

หุ่นยนต์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
MICROCONTROLLER ROBOT



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....55497
วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2548

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

หุ่นยนต์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
MICROCONTROLLER ROBOT



นายนิรุทธ์ แก้วอาษา รหัส 44015199
นายปริญญา แสงมะหะหมัด รหัส 44015242
นายเอกชัย รัตนะสิทธิ์ รหัส 44015268

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศศ.ดร.ยุทธนา กิจใจเดียว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง หน่วยงานควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้จัดทำ

นายนิรุตต์ แก้วอาษา รหัส 44015199

นายปริญญา แสงมะหะหมัด รหัส 44015242

นายเอกชัย รัตนะสิทธิ์ รหัส 44015268



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

Microcontroller Robot

นายนิรุทธ์ แก้วอาษา รหัส 44015199

นายปริญญา แสงมะหะหมัด รหัส 44015242

นายเอกชัย รัตนะสิทธิ์ รหัส 44015268

โครงการนี้ได้รับการตรวจแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้

() อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.ยุทธนา กิจใจเดียว)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

MICROCONTROLLER ROBOT

นายนิรุทธ์ แก้วอาษา

นายปริญญา แสงมะหะหมัด

นายเอกชัย รัตนะสิทธิ์

ผศ.ดร.ยุทธนา กิจใจเดียว

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงการหุ่นยนต์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นการนำเสนอ การออกแบบและ การทำงานของหุ่นยนต์ ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 89C2051 จำนวน 4 ตัวเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของขา 4 ขา โดยแต่ละขาจะใช้ DC Servo เป็นตัวขับเคลื่อน 2 ตัว กล่าวคือ DC Servo ตัวล่างจะเป็นตัวทำหน้าที่ยกขาขึ้นในแนวดิ่งและ DC Servo ตัวบนจะเป็น ตัวเคลื่อนขาในแนวนอนเพื่อผลักดันตัวหุ่นให้เคลื่อนที่ได้ไปตามทิศทางที่กำหนดได้.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCONTROLLER ROBOT

Nirut Kawasa

Parinya Sangmahamud

Akachai Rattanasit

Yuttana Kidjiadeaw Adviser

2003

ABSTRACT

This paper presents the design and construction of a MICROCONTROLLER ROBOT. Robot is controlled by 4 microcontroller MCS 51 #89C2051 for 4 legs walk. Each leg uses 2 DC servo for leg control, the upper servo for lifting the leg and the lower servo for rotating the leg. The robot is capable of moving to the appointed position.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับคำปรึกษา ข้อเสนอแนะ จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ยุทธนา คิดใจเดียว อีกทั้งยังเชื่อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำรายงานฉบับนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง



นิรุตต์ แก้วอาษา
ปริญญา แสงมะหะหมัด
เอกชัย รัตนะสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 Microcontroller MCS – 51	3
2.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์	3
2.2 ความแตกต่างของไมโครคอนโทรลเลอร์กับไมโครโปรเซสเซอร์	3
2.3 จะเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์เมื่อใด	5
2.4 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	6
2.5 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS – 51 รุ่น AT89CXX	6
2.6 การจัดนาของไมโครคอนโทรลเลอร์	8
2.7 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ท	10
2.8 การใช้งานเป็นพอร์ทอินพุต	13
2.9 การใช้งานเป็นพอร์ทเอาพุต	13
2.10 การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ท	14
2.11 จังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51	14
2.12 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 แบบแฟลช	16
บทที่ 3 ทฤษฎีและโครงสร้าง	26
3.1 แบบขา	26
3.1.1 ขาสองขั้วต่ออย่างง่าย	26
3.1.2 ขาเพนโทกราฟ	27
3.2 เซอร์ไวโมเตอร์	29
3.2.1 หลักการทำงานของเซอร์ไวโมเตอร์	29
3.2.2 การทำงานของเซอร์ไวโมเตอร์	31
บทที่ 4 การออกแบบและการสร้าง	35
4.1 การออกแบบและการสร้าง	35
4.2 วงจร	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 ผลการทดลองและสรุป	42
5.1 การควบคุม	42
5.2 ผลการทดลอง	42
5.3 ปัญหา	43
5.4 แนวทางแก้ไข	43
5.5 สรุป	44

