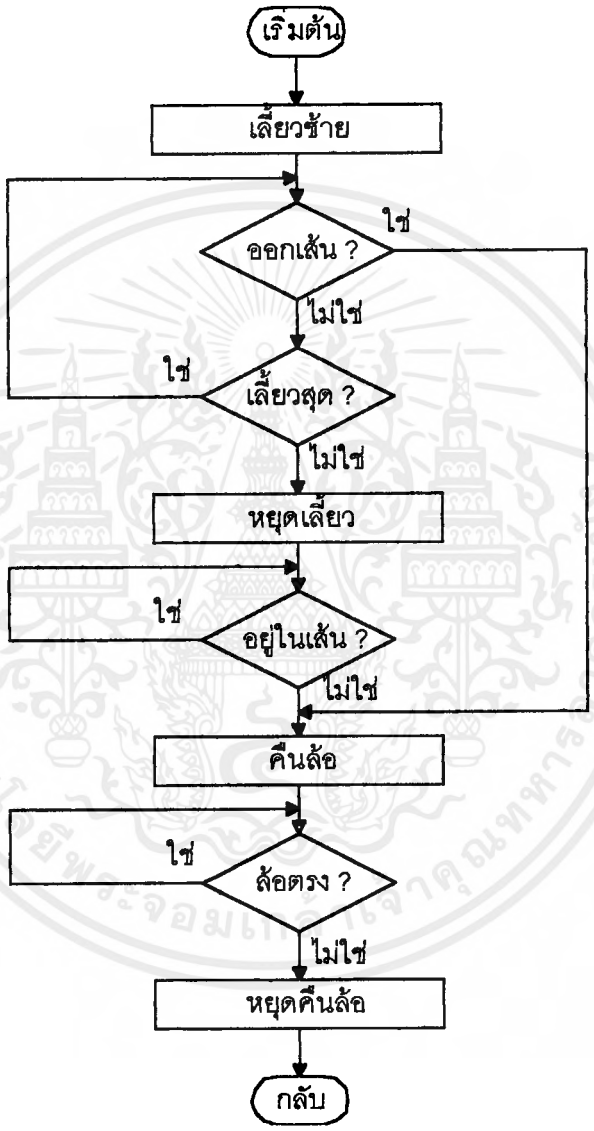
สำหรับการออกแบบของระบบนี้มีส่วนประกอบของโปรแกรมย่อยอยู่ 3 โปรแกรมย่อย คือ โปรแกรมย่อยการปรับล้อตรง โปรแกรมย่อยเลี้ยวซ้าย และโปรแกรมย่อยเลี้ยวขวา ซึ่งสามารถจัดลำดับการทำงานทั้ง 3 โปรแกรมย่อยมาทำงานร่วมกันได้ตามโฟลชาร์จดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 โปรแกรมหลักของระบบการบังคับเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

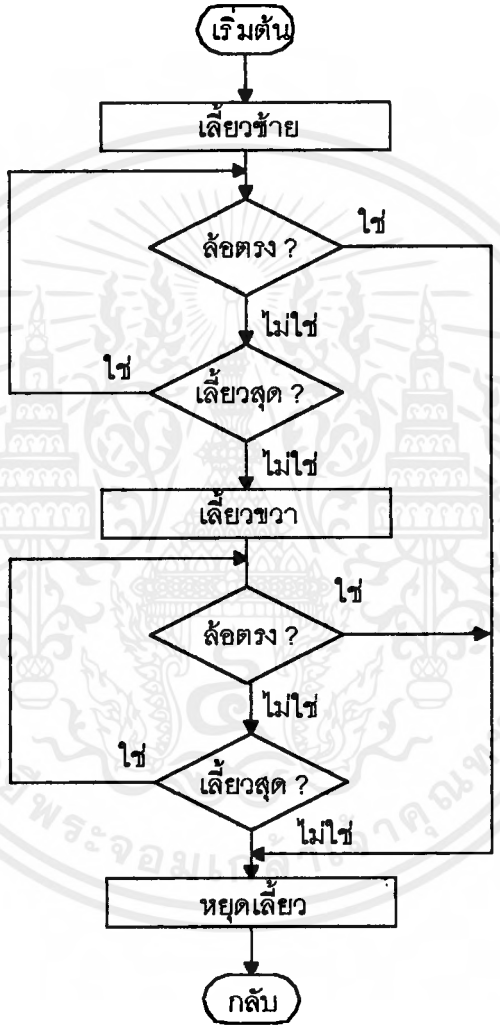
การทำงานของโปรแกรมย่อยการเลี้ยวซ้าย และโปรแกรมย่อยการเลี้ยวขวา จะมีหลักการทำงานที่คล้ายกัน จะต่างกันก็ตรงที่การสั่งให้มอเตอร์บังคับเลี้ยวหมุนซ้ายหรือหมุนขวาเท่านั้น ดังนั้นจึงขอแสดงให้เห็นเพียงหลักการทำงานของโปรแกรมย่อยเลี้ยวซ้ายเท่านั้น แสดงไว้ในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การทำงานของโปรแกรมย่อยเลี้ยวซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของโปรแกรมย่อยการปรับล้อตรง จะทำงานเมื่อเริ่มต้นการทำงานของหุ่นยนต์ คือ ก่อนที่หุ่นยนต์จะเริ่มเคลื่อนที่ ทางไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งตรวจสอบว่าล้อหน้าตรงหรือไม่ ถ้าตรงก็จะสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ แต่ถ้าล้อหน้าไม่ตรงโปรแกรมย่อยปรับล้อตรงทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.17 ก่อนจึงค่อยสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่



รูปที่ 3.17 การทำงานของโปรแกรมย่อยการปรับล้อตรง

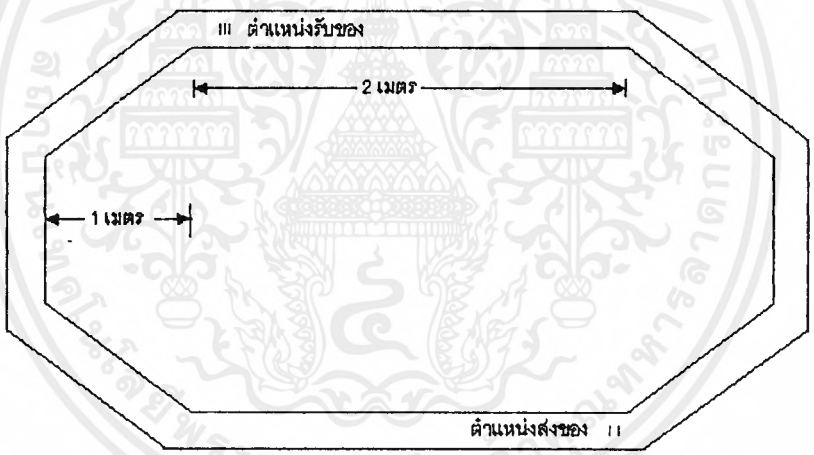
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองการทำงานงานจริงของหุ่นยนต์ ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น3 ส่วน คือ การทดลองระบบตรวจสอบเส้นทาง การทดลองระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง และการทดสอบระบบการรับส่งของ โดยทำการทดลองกับเส้นทางจริง

4.1 การทดลองระบบตรวจสอบเส้นทาง

ทดลองให้เคลื่อนที่ตามแถบเส้นทางที่มีความกว้างประมาณ 8 เซนติเมตร ยาว 21 เมตร ดังแสดงไว้ในดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

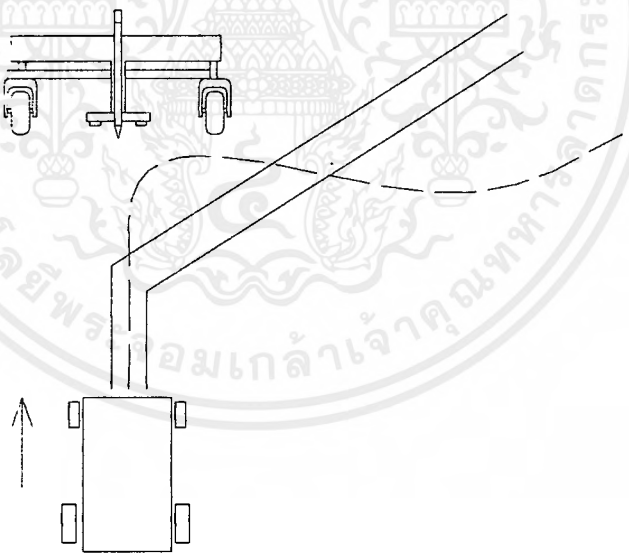
ในการทดลองได้ทำการทดลองหาองศาความโค้งของเส้นทางซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วของรถจะได้องศาความโค้งของเส้นทางที่รถสามารถเคลื่อนที่ได้โดยที่เซนเซอร์ทั้งหมดไม่หลุดออกจากเส้นทางเท่ากับ 30 องศา

การทดลองในหัวข้อนี้ส่วนมากจะมีปัญหาเกี่ยวกับ ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับเส้นทาง และระบบการควบคุม ซึ่งต้องทำการทดลองและแก้ไขถึง 3 วิธี จึงสามารถทำให้การวิ่งของหุ่นยนต์เป็นไปในลักษณะที่เสถียร ซึ่งการทดลองทั้ง 3 วิธี มีดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การทดลองติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจสอบเส้นทางไว้ที่ตัวโครงของหุ่นยนต์

การทดลองนี้จะให้เซ็นเซอร์ตรวจสอบเส้นทางเพียง 2 ตัว คือ เอาไว้ตรวจสอบด้านซ้ายและด้านขวาเท่านั้น เมื่อเซ็นเซอร์ด้านใดเคลื่อนที่เข้าไปในแถบเส้นสีดำ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะสั่งให้เลี้ยวไปทางนั้นทันที จากนั้นจึงตรวจสอบว่าเซ็นเซอร์ด้านนั้นออกจากแถบเส้นสีดำหรือยัง ถ้าออกจากเส้นสีดำแล้วจึงทำการตรวจสอบเส้นทางอีกครั้ง ซึ่งการทดลองใช้วิธีทำให้เกิดปัญหาการหลุดออกจากเส้นทาง เนื่องมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ไม่ได้สั่งให้มีการคืนล้อของล้อหน้าและการหมุนของมอเตอร์บังคับเลี้ยวหมุนในองศาที่เกินความเป็นจริง เพราะเซ็นเซอร์ไม่ได้ถูกติดตั้งให้ควบคุมการเลี้ยวของล้อหน้าโดยตรง แต่จะรอให้จนกว่าเซ็นเซอร์ที่อยู่ที่ตัวหุ่นยนต์เข้าเส้นแถบสีดำก่อนถึงจะสั่งให้มอเตอร์บังคับเลี้ยวหมุนล้อกลับ เป็นผลให้มอเตอร์บังคับเลี้ยวหมุนล้อกลับช้าเกินไป จึงทำให้หุ่นยนต์หลุดออกจากเส้นทาง ลักษณะการเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.2

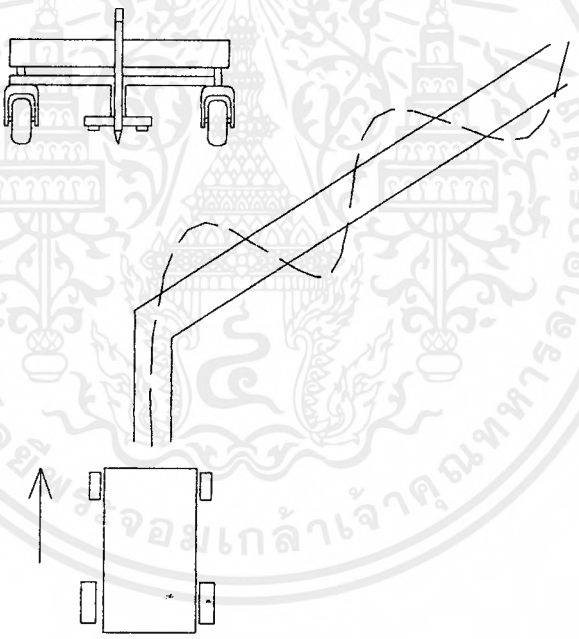


รูปที่ 4.2 การเคลื่อนของหุ่นยนต์เมื่อติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจสอบเส้นทางไว้ที่ตัวโครงของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทดลองติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจสอบเส้นทางไว้ที่คานยึดบังคับเลี้ยวโดยตรง

การทดลองนี้ทำการทดลองคล้ายกับการทดลองในหัวข้อ 4.1.1 แต่จะต่างกันตรงที่ตำแหน่งการติดตั้งของเซ็นเซอร์ตรวจสอบเส้นทาง เป็นตำแหน่งที่ควบคุมการหมุนของมอเตอร์บังคับเลี้ยวโดยตรง การทดลองติดตั้งเซ็นเซอร์ไว้ที่ตำแหน่งนี้ถึงจะไม่ทำเกิดปัญหาการหลุดออกจากเส้นทาง แต่ยังมีปัญหาที่ต้องแก้ไขคือหุ่นยนต์ไม่สามารถวิ่งให้เป็นเส้นตรงได้ ลักษณะการเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจสอบเส้นทางไว้ที่คานดึงบังคับเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

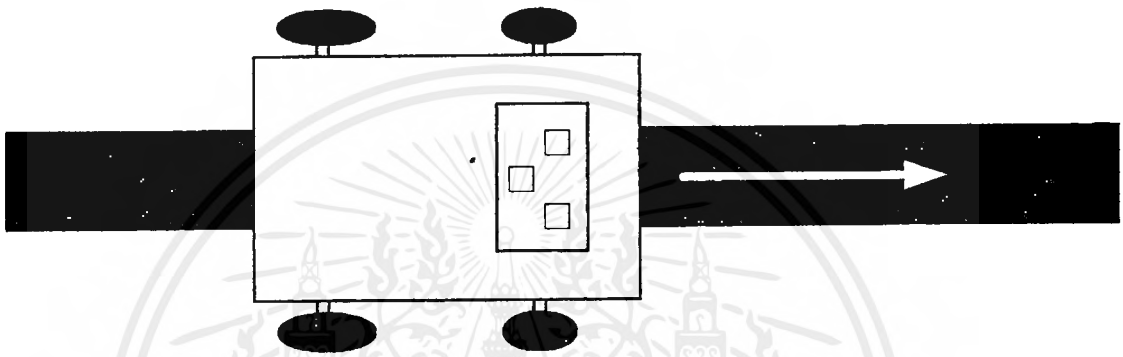
การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

วัตถุประสงค์

-เพื่อทดลองและบันทึกผลการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

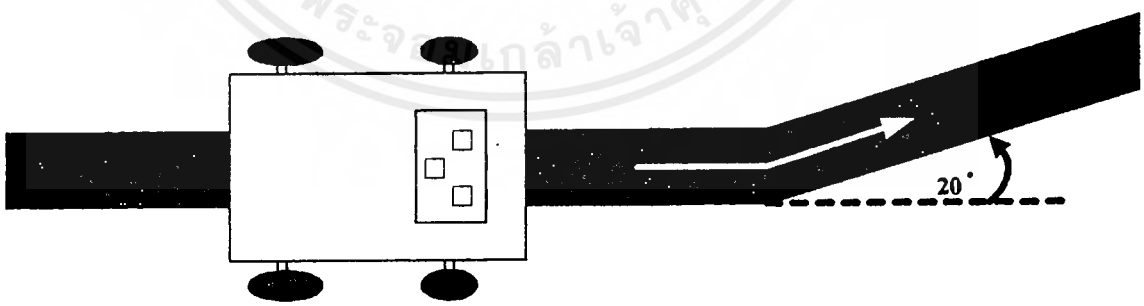
วิธีการทดลอง

ให้หุ่นยนต์วิ่งในทิศทางที่เป็นเส้นตรง ดังรูป



รูปที่ 4.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ของในแนวเส้นตรงเมื่อใช้เซ็นเซอร์ 2 ตัว

1. ให้หุ่นยนต์วิ่งในทิศทางเลี้ยวเป็นมุม 20 องศา โดยมีเซ็นเซอร์บังคับเลี้ยว 2 ตัว คือ บังคับเลี้ยวซ้าย และ บังคับเลี้ยวขวา ดังรูป



