สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนัง

CLIMB ROBOT

โดย

นายยศ เมตตาสิทธิกร

นายวรการ อิ่มสมบัติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50208
วัน,เดือน,ปี 27 เม.ย. 2547

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนัง

CLIMB ROBOT

โดย

นายยศ เมตตาสิทธิกร

นายวรการ อิ่มสมบัติ

อาจารย์ที่ปรึกษา

นายสุมิตร พนาอุดมทรัพย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนัง

CLIMB ROBOT

ผู้จัดทำ

1. นายยศ เมตตาสิทธิกร
2. นายวรการ อิ่มสมบัติ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(นายสุมิตร พนาอุดมทรัพย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนัง

ยศ เมตตาสิทธิกร
วรการ อิ่มสมบัติ
สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนัง ซึ่งมีความสามารถเคลื่อนที่เฉพาะบนพื้นผิวที่มีความเรียบ เช่น พื้นกระจก พื้นกระเบื้อง โดยใช้รีโมต (Remote Controller) มาควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่และประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 นี้เป็นตัวควบคุมท่าทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยการใช้มอเตอร์กระแสตรง (Direct Current Motor) เป็นตัวขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CLIMB ROBOT

Yot Mettasitthikorn

Warakarn Imsombat

Sumit Panaudomsab Advisor

2003

Abstract

Climb Robot is a robot, which can move on plat-surface, such as mirror or tile. It controlled direction and movement pattern by used remote control. The main controller of robot is microcontroller MCS-51 compute result to drive motor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

สารบัญ III

สารบัญ (ต่อ) IV

สารบัญ (ต่อ) V

สารบัญรูปภาพ VI

สารบัญรูปภาพ (ต่อ) VII

สารบัญตาราง VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ทฤษฎี และ หลักการ 2

2.1 ทฤษฎีโมเมนต์ (Moment) ของแรง 2

2.1.1 โมเมนต์ของแรงคู่ควบ 3

2.1.2 สมดุล 4

2.2 พอร์ต (Port) อนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 5

2.2.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส 5

2.2.2 รีจิสเตอร์ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51 7

2.2.3 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51 8

2.2.4 การส่งข้อมูลพอร์ตอนุกรมโหมด 3 8

2.3 การขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วยอุปกรณ์ระบบบัส I^2C 10

2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ I^2C 10

2.3.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I^2C 11

2.3.3 หลักการของบัส I^2C 12

2.3.4 สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I^2C 13

2.3.5 การทำงานบนบัส I^2C 14

2.3.6 การอ้างอิงแบบ 7 บิต (7-bit addressing) 15

2.3.7 การอ้างอิงถึงแบบ 10 บิต 15

2.3.8 การติดต่ออุปกรณ์ระบบบัส I^2C กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 การใช้งานไอซี ADC/DAC บนระบบบัส I^2C เบอร์ PCF8591 17

2.4.1 ความเที่ยงตรงของวงจร ADC 20

2.4.2 ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ (Conversion time) 20

2.4.3 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591 20

2.4.4 รายละเอียดฟังก์ชั่นต่างๆของ PCF8591 23

2.4.5 การอ่านค่าข้อมูลอินพุตอะนาลอกของ PCF8591 24

2.4.6 การเขียนข้อมูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอก ของ PCF8591 25

2.4.7 การเชื่อมต่อ PCF8591 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 25

2.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 27

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง 29

3.1 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ 29

3.1.1 ชุดขาดูด 29

3.1.2 ขาของหุ่นยนต์ 34

3.1.3 ขั้นตอนการทำงานของชุดขาดูด 38

3.2 การออกแบบวงจรควบคุม 42

3.2.1 รีโมต 42

3.2.2 ภาควงจรควบคุม 43

3.2.3 ภาควงจรขับมอเตอร์ 47

3.2.4 ภาควงจรป้อนกลับ 48

3.3 ลักษณะการวางขาและลำตัวของหุ่นยนต์ 49

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 50

4.1 การทดลองโครงสร้างของหุ่นยนต์ 50

4.1.1 ผลการทดลองชุดขาดูด 50

4.1.2 ผลการทดลองข้อต่อหัวไหล่ 50

4.1.3 ผลการทดลองข้อต่อปลายแขน (หัวไหล่อยู่กับที่) 51

4.2 การทดลองทางภาควงจรควบคุมและโปรแกรม 52

4.2.1 การทดลองการติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแม่และตัวลูก 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 การทดลองทางภาควงจรป้อนกลับ 53
4.2.3 การทดลองค่ามุมจากข้อต่อของแขนหุ่นยนต์ด้วยโปรแกรมภาษาซี 53
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป 62
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 62
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ปัญหา 62
5.3 แนงทางการพัฒนาต่อ 63
ภาคผนวก
กิตติกรรมประกาศ
หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 โมเมนต์ของแรง 2
รูปที่ 2.2 โมเมนต์ของแรงควบคู่ 3
รูปที่ 2.3 โมเมนต์ของแรงควบคู่รอบจุดหมุน 3
รูปที่ 2.4 รูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 5
รูปที่ 2.5 ผังแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ บนระบบบัส I^2C 10
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ในระบบบัส I^2C 11
รูปที่ 2.7 การต่อตัวต้านทานพลูอัปบนสายสัญญาณในระบบบัส I^2C 12
รูปที่ 2.8 การต่อตัวต้านทาน R_s เพื่อลดสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่ที่อาจเข้ามาในบัส I^2C 12
รูปที่ 2.9 ไดอะแกรมเวลาแสดงสถานะต่างๆในบัส I^2C 14
รูปที่ 2.10 รูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเดรสที่ใช้ในการอ้างอิงถึงแบบ 7 บิต 15
รูปที่ 2.11 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่ติดต่อกับอุปกรณ์บัส I^2C เมื่อใช้อ้างอิงถึงแบบ 7 บิต 15
รูปที่ 2.12 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่ติดต่อกับอุปกรณ์บัส I^2C เมื่อใช้อ้างอิงถึงแบบ 10 บิต 16
รูปที่ 2.13 วงจรการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับอุปกรณ์ระบบบัส I^2C 16
รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น 17
รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมเวลาแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น 18
รูปที่ 2.16 ไอซี ADC/DAC ขนาด 8 บิตผ่านบัส I^2C เบอร์ PCF8591 20
รูปที่ 2.17 รายละเอียดข้อมูลควบคุมที่เขียนในรีจิสเตอร์ควบคุมภายในไอซี PCF8591 22
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับ PCF8591 26
รูปที่ 2.19 วงจรทดลองการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51ไอซี ADC/DAC บนระบบบัส I^2C 26
รูปที่ 3.1 ชุดขาดูด 29
รูปที่ 3.2 แผ่นยางดูดที่ใช้ในโครงงาน 31
รูปที่ 3.3 รูปแสดงการดูดของยาง 31
รูปที่ 3.4 ชุดกลไกที่แป้นยางดูด 33
รูปที่ 3.5 ขาของหุ่นยนต์ 34
รูปที่ 3.6 มอเตอร์ของบริษัท CHIBA PRECISION CO,.LTD JAPAN 35
รูปที่ 3.7 การทำงานของชุดขาดูดขั้นตอนที่ 1 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.8 การทำงานของชุดขาดูดขั้นตอนที่ 2 39
รูปที่ 3.9 การทำงานของชุดขาดูดขั้นตอนที่ 3 40
รูปที่ 3.10 การทำงานของชุดขาดูดขั้นตอนที่ 4 41
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 42
รูปที่ 3.12 Key Pad 42
รูปที่ 3.13 วงจรของภาคคอนโทรลเลอร์ 43
รูปที่ 3.14 โฟล์วชาร์ทการรับส่งข้อมูลในโหมด 3 45
รูปที่ 3.15 ภาควงจรขับมอเตอร์ 47
รูปที่ 3.16 วงจรป้อนกลับ A/D PCF8591 48
รูปที่ 3.17 ลักษณะการวางขาและลำตัว 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของแผ่นยางดูด 30
ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแผ่นยางแต่ละขนาด 30
ตารางที่ 3.3 รุ่น SJP Series / 18mm diameter ราคา 450บาท/ตัว 36
ตารางที่ 3.4 รุ่น SMP Series / 25mm diameter ราคา 400บาท/ตัว 37
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองชุดขาดูด 50
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองข้อต่อหัวไหล่ 50
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองข้อต่อปลายแขน (หัวไหล่อยู่กับที่) 51
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการติดต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแม่และตัวลูก(1 ตัว) 52
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการติดต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแม่และตัวลูก(2 ตัว) 52
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองภาควงจรป้อนกลับ 53
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองค่ามุมจากข้อต่อของแขนหุ่นยนต์ด้วยภาษาซี 53
ตารางที่ 4.8 ค่ามุมจากข้อต่อของแขนหุ่นยนต์ด้วยภาษาซี 54
ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ค่ามุมจากข้อต่อของแขนหุ่นยนต์ด้วยภาษาซี 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันหุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญมากในชีวิตของเราไม่ว่าจะเป็นทางด้านการศึกษา บันเทิง เทคโนโลยี การแพทย์ งานบริการ เป็นต้น ซึ่งที่เราเห็นโดยทั่วไปนั้นส่วนใหญ่จะเป็นหุ่นยนต์จำพวก ล้อ และขา ซึ่งจะเคลื่อนที่บนพื้นผิวธรรมดา จึงทำให้เกิดแนวความคิดที่จะประดิษฐ์หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนังขึ้น ซึ่งในโครงงานนี้เป็นหุ่นยนต์ที่ต่างออกไป โดยจะเคลื่อนที่ในแนวตั้งบนพื้นผิวที่เรียบและมัน ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้ยังมีน้อยอยู่มากเมื่อเทียบกับหุ่นยนต์ประเภทขา และล้อ แต่ว่าหุ่นยนต์ประเภทนี้มีประโยชน์เป็นอย่างมากไม่แพ้กับหุ่นยนต์ประเภทขาและล้อ หุ่นยนต์นี้สามารถใช้ในงานหลายๆประเภท อาทิเช่น งานด้านความสะอาด งานรักษาความปลอดภัย งานทางทหาร หรืองานบริการ ขนส่ง

หุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นมานี้จะเป็นหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่บนผนังเรียบได้ โดยที่หุ่นยนต์จะมีขา 4 ขา เคลื่อนไหวอย่างอิสระ ซึ่งขาแต่ละข้างที่ปลายขาจะติดชุดยางดูดไว้เพื่อยึดเกาะกับผนัง ประมวลผลคำสั่งงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมการทำงานโดยรีโมตแบบมีสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีโมเมนต์ (Moment) ของแรง

โมเมนต์ของแรงคือผลคูณของแรงกับระยะตั้งฉากจากจุดหมุนไปยังแนวแรง

รูปที่ 2.1 โมเมนต์ของแรง

เมื่อ

M เป็นโมเมนต์ของแรง

F หน่วยเป็นนิวตัน-เมตร

L เป็นระยะตั้งฉากจากจุดหมุน 0 ไปยังแนวแรง F

โมเมนต์เป็นปริมาณเวกเตอร์ (Vector) มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร ทิศทางของโมเมนต์จะมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา หรือ ตามเข็มนาฬิกาได้ทั้งนี้คิดรอบจุดหมุน

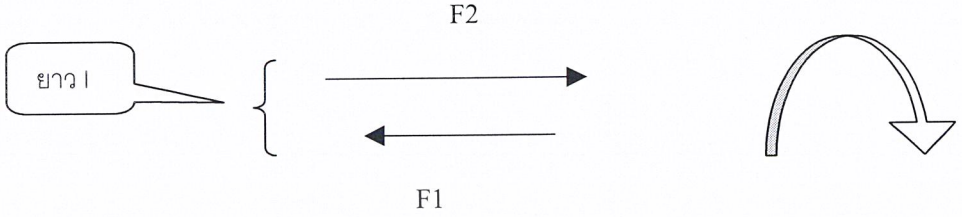
เนื่องจากแรงใดๆ โดยทั่วไปการหาโมเมนต์เนื่องจากแรงใดๆ เรามักจะแตกแรงให้ตั้งฉากกับแนวคานที่แรงกระทำ ดังตัวอย่างในรูปต้องการหา

โมเมนต์รอบจุด 0 อันเนื่องจากแรง P กระทำกับประแจเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

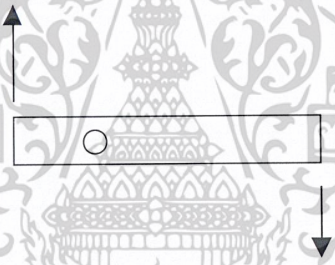
2.1.1 โมเมนต์ของแรงคู่ควบ

แรงคู่ควบ คือ แรงที่มีขนาดเท่ากัน ขนาดและทิศทางตรงข้ามกัน



รูปที่ 2.2 โมเมนต์ของแรงควบคู่

ตามรูปที่ 2.2 F1 และ F2 เป็นแรงคู่ควบคู่หนึ่งเพราะทิศทางตรงข้ามกัน ขนานกันและขนาดเท่ากัน ห่างกัน l หรือ



$$\sum M = \mathrm{P.l}$$

รูปที่ 2.3 โมเมนต์ของแรงควบคู่รอบจุดหมุน

เมื่อ M เป็นโมเมนต์แรงคู่ควบ กรณีนี้หมุนตามเข็มนาฬิกา รอบจุดหมุนใดๆก็ได้ แสดงว่าโมเมนต์แรงคู่ควบมีค่าเท่ากับแรงคูณด้วย การขจัดตั้งฉาก ระหว่างแนวแรงทั้งสอง ดังนั้นโมเมนต์จากแรงคู่ควบจึงเป็นโมเมนต์หมุนรอบจุดใดๆ ก็ได้ย่อมมีค่าเท่ากับแรงคูณด้วยการขจัดระหว่างแนวแรงทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สมดุล

ภาวะการณ์สมดุลของวัตถุ คือภาวะการอยู่นิ่งของวัตถุ ณ ภาวะนี้วัตถุจะไม่มีการเคลื่อนที่และไม่มีการหมุน ดังนั้นวัตถุจะสมดุลได้ก็ต่อเมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

วัตถุไม่มีการเคลื่อนที่แสดงว่า

$$\sum F\,\mathrm{x} = 0 \quad \text{และ} \quad \sum F\,\mathrm{y} = 0$$

วัตถุไม่มีการหมุน แสดงว่า

$$\sum M = 0$$

ดังนั้นเงื่อนไขการสมดุลของวัตถุ คือ

$$\sum F\,\mathrm{x} = 0, \sum F\,\mathrm{y} = 0, \sum M = 0$$

การคำนวณการสมดุลของวัตถุ

แยกการพิจารณาเป็น 3 แบบ คือ

1. การสมดุลของแรงตัดกันที่จุดๆเดียวกัน ส่วนใหญ่ได้แก่การสมดุลของแรงสามแรง จะได้ว่า ถ้าแรงสามแรงกระทำต่อวัตถุ แล้ววัตถุอยู่ในสภาวะสมดุล เมื่อต่อแนวแรงทั้งสามมันจะตัดกันที่จุดเดียวกันเสมอ การคำนวณให้ใช้วิธีการแตกแรงโดยตั้งแกน และ ที่จุดตัดของแรงแล้ว

2. การสมดุลของวัตถุในระบบที่ประกอบด้วยวัตถุหลายก้อน มีหลักการพิจารณาได้ดังนี้

2.1 ถ้าวัตถุในระบบวิ่งด้วยอัตราเร็วเท่ากัน หาค่าที่ต้องการจากสมการผลรวมแรงในระบบเท่ากับศูนย์

2.2 ถ้าวัตถุในระบบที่วิ่งด้วยอัตราเร็วไม่เท่ากัน หาค่าที่ต้องการ โดยการตัดวัตถุออกมาคิดแรงทีละก้อนตามสมการ $\sum F = 0$

3. การสมดุลของแรงที่ตัดกันคนละจุด เพื่อความสะดวกและความรวดเร็วให้คำนวณดังนี้

3.1 หยิบวัตถุที่ต้องการหาแรงออกมาเขียนแรงกระทำต่างๆให้ครบ

3.2 เลือก ตอบจุดที่ไม่ทราบค่าแรงมากที่สุด หรือ จุดที่มีแรงผ่อนมากสุดเสียก่อน

3.3 คำนวณกาค่าที่ต้องการจากสมการ $\sum F\,\mathrm{x} = 0$ และ $\sum F\,\mathrm{y} = 0$

4. ต้องการหาแรงปฏิกิริยาที่ใดให้รวมกันแบบ Vector จะได้

ขนาดของแรง $\mathrm{R} = \sqrt{(Rx\text{^}2 + Ry\text{^}2)}$

ทิศทาง $\tan\alpha = \mathrm{Ry/Rx}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พอร์ต (Port) อนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

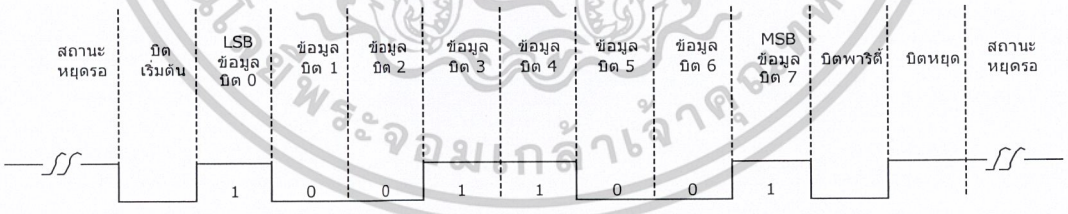
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) 1 ชุด (วงจรสื่อสารแบบดูเพล็กซ์ หมายถึง วงสื่อสารที่สามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทาง ได้ในเวลาเดียวกัน) โดยใช้ขาสัญญาณพอร์ต 3 คือ ขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้าหรือ RxD และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือ TxD โดยวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบบแฟลช (Flash) เป็นแบบอะซิงโครนัส ปกติแล้วพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ (Computer) โดยใช้มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้แล้ว โดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำในการแปลงสัญญาณการสื่อสารดังกล่าว

2.2.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วยแต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่าอัตราบอดหรือ บอดเรต (Baud Rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (Bit per Second : bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity Bit) มีขนาด 1 บิต หรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (Stop Bit) มีขนาด 1 บิต



รูปที่ 2.4 รูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา DATA จะมีสถานะลอจิก “1” เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (Waiting Stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการใช้ขา DATA มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิตเรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือบิต LSB ก่อนซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งมีจำนวน 8 บิต จากนั้นตามด้วยบิตพาริตี้ ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จะส่งคือ บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด โดยจะเป็นการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต,1.5 บิตหรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสหรืออัตราบอดหรือบอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่า ได้แก่ 110 150 300 600 1,200 2,400 4,800 9,600 และ 19,200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอัตราบอดคือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่า ข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์จะมีความยาวเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9,600 บิตต่อวินาทีก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (Odd) ,แบบคู่ (Even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ พาริตี้คี่หรือพาริตี้คู่แสดงถึงจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์ ร่วมบิตพาริตี้ว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่ทำการส่งมีขนาด 8 บิตมีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก “1” จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นค่าพาริตี้เป็นคู่ ค่าพาริตี้จะต้องมีลอจิกเป็น “0” แต่ถ้ากำหนดพาริตี้เป็นคี่ ค่าของบิตพาริตี้เป็น “1” เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตี้เป็นคี่

บิตพาริตี้ถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter: เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม) ซึ่งทางภาครับจะต้องกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตี้ที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตี้คู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก 1 ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี้ด้วยถ้ากำหนดพาริตี้ไว้เป็นคู่แต่อ่านตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุดแต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิตการตรวจสอบวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตี้บิตเป็น NONE นั้นทั้งภาครับและภาคส่งจะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

ในการทำงานของวงจรพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีรีจิสเตอร์ที่ต้องเกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัว ดังมีรายระเอียดดังต่อไปนี้

รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรมหรือ SBUF (Serial Data Buffer Restart)

มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษหรือ SFR มีขนาด 8 บิต มีการแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (Transmit Buffer Restart) และรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับส่งข้อมูล (Receive Buffer Restart) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล เพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาทางขา RxD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 98H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีรายละเอียดการทำงานดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

SM0-SM1 (Serial port mode bit 0-1) : ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

SM2 : ใช้ในการอีนาเบิล (Enable) สื่อสารในแบบมัลติโปรเซสเซอร์ (Multiprocessor) ในการทำงานของโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในโหมด 2 และ 3 ถ้าบิตนี้เป็น “1” บิต RI จะไม่แอกตีฟถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น “0” (ข้อมูลบิตที่ 9 เก็บไว้ที่ RB8) ในการทำงานโหมด 1 ถ้าบิตที่เซต บิต RI จะไม่แอกตีฟถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 บิตนี้ไม่มีการใช้งาน

REN (Enable serial reception) : ใช้ในการอีนาเบิลการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรมทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้มีการรับข้อมูลต้องเซตบิตนี้ให้เป็น “1”

TB8 : ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งออกไปในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

RB8 : ใช้สำหรับข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ถ้าหากพอร์ตอนุกรมทำงานอยู่ในโหมด 1 และบิต SM2 เป็น “0” ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่บิต RB8 คือข้อมูลของบิตหยุด (Stop Bit) สำหรับในการทำงานโหมด 0 บิตนี้จะไม่ใช้งานบิต RB8 นี้สามารถเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

TI (Transmit Interrupt flag) : ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์เมื่อทำการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ไปเรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดออกไป การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

RI (Receive Interrupt flag) : ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรมของไมโครคอลโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์เมื่อทำการรับข้อมูลที่ 8 เรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อสามารถรับบิตหยุดของข้อมูลอนุกรมไปได้ครึ่งทางแล้ว ยกเว้นในกรณีที่บิต SM2 มีการเซตบิตนี้จะเซตได้ก็ต่อเมื่อการรับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

2.2.3 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเลือกโหมดการทำงานได้ถึง 4 โหมดคือ

1. โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะชิฟรีจิสเตอร์
2. โหมด 1 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 8 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้
3. โหมด 2 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต โดยอัตราบอดคงที่
4. โหมด 3 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้

การเลือกโหมดการทำงานของวงจรพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กระทำได้โดยการกำหนดข้อมูลให้แก่บิต SM0 และ SM1 ในรีจิสเตอร์ SCON