ภาคผนวก

หนังสืออ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันได้มีการสร้างและพัฒนา หุ่นยนต์ในรูปแบบต่างๆ โดยการควบคุมการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งหุ่นยนต์ที่นิยมสร้างโดยส่วนมากเป็นหุ่นประเภทที่เคลื่อนที่ด้วยล้อ (Mobile Robot) แต่การเคลื่อนที่ของหุ่นจะถูกจำกัดที่พื้นที่เรียบๆเท่านั้น

จึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างและพัฒนาหุ่นยนต์ ที่สามารถเคลื่อนที่โดยใช้ขา เป็นตัวขับเคลื่อน จึงได้เลือกรูปแบบขาที่ใช้งาน ในการพยุ่งและขับเคลื่อนตัวหุ่นยนต์ ซึ่งหุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยขา นี้สามารถที่จะพัฒนาให้เป็นหุ่นยนต์ที่ใช้งานแทนมนุษย์ได้ในจุดที่เป็นอันตรายเสี่ยง ต่อการทำงาน เช่น หุ่นยนต์ทำความสะอาดระงับบนตึกสูง หุ่นยนต์สำรวจและตรวจสอบโครงสร้างสะพาน ในที่สูง หุ่นยนต์ตรวจสอบรอยร้าวบนถังก๊าซระบบส่งจ่ายก๊าซ หรือการบีโตรีเคมี เป็นต้น

ชื่อโครงการ

หุ่นยนต์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (MICROCONTROLLER ROBOT)

วัตถุประสงค์

- เพื่อการเรียนรู้การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51
- เพื่อสร้างหุ่นยนต์ 4 ขาขนาดเล็ก
- เพื่อควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์
- เพื่อเป็นหุ่นยนต์ต้นแบบ ในการพัฒนาหุ่นต่อไป

คุณสมบัติ

โครงการหุ่นยนต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วย

- ส่วนควบคุมหรือสมองที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 เป็นหัวใจหลัก
- ส่วนโครงสร้างของหุ่นที่เป็นพลาสติกอะคริลิก
- ส่วนขับเคลื่อนโดย DC SERVO FP – S3001 จำนวน 8 ตัวในการควบคุมการเคลื่อนไหวของขาทั้ง 4 ขา
- เซนเซอร์เส้นสีดำและเซนเซอร์วัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของการทำงาน

- สร้างหุ่นยนต์ที่ใช้ขา 4 ขาได้
- ควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินหน้า เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวาได้
- หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้
- ตรวจจับเส้นสีดำขนาดความหนาประมาณ 2 ซม. และเดินตามเส้นไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

MICROCONTROLLER MCS – 51

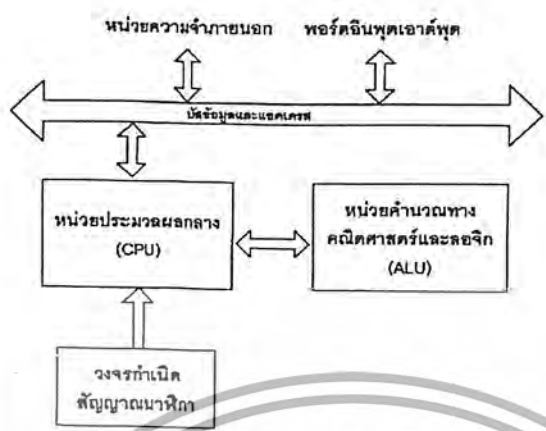
2.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์(microcontroller) เป็นชื่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่บรรจุความสามารถมากมายไม่ว่าจะเป็นหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณออกทางเอาต์พุต หน่วยความจำ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดีโดยช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบลง ในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้นภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

ไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำ 2 คำรวมกันคือ “ไมโคร” (micro) ซึ่งหมายถึงไมโครโปรเซสเซอร์ (microprocessor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลขนาดเล็ก ซึ่งภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางหรือ ซีพียู (CPU : Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU :Arithmetic Logic Unit) วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำ และวงจรเชื่อมต่อสัญญาณนาฬิกา อีกคำหนึ่งคือคำว่า “คอนโทรลเลอร์” (controller) หมายถึงอุปกรณ์ควบคุม โดยที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ

2.2 ความแตกต่างของไมโครคอนโทรลเลอร์กับไมโครโปรเซสเซอร์

จากรูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งประกอบด้วยหน่วยประมวลผล กลาง หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก บัสข้อมูลและแอดเดรสสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก และวงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นั่นหมายความว่า การใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต ต้องอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไอซีพอร์ตขยาย (port expander) ทำให้การสร้างระบบควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์จึงมีความต้องการอุปกรณ์จำนวนมาก ส่งผลให้ขนาดของระบบใหญ่พอสมควร



รูปที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครโปรเซสเซอร์

รูปที่ 1 แสดง โครงสร้างของไมโครโปรเซสเซอร์จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์มีอุปกรณ์พื้นฐานเหมือนกับไมโครโปรเซสเซอร์ หากแต่จะบรรจุหน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูล และพอร์ตอินพุทเอาต์พุตไว้ภายในพร้อมสรรพ ผู้ใช้งานจึงเพียงแค่เขียนโปรแกรมควบคุมลงบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างวงจรถ้าเนตสัญญาณนาฬิกา อาทิ คริสตัล ตัวเก็บประจุ เป็นต้น สุดท้ายเชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุทเอาต์พุตที่ต้องการเข้ากับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์เพียงเท่านี้ก็สามารุใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้แล้วส่งผลให้ขนาดและราคาของระบบลดลงอย่างมาก

คุณสมบัติ	ไมโครโปรเซสเซอร์	ไมโครคอนโทรลเลอร์
ขนาดของหน่วยประมวลผลกลาง	ไม่น้อยกว่า 8 บิต	ส่วนใหญ่จะมีขนาด 8บิต
หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก	มีอยู่ภายใน	มีอยู่ภายใน
วงจรถ้าเนตสัญญาณนาฬิกา	มีอยู่ภายใน	มีอยู่ภายใน
การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม	เชื่อมต่อภายนอกเท่านั้น	ใช้ได้ทั้งภายในและภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำข้อมูล	เชื่อมต่อภายนอกเท่านั้น	ใช้ได้ทั้งภายในและภายนอก
การเชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุทเอาต์พุท	เชื่อมต่อภายนอกเท่านั้น	มีอยู่ภายในสามารถขยายได้
ไทม์เมอร์ เคาน์เตอร์	ไม่มีในซีพียูขนาดเล็ก	มีอย่างน้อย 1 ตัวขนาด 8-16 บิท
วอลต์ดีดิกไทม์เมอร์	ไม่มีในซีพียูขนาดเล็ก	มีอย่างน้อย 1 ตัว
จำนวนขาต่อใช้งาน	ไม่น้อยกว่า 40 ขา	มีตั้งแต่ 8 ขึ้นไป

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์

อย่างไรก็ตาม ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็สามารถเชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้เช่นกัน โดยพิจารณาให้หน่วยความจำภายนอกนั้นเป็นอุปกรณ์อินพุทเอาต์พุทตัวหนึ่ง แล้วใช้ขาพอร์ตที่มีอยู่ทำการติดต่อกัน ในตารางที่ 1 เป็นตารางสรุปความแตกต่างที่สำคัญระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3 จะเลือกใช้ไมโครโปรเซสเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อใด

ถ้าเป็นการสร้างระบบควบคุมขนาด 8 บิท มีความต้องการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกไม่มากนัก (น้อยกว่า 10 แมม) ควรเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และถ้าหากต้องมีการประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก ต้องใช้หน่วยความจำโปรแกรมสูงถึง 8 กิโลไบต์ ทั้งยังมีความต้องการเก็บรักษาข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูลมากเป็นกิโลไบต์ ควรออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในระบบควบคุมนี้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ถ้าหากต้องใช้งานกับข้อมูลมากกว่า 8 บิทตลอดเวลา และต้องการความเร็วในการทำงานสูงๆ สามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้เป็นจำนวนมากๆ ติดต่อกับอุปกรณ์อินพุทเอาต์พุทได้จำนวนมากมายในเวลาเดียวกัน ควรเลือกใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ดังจะเห็นได้จากในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นหัวใจหลักในการทำงาน ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับหน่วยความจำได้มากเป็นหน่วย กิกะบิต ขนาดของข้อมูลสูงถึง 64 บิท ความเร็วสูงเป็นหลายร้อยเมกะเฮิรตซ์ เป็นต้น