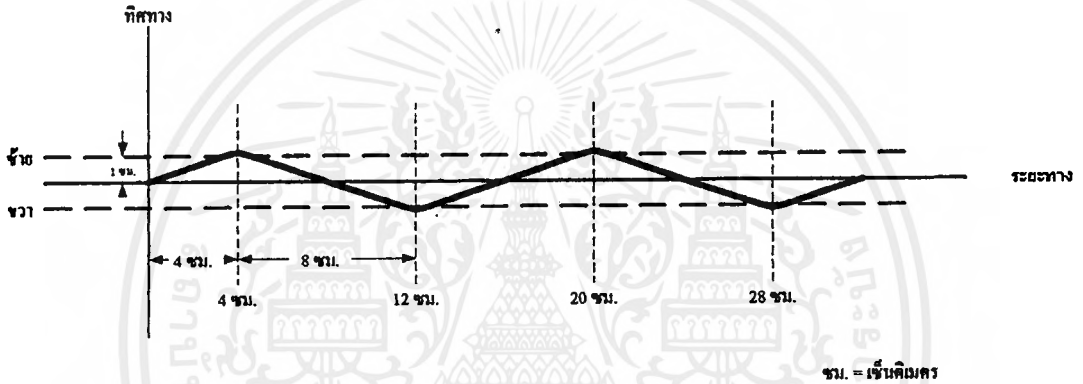
รูปที่ 4.5 ทิศทางของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่เลี้ยวซ้ายเมื่อใช้เซ็นเซอร์ 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 ทิศทางของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่เลี้ยวขวาเมื่อใช้เซ็นเซอร์2 ตัว

บันทึกผลการทดลอง

จากการบันทึกผลการทดลองเมื่อหุ่นยนต์ตรวจจับพบทางเลี้ยวโดยบันทึกหลังจากการเลี้ยวดังรูป

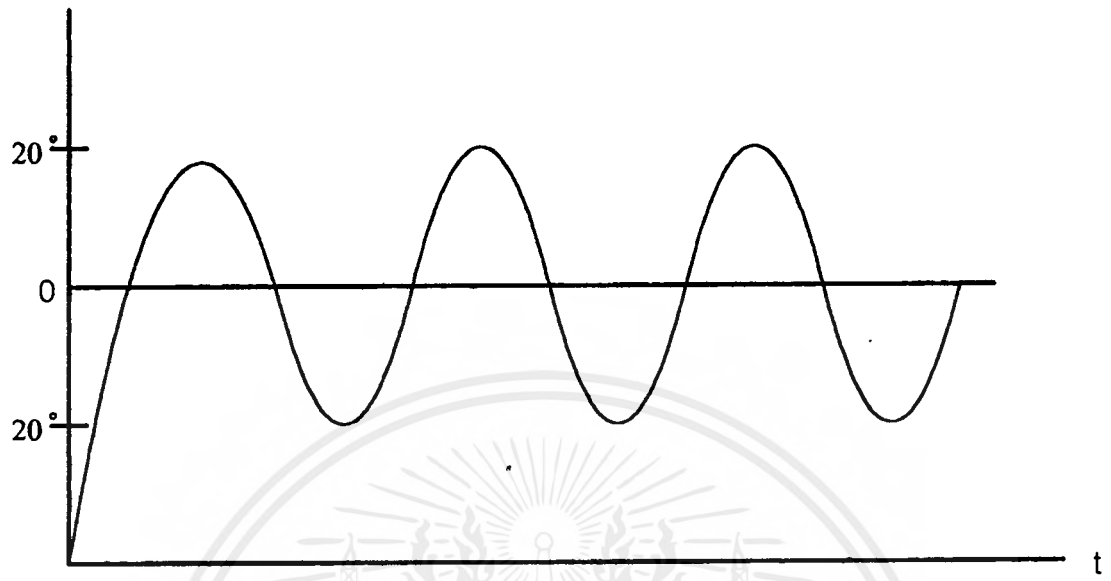


รูปที่ 4.7 บันทึกผลการทดลองหลังจากหุ่นยนต์ผ่านเลี้ยว

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อหุ่นยนต์พบทางเลี้ยวและหลังจากเลี้ยวแล้วเมื่อเข้าสู่เส้นตรงหุ่นยนต์จะวิ่งไม่เป็นเส้นตรงแต่จะวิ่งสลับไปมาระหว่างซ้ายกับขวา ตัวอย่างเช่น เมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบทางเลี้ยวขวาตัวเซ็นเซอร์ทางซ้ายจะตรวจจับเส้นเป็นสีขาวทำให้ตัวควบคุม (Controller) สั่งมอเตอร์บังคับเลี้ยวให้เลี้ยวขวาหุ่นยนต์จะเลี้ยวขวาไปเลื่อยๆจนกว่าเซ็นเซอร์ทางด้านขวาจะตรวจจับเส้นเป็นสีขาวและเมื่อเซ็นเซอร์ทางขวาตรวจพบเส้นสีขาวตัวควบคุม (Controller) จะสั่งให้หุ่นยนต์เลี้ยวซ้าย และจะเป็นไปสลับกันอย่างนี้ตลอด โดยหุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่กลับเข้าสู่เส้นตรงได้เนื่องจากไม่มีตัวบอกตัวควบคุม(Controller) ว่าหุ่นยนต์ได้เข้าสู่เส้นตรงแล้ว ลักษณะของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่เช่นนี้เรียกว่าเป็นแบบ Bang Bang ซึ่งหุ่นยนต์จะไม่สามารถวิ่งเป็นเส้นตรงหลังจากเลี้ยวแล้วได้เลย และสามารถนำมาเขียนแสดงเป็นกราฟแสดงเสถียรภาพการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หลังการเลี้ยวได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เสถียรภาพการบังคับเลี้ยวของหุ่นยนต์

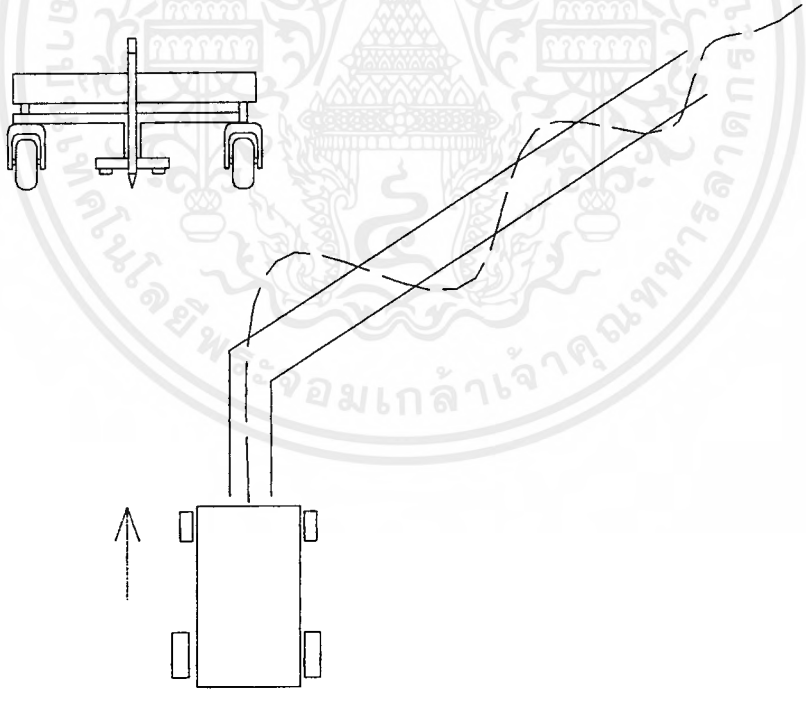
จากรูปจะเห็นว่า การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นที่เท่ากันไปตลอดโดยไม่สามรถกลับเข้าสู่เส้นกลางได้เลย

การแก้ปัญหาวิธีหนึ่งคือ การเพิ่มเซ็นเซอร์เพิ่มขึ้นมาอีก หนึ่งตัวเพื่อปรับให้ล้อของหุ่นยนต์กลับเขาสู่ศูนย์กลางและแก้ไขโปรแกรมการบังคับเลี้ยวโดยโปรแกรมให้มีการเพิ่มลำดับการเลี้ยวเมื่อเซ็นเซอร์ตรวจจับพบทางเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การทดลองติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจสอบเส้นทางไว้ที่คานยึดบังคับเลี้ยวโดยตรง ให้มีการคืนล้อและลดความเร็วของมอเตอร์บังคบเลี้ยว

การทดลองนี้ทดลองเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการทดลองในหัวข้อ 4.1.2 โดยทำการแก้ไขโปรแกรมการควบคุมใหม่และเพิ่มเซ็นเซอร์ตัวกลางอีก 1 ชุด เพื่อตรวจสอบตำแหน่งล้อตรง ซึ่งโปรแกรมการควบคุมใหม่นี้ กำหนดให้มอเตอร์บังคับเลี้ยวหมุนคืนล้อทันทีเมื่อหุ่นยนต์เริ่มเข้าเส้นทางที่กำหนด แล้วจึงไปตรวจสอบว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหรือไม่ ถ้ายังไม่เป็นเส้นตรง ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ก็จะสั่งให้ปรับล้อจนกว่าหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง โดยจะลดความเร็วของมอเตอร์บังคับเลี้ยวลงทีละขั้นของการปรับล้อ ลักษณะการเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูป 4.4



รูปที่ 4.9 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจสอบเส้นทางไว้ที่คานดึงบังคับเลี้ยวให้มีการคืนล้อและลดความเร็วของมอเตอร์บังคับเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

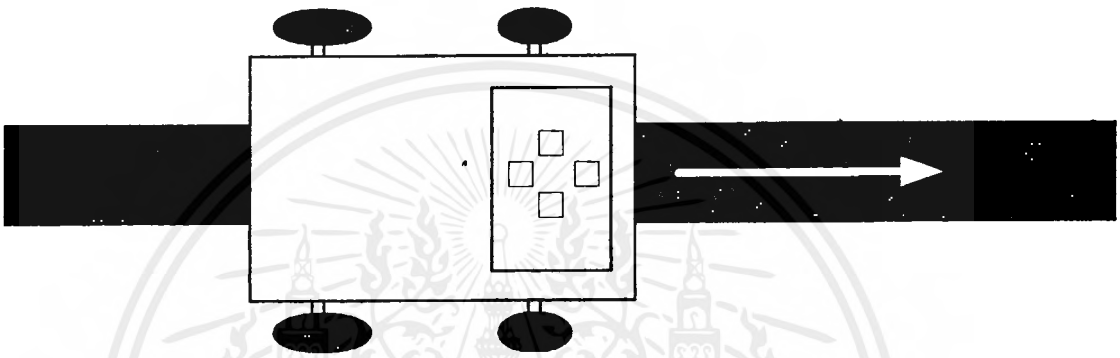
การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

วัตถุประสงค์

-เพื่อทดลองและบันทึกผลการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในขณะบรรทุกของ และไม่บรรทุกของ

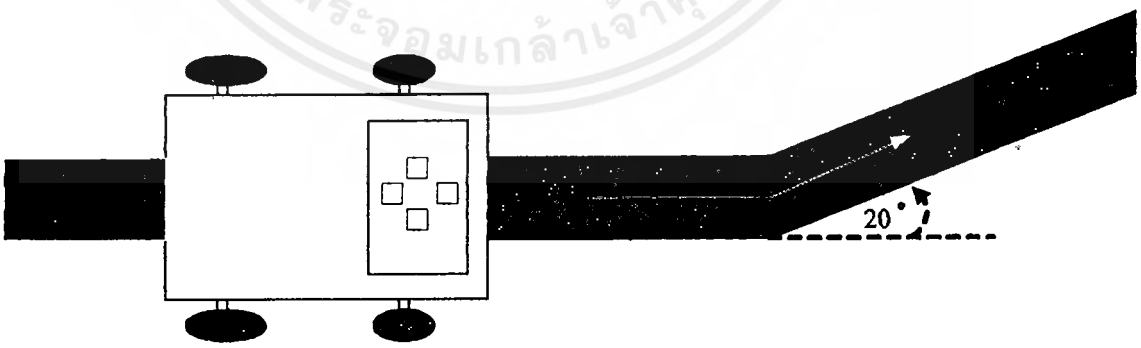
วิธีการทดลอง

1. ให้หุ่นยนต์วิ่งในทิศทางที่เป็นเส้นตรง ดังรูป



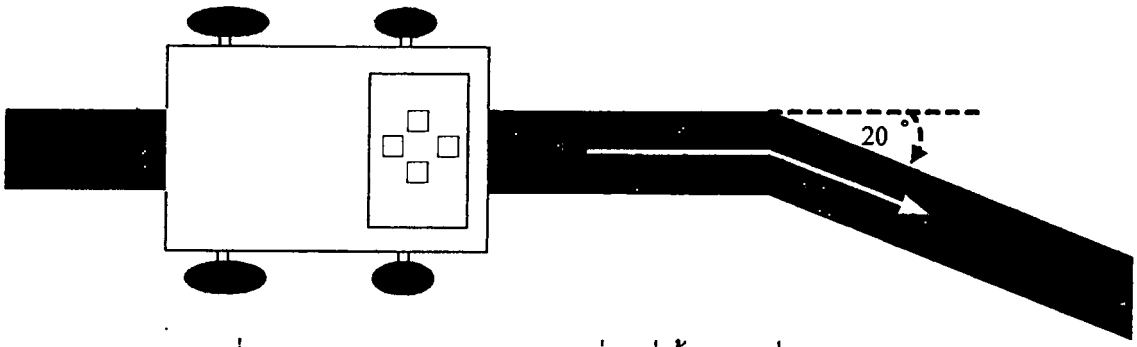
รูปที่ 4.10 ทิศทางของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงที่แก้ไขแล้ว

2. ให้หุ่นยนต์วิ่งในทิศทางเลี้ยวเป็นมุม 20 องศา โดยมีเซ็นเซอร์บังคับเลี้ยว 2 ตัว คือ บังคับเลี้ยวซ้าย และ บังคับเลี้ยวขวา และมีเซ็นเซอร์ปรับคืนล้ออีก1 ตัว ดังรูป



รูปที่ 4.11 ทิศทางของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่เลี้ยวซ้ายที่แก้ไขแล้ว

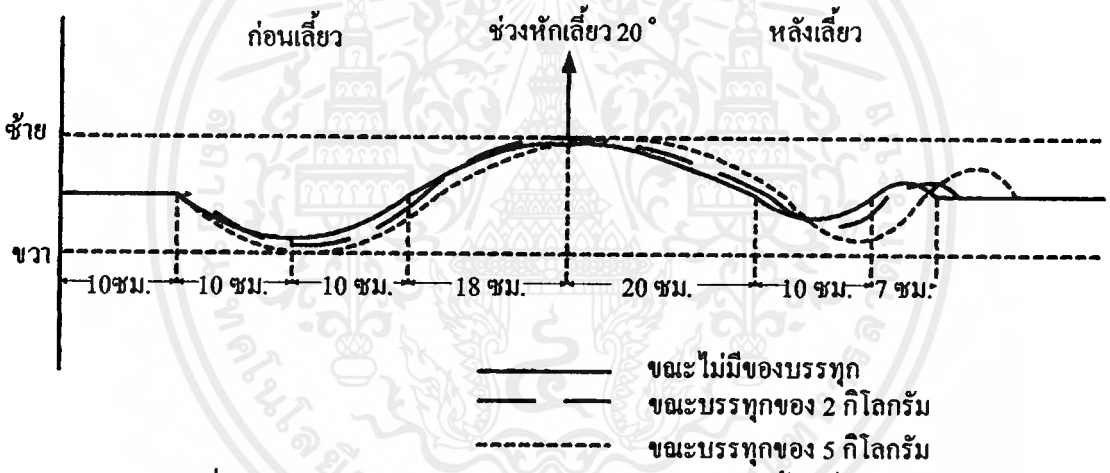
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ทิศทางของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่เลี้ยวขวาที่แก้ไขแล้ว

บันทึกผลการทดลอง

จากการบันทึกผลการทดลองเมื่อหุ่นยนต์ตรวจจับพบทางเลี้ยวโดยเริ่มบันทึกก่อนและหลังการเลี้ยวดังรูป