2.2.4 การส่งข้อมูลพอร์ตอนุกรมโหมด 3

การเขียนโปรแกรมเพื่อทำการรับส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรมต้องเริ่มจากการกำหนดความต้องการในการรับส่งข้อมูลเสียก่อน เช่นในโครงงานนี้ต้องการส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 9600บิต/วินาที เมื่อได้ข้อกำหนดที่ต้องการแล้วจะนำไปเลือกโหมดการทำงานคือโหมด 3 และใช้ Timer 1 ในการรับส่งข้อมูลแล้วคำนวณหาค่าของเวลาที่กำหนดให้ Timer 1 ในส่วนเริ่มต้นของโปรแกรมจะกำหนดโหมดให้กับรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของ Timer ก่อนแล้วจึงกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม เมื่อกำหนดโหมดการทำงานดังกล่าวเรียบร้อยแล้วจึงเป็นส่วนของโปรแกรมการรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโหมด 3 จะมีบิตที่รับส่งทั้งหมด 11 บิต ซึ่งประกอบด้วย 1 Start Bit (ค่า 0) 8 บิต (บิตต่ำก่อน) 1 บิตข้อมูล บิตที่ 9 ที่กำหนดค่าได้ และ 1 Stop Bit (ค่า 1)

การกำหนดข้อมูลที่บิตที่ 9 ของการส่งข้อมูลกำหนดโดยการเซ็กหรือเคลียบิต TB8 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON สำหรับการรับส่งข้อมูลบิตที่ 9 จะถูกนำไปเก็บในบิต RB8 ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์ SCON สำหรับการรับข้อมูลที่ 9 จะถูกนำไปเก็บในบิต RB8 ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์ SCON เช่นกัน การกำหนดอัตรารับส่งข้อมูลได้ตามต้องการโดยใช้ Timer เป็นตัวกำหนดอัตรารับส่งข้อมูล

การส่งข้อมูลเริ่มจากคำสั่งการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ SBUF ซึ่งจะทำให้สัญญาณ Write to SBUF ควบคุมให้บิตข้อมูลใน TB8 ไปกำหนดให้กับบิตที่ 9 ของ Shift Register และควบคุมให้ Tx Control Unit ทำการส่งข้อมูลออกไปช่วงเวลา S1P1 ของแมชชีนไซเคิลที่ต่อจากการเริ่มทำงานใหม่ของวงจรหาร 16 (ทำให้เกิดการตรงกันระหว่างวงจรหาร 16 ซึ่งไม่ขึ้นกับเวลาของสัญญาณ Write to SBUF)

การส่งข้อมูลเริ่มต้นด้วยการทำให้สัญญาณ SEND แอคทีฟ ซึ่งจะส่งค่าของ Start Bit ออกไปที่ TxD และตามด้วยบิตต่ำไปสูงตามจังหวะของบิตการส่งข้อมูลตามด้วยบิตที่ 9 ที่อยู่ใน TB8 และจบด้วย Stop Bit (ค่า 1) หลังจากที่บิตต่างๆ เลื่อนไปทางขวาแล้วจะมี 0 เข้ามาทางซ้ายดังนั้นเมื่อค่าของ TB8 อยู่ในตำแหน่งเอาร์พุตของ Shift Register แล้วถัดมาทางซ้ายจะเป็น Stop Bit และถัดมาจะเป็น 0 ทั้งหมดซึ่งเงื่อนไขนี้จะเป็นตัวกำหนด Shift Register ทำการเลื่อนไปทางขวาอีกครั้งหนึ่งเป็นครั้งสุดท้ายแล้วจึงเลิกแอคทีฟสัญญาณ SEND และเซ็ตแฟลก T1 ซึ่งการทำงานทั้งหมดจะจบสิ้นภายหลังจากมีสัญญาณ Write to SBUF เกิดขึ้นแล้วมีสัญญาณ Clock เข้ามาที่ TxCLK จำนวน 11 ลูก

การรับข้อมูล เริ่มต้นจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ RxD จาก 1 ไป 0(Start Bit)ซึ่งวงจรด้านรับจะมีการตรวจสอบด้วยความเร็ว 16 เท่าของอัตรารับข้อมูลเมื่อตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจะทำให้เคาเตอร์ของวงจรหาร 16 ถูกรีเซ็ท เพื่อเริ่มใหม่และมีการกำหนดค่า 1FFH ให้กับ Shift Register ด้านรับ และในช่วงเวลาของการนับ 7,8 และ 9 ของเคาน์เตอร์วงจรหาร 16 จะมีการตรวจสอบสัญญาณที่ขา RxD อีก ซึ่งจะใช้ค่าที่อ่านได้จาก 2 ใน 3 ครั้งเป็นข้อมูล หากค่าที่อ่านได้ใน Start Bit ไม่เป็น 0 วงจรรับข้อมูลจะทำการรีเซ็ตและรอตรวจสอบบิตเริ่มต้นที่เปลี่ยนจาก 1 ไป 0 ใหม่หาก Start Bit ถูกต้องจะทำการเคลื่อนข้อมูลเข้าไปเก็บใน Shift Register โดยบิตข้อมูลเข้ามาทางขวามือและบิตที่มีค่า 1 ซึ่งกำหนดในตอนเริ่มต้นและถูกเลื่อนไปทางซ้ายมือ เมื่อ Start Bit ถูกเลื่อนไปทางซ้ายมือสุด (โหมด 3 จะมี Shift Register ขนาด 9 บิต) จะเป็นตัวกำหนดให้ Rx control Box ทำการเลื่อนข้อมูลใน Shift Register อีกเป็นครั้งสุดท้าย และกำหนดค่าใน Shift Register ลงใน SBUF และ RB8 และเซ็ต R1 ซึ่งการกำหนดค่าลงใน SBUF และ RB8 และการเซ็ต R1 จะเกิดขึ้นเมื่อมีเงื่อนไข 2 อย่างคือ RI = 0 จะต้องเคลียร์ RI หลังจากทำการอ่านข้อมูลไปแล้ว SM2 = 0 หรือ ข้อมูล

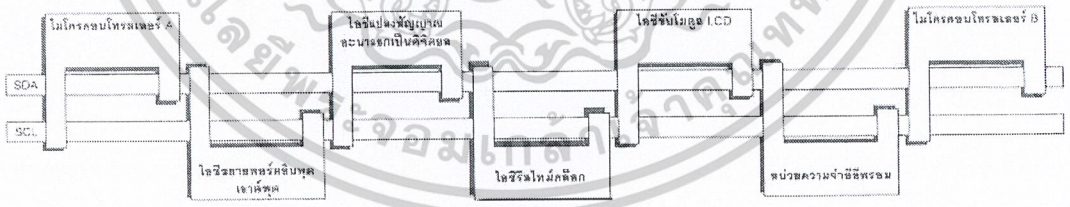
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตที่ 9 เป็น 1 หากเงื่อนไขทั้ง 2 ไม่เป็นจริงเฟรมข้อมูลที่รับเข้ามาจะถูกยกเลิกและ RI จะไม่ถูกเซ็ต ถ้าหากเงื่อนไขทั้ง 2 เป็นจริงข้อมูลบิตที่ 9 จะถูกนำไปเก็บใน RB8 และข้อมูล 8 บิตแรกจะถูกนำไปเก็บใน SBUF และในช่วงเวลาของสัญญาณ Clock ถูกถัดไป วงจรด้านรับจะเริ่มตรวจสอบ Start Bit ที่เข้ามาต่อไป แต่ว่าค่าของ Start Bit จะไม่ถูกนำมาใช้งานในโหมด 3 นี้

2.3 การขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วยอุปกรณ์ระบบบัส I^2C

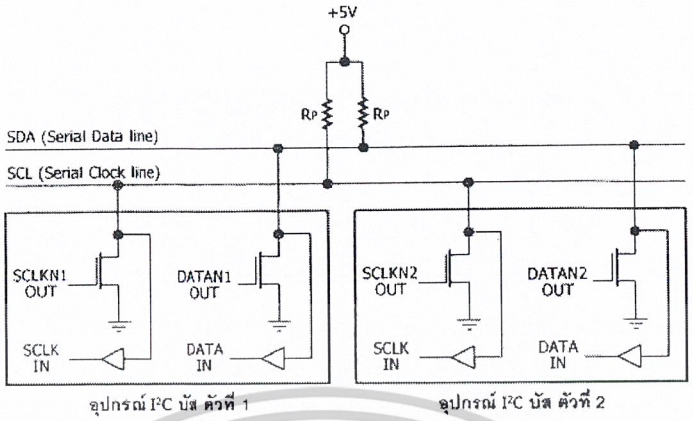
2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ I^2C

I^2C ย่อมาจาก Inter-IC Communication หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีโดยบัส I^2C ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยฟิลิปส์ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อ สั่งงาน และควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือ สายข้อมูล อีกเส้นหนึ่งคือ สายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดหลักการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์ร่วมบนบัส I^2C ทำได้ง่ายมาก เพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไปส่วนการกำหนดแอสเดรสหรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวจะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอสเครสของอุปกรณ์แต่ละตัวสายข้อมูลบนบัส I^2C มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า สายข้อมูลอนุกรมหรือ SDA (Serial Data line) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกามีชื่อเรียกว่า สายสัญญาณนาฬิการอนุกรมหรือ SCL (Serial Clock line) ในการอธิบายต่อไปนี้เรียกสายสัญญาณทั้งสองว่า สาน SDA และ SCL



รูปที่ 2.5 ผังแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ บนระบบบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



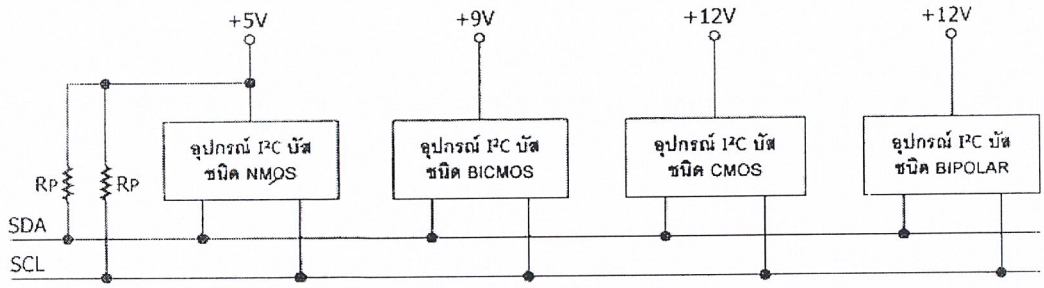
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ในระบบบัส I^2C

ในรูปที่ 2.5 แสดงผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆบนบัส I^2C จะเห็นได้ว่า อุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่อบนบัส I^2C มีหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นไอซีขยายพอร์ตอิพุตเอาต์พุต(I/OExpander), ไอซีแปลงสัญญาณอะนาล็อกให้เป็นดิจิตอล (ADC) และแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นอนาล็อก (DAC), ไอซีรีลไทม์คล็อก (RTC),ไอซีขับโมดูล LCD, หน่วยความจำอีอีพรอมและไมโครคอนโทรลเลอร์

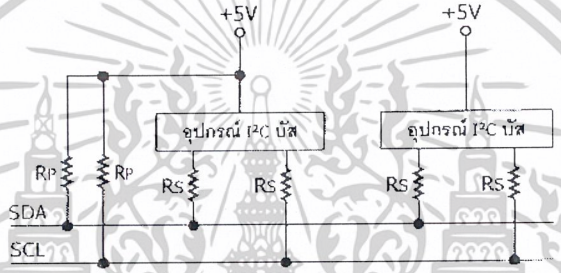
2.3.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I^2C

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (Bi-Directional Line) ต้องมีการต่อตัวตานทานพลูอัปกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลาเพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งานทั้งยังช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสอง วงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I^2C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรเดรนเปิด (0pen-Drain) หรือคอลเล็กเตอร์เปิด (Open-Collector) ดังรูปที่ 2.6อัตราการถ่ายทอดข้อมูลบนบัส I^2C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ (Standerd Mode) และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง (Fast Mode) อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัส I^2C จะต้องมีความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 ค่าคือ 7 บิต (7-bit addressing) หรือ 10บิต(10-bit addressing)ข้อเด่นอีกประการหนึ่งของบัส I^2C คือสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากันให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยอุปกรณบนบัส I^2C ตัวหนึ่งอาจใช้ไฟเลี้ยง +5V ในขณะที่อีกตัวหนึ่งใช้ไฟเลี้ยง +12V การต่อร่วมกันบนบัส I^2C สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกันกับกรณีที่อุปกรณ์ทั้งสองใช้ไฟเลี้ยงเท่ากัน กล่าวคือ ให้ต่อสาย SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกันและต้องต่อตัวต้านทานพลูอัป (R_p) เข้ากับแรงดัน +5V ไว้เสมอ ดังแสดงในรูป 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การต่อตัวต้านทานพลูอัปบนสายสัญญาณในระบบบัส I^2C



รูปที่ 2.8 การต่อตัวต้านทาน R_s เพื่อลดสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่ที่อาจเข้ามาในบัส I^2C

ในกรณีที่อาจมีแรงดันไฟกระชากขนาดใหญ่ปะปนเข้ามาในบัส I^2C ที่ขา SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขา ขา SDA และ SCL เรียกว่า R_s ก่อนต่อเข้าสู่บัส I^2C ดังแสดงในรูป 2.8

2.3.3 หลักการของบัส I^2C

บัส I^2C ประกอบไปด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น ดังที่กล่าวมาแล้วคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัสหรือเรียกว่า โปรโตคอล (Protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ได้ต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ต่อไปนี้จะอธิบายลักษณะหน้าที่ และนิยามของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับบัส I^2C เพื่อเป็นข้อตกลงพื้นฐานก่อนที่จะอธิบายการทำงานของบัส I^2C ต่อไป

อุปกรณ์ที่ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า ตัวส่ง (Transmitter)อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่า ตัวรับ (Receiver) ในอุปกรณ์บนบัส I^2C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I^2C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งอย่างเดียวอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส I^2C เรียกว่า มาสเตอร์ (Master)อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I^2C เรียกว่า สเลฟ (Slave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I^2C คือ

(1) ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูลขณะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น

(2) ในระหว่างการถ่ายถอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลดจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

2.3.4 สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I^2C

มีด้วยกัน 5 สภาวะ ดังนี้

(1) บัสว่าง (Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั้นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

(2) เริ่มต้นถ่ายทอดข้อมูล (start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะสาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะเริ่มต้น (START)

(3) หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูงเรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า (STOP)

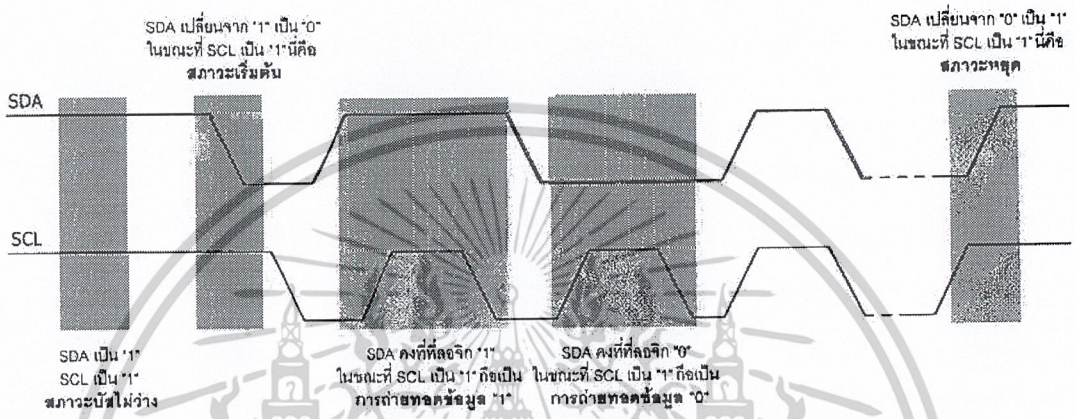
(4) ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น “0” หรือ ”1” ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สภาวะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น

(5) รับรู้ข้อมูล (acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบรูณ์โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่าบิตรับรู้ (acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เพื่อตอบสนองบิตรับรู้ที่ส่งมาจากตัวส่ง ทางด้านตัวรับจะส่งบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำลงบนบัส อุปกรณ์สเลฟที่ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิงถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่อในขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้เพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลในแต่ละไบต์เรียบร้อยแล้ว

ในรูปที่ 2.9 เป็นไดอะแกรมเวลาที่แสดงถึงการเกิดสภาวะต่างๆบนบัส I^2C ไม่ว่าจะเป็นสภาวะบัสว่าง,เริ่มต้น,ถ่ายทอดข้อมูล,รับรู้และหยุดการถ่ายทอดข้อมูล



รูปที่ 2.9 ไดอะแกรมเวลาแสดงสถานะต่างๆในบัส I^2C

2.3.5 การทำงานบนบัส I^2C

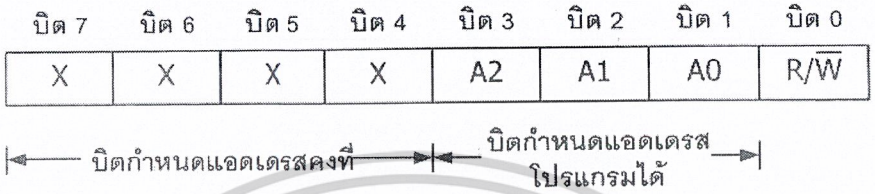
ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆที่ต่ออยู่บนบัสต้องมีการอ้างอิงถึงผลเสียก่อนโดยการอ้างอิงอุปกรณ์บนบัส I^2C นั้นจะใช้การอ้างอิงถึงแบบ 7 บิต หรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มาก ใช้การอ้างอิงถึงแบบ 7 บิต ก็เพียงพอแต่ถ้ามีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสมากกว่า 127 แอดเดรส จำเป็นต้องใช้การอ้างอิงถึงแบบ 10 บิต หลังจากที่ติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้วก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลกันต่อไปดังนั้นหัวใจสำคัญในอันดับแรกของการทำงานบนบัส I^2C คือการอ้างอิงอุปกรณ์แต่ละตัวซึ่งในที่นี้จะอธิบายรายละเอียดของการอ้างถึงทั้ง 2 รูปแบบ

2.3.6 การอ้างอิงแบบ 7 บิต (7-bit addressing)

ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสภาวะเริ่มต้นคือ ข้อมูลที่ใช้อ้างอิงถึงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ หรือข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 2.10 ใน 7 บิตบนรวมทั้งบิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็น บิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (Fixed Address Bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิต ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิตเป็นบิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0-A2 ของอุปกรณ์ที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

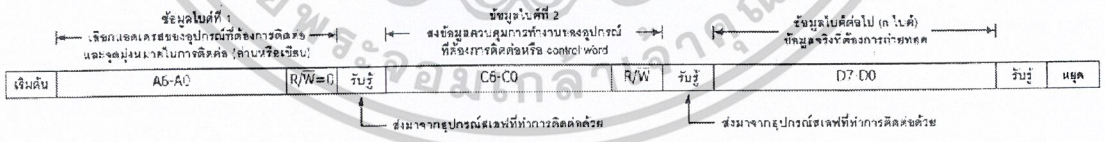
การต่อเชื่อมต่อแบบบัส I^2C ส่วนในบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ หากบิต LSB เป็น “0” หมายถึงต้องการเขียนของมูลไปยังอุปกรณ์นั้น ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ



รูปที่ 2.10 รูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเดรสที่ใช้ในการอ้างอิงถึงแบบ 7 บิต

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลควบคุม (Control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนดข้อมูลควบคุมที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ตมีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่า บิตใดเป็นอินพุต บิตใดเป็นเอาต์พุตในขณะที่ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ทำงานเป็นวงจร ADC หรือ DAC เป็นต้น

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายถอดจริง (Data) หลังจากที่มีการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับรู้ตอบกลับด้วยทุกครั้ง เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เกิดขึ้นในการติดต่อบนบัส I^2C ของการอ้างอิงถึงแบบ 7 บิต



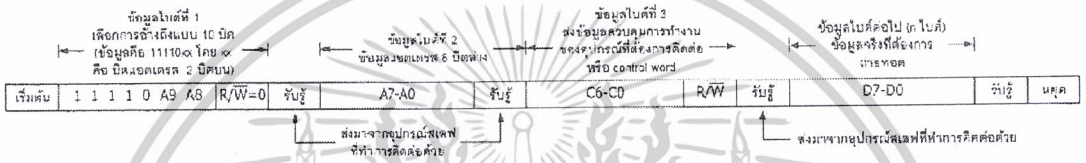
รูปที่ 2.11 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่ติดติดกับอุปกรณ์บัส I^2C เมื่อใช้อ้างอิงถึงแบบ 7 บิต

2.3.7 การอ้างอิงถึงแบบ 10 บิต

ในการอ้างอิงแบบนี้ยังคงใช้แบบข้อมูลอนุกรมที่เหมือนกับแบบ 7 บิต หากแต่จะมีข้อมูลข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในข้อมูลไบต์แรกหลังจากเกิดสภาวะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

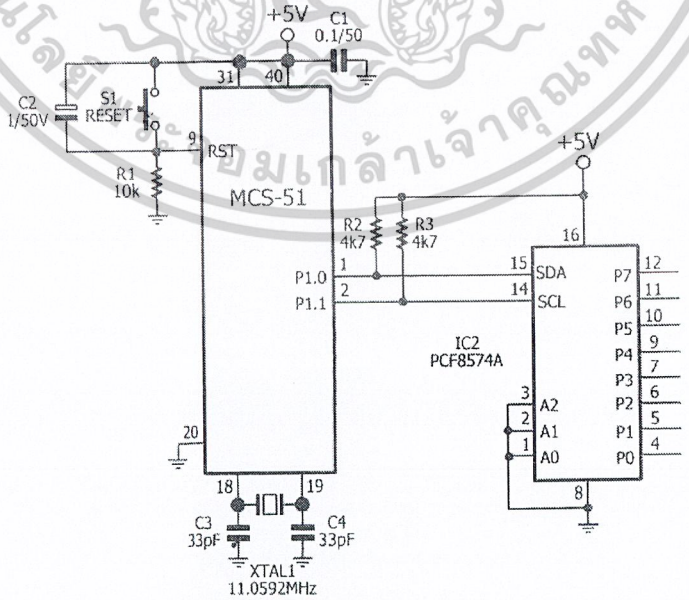
มีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์ สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วยข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นก็จะเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อเช่นเดียวกับบารอ้างถึงแบบ 7 บิต หลังจากการถ่ายทอดข้อมูลครบทุกไบต์ต้องมีสภาวะรับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 2.12 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมของการอ้างอิงถึงแบบ 10 บิต