รูปที่ 4.13 บันทึกผลการทดลองหลังจากหุ่นยนต์ผ่านเลี้ยวที่แก้ไขแล้ว

สรุปผลการทดลอง

เมื่อนำผลการทดลองครั้งที่ 1 มาทำการแก้ไข โดยการเพิ่มเซ็นเซอร์เข้าไปอีก 1 ตัว เพื่อตรวจเช็คการคืนล้อและแก้ไขโปรแกรมโดยเพิ่มสเต็ปการเลี้ยวแล้วพบว่า หุ่นยนต์ทำงานได้ดีขึ้น โดยสามารถกลับเข้าสู่ทางตรงหลังจากเลี้ยวได้ระยะหนึ่ง โดยการทำงานนั้น เมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบทางเลี้ยว ไมโครคอนโทเลอร์จะสั่งให้มอเตอร์บังคับเลี้ยวหมุนด้วยความเร็วสเต็ปที่ 1 และในช่วงคืนล้อก็จะสั่งให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วสเต็ปที่ 2 โดยความเร็วของสเต็ปที่ 2 จะช้ากว่าความเร็วของมอเตอร์ในสเต็ปที่ 1 จากการทดลองพบว่าหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ดีกว่าการทดลองในครั้งที่ 1 มาก จึงสรุปได้ว่าการแก้ไขในการทดลองครั้งที่ 2 ทำให้หุ่นยนต์ทำงานดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบระบบตรวจสอบสิ่งกีดขวาง

ทดสอบโดยนำสิ่งกีดขวางมาวางกั้นเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถ เมื่ออุปกรณ์ตรวจพบจะทำให้สัญญาณของอัลตร้าโซนิคเป็น 1 ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณควบคุมให้รถหยุดการเคลื่อนที่

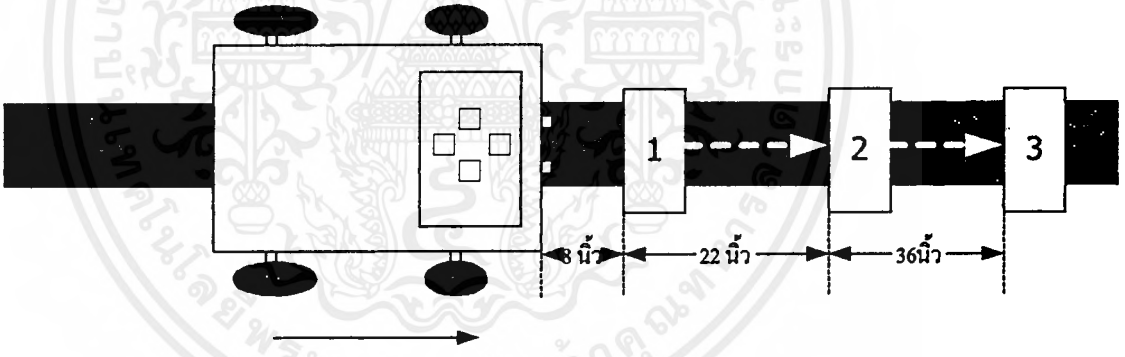
การทดสอบระบบตรวจสอบสิ่งกีดขวาง

วัตถุประสงค์

-เพื่อศึกษาหลักการทำงานของอัลตร้าโซนิค

การทดลอง

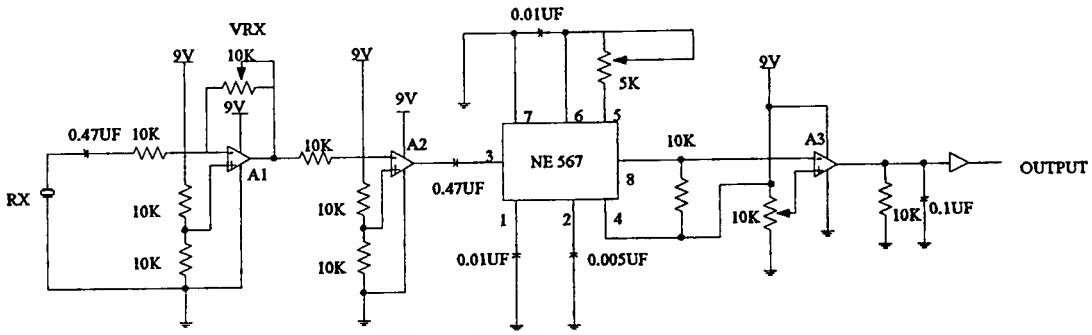
1. นำสิ่งกีดขวางมาวางกั้นในตำแหน่งเส้นทางลำเลียงของหุ่นยนต์ในระยะต่างๆ โดยเริ่มจากตำแหน่งที่ 1 ไปจนถึงตำแหน่งที่ 3 ดังรูป



รูปที่ 4.14 แสดงการวางสิ่งกีดขวางในระยะต่างขวางตามทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

2. ปรับค่าความต้านทาน RXT ที่ A1 เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางในระยะที่สิ่งกีดขวางวางอยู่ แล้วบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงวงจรอัลตร้าโซนิคตัวรับ

บันทึกผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อปรับค่าความต้านทาน RXT ที่ A1 สามารถแสดงได้ดังนี้

ระยะทาง	ค่าความต้านทาน VRX
8 นิ้ว	3KΩ
22 นิ้ว	7.6KΩ
36 นิ้ว	8KΩ

ตาราง 3.4 แสดงการปรับความต้านทานตามระยะทางที่อัลตร้าโซนิคตรวจพบสิ่งกีดขวาง

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ในการตรวจจับสิ่งกีดขวาง สามารถปรับระยะทางการตรวจจับได้ด้วยการปรับ ค่าความต้านทาน VRX ที่ A1 ดังนั้นเมื่อมีสิ่งกีดขวางในระยะที่ตั้งไว้ หุ่นยนต์จะหยุดและส่งเสียงออกมาให้รู้ว่ามีสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบระบบตรวจสอบสถานีรับส่งของ

ทดสอบโดยติดแถบรหัสเพื่อกำหนดให้รถสามารถรับรู้ว่าเป็นตำแหน่งรับหรือส่งของ เมื่อโฟโต้ทรานซิสเตอร์จำนวน 3 ตัว ซึ่งทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งการรับส่งของตรวจพบสัญญาณเอาต์พุตของโฟโต้ทรานซิสเตอร์จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทลเลอร์ เพื่อทำการควบคุมให้การรับหรือส่งของตามโปรแกรมที่กำหนด จากการทดลองน้ำหนักของวัสดุที่ถูกลำเลียงนั้น สามารถบรรทุกน้ำหนักได้ประมาณ 5 กิโลกรัม เพราะถ้าน้ำหนักมากกว่านี้มอเตอร์ที่ใช้ในการยก จะไม่มีกำลังเพียงพอที่จะยกได้

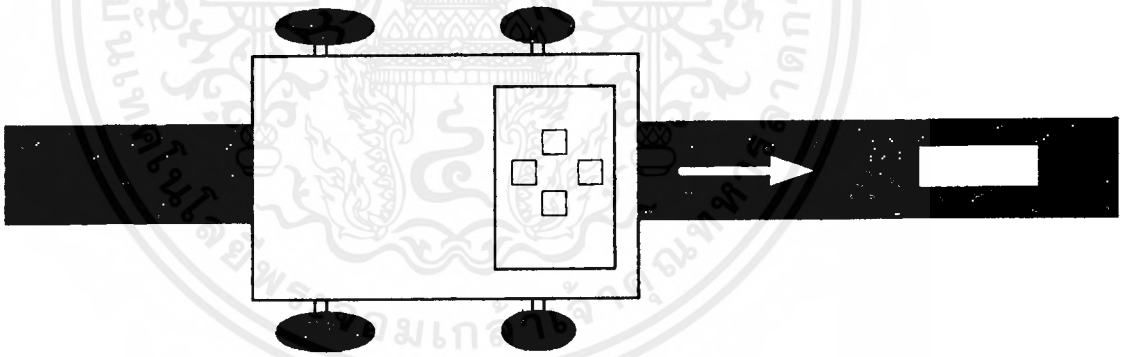
การทดสอบระบบตรวจสอบสถานีรับส่งของ

วัตถุประสงค์

-เพื่อศึกษาการทำงานของระบบตรวจสอบสถานีรับส่งของ

การทดลอง

1. ติดตั้งแถบสถานีไว้ในเส้นทางเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ดังรูป

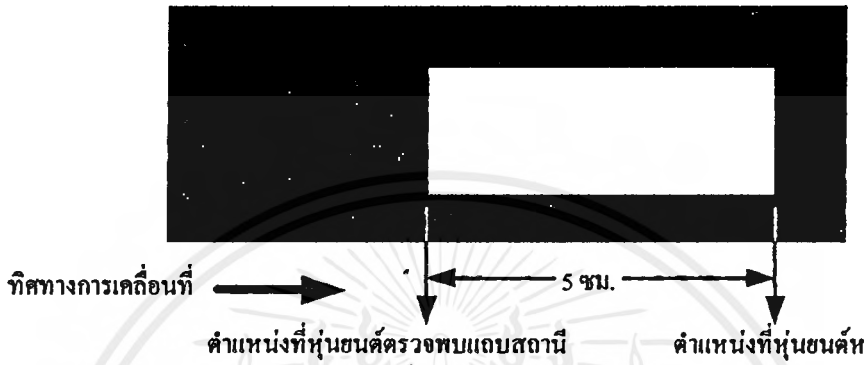


รูป 4.16 แสดงการติดตั้งแถบสถานีในเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

2. บันทึกผลหลังจากหุ่นยนต์ตรวจพบแถบสถานีแล้วหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง



รูป 4.17 ผลการทดลองเมื่อหุ่นยนต์หยุดหลังจากตรวจพบแถบสถานี

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าหุ่นยนต์จะหยุดหลังจากตรวจพบแถบสถานีเป็นระยะทาง 5 เซนติเมตร เนื่องจากมีการหน่วงเวลาของเซ็นเซอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
บทวิจารณ์และสรุป

จากผลการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1.ถ้าความเร็วของมอเตอร์ขับเคลื่อนมีความเร็วมากเกินไปจะทำให้หุ่นยนต์นั้นหลุดออกจากเส้นทาง อาจสามารถแก้ไขได้โดยการลดความเร็วของหุ่นยนต์ลงเมื่อถึงทางเลี้ยว

2.การทำงานของอุปกรณ์โฟโต้ทรานซิสเตอร์ต้องทำการป้องกันแสงรบกวนจากภายนอกให้ดี เพราะหากมีแสงภายนอกมารบกวนจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง

3.ความสัมพันธ์ในการทำงานของซอฟต์แวร์กับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ จะเกิดปัญหาคือ ซอฟต์แวร์จะทำงานเร็วกว่าอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ทำให้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ทำงานสนองตอบซอฟต์แวร์ไม่ทัน จึงเป็นผลให้การทำงานทั้งหมดผิดพลาด ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาตรงจุดนี้ในการออกแบบซอฟต์แวร์ต้องทำการหน่วงเวลา เพื่อรอให้อุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์สนองตอบก่อน แล้วจึงให้ซอฟต์แวร์ทำงานในสภาวะต่ออื่นต่อไป

4.ในการตรวจจับสิ่งกีดขวาง อัลตร้าโซนิคจะให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับดีกว่าดีกว่า แต่ก็มีข้อเสียคือ การปรับแต่งค่าความไวของอัลตร้าโซนิคตัวรับนั้นทำได้ยาก

แนวทางการปรับปรุงและพัฒนาหุ่นยนต์ลำเลียงให้มีประสิทธิภาพให้สูงขึ้นไปคือ การพัฒนาให้เปลี่ยนแปลงความเร็วได้ การปรับปรุงระบบตรวจสอบเส้นทางและสิ่งกีดขวางให้สามารถตรวจสอบได้ทันกับความเร็วของหุ่นยนต์ หรือพัฒนาให้สารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้เอง โดยไม่ต้องรอให้สิ่งกีดขวางออกจากเส้นทางก่อน ตลอดจนถึงการออกแบบให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น และกว้างขวางกว่าที่จะนำมาลำเลียงสิ่งของเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ส่วนโปรแกรมควบคุมการรับส่งซอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
WIN32 MACRO ASSEMBLER A51 V6.03.08
OBJECT MODULE PLACED IN C:\PROJECT\PROJECT08.OBJ
ASSEMBLER INVOKED BY: A51.EXE C:\PROJECT\PROJECT08.ASM
OJ(C:\PROJECT\PROJECT08.OBJ) PIN(C:\FSI\INC) EP LINES PR(C:\PROJECT\PROJECT08.LST) XR
DB PW(80) RB(0)

LOC   OBJ       LINE  SOURCE
                   1
                   2
                   3  ;MAIN PROGRAME
0000               4  ORG0000H
                   5
                   6
0000  759000      7  BACK1:   MOV    P1,#00H          ;CLEAR  MOTOR
0003  1200E0      8           LCALL DEL
0006  D294        9           SETB   P1.4             ;MOVE ROBOT
0008  1200E0      10          LCALL  DEL
000B  E5B0        11          MOV    A,P3             ;CHECK AVOID
000D  20E019      12          JB     ACC.0,AVOID      ;JUMP TO
;SUBPROGRAME AVOID

0010  E5A0        13  BACK2:   MOV    A,P2             ;CHECK STATION
0012  54E0        14          ANL    A,#11100000B
0014  B4E003      15          CJNE   A,#11100000B,BACK3
0017  020039      16          LJMP   RECV             ;JUMP TO
;SUBPROGRAMERECIEVE

001A  E5A0        17  BACK3:   MOV    A,P2             ;CHECK STATION
001C  20E2E1      18          JB     ACC.2,BACK1      ;DON'T CARE IF NOTTHING
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
001F  E5A0    19                MOV   A,P2                  ;CHECK STATION
0021  54A0    20                ANL   A,#10100000B
0023  B4A0DA  21                CJNE  A,#10100000B,BACK1
0026  020086  22                LJMP  TRAN                  ;JUMP TO SUBPROGRAME
TRANMITE
              23
              24
              25  ;SUBPROGRAME AVOID
0029  D295    26  AVOID:   SETB  P1.5                    ;ALARM
002B  C294    27            CLR   P1.4                    ;STOP ROBOT
002D  E5B0    28  AVOID1:  MOV   A,P3                     ;CHECK AVOID
002F  20E0FB  29            JB    ACC.0,AVOID1
0032  C295    30            CLR   P1.5                    ;STOP ALARM
0034  D294    31            SETB  P1.4                    ;MOVE ROBOT
0036  020000  32            LJMP  BACK1                   ;RETURN
              33
              34  ;SUBPROGRAME RECIEVE
0039  759000  35  RECV:    MOV   P1,#00H                 ;STOP ROBOT
003C  D290    36            SETB  P1.0                    ;SLIDE OUT
003E  1200E0  37            LCALL DEL
0041  E5A0    38  RECV1:   MOV   A,P2
0043  20E1FB  39            JB    ACC.1,RECV1
0046  C290    40            CLR   P1.0                    ;STOP SLIDE OU
0048  D292    41            SETB  P1.2                    ;DOWN
004A  1200E0  42            LCALL DEL
004D  E5A0    43  RECV2:   MOV   A,P2
004F  20E3FB  44            JB    ACC.3,RECV2
0052  C292    45            CLR   P1.2                    ;STOP DOWN
0054  D294    46            SETB  P1.4                    ;MOVE ROBOT
0056  1200E0  47            LCALL DEL
0059  E5A0    48  RECV3:   MOV   A,P2
005B  20E2FB  49            JB    ACC.2,RECV3
005E  C294    50            CLR   P1.4                    ;STOP ROBOT
0060  D293    51            SETB  P1.3                    ;UP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0062  1200E0  52              LCALL  DEL
0065  E5A0    53  RECV4:      MOV    A,P2
0067  20E4FB  54              JB     ACC.4,RECV4
006A  D291    55              SETB   P1.1          ;SLIDE IN
006C  1200E0  56              LCALL  DEL
006F  1200D3  57              LCALL  DELAY         ;DELAY 2 SECS
0072  1200D3  58              LCALL  DELAY
0075  C293    59              CLR    P1.3          ;STOP UP
              60
0077  E5A0    61  RECV5:      MOV    A,P2
0079  20E0FB  62              JB     ACC.0,RECV5
007C  C291    63              CLR    P1.1          ;STOP SLIDE IN
007E  D294    64              SETB   P1.4          ;MOVE ROBO
0080  1200E0  65              LCALL  DEL
0083  020000  66              LJMP   BACK1         ;RETURN
              67

              68  ;SUBPROGRAME TRNASMITE
0086  759000  69  TRAN:       MOV    P1,#00H       ;STOP ROBOT
0089  D290    70              SETB   P1.0          ;SLIDE OUT
008B  1200E0  71              LCALL  DEL
008E  D296    72              SETB   P1.6          ;ALARM
0090  1200E0  73              LCALL  DEL
0093  E5A0    74  TRAN1:      MOV    A,P2
0095  20E1FB  75              JB     ACC.1,TRAN1
0098  C290    76              CLR    P1.0          ;STOP SLIDE OUT
009A  D292    77              SETB   P1.2          ;DOWN
009C  1200E0  78              LCALL  DEL
009F  E5A0    79  TRAN2:      MOV    A,P2
00A1  20E3FB  80              JB     ACC.3,TRAN2
00A4  C292    81              CLR    P1.2          ;STOP DOWN
00A6  E5A0    82  TRAN3:      MOV    A,P2
00A8  30E2FB  83              JNB    ACC.2,TRAN3   ;CHECK LIMIT 3
00AB  C296    84              CLR    P1.6          ;STOP ALARM
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
00AD  D293    85              SETB   P1.3              ;UP
00AF  1200E0  86              LCALL  DEL
00B2  E5A0    87  TRAN4:     MOV    A,P2
00B4  20E4FB  88              JB     ACC.4,TRAN4
00B7  D291    89              SETB   P1.1              ;SLIDE IN
00B9  1200E0  90              LCALL  DEL
00BC  1200D3  91              LCALL  DELAY             ;DELAY 2 SECS
00BF  1200D3  92              LCALL  DELAY
00C2  C293    93              CLR    P1.3              ;STOP UP
              94
00C4  E5A0    95  TRAN5:     MOV    A,P2
00C6  20E0FB  96              JB     ACC.0,TRAN5
00C9  C291    97              CLR    P1.1              ;STOP SLIDE IN
00CB  D294    98              SETB   P1.4              ;MOVE ROBOT
00CD  1200E0  99              LCALL  DEL
00D0  020000  100             LJMP   BACK1             ;RETURN
              101
              102 ;SUBPROGRAME DELAY 1 SEC
00D3  7800    103 DELAY:      MOV    R0,#00H
00D5  7970    104 D1:         MOV    R1,#70H
00D7  7A10    105 D2:         MOV    R2,#10H
00D9  DAFE    106 D3:         DJNZ   R2,D3
00DB  D9FA    107             DJNZ   R1,D2
00DD  D8F6    108             DJNZ   R0,D1
00DF  22      109             RET
              110
              111 ;SUBPROGRAME DELAY FOR RELATIONSHIP
00E0  780F    112 DEL:        MOV    R0,#0FH
00E2  79FF    113 DLY1:       MOV    R1,#0FFH
00E4  D9FE    114 DLY2:       DJNZ   R1,DLY2
00E6  D8FA    115             DJNZ   R0,DLY1
00E8  22      116             RET
              117
              118             END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYMBOL TABLE LISTING

------ ----- -------

N A M E	T Y P E	V A L U E	ATTRIBUTES	REFERENCES
RECV1.....	C	ADDR 0041H	A	38# 39
P1.....	D	ADDR 0090H	A	7 9 26 27 30 31 35 36 40 41 45 46 50 51 55 59 63 64 69 70 72 76 77 81 84 85 89 93 97 98
RECV2.....	C	ADDR 004DH	A	43# 44
BACK1.....	C	ADDR 0000H	A	7# 18 21 32 66 100
P2.....	D	ADDR 00A0H	A	13 17 19 38 43 48 53 61 74 79 82 87 95
RECV3.....	C	ADDR 0059H	A	48# 49
BACK2.....	C	ADDR 0010H	A	13#
P3.....	D	ADDR 00B0H	A	11 28
RECV4.....	C	ADDR 0065H	A	53# 54
AVOID1.....	C	ADDR 002DH	A	28# 29
BACK3.....	C	ADDR 001AH	A	15 17#
RECV5.....	C	ADDR 0077H	A	61# 62
TRAN1.....	C	ADDR 0093H	A	74# 75
TRAN2.....	C	ADDR 009FH	A	79# 80
ACC.....	D	ADDR 00E0H	A	12 18 29 39 44 49 54 62 75 80 83 88 96
TRAN3.....	C	ADDR 00A6H	A	82# 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRAN4.	C ADDR 00B2H A	87# 88
TRAN5.	C ADDR 00C4H A	95# 96
DELAY.	C ADDR 00D3H A	57 58 91 92 103#
RECV	C ADDR 0039H A	16 35#
AVOID.	C ADDR 0029H A	12 26#
D1	C ADDR 00D5H A	104# 108
TRAN	C ADDR 0086H A	22 69#
DEL.	C ADDR 00E0H A	8 10 37 42 47 52 56 65 71 73 78 86 90 99 112#
D2	C ADDR 00D7H A	105# 107
D3	C ADDR 00D9H A	106#
DLY1	C ADDR 00E2H A	113# 115
DLY2	C ADDR 00E4H A	114#

MODULE INFORMATION: STATIC OVERLAYABLE

CODE SIZE	= 233	----
XDATA SIZE	= ----	----
DATA SIZE	= ----	----
IDATA SIZE	= ----	----
BIT SIZE	= ----	----

END OF MODULE INFORMATION.

REGISTER BANK(S) USED : 0

ASSEMBLY COMPLETE. 0 WARNING(S) 0 ERROR(S)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
ส่วนโปรแกรมควบคุมการเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WIN32 MACRO ASSEMBLER A51 V6.03.08
OBJECT MODULE PLACED IN G:\MY DOCUMENTS\PROTURN05.OBJ
ASSEMBLER INVOKED BY: A51.EXE G:\MY DOCUMENTS\PROTURN05.ASM OJ(G:\MY DOCUMENTS\PROTURN05.OBJ) PIN(C:\FSI\INC) EP LINES PR(G:\MY DOCUMENTS\PROTURN05.LST) XR DB PW(80) RB(0)

```
LOC   OBJ      LINE  SOURCE
                  1
                  2
                  3  ;MAINPROGRAME
 0000             4          ORG   0000H
 00C7             5  WHEEL   EQU   11000111B      ;WHEEL
0000  75A000      6  MAIN:    MOV   P2,#00H
0003  E590        7          MOV   A,P1
0005  54C7        8          ANL A , # 199
0007  B4C753      9          CJNE A , # 199 , ADJUST
                 10
000A  D2A2       11  BACK0:  SETB  P2.2
000C  120168     12          LCALL DELAY
                 13
                 14  ;TURN STEP 1
000F  E590       15  BACK1:  MOV   A,P1
0011  20E003     16          JB    ACC.0,BACK2
0014  02007E     17          LJMP  TURN_L1
0017  E590       18  BACK2:  MOV   A,P1
0019  20E203     19          JB    ACC.2,BACK3
001C  0200A5     20          LJMP  TURN_R1
001F  E590       21  BACK3:  MOV   A,P1
0021  54C7       22          ANL A , # 199
0023  B4C703     23          CJNE A , # 199 , BACK4
0026  02000F     24          LJMP  BACK1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    25
                    26  ;TURN STEP 2
0029  E590    27  BACK4:  MOV     A,P1
002B  20E003  28          JB      ACC.0,BACK5
002E  0200CC  29          LJMP    TURN_L2
0031  E590    30  BACK5:  MOV     A,P1
0033  20E203  31          JB      ACC.2,BACK6
0036  0200F3  32          LJMP    TURN_R2
0039  E590    33  BACK6:  MOV     A,P1
003B  54C7    34          ANL A , # 199
003D  B4C703  35          CJNE A , # 199 , BACK7
0040  02000F  36          LJMP    BACK1
                    37
                    38  ;TURN STEP 3
0043  E590    39  BACK7:  MOV     A,P1
0045  20E003  40          JB      ACC.0,BACK8
0048  02011A  41          LJMP    TURN_L3
004B  E590    42  BACK8:  MOV     A,P1
004D  20E203  43          JB      ACC.2,BACK9
0050  020141  44          LJMP    TURN_R3
0053  E590    45  BACK9:  MOV     A,P1
0055  54C7    46          ANL A , # 199
0057  B4C7E9  47          CJNE A , # 199 , BACK7
005A  02000F  48          LJMP    BACK1
                    49
                    50  ;SUBPROGRAME ADJUST
005D  75A008  51  ADJUST:  MOV     P2,#08H     ;TURN LEFT
0060  120168  52          LCALL   DELAY
0063  20910F  53  CON1:   JB      P1.1,STOP
0066  2097FA  54          JB      P1.7,CON1
0069  75A010  55          MOV     P2,#10H     ;TURN RIGTH
006C  120168  56          LCALL   DELAY
006F  209103  57  CON2:   JB      P1.1,STOP
0072  2096FA  58          JB      P1.6,CON2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0075  75A000  59  STOP:       MOV    P2,#00H          ;STOP TURN
0078  120168  60              LCALL  DELAY
007B  02000A  61              LJMP   BACK0
              62
              63
              64  ;SUBPROGRAME TURN_L1
007E  75A00C  65  TURN_L1:    MOV    P2,#00001100B
0081  120168  66              LCALL  DELAY
0084  20900C  67  WAIT_L11:   JB     P1.0,WAIT_L12   ;CHECK TAP
0087  2097FA  68              JB     P1.7,WAIT_L11   ;CHECK LIMIT
008A  75A004  69              MOV    P2,#04H         ;STOP
008D  120168  70              LCALL  DELAY
0090  3090FD  71  WAIT_L10:   JNB    P1.0,WAIT_L10
0093  75A014  72  WAIT_L12:   MOV    P2,#00010100B   ;RETURN
0096  120168  73              LCALL  DELAY
0099  3091FD  74  WAIT_L13:   JNB    P1.1,WAIT_L13   ;CHECK WHEEL
009C  75A004  75              MOV    P2,#04H         ;STOP
009F  120168  76              LCALL  DELAY
00A2  02001F  77              LJMP   BACK3
              78
              79
              80  ;SUBPROGRAME TURN_R1
00A5  75A014  81  TURN_R1:    MOV    P2,#00010100B
00A8  120168  82              LCALL  DELAY
00AB  20920C  83  WAIT_R11:   JB     P1.2,WAIT_R12   ;CHECK TAP
00AE  2096FA  84              JB     P1.6,WAIT_R11   ;CHECK LIMIT
00B1  75A004  85              MOV    P2,#04H
00B4  120168  86              LCALL  DELAY
00B7  3092FD  87  WAIT_R10:   JNB    P1.2,WAIT_R10
00BA  75A00C  88  WAIT_R12:   MOV    P2,#00001100B   ;RETURN
00BD  120168  89              LCALL  DELAY
00C0  3091FD  90  WAIT_R13:   JNB    P1.1,WAIT_R13   ;CHECK WHEEL
00C3  75A004  91              MOV    P2,#04H         ;STOP
00C6  120168  92              LCALL  DELAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
00C9  02001F  93              LJMP  BACK3
              94
              95
              96
              97   ;SUBPROGRAME TURN_2
00CC  75A00E  98   TURN_L2:   MOV   P2,#00001110B
00CF  120168  99              LCALL DELAY
00D2  20900C  100  WAIT_L21:  JB    P1.0,WAIT_L22   ;CHECK TAP
00D5  2097FA  101             JB    P1.7,WAIT_L21   ;CHECK LIMIT
00D8  75A004  102             MOV   P2,#04H ;STOP
00DB  120168  103             LCALL DELAY
00DE  3090FD  104  WAIT_L20:  JNB   P1.0,WAIT_L20
00E1  75A016  105  WAIT_L22:  MOV   P2,#00010110B   ;RETURN
00E4  120168  106             LCALL DELAY
00E7  3091FD  107  WAIT_L23:  JNB   P1.1,WAIT_L23   ;CHECK WHEEL
00EA  75A004  108             MOV   P2,#04H         ;STOP
00ED  120168  109             LCALL DELAY
00F0  020039  110             LJMP  BACK6
              111
              112
              113  ;SUBPROGRAME TURN_R2
00F3  75A016  114  TURN_R2:   MOV   P2,#00010110B
00F6  120168  115             LCALL DELAY
00F9  20920C  116  WAIT_R21:  JB    P1.2,WAIT_R22                    ;CHECK TAP
00FC  2096FA  117             JB    P1.6,WAIT_R21     ;CHECK LIMIT
00FF  75A004  118             MOV   P2,#04H
0102  120168  119             LCALL DELAY
0105  3092FD  120  WAIT_R20:JNB   P1.2,WAIT_R20
0108  75A00E  121  WAIT_R22:MOV   P2,#00001110B     ;RETURN
010B  120168  122             LCALL DELAY
010E  3091FD  123  WAIT_R23:JNB   P1.1,WAIT_R23     ;CHECK WHEEL
0111  75A004  124             MOV   P2,#04H         ;STOP
0114  120168  125             LCALL DELAY
0117  020039  126             LJMP  BACK6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    127
                    128
                    129
                    130  ;SUBPROGRAME TURN_L3
011A   75A00F    131  TURN_L3: MOV    P2,#00001111B
011D   120168    132           LCALL  DELAY
0120   20900C    133  WAIT_L31: JB     P1.0,WAIT_L32  ;CHECK TAP
0123   2097FA    134           JB     P1.7,WAIT_L31  ;CHECK LIMIT
0126   75A004    135           MOV    P2,#04H        ;STOP
0129   120168    136           LCALL  DELAY
012C   3090FD    137  WAIT_L30: JNB    P1.0,WAIT_L30
012F   75A017    138  WAIT_L32: MOV    P2,#00010111B  ;RETURN
0132   120168    139           LCALL  DELAY
0135   3091FD    140  WAIT_L33: JNB    P1.1,WAIT_L33  ;CHECK WHEEL
0138   75A004    141           MOV    P2,#04H        ;STOP
013B   120168    142           LCALL  DELAY
013E   020053    143           LJMP   BACK9
                    144
                    145
                    146  ;SUBPROGRAME TURN_R3
0141   75A017    147  TURN_R3: MOV    P2,#00010111B
0144   120168    148           LCALL  DELAY
0147   20920C    149  WAIT_R31: JB     P1.2,WAIT_R32  ;CHECK TAP
014A   2096FA    150           JB     P1.6,WAIT_R31  ;CHECK LIMIT
014D   75A004    151           MOV    P2,#04H
0150   120168    152           LCALL  DELAY
0153   3092FD    153  WAIT_R30: JNB    P1.2,WAIT_R30
0156   75A00F    154  WAIT_R32: MOV    P2,#00001111B  ;RETURN
0159   120168    155           LCALL  DELAY
015C   3091FD    156  WAIT_R33: JNB    P1.1,WAIT_R33  ;CHECK WHEEL
015F   75A004    157           MOV    P2,#04H        ;STOP
0162   120168    158           LCALL  DELAY
0165   020053    159           LJMP   BACK9
                    160
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    161   ;SUBPROGRAME DELAY
0168   780F         162   DELAY:   MOV    R0,#00FH
016A   79FF         163   D1:      MOV    R1,#0FFH
016C   D9FE         164   D2:      DJNZ   R1,D2
016E   D8FA         165            DJNZ   R0,D1
0170   22           166            RET
                    167            END
```


SYMBOL TABLE LISTING

------ ----- -------

N A M E	T Y P E	V A L U E	ATTRIBUTES	REFERENCES
WAIT_L10	C	ADDR 0090H	A	71#
BACK0.	C	ADDR 000AH	A	11# 61
P1	D	ADDR 0090H	A	7 15 18 21 27 30 33 39 42 45 53 54 57 58 67 68 71 74 83 84 87 90 100 101 104 107 116 117 120 123 133 134 137 140 149 150 153 156
WAIT_L20	C	ADDR 00DEH	A	104#
WAIT_L11	C	ADDR 0084H	A	67# 68
BACK1.	C	ADDR 000FH	A	15# 24 36 48
P2	D	ADDR 00A0H	A	6 11 51 55 59 65 69 72 75 81 85 88 91 98 102 105 108 114 118 121 124 131 135 138 141 147 151 154 157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WAIT_L30 . . . . . C ADDR 012CH A 137#