รูปที่ 2.12 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่ติดติดกับอุปกรณ์บัส I^2C เมื่อใช้อ้างอิงถึงแบบ 10 บิต

2.3.8 การติดต่ออุปกรณ์ระบบบัส I^2C กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

สามารถทำได้โดยเพียงใช้พอร์ต 2 ขาโดยกำหนดให้ขาหนึ่งเป็น SDA อีกขาหนึ่งเป็น SCL และต่อตัวต้านทานค่าประมาณ 4.7k พลูอัปที่ขาพอร์ตทั้งสองขา เพียงเท่านี้ก็สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ระบบบัส I^2C ได้แล้ว



รูปที่ 2.13 วงจรการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับอุปกรณ์ระบบบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

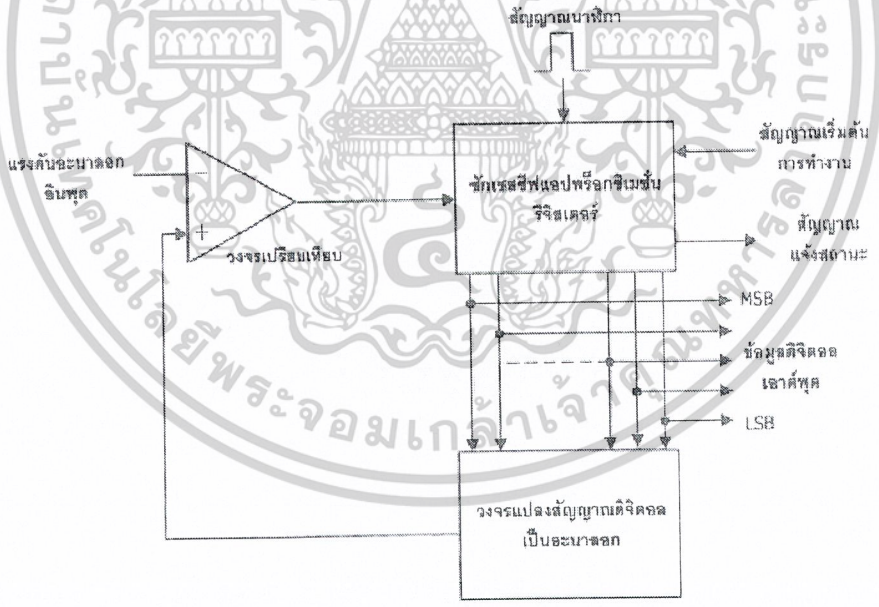
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ในรูปที่ 2.13 เป็นวงจรการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51เข้ากับระบบบัส I^2C จากวงจรจะใช้ขาพอร์ต P1.0 เป็นขา SDA และพอร์ต P1.1 เป็นขา SCL อุปกรณ์ที่ทำการติดต่อด้วยคือ ไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตเบอร์ PCF8574

2.4 การใช้งานไอซี ADC/DAC บนระบบบัส I^2C เบอร์ PCF8591

การแปลงสัญญาณอะนาล็อกดิจิตอลแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น (Successive Approximation ADC)

การแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC) ที่ได้รับนิยมสูงและมีประสิทธิภาพดีคือการแปลงแบบ ซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น ไอซี ADC ในกระบวนการ ADC แบบ ซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นนี้เป็นการแปลงแบบประมาณค่าใกล้เคียง ไดอะแกรมการทำงานของกระบวนการ ADC แบบนี้ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ส่วนสำคัญหลักคือ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน,วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อก DAC,สัญญาณนาฬิกา และ ส่วนควบคุมลอจิก

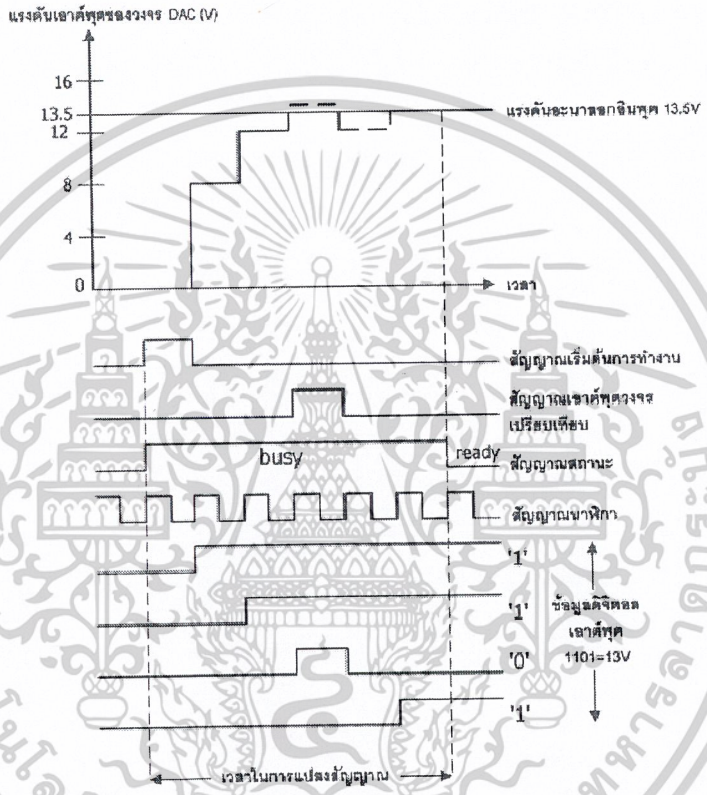


รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50208

วงจร ADC แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นนี้จะใช้รีจิสเตอร์เลขฐานสองหรือไบนารีรีจิสเตอร์ในการส่งข้อมูลดิจิตอลของวงจร DAC ภายใน แต่ละบิตของรีจิสเตอร์จะรีเซตโดยการควบคุมจากวงจรควบคุม ต่อไปนี้จะอธิบายการทำงานของของ ADC แบบนี้ไปที่ละขั้นขอให้พิจารณาไดอะแกรมเวลาในรูปที่ 2.15 ประกอบไปด้วย



รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมเวลาแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น

กำหนดให้แรงดันอะนาล็อกอินพุต (Vin) มีค่า 13.5 V

1. ส่งสัญญาณเริ่มต้นการทำงาน (Start Converter) มายังซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นรีจิสเตอร์ (Succexxive Approximation Register)
2. ขณะนี้สถานะของรีจิสเตอร์จะไม่ว่าง (Busy) สัญญาณนาฬิการลูกแรกถูกส่งเข้ามาเพื่อกำหนดให้ค่าของรีจิสเตอร์เท่ากับ 0000
3. เอาต์พุตของ DAC จะเป็น 0V ส่งไปให้วงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับ Vin ในขณะที่จะได้เอาต์พุตเท่ากับ –5V กำหนดเป็นลอจิก “0”
4. เมื่อสัญญาณนาฬิกาลูกต่อไปเข้ามา จะทำการเซตบิต MSB ของรีจิสเตอร์เป็น “1”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ในกรณีที่เป็น ADC ขนาด 4 บิตดัง นั้นการที่บิต MSB เซตจะทำให้วงจร DAC แปลงค่าเป็นแรงดัน 8V นำไปเปรียบเทียบที่วงจรเปรียบเทียบแรงดัน แต่ก็ยังน้อยกว่า Vin ดังนั้นเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบยังคงเป็น “0” ทำให้รีจิสเตอร์ยังคงค่าบิต MSB ให้เป็น “1” ต่อไป
6. ต่อมาบิต B2 (ถัดจาก MSB 1บิตเนื่องจากมี 4 บิต กำหนดบิต MSB = B3) จะเซตซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 4V นำไปรวมกับค่าของบิต MSB ที่มีอยู่ 8V เช่น 12V นำไปเทียบกับ Vin ก็ยังน้อยกว่ารีจิสเตอร์จึงยังคงค่า B2 ไว้ที่ “1” เช่นกัน
7. ต่อมาบิต B1 จะเซตทำให้แรงดันเอาต์พุตมา DAC กลายเป็น 8+4+2 = 14V ซึ่งมากกว่า Vin ทำให้วงจรเปรียบเทียบเกิดการเปรียบแปลงสถานะเป็น “1” ซึ่งจะส่งสัญญาณมาควบคุมให้ B1 กลายเป็น”0”
8. เมื่อบิต LSB ถูกเซต จะมีแรงดัน 1 V เข้ามารวมกับค่าของ B3,B2 และ B1 เป็น 8+4+0+1 = 13V นำไปเปรียบเทียบกับ Vin ปรากฏว่าน้อยกว่า Vin ทำให้บิต B0 หรือ LSB มีค่าเป็น “1”
9. ขณะนี้ทุกบิตในรีจิสเตอร์ถูกนำมาแปลงค่าเรียบร้อยแล้วทำให้สถานะของรีจิสเตอร์กลับมาเป็นพร้อมทำงาน (ready)ข้อมูลดิจิตอลที่ได้จาก ADC แบบนี้จะมีค่า 1101 หรือ 13V ซึ่งใกล้เคียงกับ Vin 13.5V มากที่สุดถ้าหากรีจิสเตอร์มีจำนวนบิตมากกว่านี้ ความละเอียดของข้อมูลที่แปลงได้ จะมีความใกล้เคียงกันมากขึ้นช่วงเวลาของการแปลงสัญญาณจะเริ่มต้นขึ้นตั้งแต่สัญญาณนาฬิกาลูกแรกถูกส่งเข้าไปเตรียมระบบไปจนถึงสภาวะของรีจิสเตอร์กลับมาเป็น พร้อมทำงาน อีกครั้งหนึ่งซึ่งจะต้องใช้จำนวนของสัญญาณนาฬิกาเท่ากับ n+1 พัลส์โดย n เท่ากับจำนวนบิตของรีจิสเตอร์ดังนั้นหาก ADC แบบ ซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นขนาด 4 บิตตามตัวอย่างใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 50 kHz เวลาที่ใช้ทั้งหมดในการแปลงสัญญาณจะคำนวณได้ดังนี้

(1) คำนวณคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา

$$fclk = 50kHz = 50 \times 10^3$$

$$T = \frac{1}{50 \times 10^3} = 20mV$$

(2) จำนวนสัญญาณนาฬิกาทั้งหมดที่ใช้ในการแปลงเท่ากับ n+1,n มีค่าเท่ากับ 4 เนื่องจากมีจำนวน 4 บิต ดังนั้นจำนวนของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ทั้งหมดจึงเท่ากับ 4+1 = 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) เวลาทั้งหมดที่ใช้เท่ากับ $5 \times 20 = 100$ มิลลิวินาที

จะเห็นได้ว่าวงจร ADC แบบ ซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น มีความเร็วในการทำงานสูงพอสมควรเหมาะอย่างยิ่งในการนำไปใช้กับไมโครคอลโทรลเลอร์ขนาดกลางอย่าง MCS-51

2.4.1 ความเที่ยงตรงของวงจร ADC

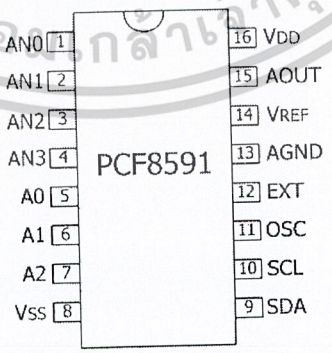
เป็นการเปรียบเทียบของแรงดันอะนาล็อกของวงจร ADC กับแรงดันที่ควรเกิดขึ้นจริงยกตัวอย่างที่ข้อมูลดิจิตอลสูงสุดของวงจร ADC ขนาด 8 บิตเมื่อเทียบเป็นแรงดันอะนาล็อกควรมีค่าเท่ากับ 5V แต่จากการคำนวณก่อนหน้านี้ได้ค่าแรงดัน 4.9804V นั้นคือเกิดความผิดพลาดไป 0.0195V หรือ 19.5mV แต่การบอกค่าเที่ยงตรงของวงจร ADC มักระบุเป็นจำนวนที่ เทียบกับ VLSB ดังนั้นในวงจร ADC ขนาด 8 บิต ที่ยกเป็นตัวอย่างนี้จึงมีค่าความเที่ยงตรง(หรือบางที่เรียกเป็นค่าความผิดพลาด) เป็น $\pm$ 1/2LSB

2.4.2 ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ (Conversion time)

เป็นค่าของเวลาทั้งหมดที่วงจร ADC แบบวงจรนับแรมป์และแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น ใช้ในการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลจนเสร็จสิ้น พารามิเตอร์ตัวนี้มักจะปรากฏในคุณสมบัติของไอซีที่ทำเป็นวงจร ADC เมื่อไอซีทำการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นลงจะส่งสัญญาณที่เรียกว่า EOC (End of Conversion) ออกมา

ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณของวงจร ADC จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของวงจร,ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณและขนาดของสัญญาณอะนาล็อกอินพุต

2.4.3 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591



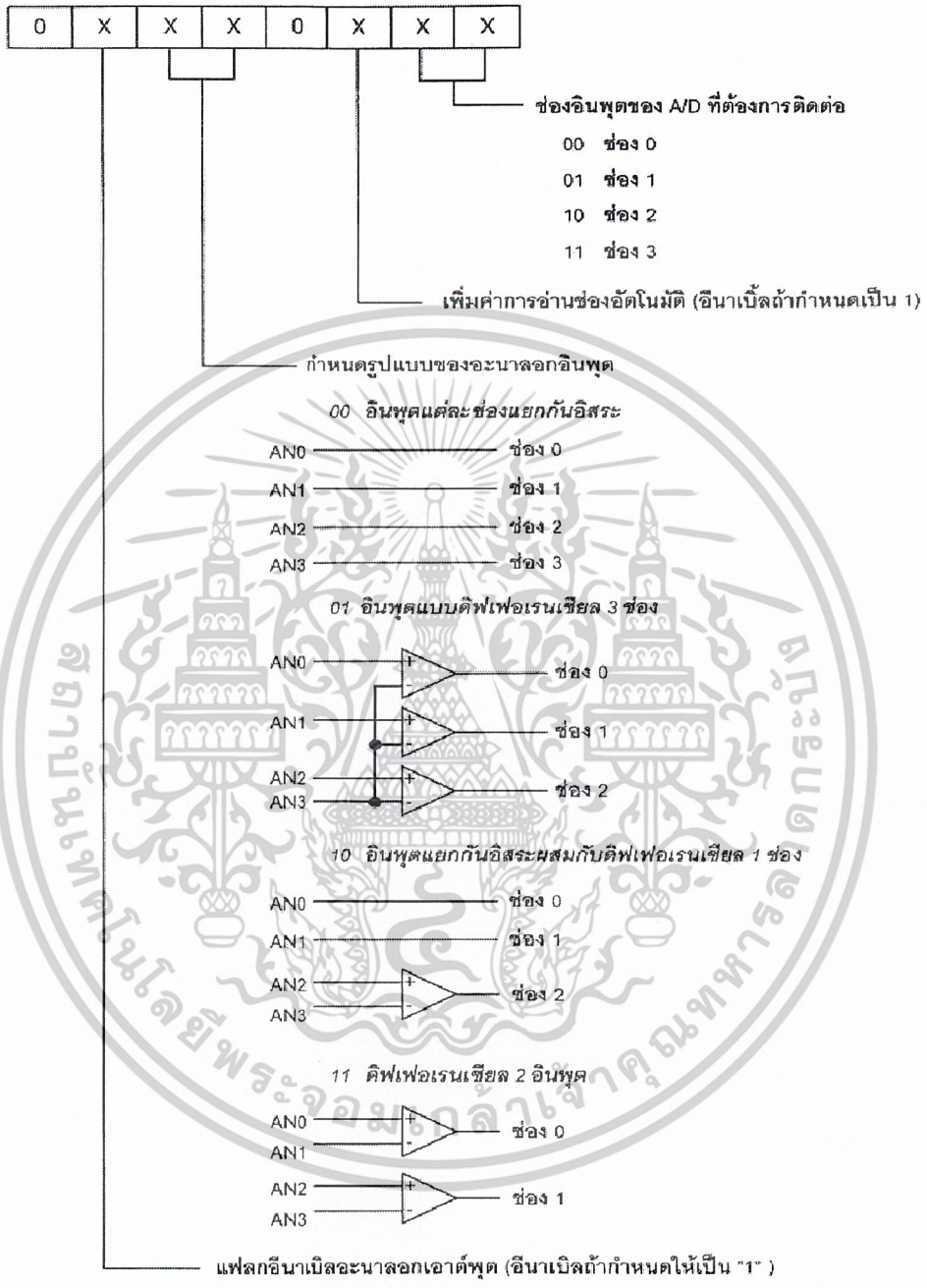
รูปที่ 2.16 ไอซี ADC/DAC ขนาด 8 บิตผ่านบัส I^2C เบอร์ PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหัวข้อนี้จะใช้ไอซี ADC ที่มีความสามารถสูงเบอร์ PCF8591 เนื่องในตัวมันมีวงจร ADC แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น ขนาด 8 บิต สูงถึง 4 ช่องทั้งยังมี ADC อีก 1 ช่องด้วยระบบการเชื่อมต่อแบบบัส I^2C ทำให้ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นทั้งยังต่อพ่วงกันได้สูงสุด 8 ตัว ทำให้ได้วงจร ADC รวมถึง 32 ช่อง และวงจร DAC รวม 4 ช่องทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง มีรายละเอียดคุณสมบัติดังนี้

1. ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟเพียงชุดเดียว
2. ทำงานที่แรงดัน 2.5V ถึง 6V
3. กินกระแสขณะอยู่ในสาวะสแตนบายด์ต่ำ
4. ติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I^2C
5. สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0,A1,A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดถึง 8 ตัว
6. อัตราการสุ่มข้อมูล (Samping) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I^2C
7. วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC) สามารถรับสัญญาณอะนาล็อกได้ 4 ช่องทั้งยังเลือกได้ว่าให้ทำงานแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียล
8. การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
9. สัญญาณอะนาล็อกมีระดับแรงดันตั้งแต่ V_{SS} ไปจนถึง V_{DD}
10. วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลเป็นแบบซักเซลซีฟแอปหร็อกซิเมชั่น ขนาด 8 บิต
11. มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อกขนาด 8 บิต 1ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 รายละเอียดข้อมูลควบคุมที่เขียนในรีจิสเตอร์ควบคุมภายในไอซี PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PCF8591 สามารถทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต 4 ช่อง และทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อกได้ในคราวเดียวกันด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I^2C ทำให้สามารถต่อพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัวรองรับการอ่านค่าสัญญาณอะนาล็อกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่องและสามารถส่งสัญญาณอะนาล็อกเอาต์พุตสูงสุดได้ถึง 8 ช่องด้วยการกำหนดแอสเดรสจากขา A0,A1 และ A2 การจัดขาของ PCF8591 แสดงในรูป 2.17 ส่วนรายละเอียดขาต่างๆมีดังนี้

ขา AN0-AN3 90 (ขา 1-4) เป็นขาอินพุตสำหรับป้อนสัญญาณอะนาล็อกที่ต้องการแปลงค่า

ขา A0-A2 (ขา 5-7) เป็นขาสำหรับกำหนดข้อมูลแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์ ปกติต่อลงกราวด์ แต่ถ้ามีการใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ต้องกำหนดการต่อขา A0-A2 ของ PCF 8591 ให้ไม่ตรงกัน จึงทำให้สามารถต่อใช้งานร่วมกันได้สูงสุด 8 ตัว

ขา V_{SS} (ขา 8) เป็นขาต่อกราวด์

ขา SDA,SCL (ขา 9 และ 10) เป็นขาเชื่อมต่อระบบบัส I^2C

ขา OSC (ขา 11) เป็นขาสำหรับต่อกับสัญญาณนาฬิกา ภายนอกเมื่อขา EXT ต่อกับไฟ +5V และจะทำงานเป็นขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาถ้าขา EXT ต่อลงกราวด์

ขา EXT (ขา 12) เป็นขาสำหรับเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ถ้าต่อไฟ +5V จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกโดยต่อสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ถ้าต่อขานี้ลงกราวด์จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายใน

ขา AGND(ขา 13) เป็นขากราวด์ของแรงดันอ้างอิง ปกติต่อลงกราวด์

ขา V_{REF}(ขา 14) เป็นขาสำหรับป้อนแรงดัน ปกติต่อเข้าไฟเลี้ยง +5V

ขา AOUT (ขา 15) เป็นขาเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อก

ขา V_{DD} (ขา 16) เป็นขาต่อไฟเลี้ยง จ่ายได้ตั้งแต่ +2V ถึง +6V ปกติใช้ +5V

2.4.4 รายละเอียดฟังก์ชั่นต่างๆของ PCF8591

- **ตำแหน่งแอดเดรส**

ในระบบบัส I^2C การติอต่ออุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างอิงถึงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะมีค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัวนั้นๆที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าแอดเดรสของผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์แวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อด้วยในกรณีที่มีการค่อนใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ข้อมูลควบคุม**

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF8591 แล้ว ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วย เพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อกภายใน PCF8591 โดยรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังรูป P19-4

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการอีนาเบิลขาอะนาล็อกเอาต์พุต เมื่อต้องการอีนาเบิลต้องกำหนดให้ขานี้เป็น “1”

บิต 4 และ บิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอะนาล็อกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591

บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอะนาล็อกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1”

บิต 0 และ บิต 1 ใช้สำหรับกำหนดช่องของอินพุตอะนาล็อกที่ต้องการอ่านถ้ากำหนดให้บิต 2 เป็น “1” หลังจากอ่านค่าบิต “0” และ “1” แล้ว ในการอ่านค่าครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591

เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่างๆของข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะเป็น “0”

- **ออสซิลเลเตอร์**

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล เมื่อต้องการใช้วงจรออสซิลแตอร์ภายในขา EXT ต้องต่อลงกราวด์ถ้าต้องการใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวกและป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กับวงจรออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25

2.4.5 การอ่านค่าข้อมูลอินพุตอะนาล็อกของ PCF8591

มีลำดับขั้นดังนี้

1.เตรียข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยในที่นี้กำหนดแอดเดรสของ PCF8591 ไว้ที่ 000 (ขา A0,A1,A2 ต่อลงกราวด์ทั้งหมด) และให้ทำงานในโหมดเขียนข้อมูล (ป้อนข้อมูลลอจิก “0” ให้แก่บิต R/W)

2. เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
3. ส่งข้อมูลควบคุมไปยัง PCF8591
4. ส่งสัญญาณ STOP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
6. ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสอีกครั้งโดยครั้งนี้กำหนดให้เป็นโหมดอ่านข้อมูล (ส่งลอจิก "1"ให้แก่บิต $R/\overline{W}$) เพื่อเริ่มต้นอ่านค่าข้อมูลจากช่องสัญญาณอะนาล็อกอินพุต
7. อ่านค่าจากขาอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลช่องที่ 1
8. หากต้องการอ่านค่าในช่องต่อไปก็ให้เริ่มต้นการติดต่อใหม่ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าต่อเนื่องทั้ง 4 ช่องหรือมากกว่าจึงต้องเขียนโปรแกรมลูปเพื่อ กำหนดรอบการทำงาน 4 รอบหรือมากกว่าก็สามารถอ่านค่าได้ครบทุกช่อง

2.4.6 การเขียนข้อมูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อกของ PCF8591

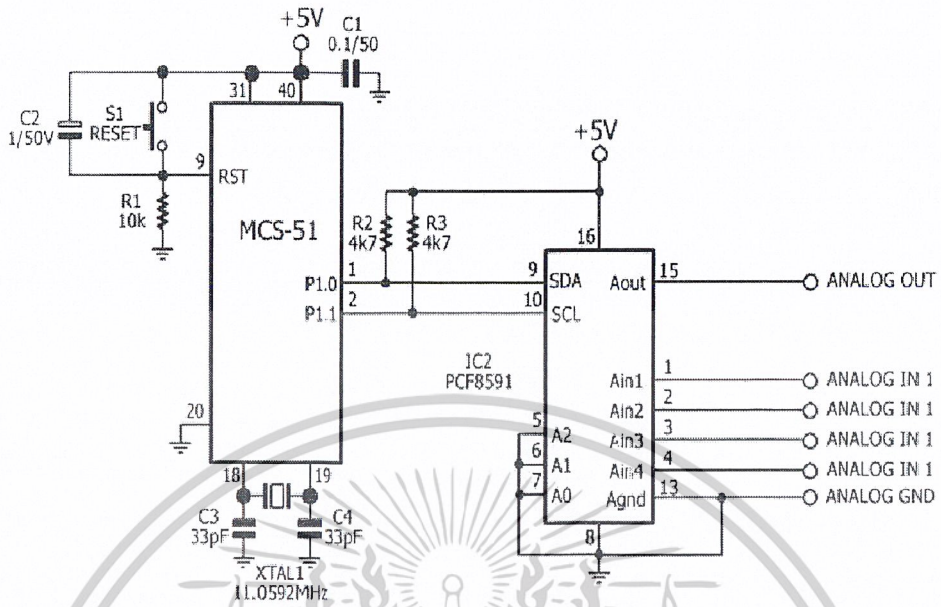
การเขียนข้อมูลไปยังขาอะนาล็อกเอาต์พุตมีข้อแตกต่างจากการอ่านข้อมูลดังนี้

1. เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
2. ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสโดยให้ทำงานในโหมดเขียนข้อมูล (บิต $R/\overline{W}$ เป็นลอจิก "0")
3. ส่งข้อมูลควบคุม 40H ไปยัง PCF8591 เพื่ออีนาเบิลอะนาล็อกเอาต์พุต
4. ส่งข้อมูลไปยังเอาต์พุตอะนาลอก โดยค่าที่ส่งออกไปจะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255
5. ส่งสภาวะหยุด

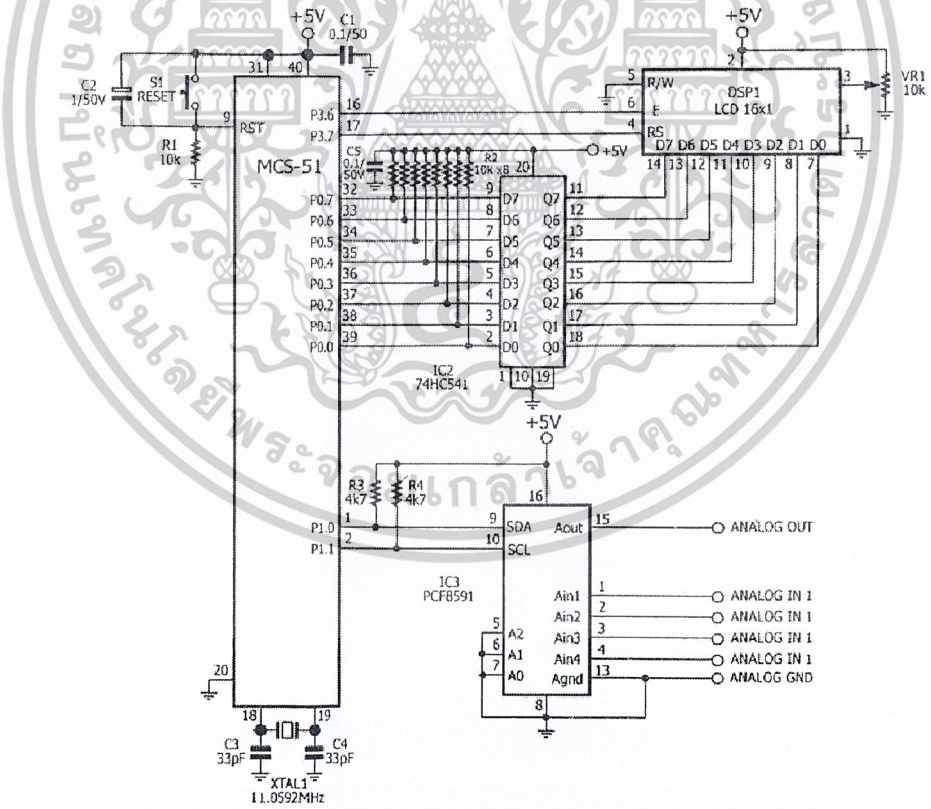
2.4.7 การเชื่อมต่อ PCF8591 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

มีตัวอย่างวงจรแสดงดังรูปที่ P19-5 จะเห็นได้ว่ามีลักษณะการต่อเหมือนกับPCF8574A ทุกประการ และสามารถที่จะต่อไอซีทั้งสองเบอร์ร่วมกันบนสาย SDA และ SLC ได้ ตรงนี้เองที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถพิเศษของบัส I^2C ผู้ใช้งานสามาถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่มีความแตกต่างกันในหน้าที่การทำงานบนสายสัญญาณเดียวกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับ PCF8591



รูปที่ 2.19 วงจรทดลองการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51ไอซี ADC/DAC บนระบบบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อนำพลังงานที่ได้ไปหมุนสิ่งต่างๆพลังงานที่ได้จากมอเตอร์กระแสตรงเรียงว่าแรงบิด (Torque) ซึ่งลักษณะพิเศษ คือ แรงบิดที่เพลาของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นสัดส่วนของกระแสอาร์เมเจอร์ แรงบิดของเพลามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะได้จากผลคูณระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนล้อจะใช้มอเตอร์ 1 ตัวต่อ 1 ล้อจำนวนสองชุดให้เป็นการขับเคลื่อนไม่ต้องการความเร็วสูงและมีสมการหาความเร็วรอบและแรงบิดคือ

$$S = \frac{(V_a + I_a R_a)}{R\Phi}$$

$$T = I_a k\Phi$$

S = ความเร็วรอบ (รอบต่อวินาที)

T = แรงบิดเหนี่ยวนำ (นิวตันต่อเมตร)

V_a = แรงดันอินพุต (โวลต์)

R_a = ความต้านทานภายในวงจรอาร์เมเจอร์ (โอห์ม)

I_a = กระแสในวงจรอาร์เมเจอร์ (แอมแปร์)

Φ = เส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอว์)

K = ค่าคงที่

การควบคุมความเร็วรอบทำได้โดยการพิจารณาจากสมการคือ

- ควบคุมฟลักซ์ (Φ)
- ควบคุมแรงดัน V_a
- ปรับค่า R_a โดยการต่อความต้านทานที่ปรับค่าได้อนุกรมกับวงจรอาร์เมเจอร์

ข้อพิจารณาในการปรับความเร็วรอบ มีดังนี้

- การปรับความเร็วรอบให้ต่ำกว่าความเร็วพิกัด โดยปรับความต้านทาน R_a เพื่อให้กระแสในขดลวดสนาม I_a (และฟลักซ์) สูงขึ้น อาจทำให้ขดลวดเสียได้
- การปรับความเร็วรอบให้สูงเกิดพิกัด โดยเพิ่มแรงดันในวงจรอาร์เมเจอร์ V_a เกินค่าพิกัดอาจทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นวิธีการควบคุมความเร็วรอบโดยการปรับค่า R_a จะใช้ได้ดีเมื่อต้องการให้ความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วรอบพิกัดและปรับค่าแรงดัน V_a จะใช้ได้ดีเมื่อต้องการให้ความเร็วรอบต่ำกว่าความเร็วรอบพิกัด การปรับค่าแรงดัน V_a จะทำให้สามารถควบคุมความเร็วได้ในช่วงกว้างและไม่มีผลต่อแรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

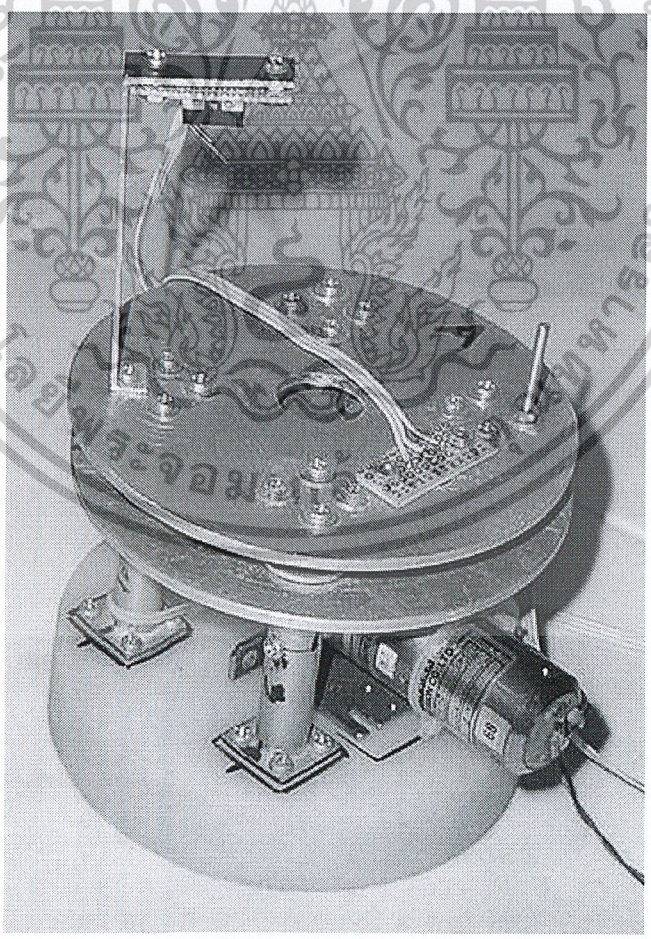
การคำนวณและการสร้าง

3.1 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์

ในการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์นี้ สิ่งสำคัญที่คำนึงถึงคือการออกแบบขาที่มีความสามารถทำให้ตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนังได้ โดยในโครงงานนี้ใช้กลไกในการเคลื่อนที่เป็นแบบดูดซึ่งจะมีข้อจำกัดในการเคลื่อนที่คือ พื้นผิว นั่นคือพื้นผิวจะต้องเป็นผิวเรียบเท่านั้นเช่น กระจก หรือกระเบื้อง หลังจากขั้นตอนการออกแบบชุดขาดูดแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบขาและตัวโครงของหุ่นยนต์ ซึ่งขั้นตอนต่าง ๆ จะอธิบายดังต่อไปนี้

3.1.1 ชุดขาดูด

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าชุดขาดูดเป็นสิ่งสำคัญ ที่ทำให้ตัวของหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปบนผนังได้ ส่วนประกอบต่าง ๆ ของชุดขาดูดคือ แผ่นยางดูด แป้นยางดูด



รูปที่ 3.1 ชุดขาดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นยางดูด

การเลือกแผ่นยางดูดสิ่งที่สำคัญคือการดูดของแผ่นยางต้องรับน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์ และสามารถออกแบบวงจรควบคุมมาใช้งานร่วมกับกลไกการดูดได้ โดยแผ่นยางดูดที่นำมาพิจารณามีดังนี้

ขนาด	ราคา	น้ำหนักที่รับได้	กลไกการดูด	กลไกการคาย
กลาง	ถูก	15 กก.	โดยการกด	งัดออก
ใหญ่	แพง	40 กก.	โดยการดึง	คลายระยะดึง
เล็ก	ถูก	น้อยมาก	โดยการกด	งัดออก

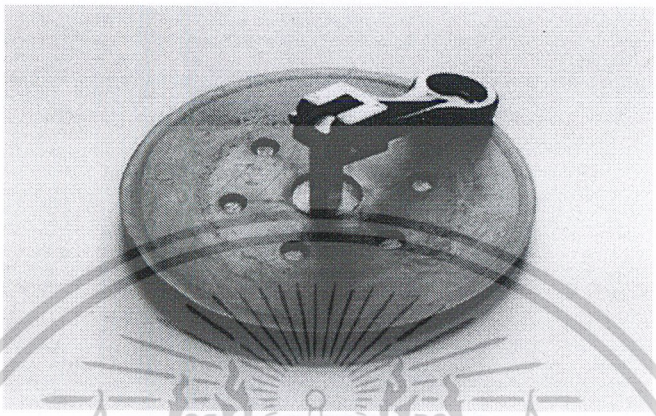
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของแผ่นยางดูด

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ขนาดกลาง มีราคาถูก	1. กลไกการดึงออกยากเพราะต้องงัดออก
2. ขนาดใหญ่ รับน้ำหนักได้สูง ควบคุมง่าย	2. ราคาแพง
3. ขนาดเล็ก มีราคาถูก	3. ไม่น่าเชื่อถือ รับน้ำหนักได้น้อย

ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแผ่นยางแต่ละขนาด

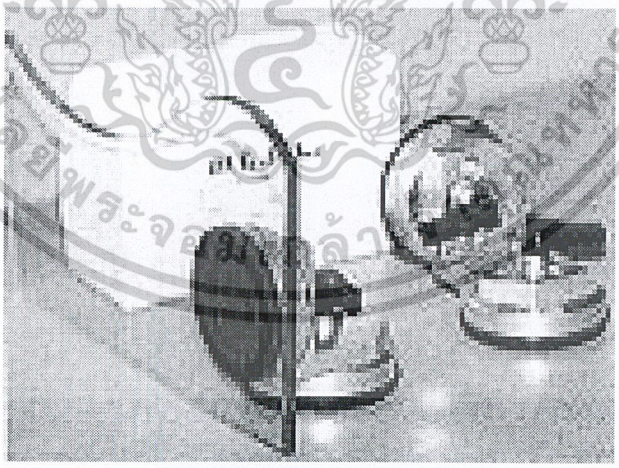
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 เมื่อนำผลมาเปรียบเทียบที่ได้มาหาข้อสรุปในการเลือกแผ่นยางดูด ผลสรุปที่ได้คือเลือกแผ่นยางดูดขนาดใหญ่ โดยแผ่นยางที่ใช้ในโครงงานแสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 แผ่นยางดูดที่ใช้ในโครงงาน

ในการทำให้ยางเกิดเป็นสูญญากาศเพื่อดูดวัสดุผิวเรียบต่าง ๆ จากรูปจะเห็นว่าส่วนที่เป็นยางติดกับพื้นผิวนั้นจะมี พื้นที่อยู่ประมาณ 30% ของพื้นที่ผิวทั้งหมดเท่านั้น ซึ่งจะสามารถนำมาคำนวณได้ดังนี้



รูปที่ 3.3 รูปแสดงการดูดของยาง

จากรูปจะเห็นว่าในส่วนขอบที่เป็นสีดำวงนอกสุดของยางจะเป็นสีดำนั่นคือส่วนที่ติดกับกระจกประมาณ30%ของพื้นที่ทั้งหมดส่วน70%เป็นสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณการรับน้ำหนักของยาง

จากการประมาณสูตร พื้นที่สูญญากาศของยาง × 0.5 ของ Atmosphere

จะได้ 70% ของA × 0.5ของatm

จากค่า ความดันของอากาศโดยประมาณ (Technical atmosphere)

1 Kg/cm² = 0.981 bar

ค่าความดันบรรยากาศทางฟิสิกส์ (Physical Atmosphere)

1 atm = 1.01325 bar

เพื่อความสะดวกในการคำนวณ

จากค่าความดัน

1 Kg/cm² = 1 bar

ค่าความดัน

1 atm = 1 bar

เพราะฉะนั้น

70%ของ A โดยที่ A คือ พื้นที่ของยาง และเส้นผ่าศูนย์กลางของยาง 12 cm

หาค่า A จากสูตร πr^2 เพราะฉะนั้น$\pi \times 6^2$ = 113.09 ตารางเซ็นติเมตร

ดังนั้นค่าของการรับน้ำหนักของยาง

= 79.163 ตารางเซ็นติเมตร × 0.5 × 1 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร

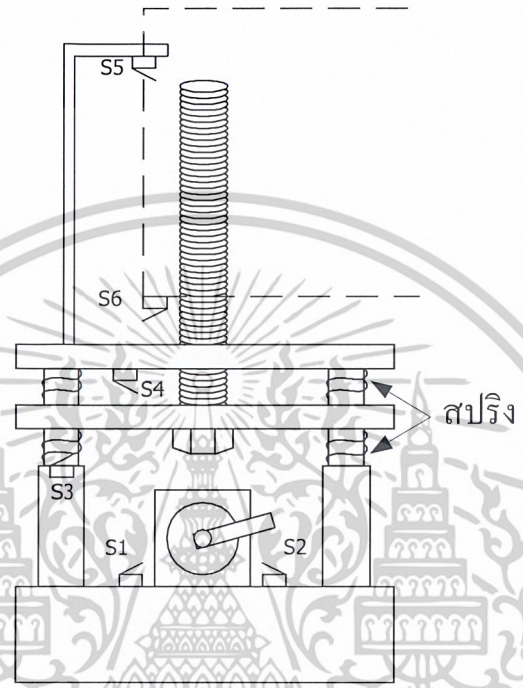
= 39.5815 กิโลกรัม

จากการคำนวรสรุปได้ว่ายางสามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 39 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้นยางดูด

แป้นยางดูดจะมีกลไกช่วยให้ชุดควบคุมรับรู้สภาวะการทำงานของขาดูดโดยใช้ลิมิตสวิทช์ตรวจสอบ ตามรูป



รูปที่ 3.4 ชุดกลไกที่แป้นยางดูด

จากรูปที่ 3.2 สปริงช่วยในความยืดหยุ่นในการเคลื่อนที่ของแผ่นเพลท มอเตอร์เป็นตัวดึงลวดสลิงทำให้หน้ายางถูกดึงขึ้น มีลิมิตสวิทช์เป็นตัวตรวจสอบสภาวะดังนี้

S1, S2 เป็นตัวตรวจสอบการดึงและคลายของแผ่นยาง หากคานที่ติดกับมอเตอร์เคลื่อนที่ไปชน โปรแกรมควบคุมการทำงานจะทำให้มอเตอร์หยุดหมุน

S3 เป็นตัวตรวจสอบการกดของขาต่อชุดแป้นยางดูด

S4 เป็นตัวตรวจสอบว่าชุดขาดูด ดูดผนังติดแล้ว

S5 เป็นตัวตรวจสอบระยะการขึ้นลงของชุดแป้นยางดูด

S6 เป็นตัวตรวจสอบว่าชุดขาดูด ดูดผนังไม่ติด

การเคลื่อนที่ของชุดขาดูดนี้เริ่มต้นเมื่อมีการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ และชุดขาดูดที่ดูดผนังอยู่แล้วในสภาวะเริ่มต้นการทำงานของหุ่นยนต์ จะคลายหน้ายางออกด้วยมอเตอร์จน S1 ON แล้วจึงขยับขาไปยังตำแหน่งต่อไปเพื่อดูดผนังโดยการกดที่ชุดขาดูด เมื่อมีแรงกดชุดขาดูดจนทำให้แผ่นยางสัมผัสกับผนังจน S3 ON มอเตอร์จะทำหน้าที่ดึงแผ่นยางดูดจน S2 ON หลังจากนชุดขาดุดจะทำการตรวจสอบว่าขาดูดติดกับผนังดีหรือยังด้วยการดึงชุดขาดูดขึ้น ถ้าชุดขาดูดติดกับผนังดีแล้ว

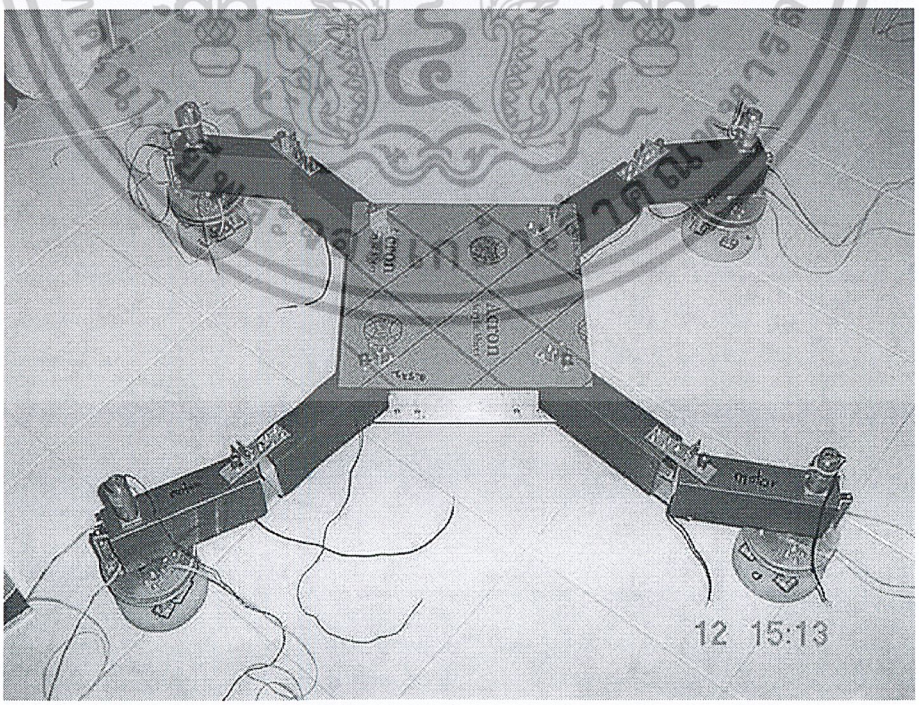
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่ดึงชุดขาดูดจะทำให้แผ่นเพลทไปกด S4 ON หากดูดไม่ติดจะทำให้ชุดขาดูดทั้งชุดถูกดึงขึ้นจนไปกด S6 ON แล้วเริ่มต้นการดูดผนังใหม่จนกว่าขาของหุ่นยนต์จะดูดติดกับผนัง จึงเริ่มขยับขาต่อไป

3.1.2 ขาของหุ่นยนต์

ในโครงงานนี้หุ่นยนต์จะมีทั้งหมด 4 ขา แต่ละขาจะมีข้อต่อ 2 ข้อต่อ ขาของหุ่นยนต์มีหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์ ซึ่งจะติดตั้งมอเตอร์อยู่ที่ข้อต่อของหุ่นยนต์ทั้งหมด การขยับของขาขึ้นอยู่กับการควบคุมที่รีโมต รีโมตที่ใช้ในโครงงานนี้เป็น คีย์แพด(Key Pad) สามารถควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่(เดินขึ้น, เดินลง, เดินซ้าย, เดินขวา)ซึ่งควบคุมทิศทางด้วยโปรแกรมในไมโครคอนโทรเลอร์

ไมโครคอนโทรเลอร์จะกำหนดมุมที่ข้อต่อของขาทุกข้อเป็นค่าแรงดัน หากมุมที่ข้อต่อมีความคลาดเคลื่อนแรงดันจะมีค่าคลาดเคลื่อนไปด้วย ซึ่งรับรู้ด้วยค่าความต้านทานปรับค่าได้ที่ติดตามข้อต่อต่าง ๆ แรงดันที่ออกมาจากค่าความต้านทานปรับค่าได้จะถูกส่งไปยัง PCF8591 PCF8591 จะแปลงค่าแรงดันที่เป็นอะนาล็อกมาเป็นดิจิตอลที่เป็นเลขฐาน 16 กลับเข้าไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์อีกที เพื่อทำให้มุมที่ข้อต่อของขาต่าง ๆ เป็นไปตามมุมที่กำหนดในโปรแกรมที่เก็บไว้

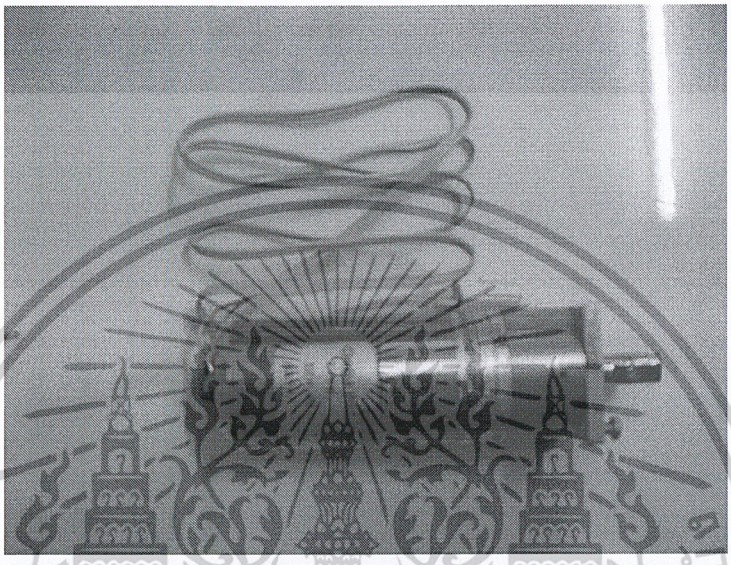


รูปที่ 3.5 ขาของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกมอเตอร์

เนื่องจากขนาดของตัวหุ่นมีขนาดใหญ่ ต้องใช้กำลังสูง กำลังของมอเตอร์ที่ใช้งานจึงต้องสูงตาม และเพื่อให้มีน้ำหนักที่น้อยจึงต้องมีมอเตอร์ที่มีน้ำหนักตามไปด้วย



รูปที่ 3.6 มอเตอร์ของบริษัท CHIBA PRECISION CO,.LTD JAPAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reduction ratios	Permissive Output torque (kgf-cm)	Permissive Output (W)	Efficiency (%)
1/4.00	1.3	4.0	80
1/6.00	1.3	4.0	80
1/16.00	2.7	3.2	64
1/24.00	2.7	3.2	64
1/36.00	2.7	3.2	64
1/64.00	5.8	2.5	51
1/96.00	5.8	2.5	51
1/144.00	5.8	2.5	51
1/216.00	5.8	2.5	51
1/256.00	12.0	2.0	41
1/384.00	12.0	2.0	41
1/576.00	12.0	2.0	41
1/864.00	12.0	1.5	41
1/1296.00	12.0	1.1	41

ตารางที่ 3.3 รุ่น SJP Series / 18mm diameter ราคา 450บาท/ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reduction ratios	Permissive Output torque (kgf-cm)	Permissive Output (W)	Efficiency (%)
1/4.00	2.5	8.0	85
1/6.00	2.5	8.0	85
1/16.00	6.0	6.0	72
1/24.00	6.0	6.0	72
1/36.00	6.0	6.0	72
1/64.00	12.0	5.0	61
1/96.00	12.0	5.0	61
1/144.00	12.0	5.0	61
1/216.00	12.0	5.0	61
1/256.00	30.0	4.0	52
1/384.00	30.0	4.0	52
1/576.00	30.0	4.0	52
1/864.00	30.0	3.5	52
1/1296.00	30.0	2.5	52

ตารางที่ 3.4 รุ่น SMP Series / 25mm diameter ราคา 400บาท/ตัว

หลังจากได้เปรียบเทียบทางด้านคุณภาพและราคาแล้วพบว่า มอเตอร์รุ่น SMP Series / 25mm diameter ที่อัตราทด 1/864 เหมาะสมที่สุด

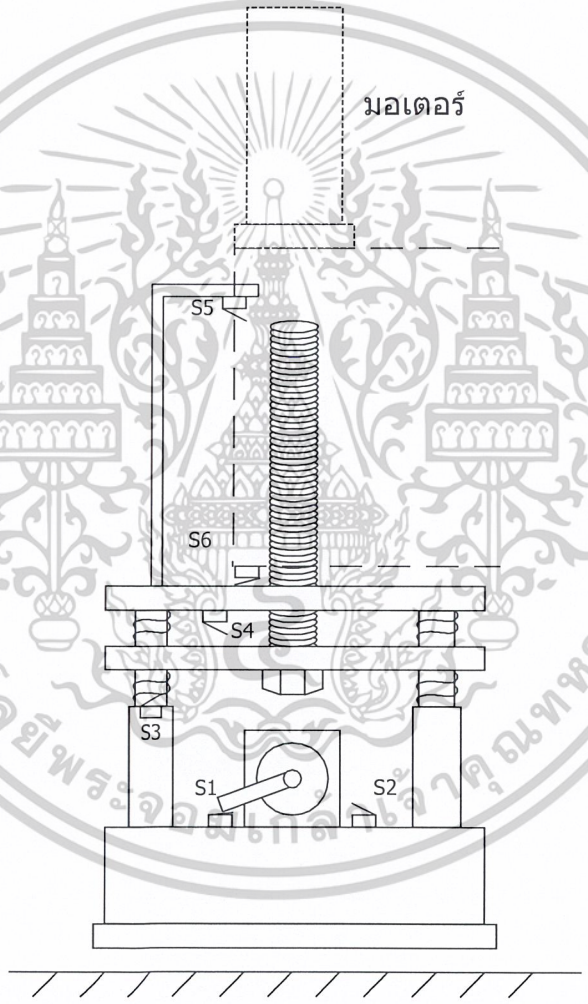
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ขั้นตอนการทำงานของชุดขาดูด

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มีด้วยกัน 4 คำสั่ง คือ เดินขึ้น เดินลง เดินซ้าย และเดินขวา ท่าเดินทั้ง 4 คำสั่งนี้จะกล่าวในหัวข้อ 4.2.3

ในแต่ละท่าเดินทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่จะต้องมีขาที่ติดกับผนังอยู่ 3 ขา อีก 1ขา ที่เหลือจะขยับไปยังตำแหน่งที่คำสั่งได้กำหนดไว้เพื่อทำการดูด การดูดของชุดขาดูดจะมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

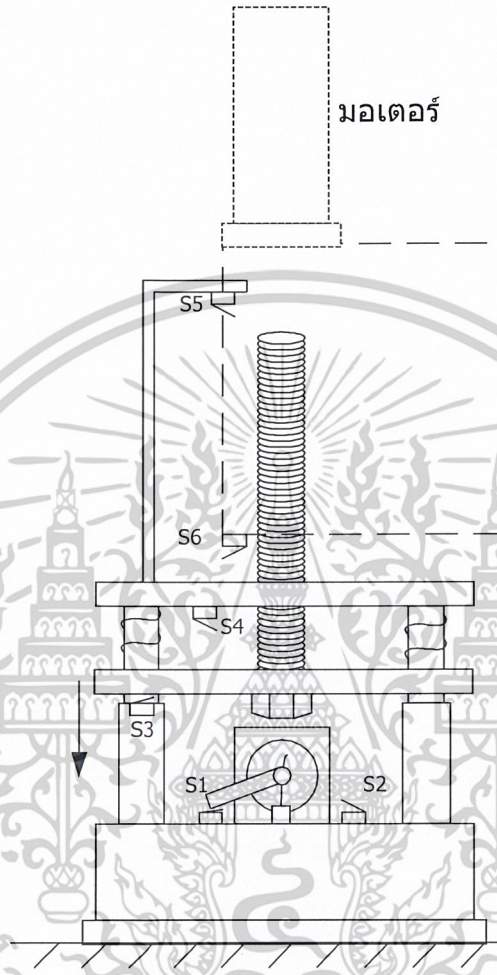


รูปที่ 3.7 การทำงานของชุดขาดูดขั้นตอนที่ 1

จากรูป เป็นขั้นตอนที่ขาของหุ่นยนต์ได้เคลื่อนตามที่โปรแกรมกำหนดไว้ ชุดขาดูดจะลอยเหนือผนัง โดยที่ลิมิตสวิทช์ทุกตัวยังไม่ทำงาน ยกเว้น S6 ที่เป็นตัวบอกว่าเป็นการเคลื่อนที่ของขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2

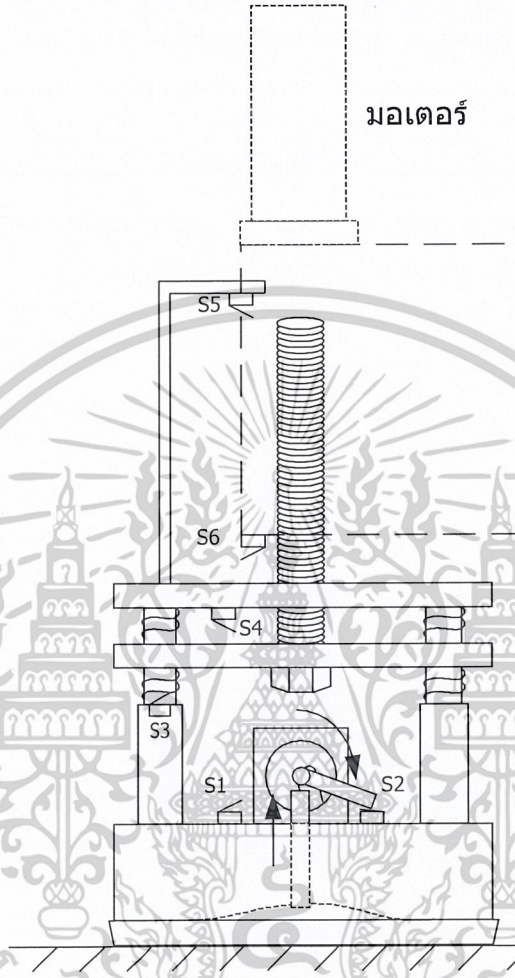


รูปที่ 3.8 การทำงานของชุดขาดูดขั้นตอนที่ 2

เมื่อขาเคลื่อนที่มายังตำแหน่งที่โปรแกรมกำหนดไว้ ชุดขาดูดจะถูกกดลงมาที่ผนังโดยมอเตอร์ที่อยู่บนปลายแขนจน S3 ON ซึ่งหมายความว่าแผ่นยางได้วางแนบกับผนังแล้ว จึงเริ่มขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3

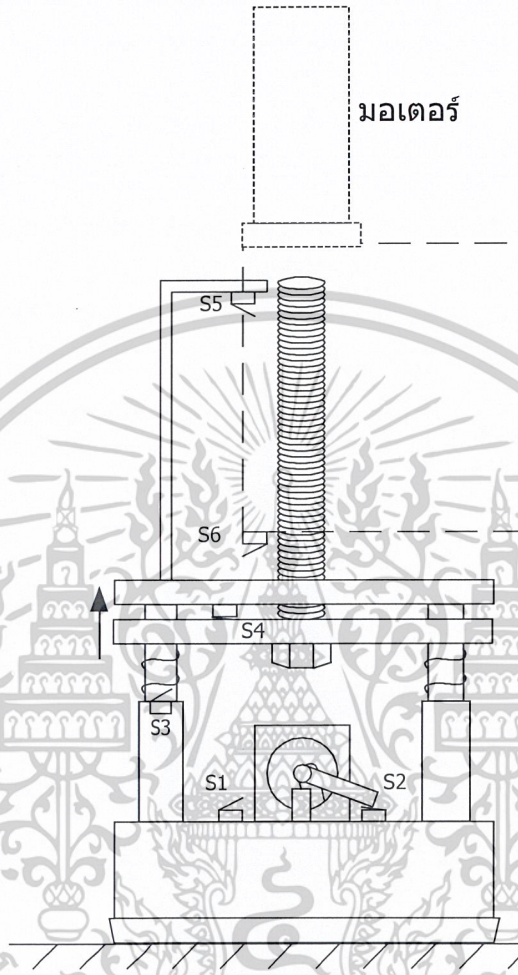


รูปที่ 3.9 การทำงานของชุดขาดูดขั้นตอนที่ 3

มอเตอร์ตรงแป้นดูดจะหมุนจน S2 ON จึงหยุดหมุนแผ่นยางดูดจึงถูกดึง ทำให้ชุดขาดูดดูดติดกับผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4

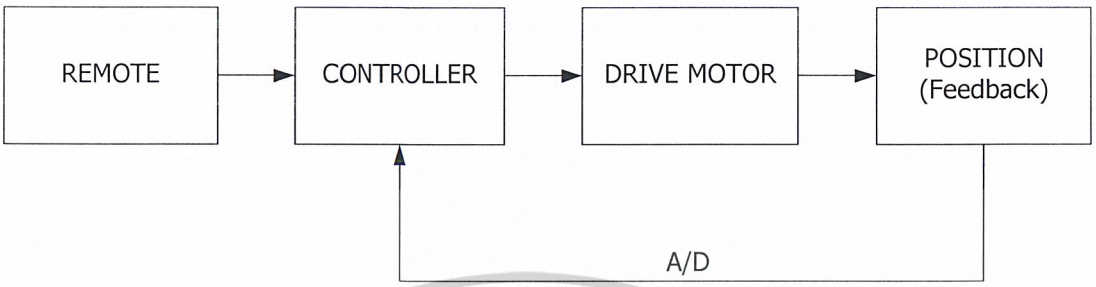


รูปที่ 3.10 การทำงานของชุดขาดูดขั้นตอนที่ 4

เป็นขั้นตอนการตรวจสอบว่าชุดขาดูดดูดติดกับผนังหรือยังถ้าดูดติดจะทำให้ S4 ON ดังรูป หากชุดขาดูดดูดไม่ติด S4 จะไม่ON แล้วชุดขาดูดจะถูกดึงขึ้นเหนือผนัง จน S6 ON แล้วจึงทำการเปลี่ยนตำแหน่งของขาเพื่อเริ่มขั้นตอนการดูดใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรควบคุม

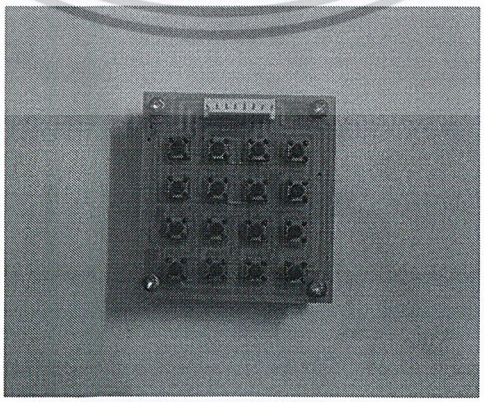


รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

จากบล็อกไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ถูกควบโดยรีโมต ซึ่งในโครงงานรีโมตที่ใช้เป็นคีย์แพด สั่งงานผ่านคอนโทรลเลอร์ คอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ที่เก็บโปรแกรมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทั้งหมด คอนโทรลเลอร์จะควบคุมการหมุนของวงจรภาคขับมอเตอร์ออกมาเป็นตำแหน่งโดยใช้การป้อนกลับจากค่าความต้านทานปรับค่าได้ ค่าที่ป้อนกลับเป็นค่าแรงดันที่เป็นอะนาล็อกจะเข้าไปที่ PCF8591 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่แปลงค่าทางอะนาล็อกออกมาเป็นค่าทางดิจิตอล ค่าดิจิตอลนี้มีลักษณะเป็นเลขฐาน 16 เลขฐาน 16 จะนำเข้าไปประมวลผลเพื่อนำไปเปรียบเทียบตำแหน่งในคอนโทรลเลอร์ การทำงานต่าง ๆ ของวงจรควบคุมในบล็อกไดอะแกรม อธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 รีโมต

รีโมตทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ก่อนจะนำทิศทางการเคลื่อนที่ที่กดไปบนคีย์แพดไปประมวลผลในคอนโทรลเลอร์

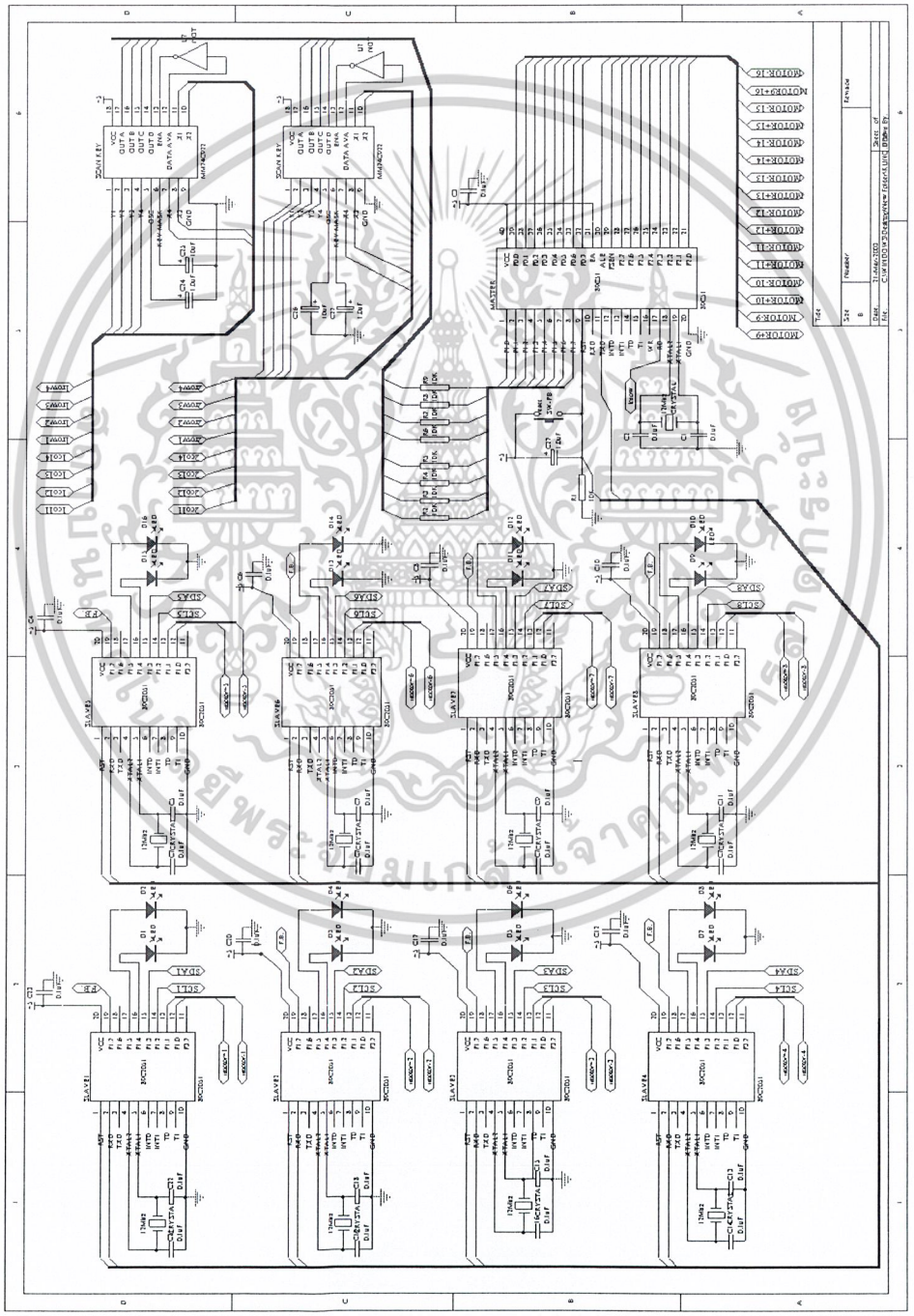


รูปที่ 3.12 Key Pad

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ภาควงจรควบคุม

ภาคคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนควบคุมหลักที่เก็บโปรแกรมการทำงานต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ โดยส่วนของภาคคอนโทรลเลอร์จะใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52 เป็นตัวควบคุมตัวแม่ ไปควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวลูกอีกที ตัวลูกจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์AT89C2051 8 ตัว ไปควบคุมข้อต่อแต่ละขาของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.13 วงจรของภาคคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปวงจรข้างต้นเป็นวงจรควบคุมหลักของโครงงาน ในวงจรจะมี AT89C51 เป็นตัวแม่ไปควบคุม AT89C2051 ที่เป็นตัวลูกอีก 8 ตัว โดยตัวลูกแต่ละตัวจะควบคุมมอเตอร์ที่ขาของหุ่นยนต์ออกทาง P1.0 และ P1.1 ไปยังวงจรขับมอเตอร์ LED ที่ P1.4 และ P1.5 เป็นตัวบ่งบอกสภาวะการทำงานของมอเตอร์ที่ AT89C2051 ตัวนั้นควบคุมอยู่ P1.7 เป็นขาที่ได้รับการป้อนกลับจากชุดวงจร A/D (PCF8591) ทั้งสองตัวนี้จะติดต่อกันโดยใช้หลักการ I^2C ที่ขา P1.2 และ P1.3 ของ AT89C2051 กับขา SCL และ SDA ของPCF8591 ในส่วนของ P0 และ P2 ของ AT89C51 ที่เป็นตัวแม่นำมาใช้ควบคุมมอเตอร์ที่ชุดขาดูดแต่ละขา การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแม่และตัวลูกอธิบายได้ดังต่อไปนี้