WAIT_L21 . . . . . C ADDR 00D2H A 100# 101

WAIT_L12 . . . . . C ADDR 0093H A 67 72#

BACK2. . . . . C ADDR 0017H A 16 18#

WAIT_L31 . . . . . C ADDR 0120H A 133# 134

WAIT_L22 . . . . . C ADDR 00E1H A 100 105#

WAIT_L13 . . . . . C ADDR 0099H A 74#

BACK3. . . . . C ADDR 001FH A 19 21# 77 93

WAIT_L32 . . . . . C ADDR 012FH A 133 138#

WAIT_L23 . . . . . C ADDR 00E7H A 107#

BACK4. . . . . C ADDR 0029H A 23 27#

TURN_L1. . . . . C ADDR 007EH A 17 65#

MAIN . . . . . C ADDR 0000H A 6#

WAIT_L33 . . . . . C ADDR 0135H A 140#

STOP . . . . . C ADDR 0075H A 53 57 59#

TURN_L2. . . . . C ADDR 00CCH A 29 98#

BACK5. . . . . C ADDR 0031H A 28 30#

WAIT_R10 . . . . . C ADDR 00B7H A 87#

TURN_L3. . . . . C ADDR 011AH A 41 131#

BACK6. . . . . C ADDR 0039H A 31 33# 110 126

ACC. . . . . D ADDR 00E0H A 16 19 28 31 40 43

WAIT_R20 . . . . . C ADDR 0105H A 120#

WAIT_R11 . . . . . C ADDR 00ABH A 83# 84

BACK7. . . . . C ADDR 0043H A 35 39# 47

WAIT_R30 . . . . . C ADDR 0153H A 153#

WAIT_R21 . . . . . C ADDR 00F9H A 116# 117

WAIT_R12 . . . . . C ADDR 00BAH A 83 88#

BACK8. . . . . C ADDR 004BH A 40 42#

WAIT_R31 . . . . . C ADDR 0147H A 149# 150

WAIT_R22 . . . . . C ADDR 0108H A 116 121#

WAIT_R13 . . . . . C ADDR 00C0H A 90#

BACK9. . . . . C ADDR 0053H A 43 45# 143 159

WAIT_R32 . . . . . C ADDR 0156H A 149 154#

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
WAIT_R23 . . . . . C ADDR  010EH  A          123#
TURN_R1. . . . . C ADDR  00A5H  A          20 81#
ADJUST . . . . . C ADDR  005DH  A          9 51#
WAIT_R33 . . . . . C ADDR  015CH  A        156#
TURN_R2. . . . . C ADDR  00F3H  A          32 114#
TURN_R3. . . . . C ADDR  0141H  A          44 147#
DELAY. . . . . C ADDR  0168H  A            12 52 56 60 66 70
                                           73 76 82 86 89 92
                                           99 103 106 109 115
                                           119 122 125 132 136
                                           139 142 148 152 155
                                           158 162#
CON1 . . . . . C ADDR  0063H  A            53# 54
CON2 . . . . . C ADDR  006FH  A            57# 58
D1 . . . . . C ADDR  016AH  A              163# 165
WHEEL. . . . . N NUMB  00C7h               5# 8 9 22 23 34 35
                                           46 47
D2 . . . . . C ADDR  016CH  A              164#


MODULE INFORMATION:  STATIC OVERLAYABLE
  CODE SIZE      =  369  ----
  XDATA SIZE     =  ----  ----
  DATA SIZE      =  ----  ----
  IDATA SIZE     =  ----  ----
  BIT SIZE       =  ----  ----
END OF MODULE INFORMATION.
        REGISTER BANK(S) USED : 0

ASSEMBLY COMPLETE.  0 WARNING(S)  0 ERROR(S)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
รูปถ่ายตัวหุ่นยนต์

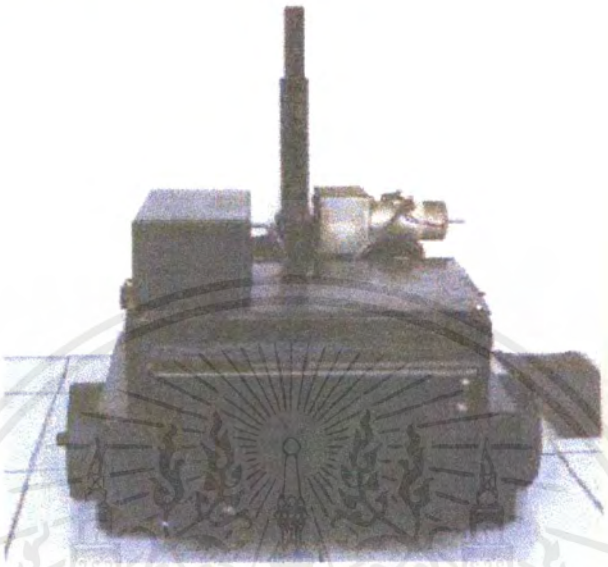
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์ลำเลียงที่สร้างเสร็จแล้วมีรูปร่างลักษณะด้านหน้าของตัวหุ่นยนต์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ ค.1 ดังต่อไปนี้

รูปที่ ค.1 ด้านหน้าของตัวหุ่นยนต์ลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์ลำเลียงที่สร้างเสร็จแล้วมีรูปร่างลักษณะด้านหลังของตัวหุ่นยนต์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ ค.2 ดังต่อไปนี้



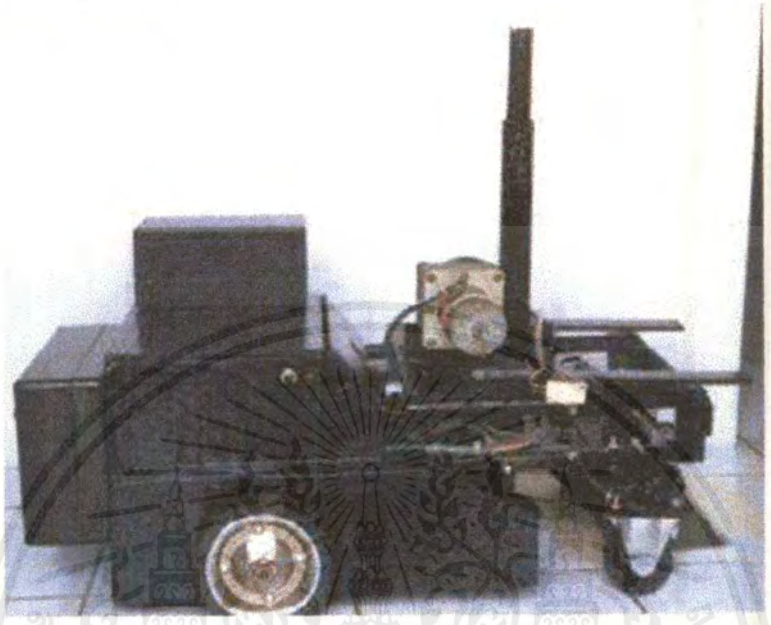
รูปที่ ค.2 ด้านหลังของหุ่นยนต์ลำเลียง

ลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์ลำเลียงที่สร้างเสร็จแล้วมีรูปร่างลักษณะด้านบนของตัวหุ่นยนต์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ ค.3 ดังต่อไปนี้

รูปที่ ค.3 ด้านบนของตัวหุ่นยนต์ลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์ลำเลียงที่สร้างเสร็จแล้วมีรูปร่างลักษณะด้านข้างของตัวหุ่นยนต์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ ค.4



รูปที่ ค.4 ด้านข้างของหุ่นยนต์ลำเลียง

ลักษณะการรับและส่งของของหุ่นยนต์ลำเลียง ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ ค.5 ดังต่อไปนี้

รูปที่ ค.5.1 การรับของของหุ่นยนต์ลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.5.2 การส่งของของหุ่นยนต์ลำเลียง

ลักษณะการบรรทุกของของหุ่นยนต์ลำเลียง ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ ค.6

รูปที่ ค.6 การบรรทุกของหุ่นยนต์ลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ตารางรหัสแอสกี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASCII Character Codes

ASCII Character Codes

				b7 →	0	0	0	0	1	1	1	1
				b6 →	0	0	1	1	0	0	1	1
				b5 →	0	1	0	1	0	1	0	1
b4	b3	b2	b1	Row \ Col.	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
0	0	0	1	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0	4	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
0	1	0	1	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	10	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	11	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1	1	0	0	12	FF	FS	,	<	L	\	l	|
1	1	0	1	13	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1	1	1	0	14	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1	1	1	1	15	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

NUL	Null
SOH	Start of heading
STX	Start of text
ETX	End of text
EOT	End of transmission
ENQ	Enquiry
ACK	Acknowledge
BEL	Bell or alarm
BS	Backspace
HT	Horizontal tabulation
LF	Line feed
VT	Vertical tabulation
FF	Form feed
CR	Carriage return
SO	Shift out
SI	Shift in
DLE	Data link escape

DC1	Device control 1
DC2	Device control 2
DC3	Device control 3
DC4	Device control 4
NAK	Negative acknowledge
SYN	Synchronous idle
ETB	End of transmission block
CAN	Cancel
EM	End of medium
SUB	Substitute
ESC	Escape
FS	File separator
GS	Group separator
RS	Record separator
US	Unit separator
SP	Space
DEL	Delete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.
ชุดคำสั่ง MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. MCS®-51 Instruction Set Description

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	A,#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	A,#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 with Borrow	1	1
SUBB	A,#data	Subtract immed data from A with 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
INC	DPTR	Increment Data Pointer	1	2
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
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	A,#data	AND immediate data to Accumulator	2	1
ANL	direct,A	AND Accumulator to direct byte	2	1
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

LOGICAL OPERATIONS (CONTINUED)

Mnemonic		Destination	Byte	Cyc
ORL	A,@Ri	OR indirect RAM to Accumulator	1	1
ORL	A,#data	OR immediate data to Accumulator	2	1
ORL	direct,A	OR Accumulator to direct byte	2	1
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	A,#data	Exclusive-OR immediate data to A	2	1
XRL	direct,A	Exclusive-OR Accumulator to direct byte	2	1
XRL	direct,#data	Exclusive-OR immediate data to direct	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	A,#data	Mov 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	2	1
MOV	direct,Rn	Move register to direct byte	2	2
MOV	direct,direct	Move direct byte to direct	3	2
MOV	direct,@Ri	Move indirect RAM to direct byte	2	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. (Cont.)

DATA TRANSFER (CONTINUED)

Mnemonic		Description	Byte	Cyc
MOV	direct,#data	Move immediate data to direct byte	3	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	1
MOV	DPTR,#data16	Load Data Pointer with a 16-bit constant	3	2
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	2	1
SETB	C	Set Carry flag	1	1
SETB	bit	Set direct Bit	2	1
CPL	C	Complement Carry flag	1	1
CPL	bit	Complement direct bit	2	1
ANL	C,bit	AND direct bit to Carry flag	2	2
ANL	C,1 bit	AND complement of direct bit to Carry	2	2
ORL	C/bit	OR direct bit to Carry flag	2	2
ORL	C,1 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
CJNE	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-K program memory address space
Addr11 —Destination address for ACALL & AJMP will be within the same 2-K page of program memory as the first byte of the following instruction
rel —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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2. Instruction Opcodes in Hexadecimal Order

Hex Code	Number of Bytes	Mnemonic	Operands
00	1	NOP	
01	2	AJMP	code addr
02	3	LJMP	code addr
03	1	RR	A
04	1	INC	A
05	2	INC	data addr
06	1	INC	@R0
07	1	INC	@R1
08	1	INC	R0
09	1	INC	R1
0A	1	INC	R2
0B	1	INC	R3
0C	1	INC	R4
0D	1	INC	R5
0E	1	INC	R6
0F	1	INC	R7
10	3	JBC	bit addr, code addr
11	2	ACALL	code addr
12	3	LCALL	code addr
13	1	RRC	A
14	1	DEC	A
15	2	DEC	data addr
16	1	DEC	@R0
17	1	DEC	@R1
18	1	DEC	R0
19	1	DEC	R1
1A	1	DEC	R2
1B	1	DEC	R3
1C	1	DEC	R4
1D	1	DEC	R5
1E	1	DEC	R6
1F	1	DEC	R7
20	3	JB	bit addr, code addr
21	2	AJMP	code addr
22	1	RET	
23	1	RL	A
24	2	ADD	A,#data
25	2	ADD	A,data addr
26	1	ADD	A,@R0
27	1	ADD	A,@R1
28	1	ADD	A,R0
29	1	ADD	A,R1
2A	1	ADD	A,R2
2B	1	ADD	A,R3
2C	1	ADD	A,R4
2D	1	ADD	A,R5
2E	1	ADD	A,R6
2F	1	ADD	A,R7
30	3	JNB	bit addr, code addr
31	2	ACALL	code addr
32	1	RETI	
33	1	RLC	A
34	2	ADDC	A,#data
35	2	ADDC	A,data addr
36	1	ADDC	A,@R0
37	1	ADDC	A,@R1
38	1	ADDC	A,R0
39	1	ADDC	A,R1
3A	1	ADDC	A,R2
3B	1	ADDC	A,R3
3C	1	ADDC	A,R4
3D	1	ADDC	A,R5
3E	1	ADDC	A,R6
3F	1	ADDC	A,R7
40	2	JC	code addr
41	2	AJMP	code addr
42	2	ORL	data addr,A
43	3	ORL	data addr,#data
44	2	ORL	A,#data
45	2	ORL	A,data addr
46	1	ORL	A,@R0
47	1	ORL	A,@R1
48	1	ORL	A,R0
49	1	ORL	A,R1
4A	1	ORL	A,R2
4B	1	ORL	A,R3
4C	1	ORL	A,R4
4D	1	ORL	A,R5
4E	1	ORL	A,R6
4F	1	ORL	A,R7
50	2	JNC	code addr
51	2	ACALL	code addr
52	2	ANL	data addr,A
53	3	ANL	data addr,#data
54	2	ANL	A,#data
55	2	ANL	A,data addr
56	1	ANL	A,@R0
57	1	ANL	A@R1
58	1	ANL	A,R0
59	1	ANL	A,R1
5A	1	ANL	A,R2
5B	1	ANL	A,R3
5C	1	ANL	A,R4
5D	1	ANL	A,R5
5E	1	ANL	A,R6
5F	1	ANL	A,R7
60	2	JZ	code addr
61	2	AJMP	code addr
62	2	XRL	data addr,A
63	3	XRL	data addr,#data
64	2	XRL	A,#data
65	2	XRL	A,data addr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2. (Cont.)