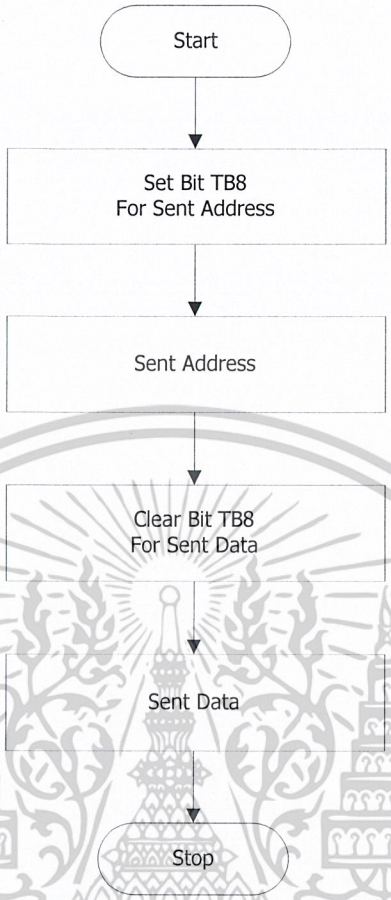
การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแม่

ในซีพียูตัวแม่จะมีส่วนประมวลผลอยู่ 3 อย่างหลักๆ คือ ชุดรับค่าคีย์แพด ชุดสั่งการทำงานของมอเตอร์ที่ขาดูด และชุดส่งสัญญาณอนุกรม

ซีพียูตัวแม่จะเป็นการส่งข้อมูลแบบครั้งละตัว (1 ถึง 8) โดยจะเก็บรหัสของท่าเดินไว้ในลักษณะของ โปรแกรมย่อย และทำการวนส่งออกไปทีละชุด (1 ข้อต่อ) เมื่อเราเปลี่ยนคำสั่งหรือส่งค่าใหม่ออกทาง SBUF โปรแกรมตัวลูกที่รับค่าจะรับค่าพร้อมกันทุกตัวและแต่ละตัวจะรับค่าของตัวแม่และนำค่าที่ได้มาตรวจสอบว่าใช้ค่าของตัวเองหรือไม่หากไม่ใช้จะทำการคงค่าเดิมไว้ ซึ่งค่ามุมจะเปลี่ยนไปตามตำแหน่งการเดินที่จะต้องการก้าวไป หลังจากกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมแล้ว เมื่อต้องการส่งข้อมูลเราต้องให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการ

ตรวจสอบแฟลก TI หากแฟลก TI มีค่าเป็น 0 จึงจะเริ่มส่งข้อมูล โดยการกำหนดข้อมูลที่ต้องการส่งลงในรีจิสเตอร์ SBUF หลังจากส่งข้อมูลให้กับ SBUF แล้ว พอร์ตอนุกรมจะเริ่มส่งข้อมูลออกไปทางขา TXD ในขณะที่สัญญาณที่แฟลก TI ยังคงเป็น 0 อยู่ และจะเปลี่ยนเป็น 1 เมื่อข้อมูลได้ส่งออกไปทุกบิตแล้ว เราจะทำการเคลียร์แฟลก TI เพื่อการส่งในครั้งต่อไปอีก ซึ่งสามารถเขียนเป็นโฟล์วชาร์ทดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 โฟล์วชาร์ทการรับส่งข้อมูลในโหมด 3

ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 เป็นตัวควบคุมการทำงานหลัก (Master) โดยจะมีสวิทช์ keypad 2 ชุดที่ต่อผ่านSCAN KEY ซึ่งต่ออยู่ที่พอร์ต P1 เป็นตัวตรวจคอยสอบสถานะในขณะที่หุ่นยนต์ทำการเดินและทิศทางการเดิน โดยจะทำการส่งค่าควบคุมการทำงานไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C2051 ทั้ง 8 ตัวซึ่งเป็นตัวรอง (Slave) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรขับมอเตอร์ที่แตกต่างกันไปควบคุมมุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ โดยการทำงานเป็นแบบมัลติโปรเซสเซอร์ (Multiprocesser) โดยที่จะใช้ P3เป็นตัวสั่งการทำงานของมอเตอร์ที่ขาดูด ในส่วนของการเดินจะมีด้วยกันหลายท่าเดิน เพราะต้องใช้ในการบังคับเลี้ยวและขึ้นลง โดยในส่วนของโปรแกรมจะมีส่วนที่คอยตรวจสอบ ตำแหน่งของมุมที่ขาอยู่ตลอดเวลา โดยจะใช้คีย์แพดเป็นตัวควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ และจะมีส่วนของวงจรรับสัญญาณป้อนกลับที่จะใช้ตรวจสอบความพร้อมของตัวลูกว่าพร้อมรับคำสั่งต่อไปหรือไม่

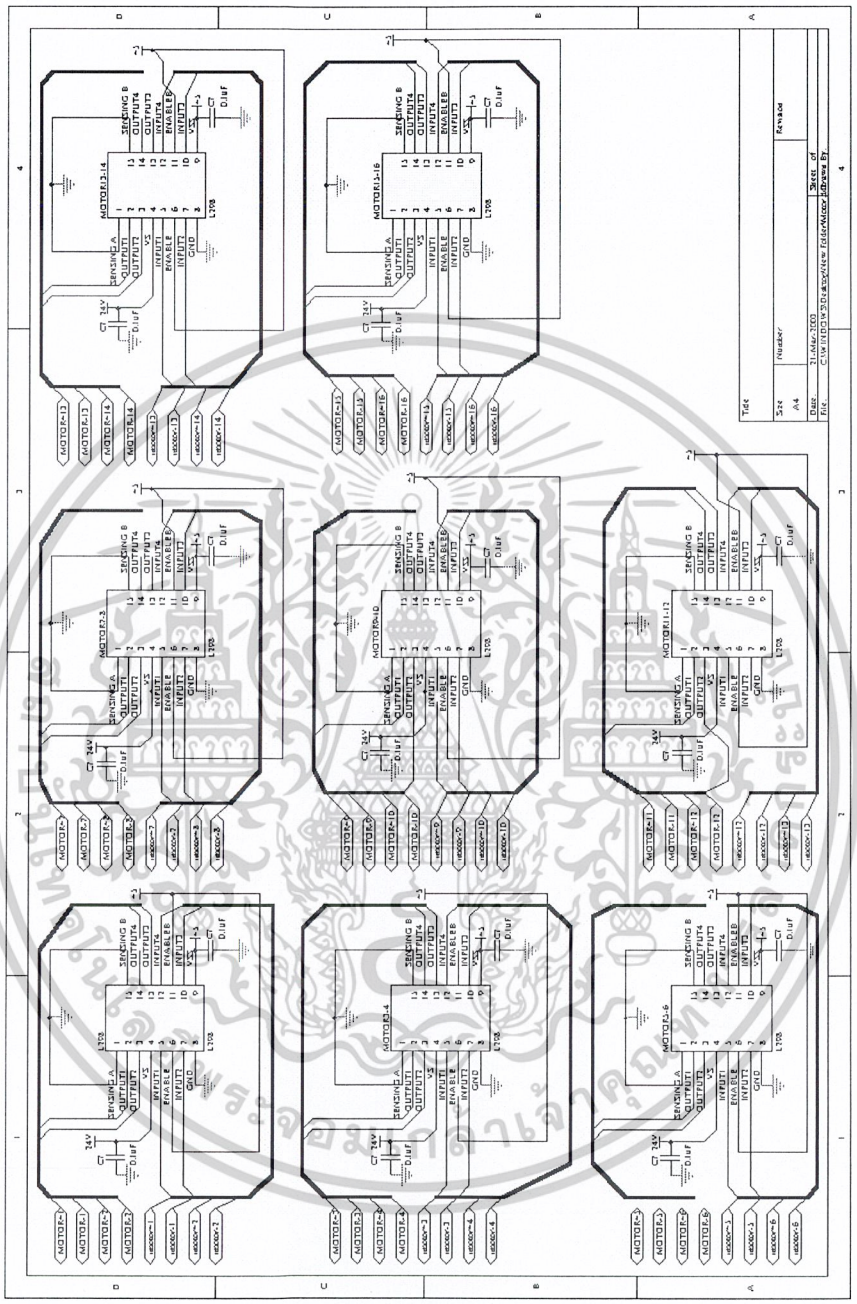
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวลูก

จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือส่วนที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม ส่วนที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล และส่วนที่ส่งสัญญาณไปขับมอเตอร์ ซีพียูจะทำการรับค่าจากทาง SBUF แล้วนำค่าที่รับจากA/Dเข้ามาเพื่อใช้เป็นบอกตำแหน่งขาซึ่งเป็นตัวเลขฐาน 16 เพื่อนำไปควบคุมมุมของ มอเตอร์ อีกที โดยค่าที่รับเข้ามาจาก SBUF จะต้องนำมาเปรียบเทียมกับทางตัวลูกเพื่อให้ได้ข้อมูลของตัวลูกตัวนั้นๆจริง ก่อนที่จะนำไปประมวลผล โดยที่มุมของขาสามารถหมุนได้ 0,45,90,135,180 องศา ทำให้เราสามารถสร้างลักษณะขา ท่าทางแบบต่างๆ ได้เพื่อตอบสนองต่อลักษณะการก้าวขาที่แตกต่างกันไป ตามความเหมาะสม ในช่วงเวลาปกติซีพียูตัวลูกก็จะทำงานตามค่าที่เป็นปัจจุบันของตัวมันเอง โดยจะส่งสัญญาณไปสั่งมอเตอร์ตามค่าที่เราได้กำหนดไว้ในเบื้องต้นก่อนตราบที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากการส่งข้อมูลใหม่เข้ามาทาง SBUF ซึ่งที่ตัวลูกทุกตัวจะมีสัญญาณป้อนกลับเพื่อแจ้งความพร้อมในการทำงานไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 เพื่อที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51จะได้ส่งค่าของข้อมูลชุดถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ภาควงจรขับมอเตอร์

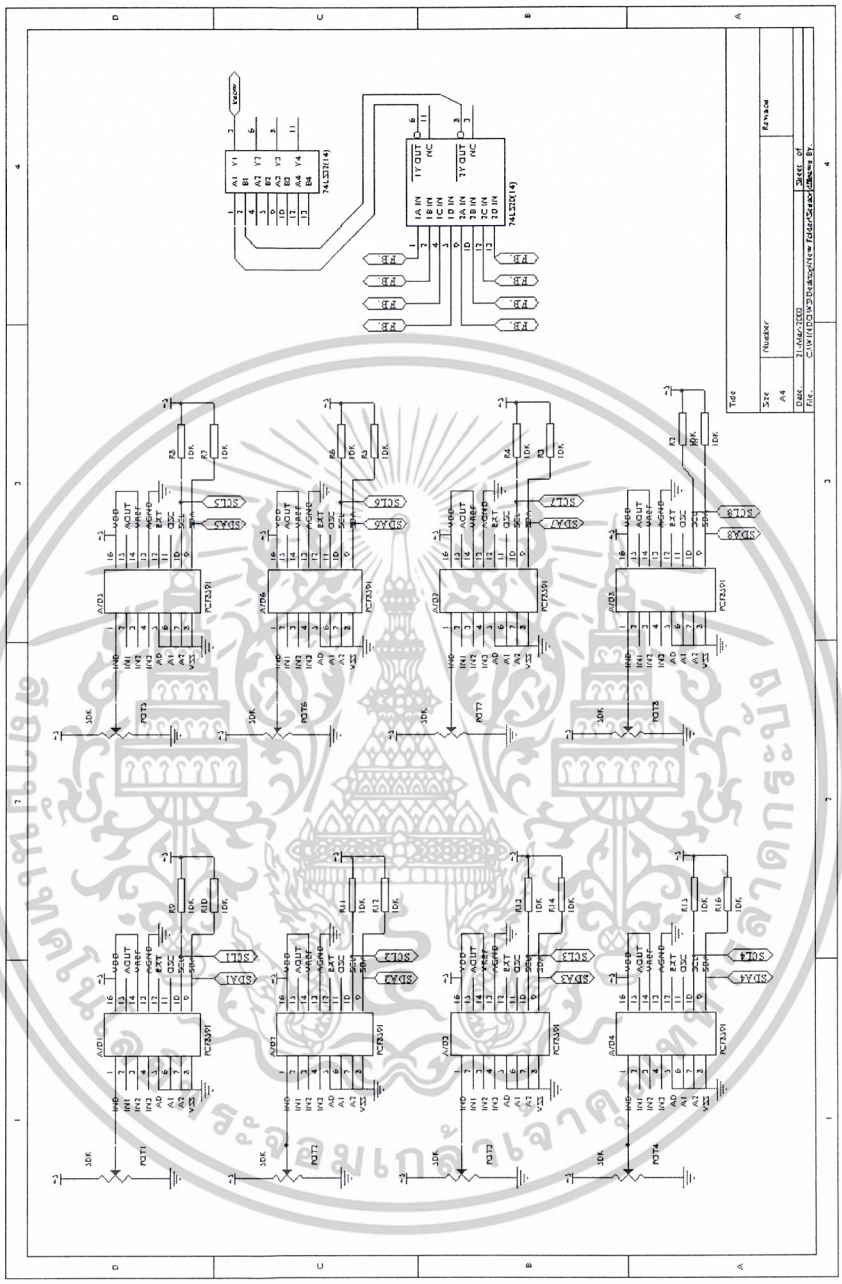


รูปที่ 3.15 ภาควงจรขับมอเตอร์

ภาควงจรขับมอเตอร์จะมี วงจรสำเร็จรูปเป็นเบอร์ L298 ที่ใช้ขับมอเตอร์ ซึ่งขับกระแสสูงสุดถึง 4 แอมแปร์ มีวงจรด้วยกัน 8 ชุด แต่ละชุด ใช้ขับมอเตอร์ได้ 2 ตัว โดยภาควงจรนี้ได้รับสัญญาณควบคุมจาก AT89C51 และ AT89C2051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ภาควงจรป้อนกลับ

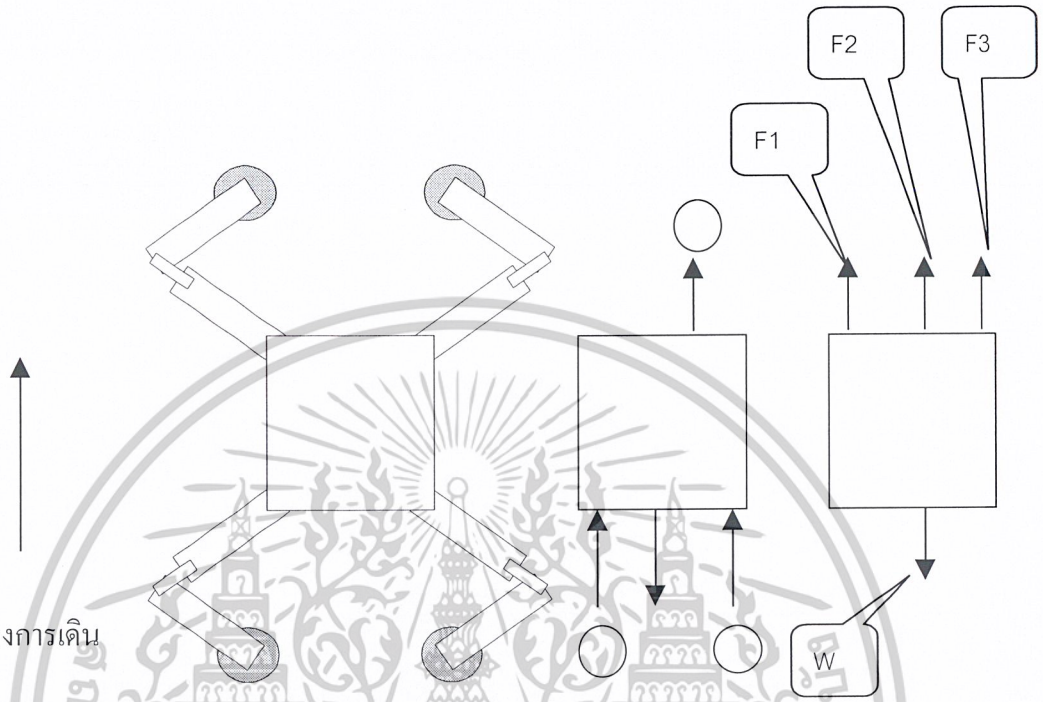


รูปที่ 3.16 วงจรป้อนกลับ A/D PCF8591

ในภาควงจรป้อนกลับนี้มีหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกจากแรงดันที่ตกคร่อมค่าความต้านปรับค่าได้ของแต่ละข้อต่อในแต่ละขาเป็นสัญญาณดิจิตอล(เลขฐาน 16)เพื่อนำไปประมวลผลใน AT89C2051 โดยทั้งหมดใช้วงจรของ PCF8591 PCF8591จะติดต่อกับ AT89C2051 ผ่านทาง I^2C บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ลักษณะการวางขา และลำตัวของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.17 ลักษณะการวางขาและลำตัว

F1,F2,F3 คือ แรง

W คือ น้ำหนัก

<u>หมายเหตุ</u> ที่ต้องคำนวณแรงเพียง 3 ขา เนื่องมาจากเผื่อเอาไว้เวลาที่หุ่นยนต์ก้าวขา

หากว่าต้องการออกแบบให้หุ่นยนต์ตัวเปล่าหนัก 10 กก. และบรรทุกของได้ 5 กก. ซึ่งต้องหายางที่สามารถรับน้ำหนักได้รวมได้ 15 กก. ดังนั้นยางแต่ละตัวควรจะรับน้ำหนักได้ข้างละ 15/3 = 5 กก./ตัว

$$\sum F_y = 0$$

$$F1+F2+F3-MG = 0$$

$$50+50+50-MG = 0$$

เพราะฉะนั้นมวลที่ยางดูดที่สามารถรับได้คือ 150 N หรือ 15 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองทางโครงสร้างของหุ่นยนต์

4.1.1 ผลการการทดลองชุดขาดูด

ระยะดึง (mm)	น้ำหนัก (kg)	ผลการรับน้ำหนัก
5	1-7	รับน้ำหนักได้
5	8	ยางดูดเริ่มโก่ง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองชุดขาดูด

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลยางดูด จากการที่เรากำหนดแรงดูดขั้นต่ำในการทำงานของหุ่นยนต์ที่ 5 กก. ซึ่งในการทดสอบที่ระยะความยาวของแกนดึง 5 mm สามารถรับน้ำหนักได้ถึง 7 กก.

4.1.2 ผลการทดลองข้อต่อหัวไหล่

ข้อต่อ	น้ำหนักที่รับได้ (kg)	ผลการรับน้ำหนัก
หัวไหล่	1-3	รับน้ำหนักได้
	4-6	สามารถหน่วงไว้ได้
	7	ไม่สามารถยกได้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองข้อต่อหัวไหล่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการทดลองข้อต่อปลายแขน (หัวไหล่อยู่กับที่)

ข้อต่อ	น้ำหนักที่รับได้ (kg)	ผลการรับน้ำหนัก
ปลายแขน	1-4	รับน้ำหนักได้
	5-6	สามารถหน่วงไว้ได้
	7	ไม่สามารถยกได้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองข้อต่อปลายแขน (หัวไหล่อยู่กับที่)

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลของข้อต่อแขน จากการที่ทดลองน้ำหนักที่รับได้ 1-4 กก. ซึ่งผลที่สามารถคำนวณได้นั้นสามารถรับน้ำหนักได้ถึงเพียง 1.428 กก. เท่านั้น เนื่องมาจากว่าในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของมุม ซึ่งมุมแต่ละมุมนี่เองที่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่สามารถรับได้

จาก

$$\sum Mo = (P\cos\theta)l + (P\sin\theta)0$$

$$\sum Mo = (P\cos\theta)l$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองทางภาควงจรควบคุมและโปรแกรม

4.2.1 การทดลองการติดต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแม่และตัวลูก

ข้อมูลตัวแม่	ข้อมูลตัวลูก
00	00
01	01
10	10
11	11

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการติดต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแม่และตัวลูก(1 ตัว)

ข้อมูลตัวแม่	ข้อมูลตัวลูก 1	ข้อมูลตัวลูก 2
00	00	00
01	01	01
10	10	10
11	11	11

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการติดต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแม่และตัวลูก(2 ตัว)

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองเมื่อเพิ่มตัวลูกครบ 8 ตัว การติดต่อสื่อสารก็ยังได้ผลตรงตามตารางข้างต้นการสื่อสารของตัวแม่และตัวลูกสามารถสื่อสารได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทดลอง ภาควงจรป้อนกลับ

นำสัญญาณดิจิตอลที่ได้จากการแปลงสัญญาณอะนาล็อก (A/D)ของ PCF8591 มาประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

อะนาล็อก	ดิจิตอล
1.0 V	31H
1.5 V	52H
2.5 V	82H
3.0 V	9EH
4.0 V	DDH
5.0 V	FFH

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองภาควงจรป้อนกลับ

4.2.3 การทดลองค่ามุมจากข้อต่อของแขนหุ่นยนต์ด้วยภาษาซี

เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้งานเป็นโปรแกรมภาษาซีเพื่อที่จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทราบว่าสัญญาณป้อนกลับที่ได้นั้นจะนำมาเปรียบเทียบค่าของมุม ซึ่งในภาษาซีที่ได้ จะมีค่าตามมุมที่กำหนดดังนี้

มุม	รหัสภาษาซี
0°	0X21
45°	0X41
90°	0X81
145°	0Xb1
180°	0Xe1

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองค่ามุมจากข้อต่อของแขนหุ่นยนต์ด้วยภาษาซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

ค่าที่ได้จาตารางที่ 4.7 จะนำมาใช้งานในตัวโปรแกรม ซึ่งในโปรแกรมจะแบ่งออกเป็นท่าที่มีทิศทางการเดินที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

คำสั่ง	ขา 1		ขา 2		ขา 3		ขา 4	
	m1	m5	m2	m6	m3	m7	m4	m8
เดินขึ้น	0x81	0xe1	-	-	-	-	-	-
	-	-	0x81	0x21	-	-	-	-
	-	-	-	-	0x81	0xe1	-	-
	-	-	-	-	-	-	0x81	0x21
	0xb1	0xb1	-	-	-	-	-	-
	-	-	0x41	0x41	-	-	-	-
	0x81	0xe1	0x81	0x21	0xb1	0xb1	0xb1	0x41
	-	-	-	-	-	-	0x81	0x21
	-	-	-	-	0x81	0xe1	-	-
เดินลง	-	-	0x81	0x21	-	-	-	-
	0x81	0xe1	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	0x81	0xe1	-	-
	-	-	-	-	-	-	0x81	0x21
	-	-	-	-	-	-	0xb1	0x41
	-	-	-	-	0xb1	0xb1	-	-
	0xb1	0xb1	0x41	0x41	0x81	0xe1	0x81	0x21
	0x81	0xe1	-	-	-	-	-	-
	-	-	0x81	0x21	-	-	-	-

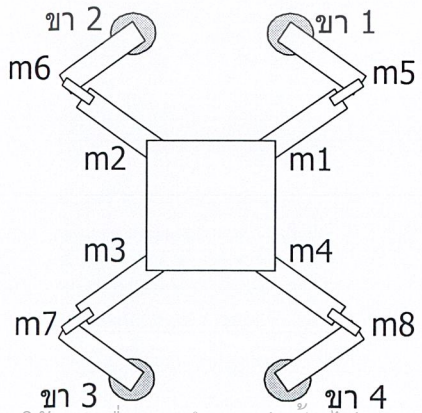
ตารางที่ 4.8 ค่ามุมจากข้อต่อของแขนหุ่นยนต์ด้วยภาษาซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่ง	ขา 1		ขา 2		ขา 3		ขา 4	
เดินขวา	-	-	0x81	0xe1	-	-	-	-
	0x81	0x21	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	0x81	0x21	-	-
	-	-	-	-	-	-	0x81	0xe1
	-	-	-	-	-	-	0x41	0xb1
	0x41	0x41	-	-	-	-	-	-
	0x81	0x21	0xb1	0xb1	0x41	0x41	0x81	0xe1
	-	-	0x81	0xe1	-	-	-	-
	-	-	-	-	0x81	0x21	-	-
เดินซ้าย	0x81	0x21	-	-	-	-	-	-
	-	-	0x81	0xe1	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	0x81	0xe1
	-	-	-	-	0x81	0x21	-	-
	-	-	-	-	0x41	0x41	-	-
	-	-	0xb1	0xb1	-	-	-	-
	0x41	0x41	0x81	0xe1	0x81	0x21	0x41	0xb1
	0x81	0x21	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	0x81	0xe1

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ค่ามุมจากข้อต่อของแขนหุ่นยนต์ด้วยภาษาซี

จากคำสั่งในตาราง ตำแหน่งของขา มอเตอร์ และท่าเดินของหุ่นยนต์ตามรูปต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

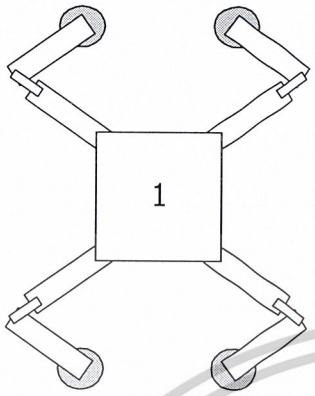
คำสั่งเดินขึ้น

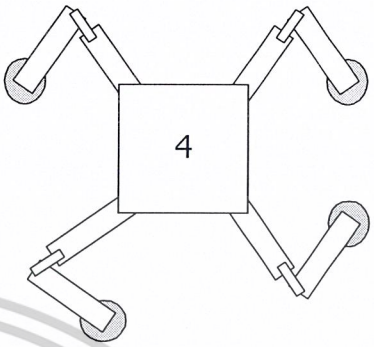
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

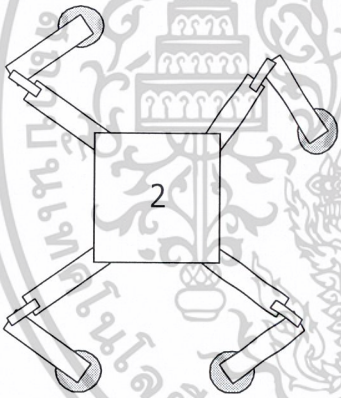
คำสั่งเดินลง

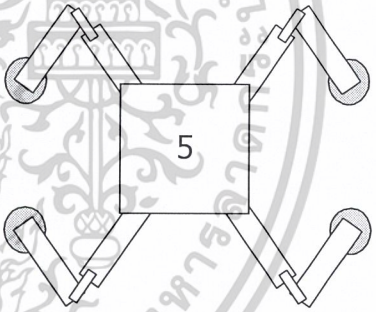
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

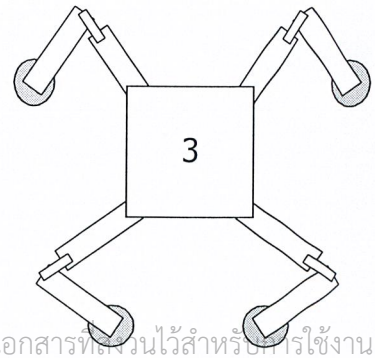
คำสั่งเดินซ้าย

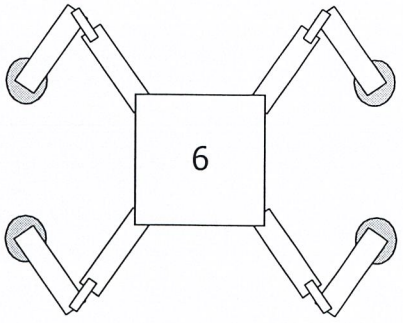




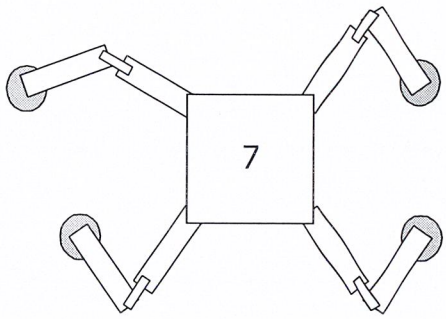


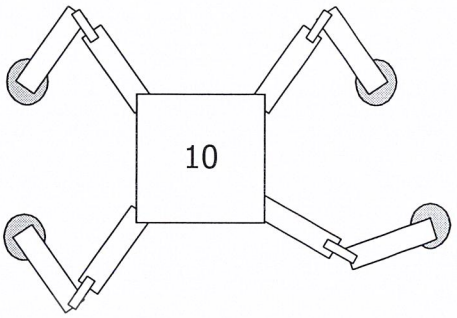


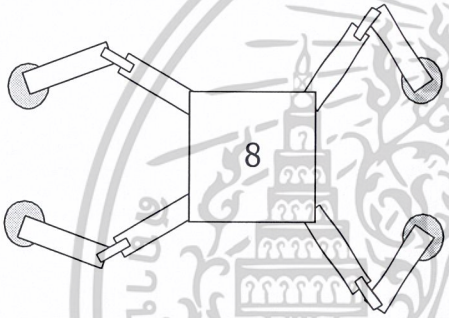


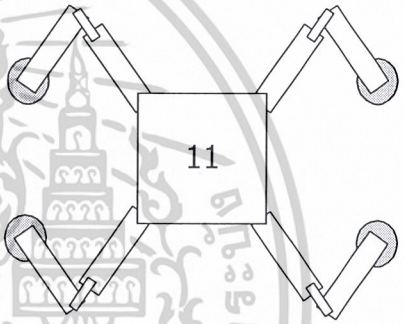


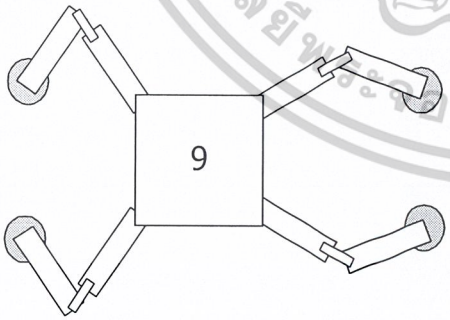
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





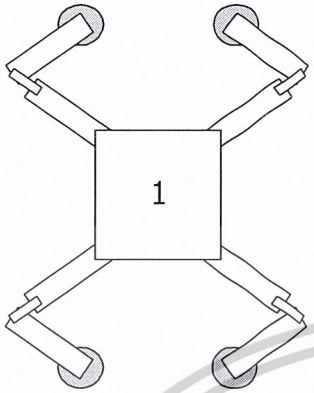


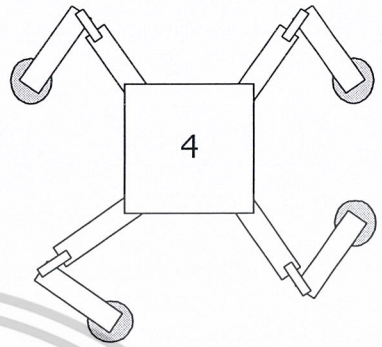


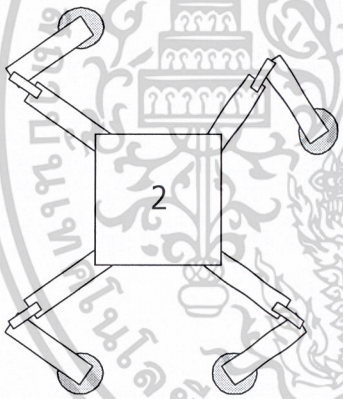


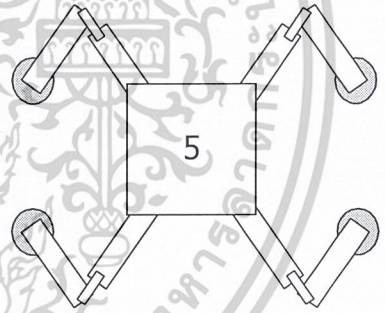
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

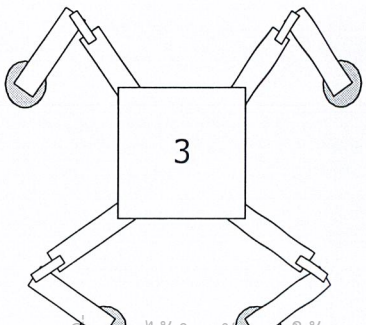
คำสั่งเดินขวา

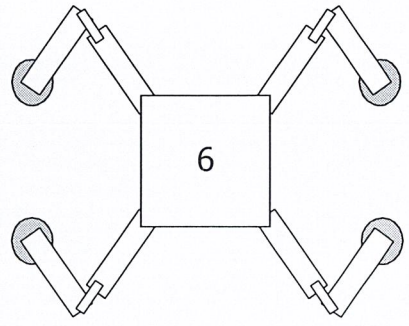




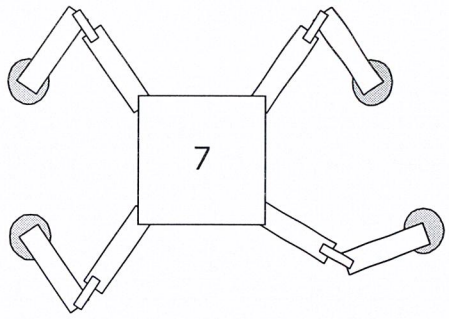


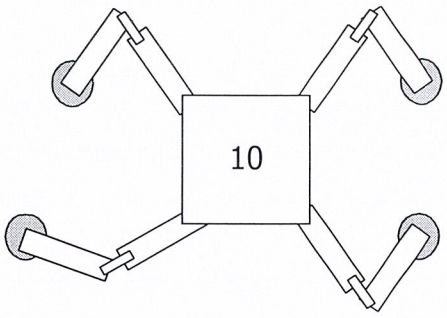


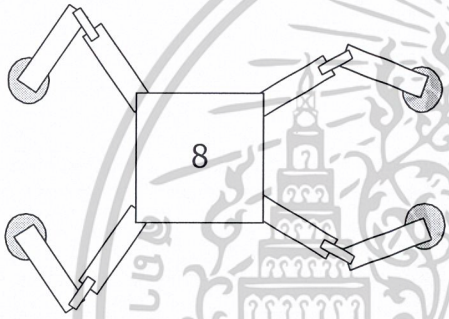


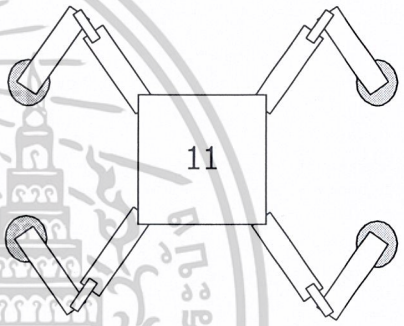


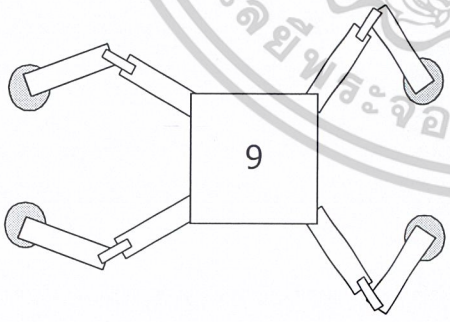
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้











เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

ในโครงงานหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนังได้ทำการออกแบบโดยใช้ยางที่ใช้สำหรับดูดกระจก ซึ่งมีจำหน่ายอยู่ทั่วไปนำมาติดที่ปลายขาของหุ่นยนต์ ในหุ่นยนต์นี้จะมีขาทั้งหมด 4 ขาแต่ละขาจะมี 2 ข้อต่อและ 2 จุดหมุน หัวใจหลักในการควบคุมการเคลื่อนที่จะใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 นำมาควบคุมองศาของข้อต่อแต่และข้อต่อโดยมี มอเตอร์กระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อน ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้เป็นไปในทิศทางใดนั้นจะขึ้นอยู่กับรีโมต

การดำเนินงาน เริ่มจากการออกแบบขาที่ใช้สำหรับดูดกับพื้นที่กระจกที่มีความเรียบ ก่อนที่จะออกแบบตัวหุ่นยนต์ ซึ่งปัญหาและความยุ่งยากก็คือการออกแบบกลไลของขาที่ติดกับยางดูดที่เป็นเป็นปัญหาอย่างยิ่ง หลังจากออกแบบขาดูดได้แล้วจึงออกแบบตัวหุ่นยนต์ ในแขนหุ่นยนต์ 1 แขนนั้นจะมี 2 ข้อต่อแต่ละข้อต่อจะมีตัวต้านทานปรับค่าได้อยู่ ตัวต้านทานปรับค่าได้นี้มีหน้าที่ปรับค่าแรงดันป้อนกลับเพื่อควบคุมตำแหน่งของมุมของข้อต่อให้ได้ตามองศาที่ต้องการ การป้อนกลับนี้จะต้องแปลงสัญญาณจาก สัญญาณอะนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ PCF 8591 สัญญาณดิจิตอลนี้จะนำไปประมวลผลที่ MCS-51 ส่วนทางด้านโปรแกรมที่ใช้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้เป็นโปรแกรมภาษาซีรวมทั้งการทำงานต่างๆศึกษาได้จากข้อมูลในหนังสือไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยโปรแกรมภาษาซี

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากโครงงานหุ่นยนต์ เคลื่อนที่บนผนัง ผลของการทำงานของหุ่นยนต์ไม่สามารถทำงานได้เป็นที่น่าพอใจ คือหุ่นยนต์ไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่ได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ เนื่องมาจากความผิดพลาดของสปริงที่แข็งจนเกินไป ทำให้เกิดแรงต้านที่ต้นขาของหุ่นและขนาดความทนแรงดึงของสริงที่นำมาดึงหน้ายางมีความเหนียวไม่พอที่จะรับแรงดึงสูงได้จึงขาด

การออกแบบโครงสร้างเป็นไปตามแบบที่วางไว้เป็นอย่างดี แต่ก็ต้องใช้เวลาในการออกแบบและผลิตมากเป็นพิเศษ เนื่องจากหุ่นยนต์ต้องการความแม่นยำในการประกอบ หากมีชิ้นส่วนใดไม่ตรงตามแบบที่วางไว้จะส่งผลกระทบในการเดินของหุ่นยนต์ ดังนั้นจึงได้มีการใช้เครื่องจักรมาในการผลิตโครงสร้างและมีการนำ เอามอเตอร์กำลังสูงเป็นตัวขับเคลื่อน

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการแก้ปัญหา

การออกแบบวงจรในช่วงแรกได้ใช้คริสตอลเพียงตัวเดียวเป็นตัวผลิตความถี่ให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมด 9 ตัวด้วยกัน แต่เนื่องจากคริสตอลไม่สามารถผลิตความถี่ให้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรทั้งหมดได้จึงเกิดความไม่เสถียรในการทำงานทำให้วงจรทำงานผิดพลาด ดังนั้นจึงได้ทำการแก้ไขโดยเปลี่ยนมาใช้คริสตอลควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ในแต่ละตัวแทน ซึ่งการทำงานมีเสถียรภาพในการทำงานที่มากกว่า

ส่วนในเรื่องของการแก้ไขปัญหาอันเนื่องมาจากความผิดพลาดของสปริงและเรื่องของสลิงนั้นหวังว่าน่าจะปรับปรุงได้ในรุ่นต่อๆไป

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

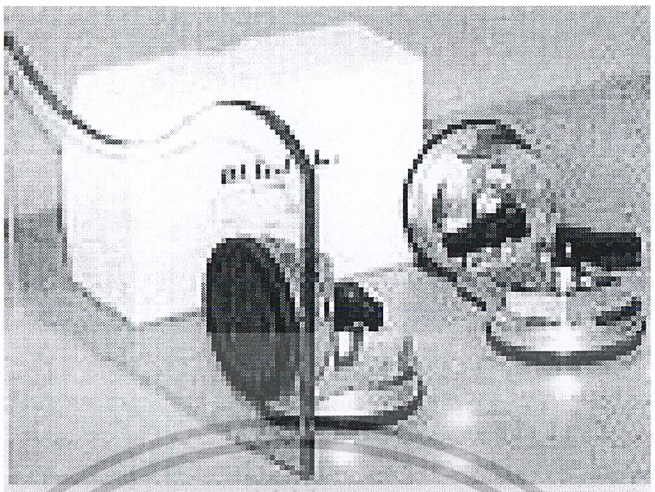
การทำงานของวงจรเป็นแบบมัลติโปรเซสเซอร์ ทำให้การแก้ไขและพัฒนาอัลกอริธึมในการเดินทำได้ง่าย ซึ่งอำนวยความสะดวกให้สามารถดัดแปลงลักษณะการเดินในสภาพต่างๆ กันได้ง่าย

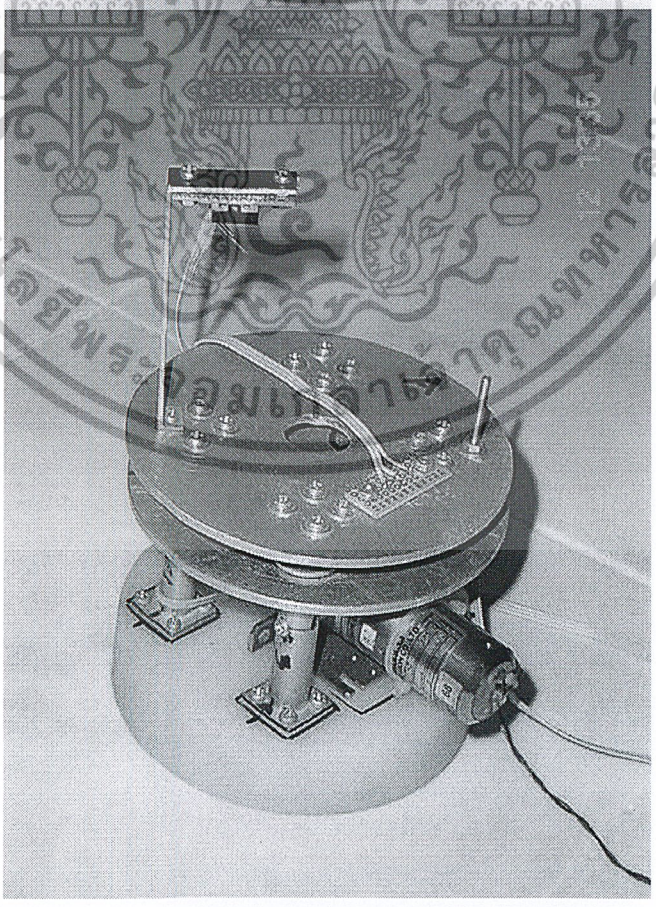
การเพิ่มอุปกรณ์ตรวจสอบสิ่งกีดขวางในหลายทิศทางในการเดินสามารถทำได้ โดยการเพิ่มอุปกรณ์ตรวจจับเข้าไป โดยคำนึงถึงน้ำหนักที่หุ่นยนต์สามารถรับได้เป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

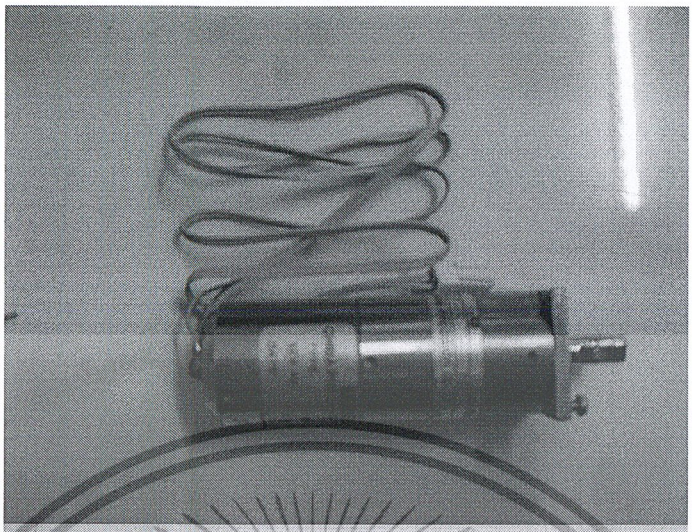
ภาคผนวก

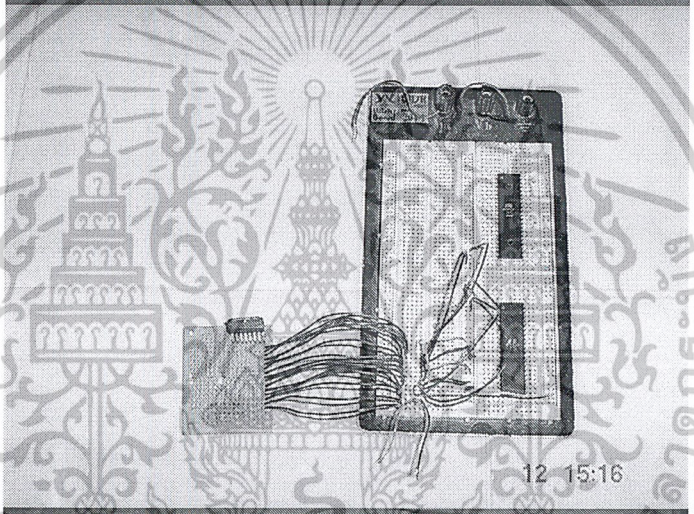
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