Hex Code	Number of Bytes	Mnemonic	Operands
66	1	XRL	A,@R0
67	1	XRL	A,@R1
68	1	XRL	A,R0
69	1	XRL	A,R1
6A	1	XRL	A,R2
6B	1	XRL	A,R3
6C	1	XRL	A,R4
6D	1	XRL	A,R5
6E	1	XRL	A,R6
6F	1	XRL	A,R7
70	2	JNZ	code addr
71	2	ACALL	code addr
72	2	ORL	C,bit addr
73	1	JMP	@A+DPTR
74	2	MOV	A,#data
75	3	MOV	data addr,#data
76	2	MOV	@R0,#data
77	2	MOV	@R1,#data
78	2	MOV	R0,#data
79	2	MOV	R1,#data
7A	2	MOV	R2,#data
7B	2	MOV	R3,#data
7C	2	MOV	R4,#data
7D	2	MOV	R5,#data
7E	2	MOV	R6,#data
7F	2	MOV	R7,#data
80	2	SJMP	code addr
81	2	AJMP	code addr
82	2	ANL	C,bit addr
83	1	MOVC	A,@A+PC
84	1	DIV	AB
85	3	MOV	data addr,data addr
86	2	MOV	data addr,@R0
87	2	MOV	data addr,@R1
88	2	MOV	data addr,R0
89	2	MOV	data addr,R1
8A	2	MOV	data addr,R2
8B	2	MOV	data addr,R3
8C	2	MOV	data addr,R4
8D	2	MOV	data addr,R5
8E	2	MOV	data addr,R6
8F	2	MOV	data addr,R7
90	3	MOV	DPTR,#data
91	2	ACALL	code addr
92	2	MOV	bit addr,C
93	1	MOVC	A,@A+DPTR
94	2	SUBB	A,#data
95	2	SUBB	A,data addr
96	1	SUBB	A,@R0
97	1	SUBB	A,@R1
98	1	SUBB	A,R0

Hex Code	Number of Bytes	Mnemonic	Operands
99	1	SUBB	A,R1
9A	1	SUBB	A,R2
9B	1	SUBB	A,R3
9C	1	SUBB	A,R4
9D	1	SUBB	A,R5
9E	1	SUBB	A,R6
9F	1	SUBB	A,R7
A0	2	ORL	C,/bit addr
A1	2	AJMP	code addr
A2	2	MOV	C,bit addr
A3	1	INC	DPTR
A4	1	MUL	AB
A5		reserved	
A6	2	MOV	@R0,data addr
A7	2	MOV	@R1,data addr
A8	2	MOV	R0,data addr
A9	2	MOV	R1,data addr
AA	2	MOV	R2,data addr
AB	2	MOV	R3,data addr
AC	2	MOV	R4,data addr
AD	2	MOV	R5,data addr
AE	2	MOV	R6,data addr
AF	2	MOV	R7,data addr
B0	2	ANL	C,/bit addr
B1	2	ACALL	code addr
B2	2	CPL	bit addr
B3	1	CPL	C
B4	3	CJNE	A,#data,code addr
B5	3	CJNE	A,data addr,code addr
B6	3	CJNE	@R0,#data,code addr
B7	3	CJNE	@R1,#data,code addr
B8	3	CJNE	R0,#data,code addr
B9	3	CJNE	R1,#data,code addr
BA	3	CJNE	R2,#data,code addr
BB	3	CJNE	R3,#data,code addr
BC	3	CJNE	R4,#data,code addr
BD	3	CJNE	R5,#data,code addr
BE	3	CJNE	R6,#data,code addr
BF	3	CJNE	R7,#data,code addr
C0	2	PUSH	data addr
C1	2	AJMP	code addr
C2	2	CLR	bit addr
C3	1	CLR	C
C4	1	SWAP	A
C5	2	XCH	A,data addr
C6	1	XCH	A,@R0
C7	1	XCH	A,@R1
C8	1	XCH	A,R0
C9	1	XCH	A,R1
CA	1	XCH	A,R2
CB	1	XCH	A,R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2. (Cont.)

Hex Code	Number of Bytes	Mnemonic	Operands
CC	1	XCH	A,R4
CD	1	XCH	A,R5
CE	1	XCH	A,R6
CF	1	XCH	A,R7
D0	2	POP	data addr
D1	2	ACALL	code addr
D2	2	SETB	bit addr
D3	1	SETB	C
D4	1	DA	A
D5	3	DJNZ	data addr,code addr
D6	1	XCHD	A,@R0
D7	1	XCHD	A,@R1
D8	2	DJNZ	R0,code addr
D9	2	DJNZ	R1,code addr
DA	2	DJNZ	R2,code addr
DB	2	DJNZ	R3,code addr
DC	2	DJNZ	R4,code addr
DD	2	DJNZ	R5,code addr
DE	2	DJNZ	R6,code addr
DF	2	DJNZ	R7,code addr
E0	1	MOVX	A,@DPTR
E1	2	AJMP	code addr
E2	1	MOVX	A,@R0
E3	1	MOVX	A,@R1
E4	1	CLR	A
E5	2	MOV	A,data addr
E6	1	MOV	A,@R0
E7	1	MOV	A,@R1
E8	1	MOV	A,R0
E9	1	MOV	A,R1
EA	1	MOV	A,R2
EB	1	MOV	A,R3
EC	1	MOV	A,R4
ED	1	MOV	A,R5
EE	1	MOV	A,R6
EF	1	MOV	A,R7
F0	1	MOVX	@DPTR,A
F1	2	ACALL	code addr
F2	1	MOVX	@R0,A
F3	1	MOVX	@R1,A
F4	1	CPL	A
F5	2	MOV	data addr,A
F6	1	MOV	@R0,A
F7	1	MOV	@R1,A
F8	1	MOV	R0,A
F9	1	MOV	R1,A
FA	1	MOV	R2,A
FB	1	MOV	R3,A
FC	1	MOV	R4,A
FD	1	MOV	R5,A
FE	1	MOV	R6,A
FF	1	MOV	R7,A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางรหัสคำสั่งการโอนย้ายข้อมูลของหน่วยความจำภายใน

	A	*#data*	*ad8*	*@R0*	*@R1*	*R0*	*R1*	*R2*	*R3*	*R4*	*R5*	*R6*	*R7*
MOV A,		74 *data*	E5 *ad8*	E6	E7	E8	E9	EA	EB	EC	ED	EE	EF
MOV ad8,	F5 ad8	75 ad8 *data*	85 *ad8* ad8	86a d8	87a d8	88a d8	89a d8	8A ad8	8B ad8	8C ad8	8D ad8	8E ad8	8F ad8
MOV @R0,	F6	76 *data*	A6 *ad8*										
MOV @R1,	F7	77 *data*	A7 *ad8*										
MOV R0,	F8	78 *data*	A8 *ad8*										
MOV R1,	F9	79 *data*	A9 *ad8*										
MOV R2,	FA	7A *data*	AA *ad8*										
MOV R3,	FB	7B *data*	AB *ad8*										
MOV R4,	FC	7C *data*	AC *ad8*										
MOV R5,	FD	7D *data*	AD *ad8*										
MOV R6,	FE	7E *data*	AE *ad8*										
MOV R7,	FF	7F *data*	AF *ad8*										
XCH A,			C5 *ad8*	C6	C7	C8	C9	CA	CB	CC	CD	CE	CF
XCHD A,				D6	D7								

PUSH ad8	C0 ad8
POP ad8	D0 ad8
MOV DPTR,#mn	90 m n
MOV C,bit	A2 *bit*
MOV bit,C	92 *bit*

ตารางรหัสคำสั่งการโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก

	A	*@DPTR*	*@R0*	*@R1*
MOVX A,		E0	E2	E3
MOVX @DPTR,	F0			
MOVX @R0,	F2			
MOVX @R1,	F3			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางรหัสคำสั่งการโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำโปรแกรม

	@A+DPTR	*@A+PC*
MOVC A,	93	83

ตารางรหัสคำสั่งทางคณิตศาสตร์

	A	*#data*	*ad8*	*@R0*	*@R1*	*R0*	*R1*	*R2*	*R3*	*R4*	*R5*	*R6*	*R7*
ADD A,		24 *data*	25 *ad8*	26	27	28	29	2A	2B	2C	2D	2E	2F
ADDC A,		34 *data*	35 *ad8*	36	37	38	39	3A	3B	3C	3D	3E	3F
SUBB A,		94 *data*	95 *ad8*	96	97	98	99	9A	9B	9C	9D	9E	9F
INC	04		05 *ad8*	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
DEC	14		15 *ad8*	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F

INC DPTR	A3
MUL AB	A4
DIV AB	84

ตารางรหัสคำสั่งทางลอจิก 8 บิต

	A	*#data*	*ad8*	*@R0*	*@R1*	*R0*	*R1*	*R2*	*R3*	*R4*	*R5*	*R6*	*R7*
ORL A,		44 *data*	45 *ad8*	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F
ANL A,		54 *data*	55 *ad8*	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F
XRL A,		64 *data*	65 *ad8*	66	67	68	69	6A	6B	6C	6D	6E	6F
ORL ad8,	42	43 ad8 *data*											
ANL ad8,	52	53 ad8 *data*											
XRL ad8,	62	63 ad8 *data*											
CLR	E4												
CPL	F4												
RL	23												
RLC	33												
RR	03												
RRC	13												
SWAP	C4												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางรหัสคำสั่งบูลีน 1 บิต

	C	*bit*	*/bit*
ORL C,		72 *bit*	A0 *bit*
ANL C,		82 *bit*	B0 *bit*
SETB	D3	D2 *bit*	
CLR	C3	C2 *bit*	
CPL	B3	B2 *bit*	

ตารางรหัสคำสั่งการกระโดดและเรียกโปรแกรมย่อย

	ad8	*R0*	*R1*	*R2*	*R3*	*R4*	*R5*	*R6*	*R7*
DJNZ _ , rel	D5 *ad8* rel	D8 rel	D9 rel	DA rel	DB rel	DC rel	DD rel	DE rel	DF rel

CJNE A , #data , rel	B4 *data* rel
CJNE A , ad8 , rel	B5 *ad8* rel
CJNE @R0, #data , rel	B6 *data* rel
CJNE @R1, #data , rel	B7 *data* rel
CJNE R0, #data , rel	B8 *data* rel
CJNE R1, #data , rel	B9 *data* rel
CJNE R2, #data , rel	BA *data* rel
CJNE R3, #data , rel	BB *data* rel
CJNE R4, #data , rel	BC *data* rel
CJNE R5, #data , rel	BD *data* rel
CJNE R6, #data , rel	BE *data* rel
CJNE R7, #data , rel	BF *data* rel

JC rel	40 rel
JNC rel	50 rel
JB bit,rel	20 bit rel
JNB bit rel	30 bit rel
JBC bit,rel	10 bit rel
JZ rel	60 rel
JNZ rel	70 rel
SJMP rel	80 rel
LJMP mn	02 m n
LCALL mn	12 m n
JMP @A + DPTR	73
RET	22
RETI	32
NOP	00

	byte 1	*byte 2*
AJMP ad11	a10 a9 a8 0 0 0 0 1	a7 a6 a5 a4 a3 a2 a1 a0
ACALL ad11	a10 a9 a8 1 0 0 0 1	a7 a6 a5 a4 a3 a2 a1 a0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

รายละเอียดของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory Lock
- 128 x 8-Bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low Power Idle and Power Down Modes

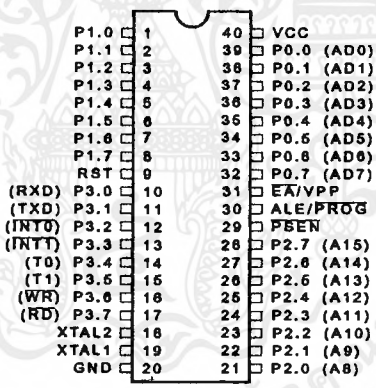
Description

The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash Programmable and Erasable Read Only Memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard MCS-51™ instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

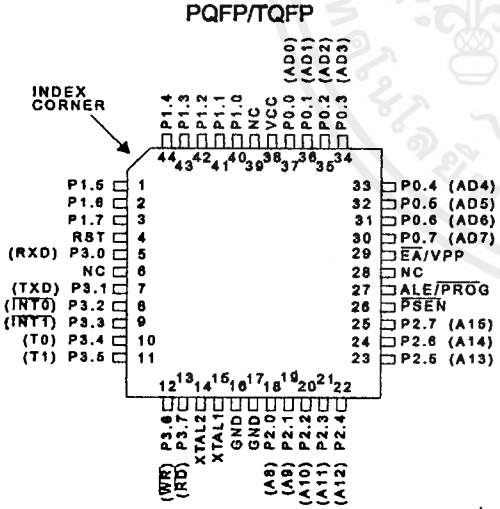
(continued)

Pin Configurations

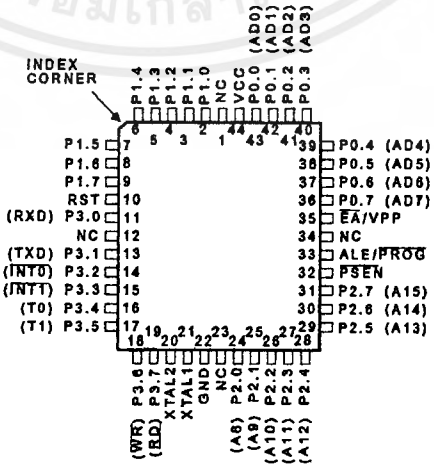
PDIP



PQFP/TQFP



PLCC



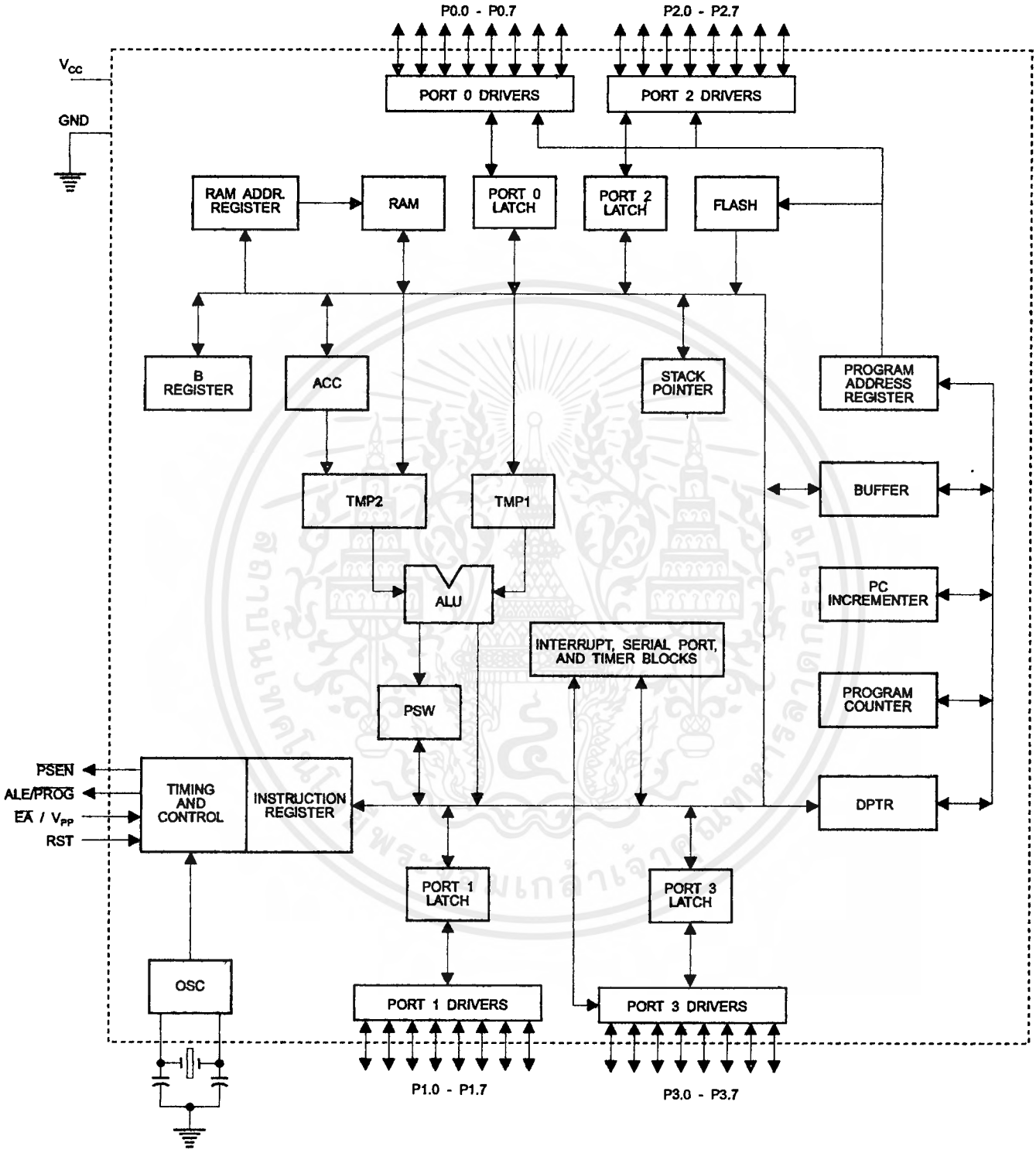
8-Bit Microcontroller with 4K Bytes Flash

AT89C51

0265F-A-12/97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

V_{CC}
Supply voltage.