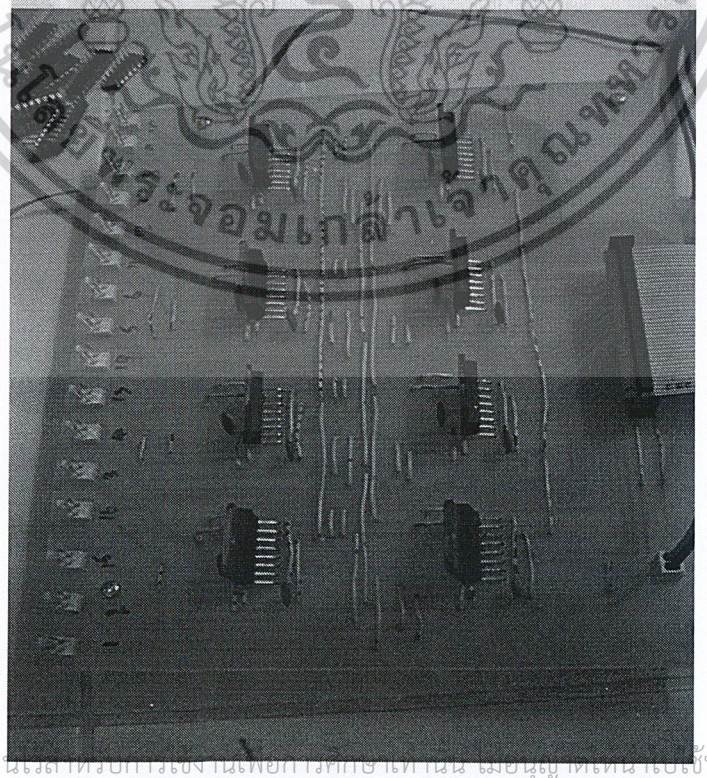




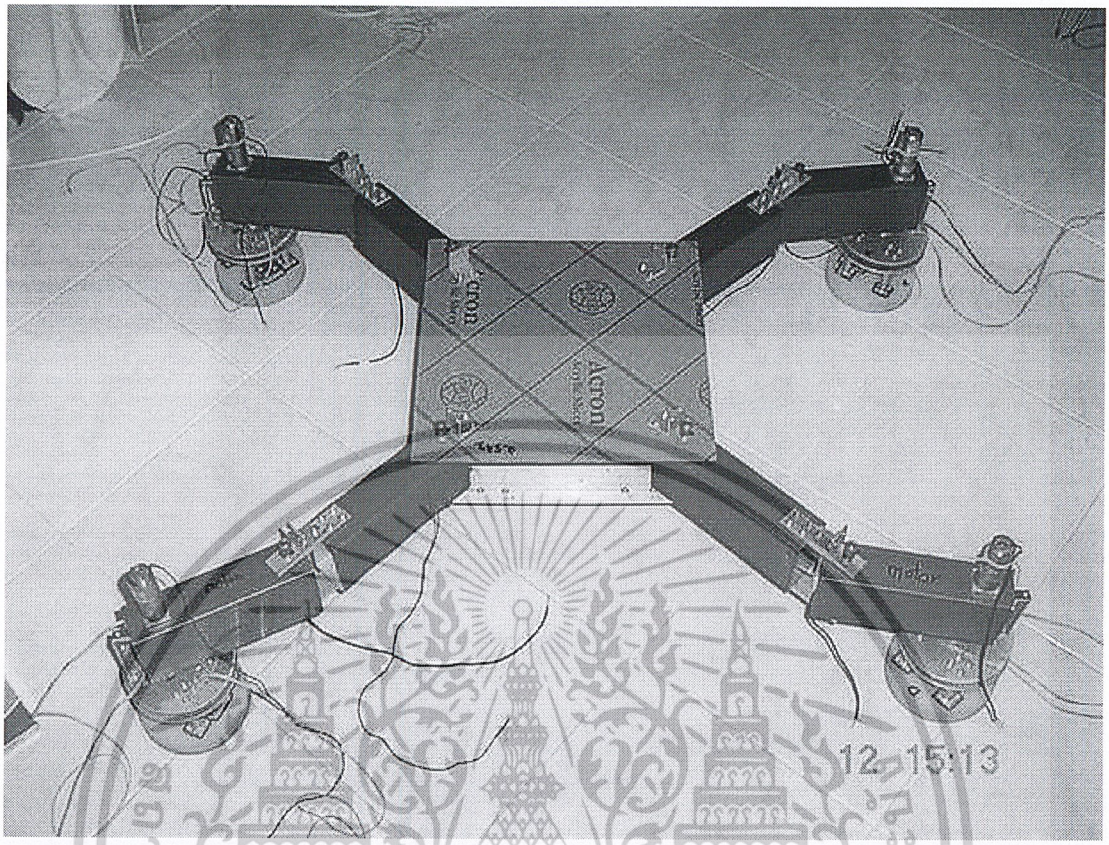
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

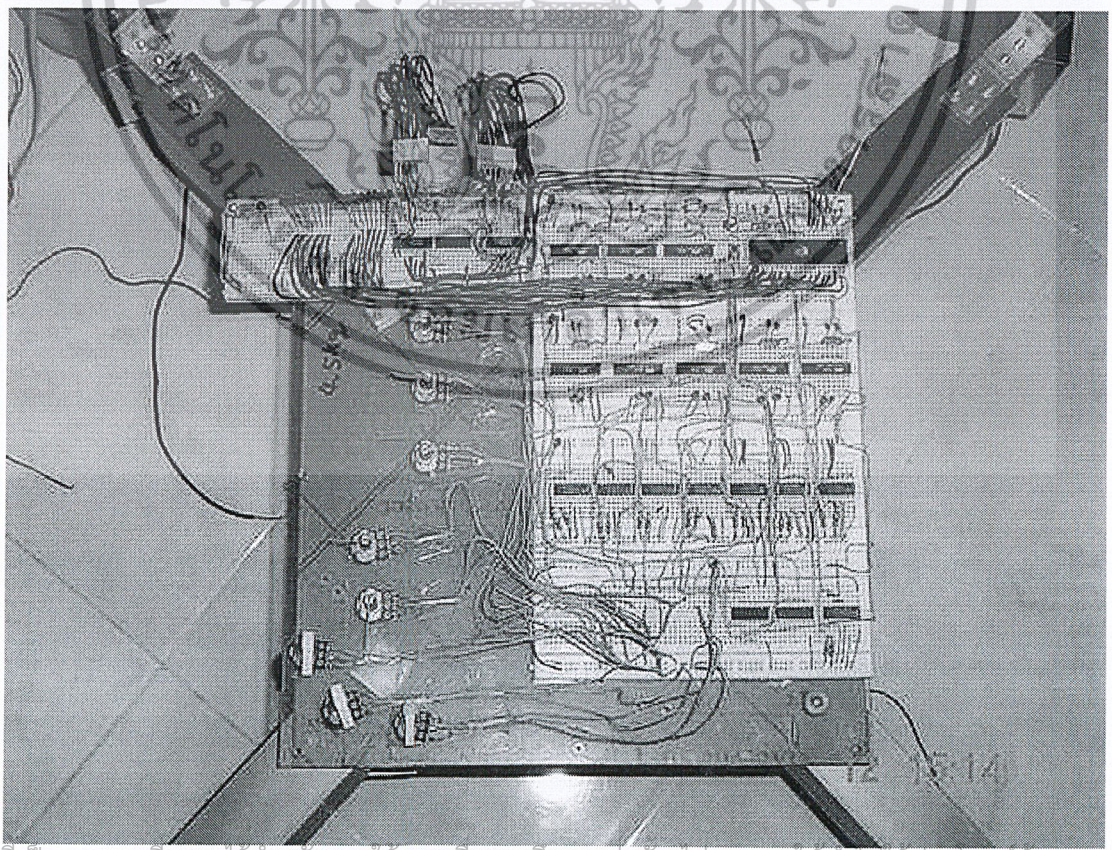




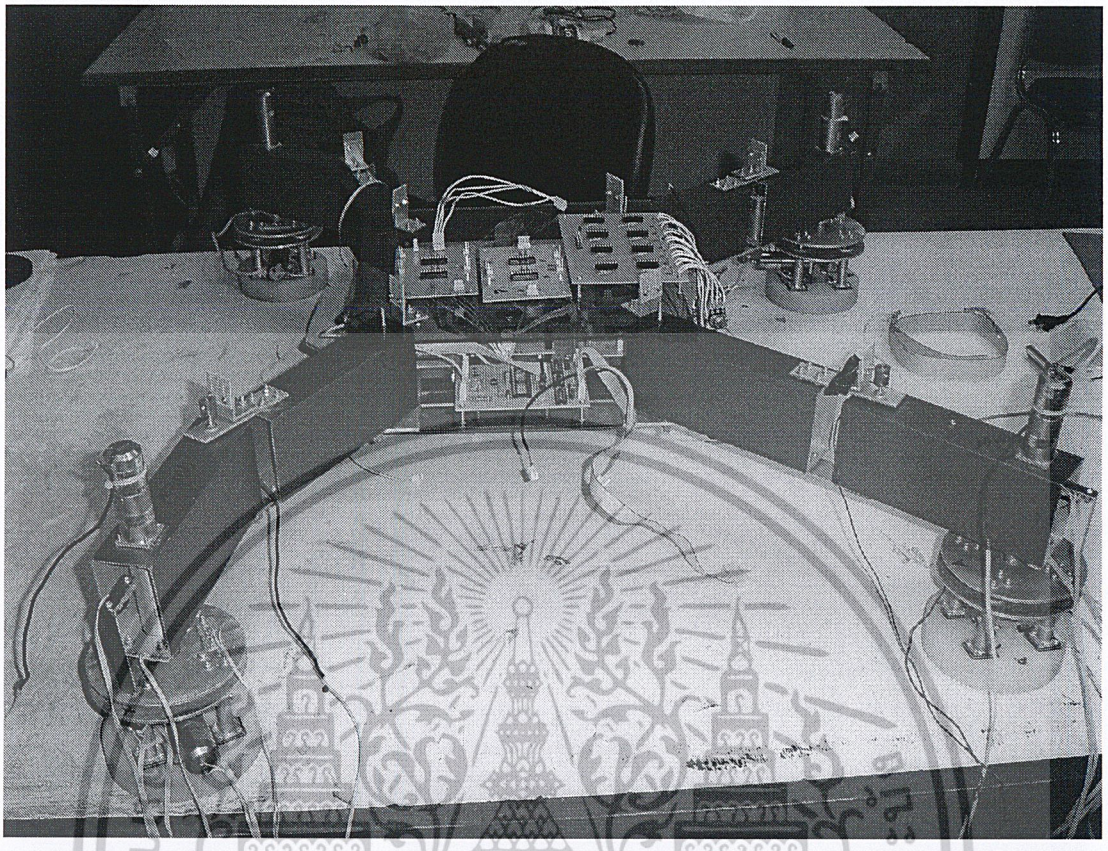


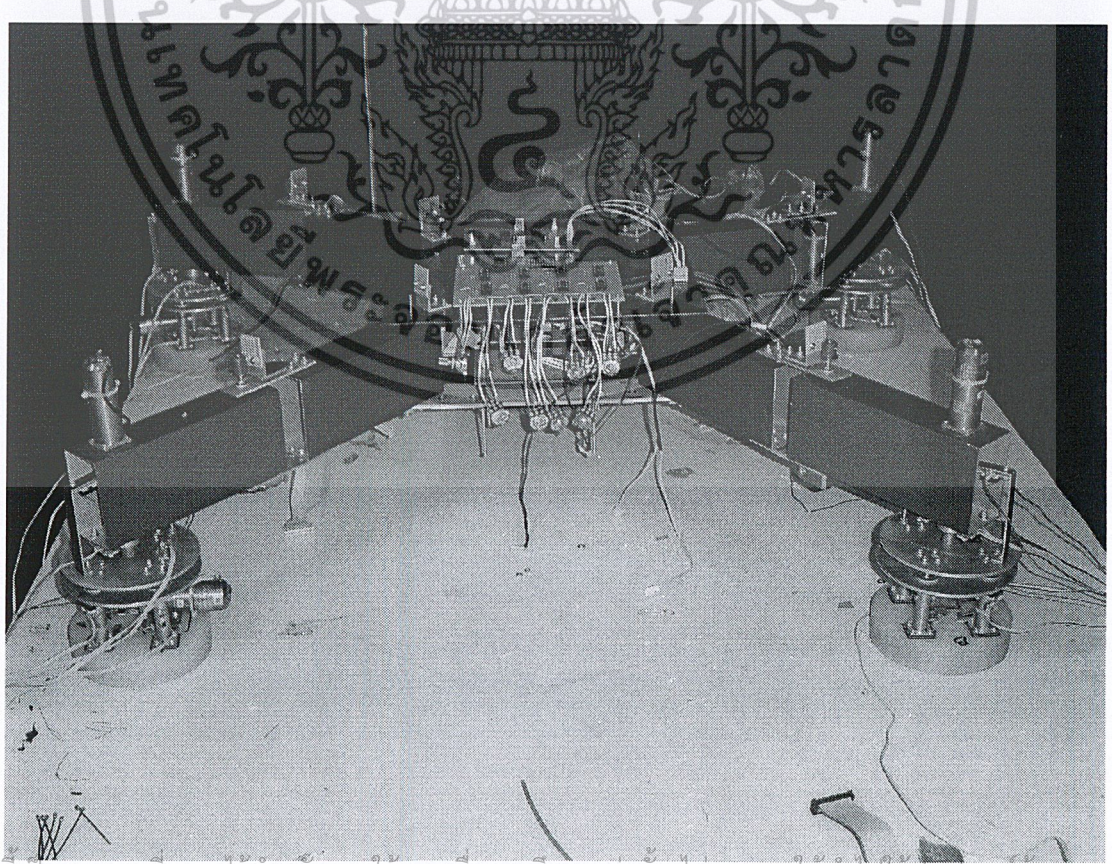
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



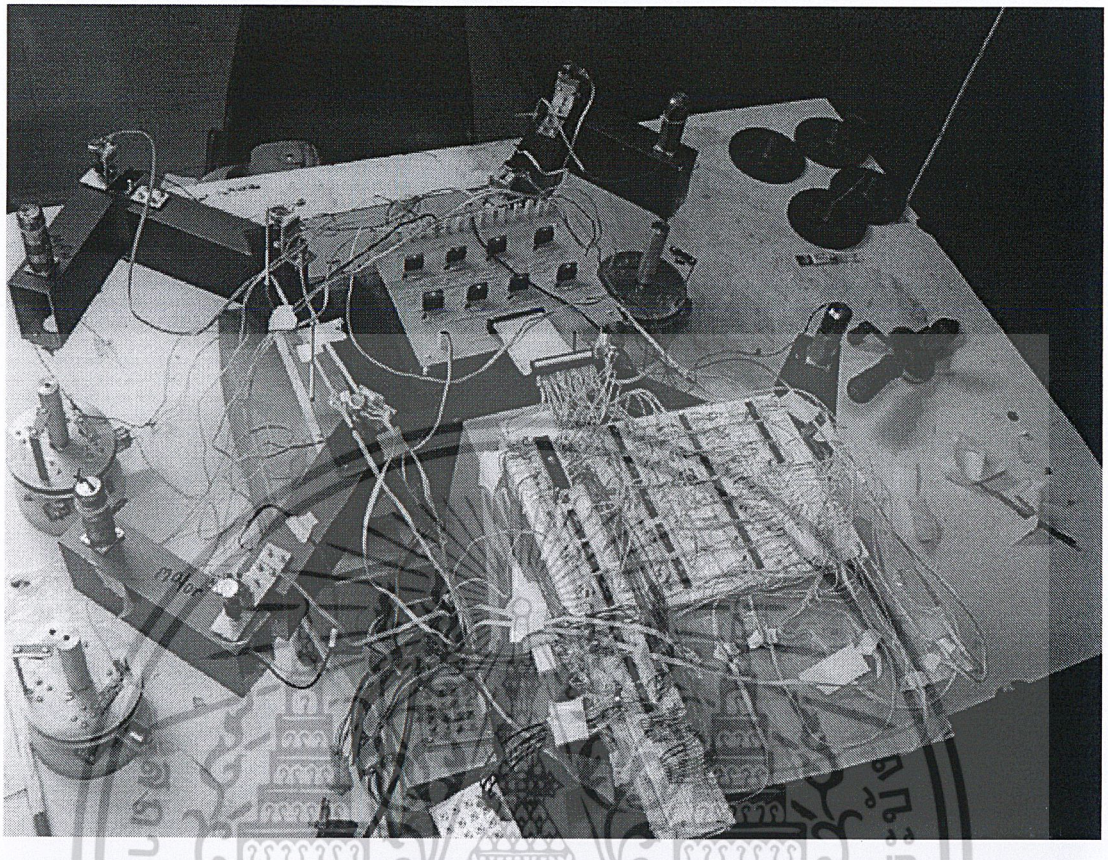


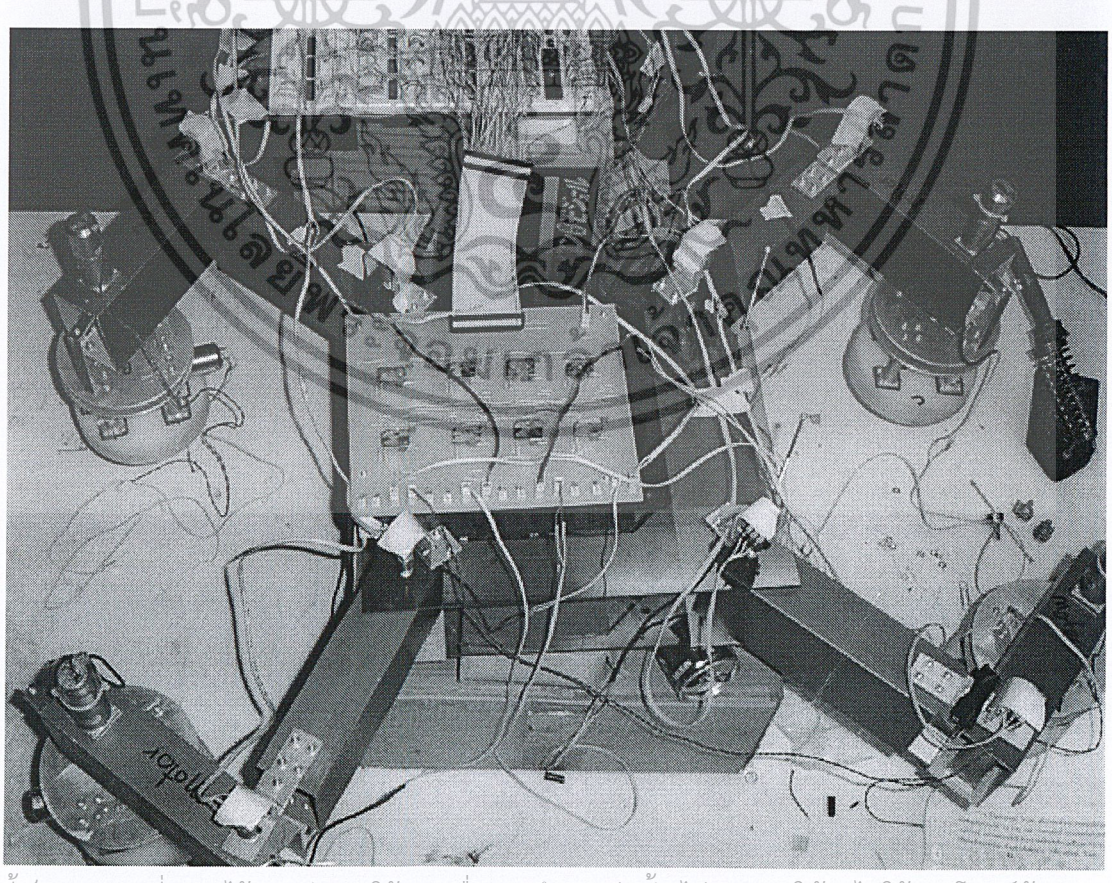
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนัง สามารถสำเร็จได้ด้วยดีโดยคำปรึกษาและแนะนำเป็นอย่างดี จากท่านอาจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่าน ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ ในส่วนของโครงงาน หากมีความผิดพลาดประการใดเกิดขึ้น ผู้จัดทำข้อน้อมรับผู้เดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. นายกฤษณะ แก้วกระจ่าง และ นายผดุงศักดิ์ พุทธเรืองธรรม ,ปริญญานิพนธ์ “หุ่นยนต์ 4 ขา”, พ.ศ. 2543
2. เฉียว มณีเลิศ “ฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัย 1 กลศาสตร์”, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต, พ.ศ. 2540
3. อาจารณ์ ช่วง ทมทิตชงค์ ,applied physics ฟิสิกส์ entrance, บริษัท ไฮเอ็ดพับลิชชิ่ง จำกัด
4. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล , เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์, บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด
5. อาจารย์ ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ, “ฟิสิกส์กลศาสตร์”, สำนักพิมพ์แม็ค, พ.ศ. 2535
6. ผศ. ธีระวัตน์ ประกอบผล ,การพัฒนาไมโครคอนโทรเลอร์ด้วยภาษา ซี , สำนักพิมพ์ ส.ส.ท
7. นรินทร์ เนาวประทีป ,รวมหลักฟิสิกส์ ม.5, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซนเตอร์
8. ผศ. มานัส มงคลสุข ,หลักฟิสิกส์ ม.ปลาย, บริษัท สำนักพิมพ์แมก จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้