GND
Ground.

Port 0
Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1
Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port 2
Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application it uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3
Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{WR}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{RD}$ (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST
Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/$\overline{PROG}$
Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ($\overline{PROG}$) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

$\overline{PSEN}$
Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

When the AT89C51 is executing code from external program memory, $\overline{PSEN}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{PSEN}$ activations are skipped during each access to external data memory.

$\overline{EA}$/V_{PP}
External Access Enable. $\overline{EA}$ must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, $\overline{EA}$ will be internally latched on reset.

$\overline{EA}$ should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming, for parts that require 12-volt V_{PP}.

XTAL1
Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2
Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

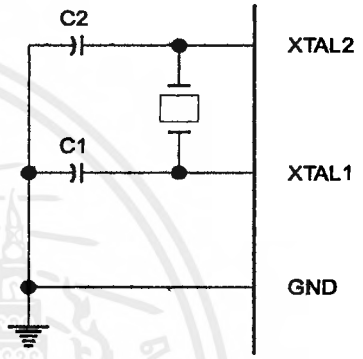
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

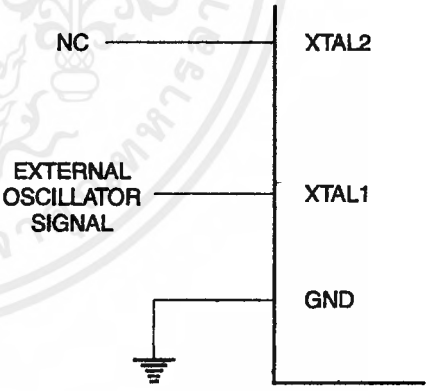
It should be noted that when idle is terminated by a hard ware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Figure 1. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 2. External Clock Drive Configuration



Status of External Pins During Idle and Power Down Modes

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{PSEN}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power Down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power Down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power Down Mode

In the power down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the $\overline{EA}$ pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of $\overline{EA}$ be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				Protection Type
	LB1	LB2	LB3	
1	U	U	U	No program lock features.
2	P	U	U	MOVC instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, $\overline{EA}$ is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled.
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled.
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled.

Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (V_{CC}) program enable signal. The low voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	V_{PP} = 12V	V_{PP} = 5V
Top-Side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H)=1EH (031H)=51H (032H)=FFH	(030H)=1EH (031H)=51H (032H)=05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

Programming Algorithm: Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figures 3 and 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise $\overline{EA}/V_{PP}$ to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse ALE/$\overline{PROG}$ once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

$\overline{Data}$ Polling: The AT89C51 features $\overline{Data}$ Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. $\overline{Data}$ Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/$\overline{Busy}$: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/$\overline{BSY}$ output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding ALE/$\overline{PROG}$ low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H,

031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

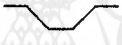
(030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
(031H) = 51H indicates 89C51
(032H) = FFH indicates 12V programming
(032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Flash Programming Modes

Mode		RST	$\overline{PSEN}$	ALE/$\overline{PROG}$	$\overline{EA}$/V_{PP}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data		H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data		H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H	H
	Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L	L
	Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	H	L
Chip Erase		H	L	(1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte		H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10-ms PROG pulse.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 3. Programming the Flash

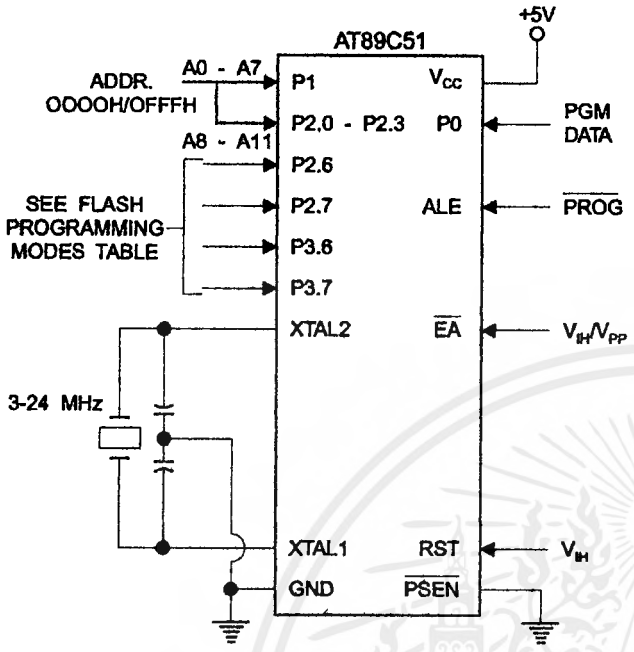
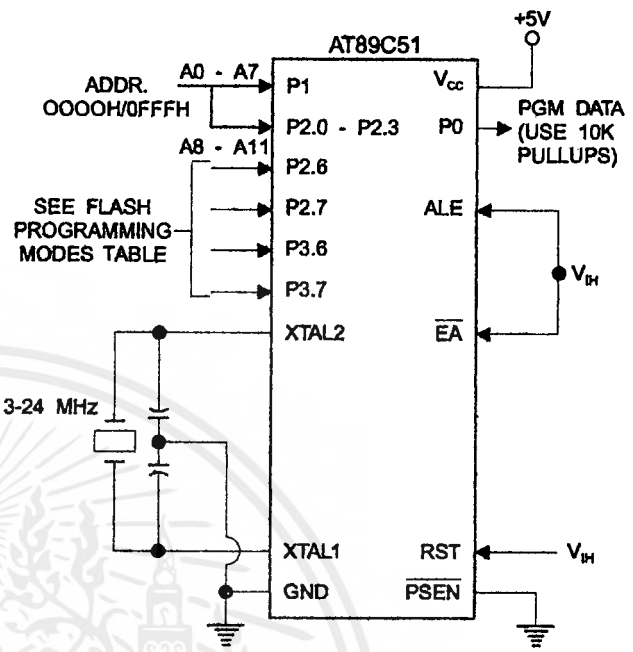


Figure 4. Verifying the Flash



Flash Programming and Verification Characteristics

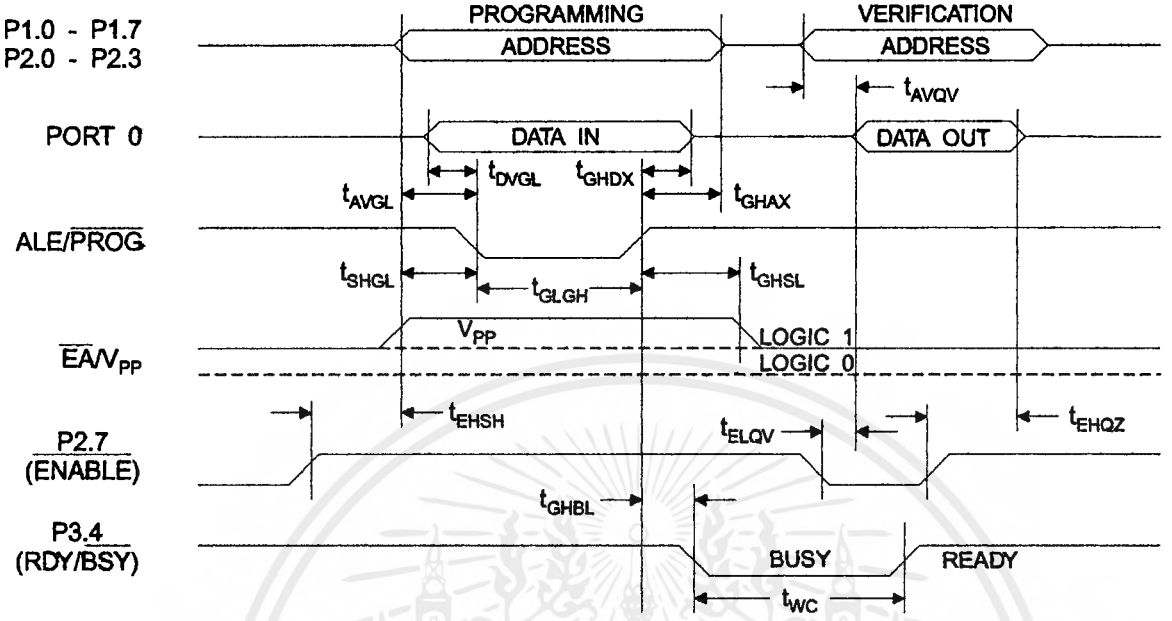
T_A = 0°C to 70°C, V_{CC} = 5.0 ± 10%

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V_{PP}(1)	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I_{PP}(1)	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t_{AVGL}	Address Setup to $\overline{PROG}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHAX}	Address Hold After $\overline{PROG}$	$48t_{CLCL}$		
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{PROG}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHDX}	Data Hold After $\overline{PROG}$	$48t_{CLCL}$		
t_{EHSH}	P2.7 ($\overline{ENABLE}$) High to V_{PP}	$48t_{CLCL}$		
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{PROG}$ Low	10		µs
t_{GHSL}(1)	V_{PP} Hold After $\overline{PROG}$	10		µs
t_{GLGH}	$\overline{PROG}$ Width	1	110	µs
t_{AVQV}	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{ELQV}	$\overline{ENABLE}$ Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{EHQZ}	Data Float After $\overline{ENABLE}$	0	$48t_{CLCL}$	
t_{GHBL}	$\overline{PROG}$ High to $\overline{BUSY}$ Low		1.0	µs
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

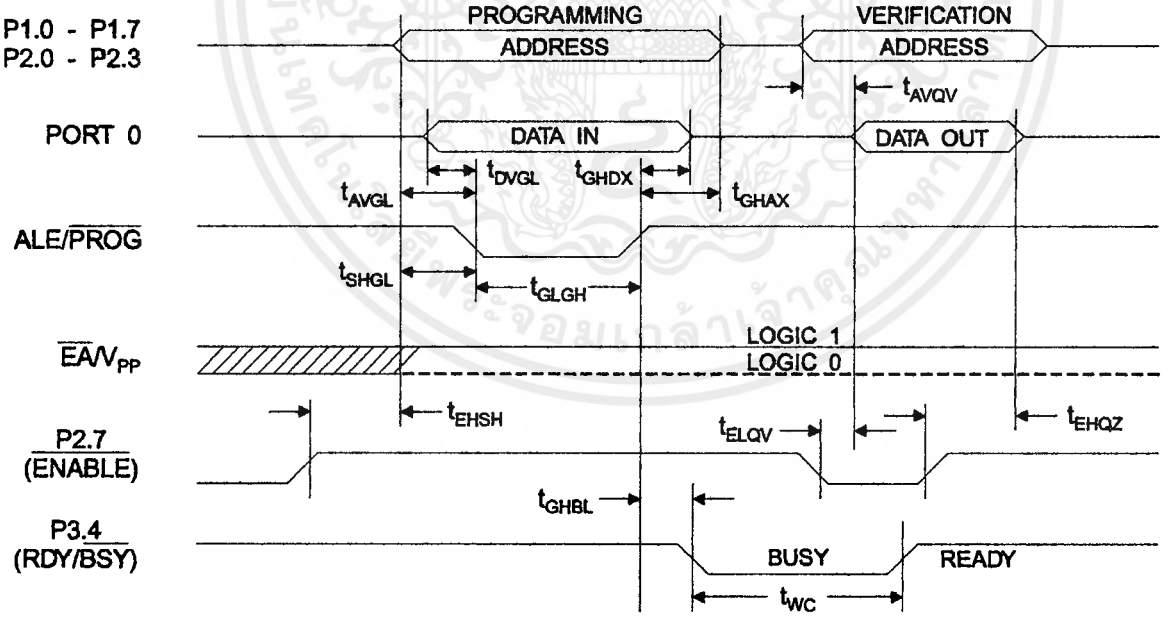
Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flash Programming and Verification Waveforms - High Voltage Mode (V_{PP} = 12V)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low Voltage Mode (V_{PP} = 5V)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage	6.6V
DC Output Current	15.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

T_A = -40°C to 85°C, V_{CC} = 5.0V ± 20% (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low Voltage	(Except $\overline{EA}$)	-0.5	0.2 V_{CC} - 0.1	V
V_{IL1}	Input Low Voltage ($\overline{EA}$)		-0.5	0.2 V_{CC} - 0.3	V
V_{IH}	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	0.2 V_{CC} + 0.9	V_{CC} + 0.5	V
V_{IH1}	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	0.7 V_{CC}	V_{CC} + 0.5	V
V_{OL}	Output Low Voltage(1) (Ports 1,2,3)	I_{OL} = 1.6 mA		0.45	V
V_{OL1}	Output Low Voltage(1) (Port 0, ALE, $\overline{PSEN}$)	I_{OL} = 3.2 mA		0.45	V
V_{OH}	Output High Voltage (Ports 1,2,3, ALE, $\overline{PSEN}$)	I_{OH} = -60 µA, V_{CC} = 5V ± 10%	2.4		V
		I_{OH} = -25 µA	0.75 V_{CC}		V
		I_{OH} = -10 µA	0.9 V_{CC}		V
V_{OH1}	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode)	I_{OH} = -800 µA, V_{CC} = 5V ± 10%	2.4		V
		I_{OH} = -300 µA	0.75 V_{CC}		V
		I_{OH} = -80 µA	0.9 V_{CC}		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	V_{IN} = 0.45V		-50	µA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	V_{IN} = 2V, VCC = 5V ± 10%		-650	µA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port 0, $\overline{EA}$)	0.45 < V_{IN} < V_{CC}		±10	µA
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	KΩ
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, T_A = 25°C		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power Down Mode(2)	V_{CC} = 6V		100	µA
		V_{CC} = 3V		40	µA

Notes:
1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
   Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
   Maximum I_{OL} per 8-bit port: Port 0: 26 mA
   Ports 1, 2, 3: 15 mA
   Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA
   If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum V_{CC} for Power Down is 2V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Characteristics

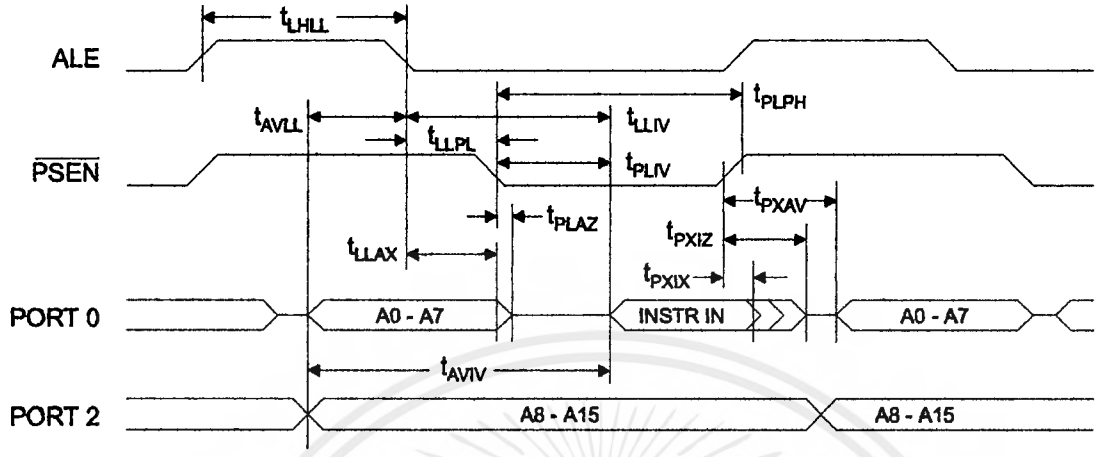
(Under Operating Conditions; Load Capacitance for Port 0, ALE/$\overline{PROG}$, and $\overline{PSEN}$ = 100 pF; Load Capacitance for all other outputs = 80 pF)

External Program and Data Memory Characteristics

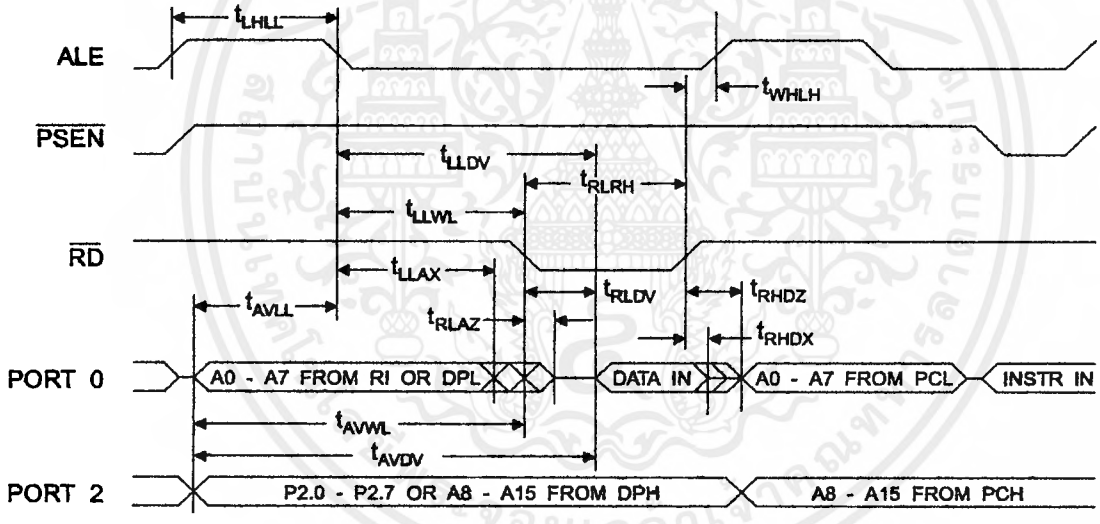
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{CLCL}$-40		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		t_{CLCL}-13		ns
t_{LLAX}	Address Hold After ALE Low	48		t_{CLCL}-20		ns
t_{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{CLCL}$-65	ns
t_{LLPL}	ALE Low to $\overline{PSEN}$ Low	43		t_{CLCL}-13		ns
t_{PLPH}	$\overline{PSEN}$ Pulse Width	205		$3t_{CLCL}$-20		ns
t_{PLIV}	$\overline{PSEN}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{CLCL}$-45	ns
t_{PXIX}	Input Instruction Hold After $\overline{PSEN}$	0		0		ns
t_{PXIZ}	Input Instruction Float After $\overline{PSEN}$		59		t_{CLCL}-10	ns
t_{PXAV}	$\overline{PSEN}$ to Address Valid	75		t_{CLCL}-8		ns
t_{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{CLCL}$-55	ns
t_{PLAZ}	$\overline{PSEN}$ Low to Address Float		10		10	ns
t_{RLRH}	$\overline{RD}$ Pulse Width	400		$6t_{CLCL}$-100		ns
t_{WLWH}	$\overline{WR}$ Pulse Width	400		$6t_{CLCL}$-100		ns
t_{RLDV}	$\overline{RD}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{CLCL}$-90	ns
t_{RHDX}	Data Hold After $\overline{RD}$	0		0		ns
t_{RHDZ}	Data Float After $\overline{RD}$		97		$2t_{CLCL}$-28	ns
t_{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{CLCL}$-150	ns
t_{AVDV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{CLCL}$-165	ns
t_{LLWL}	ALE Low to $\overline{RD}$ or $\overline{WR}$ Low	200	300	$3t_{CLCL}$-50	$3t_{CLCL}$+50	ns
t_{AVWL}	Address to $\overline{RD}$ or $\overline{WR}$ Low	203		$4t_{CLCL}$-75		ns
t_{QVWX}	Data Valid to $\overline{WR}$ Transition	23		t_{CLCL}-20		ns
t_{QVWH}	Data Valid to $\overline{WR}$ High	433		$7t_{CLCL}$-120		ns
t_{WHQX}	Data Hold After $\overline{WR}$	33		t_{CLCL}-20		ns
t_{RLAZ}	$\overline{RD}$ Low to Address Float		0		0	ns
t_{WHLH}	$\overline{RD}$ or $\overline{WR}$ High to ALE High	43	123	t_{CLCL}-20	t_{CLCL}+25	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Program Memory Read Cycle

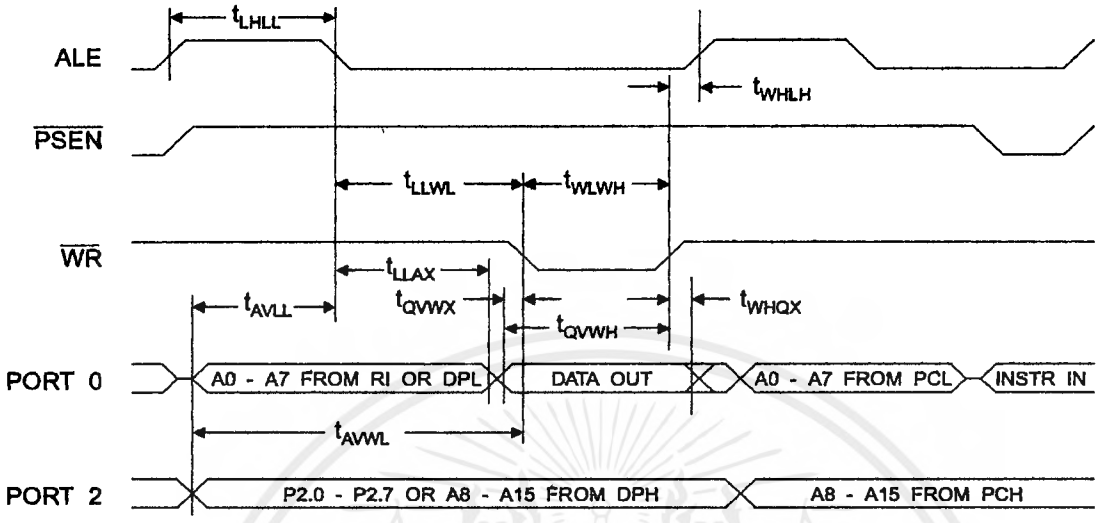


External Data Memory Read Cycle

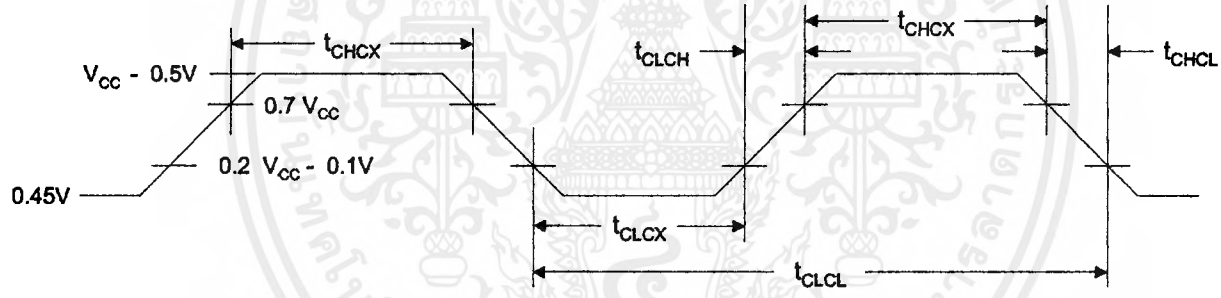


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns

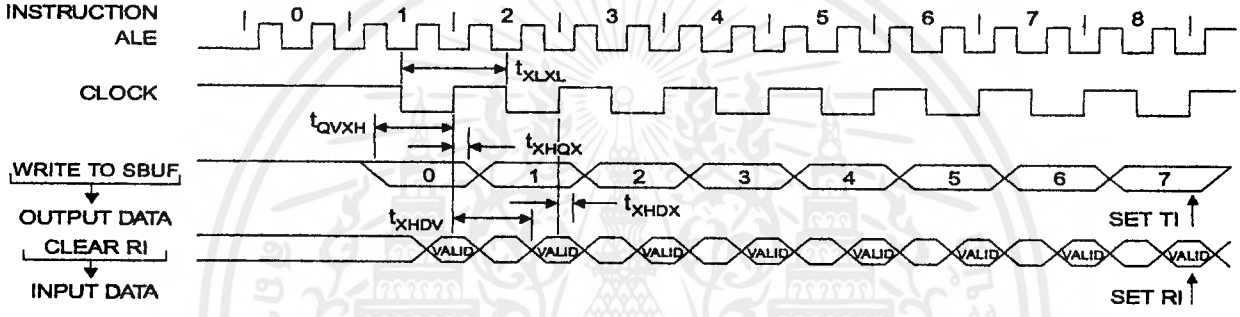
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

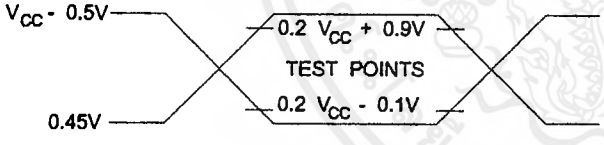
(V_{CC} = 5.0 V ± 20%; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		µs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}$-133		ns
t_{XHQX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}$-117		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}$-133	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

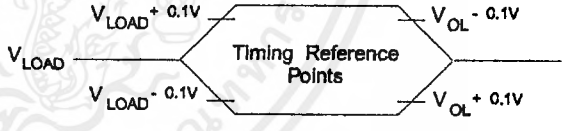


AC Testing Input/Output Waveforms[1]



Note: 1. AC inputs during testing are driven at V_{CC} - 0.5V for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Float Waveforms[1]



Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V ± 20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial
		AT89C51-12JC	44J	(0°C to 70°C)
		AT89C51-12PC	40P6	
		AT89C51-12QC	44Q	
		AT89C51-12AI	44A	Industrial
		AT89C51-12JI	44J	(-40°C to 85°C)
		AT89C51-12PI	40P6	
		AT89C51-12QI	44Q	
		AT89C51-12AA	44A	Automotive
		AT89C51-12JA	44J	(-40°C to 105°C)
		AT89C51-12PA	40P6	
		AT89C51-12QA	44Q	
16	5V ± 20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial
		AT89C51-16JC	44J	(0°C to 70°C)
		AT89C51-16PC	40P6	
		AT89C51-16QC	44Q	
		AT89C51-16AI	44A	Industrial
		AT89C51-16JI	44J	(-40°C to 85°C)
		AT89C51-16PI	40P6	
		AT89C51-16QI	44Q	
		AT89C51-16AA	44A	Automotive
		AT89C51-16JA	44J	(-40°C to 105°C)
		AT89C51-16PA	40P6	
		AT89C51-16QA	44Q	
20	5V ± 20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial
		AT89C51-20JC	44J	(0°C to 70°C)
		AT89C51-20PC	40P6	
		AT89C51-20QC	44Q	
		AT89C51-20AI	44A	Industrial
		AT89C51-20JI	44J	(-40°C to 85°C)
		AT89C51-20PI	40P6	
		AT89C51-20QI	44Q	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
24	5V ± 20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-24JC	44J	
		AT89C51-24PC	44P6	
		AT89C51-24QC	44Q	
		AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-24JI	44J	
		AT89C51-24PI	44P6	
		AT89C51-24QI	44Q	

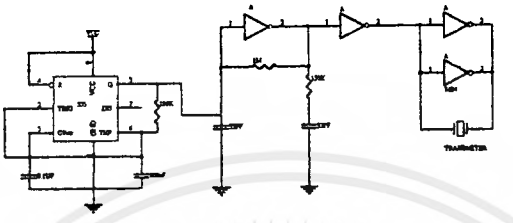
Package Type	
44A	44 Lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44 Lead, Plastic J-Leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40 Lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44 Lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

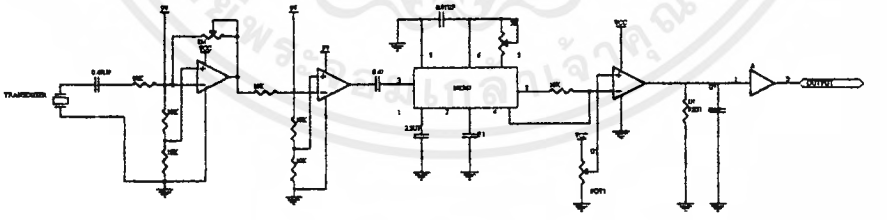
ภาคผนวก ช.

รายละเอียดของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

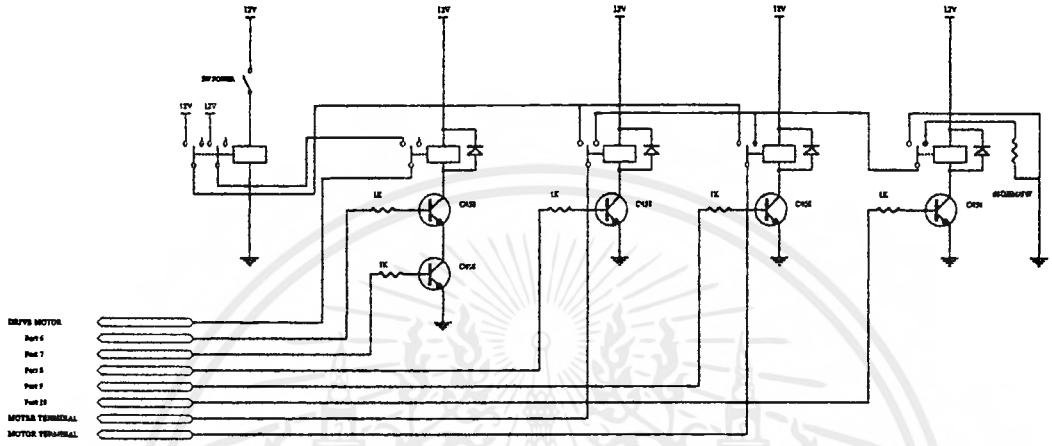


วงจรอัลตร้าโซนิคตัวส่ง

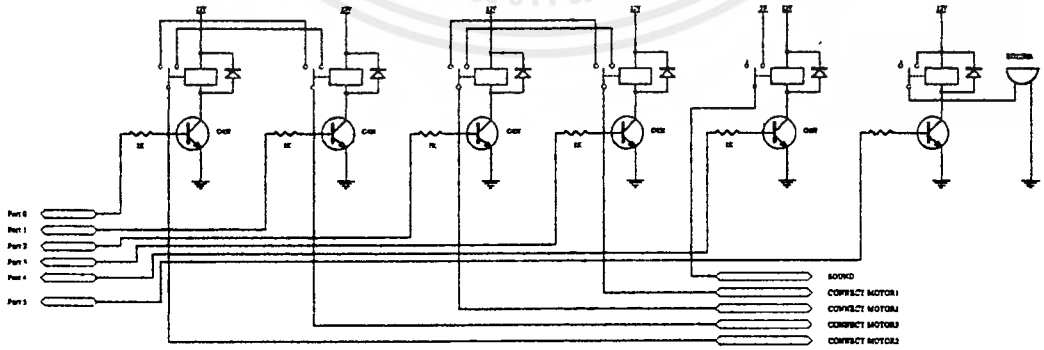


วงจรอัลตร้าโซนิคตัวรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

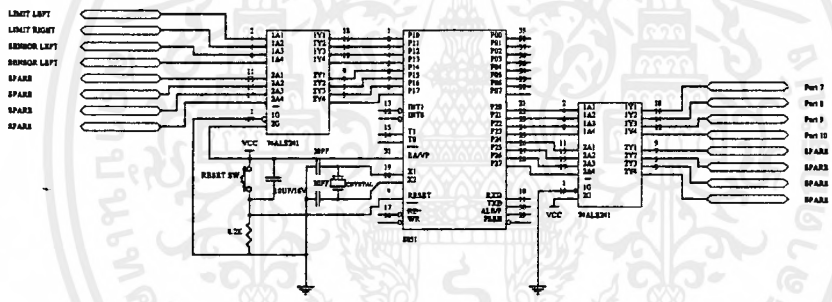


วงจรควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อน



วงจรควบคุมมอเตอร์บังคับเลี้ยว และ รับส่งของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรใช้งานคอนโทรลเลอร์ 89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล,"คู่มือนักอิเล็คทรอนิคส์",บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน),2538
2. ธีรวัฒน์ ประกอบผล,"การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทลเลอร์",สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),1 เมษายน 2540
3. อุดม จีนประดับ,"ไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51",สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,กุมภาพันธ์ 2541
4. GORDON MCCOMB," The ROBOT BUILDER'S BONANZA: 99 INEXPENSIVE ROBOTICS PROJECTS " , TAB BOOKS Inc.Blue Ridge Summit,PA,1987

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้