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์เหมาะสมสำหรับการสร้างระบบควบคุม ในขณะที่ไมโครโปรเซสเซอร์เหมาะสำหรับการสร้างระบบประมวลผลข้อมูลความเร็วสูงและระบบควบคุมที่มีขนาดใหญ่หลายๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช (Flash Memory) ของ Atmel Corporation มีเบอร์ขึ้นต้นด้วย AT89 เหตุผลที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบนี้มาใช้งานมีด้วยกันหลายประการดังนี้

2.4.1 หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอกส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

2.4.2 ต้นทุน และเวลาในการพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลงอย่างมากเนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องมือพัฒนาจำพวกอีมิเตเตอร์และเครื่องโปรแกรมอีพรอม

2.4.3 บริษัทผู้ผลิตได้ทำการผลิต ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ออกมาหลายเบอร์ และมีความสามารถต่างกันไป ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานสูง

2.4.4 ด้วยการใช้หน่วยความจำภายในตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำเป็นอย่างดี

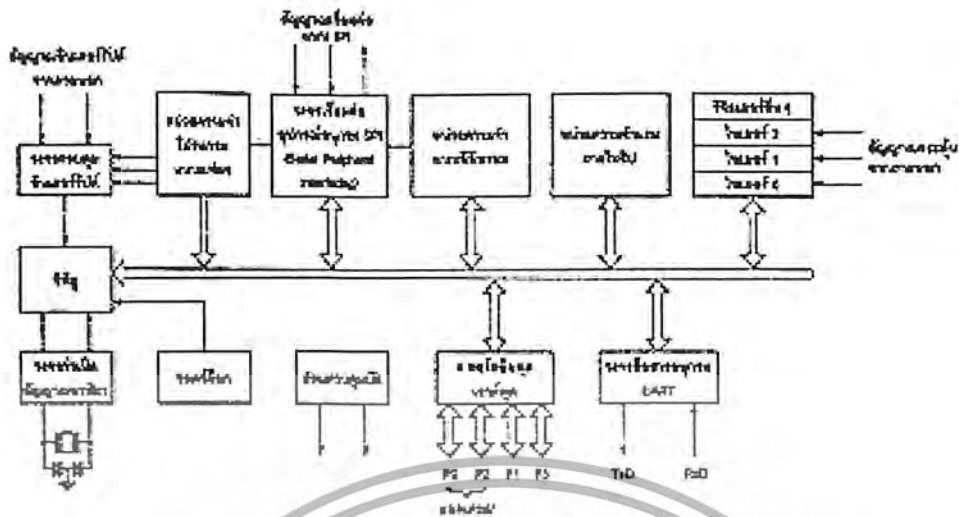
2.4.5 ในบางเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตโดย Atmel สามารถโปรแกรมข้อมูลในหน่วยความจำได้โดยไม่ต้องถอดตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาทำการโปรแกรมใหม่หรือเรียกว่าการโปรแกรมในวงจร หรือในระบบ (In-system programming) โดยใช้ลักษณะการติดต่อแบบ SPI (Serial Peripheral Interface) ทำให้การพัฒนาหรือซ่อมบำรุง ตลอดจนการปรับปรุงหรืออัปเดตข้อมูลในหน่วยความจำทำได้สะดวก ภายใต้งบประมาณที่ไม่สูงมากนัก

2.4.6 ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานเหมือนกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของผู้ผลิตอื่น ไม่ว่าจะเป็น อินเทล, ซีมินส์, หรือคัลลิส

2.5 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 อุนกรม AT89xx

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายนอกมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นแบบแรมในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม
- ขาพอร์ตแบบ สองทิศทาง สามารถใช้งานได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพลกซ์
- ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Sxx

สำหรับรูปที่ 3 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของอนุกรม AT89Sxx จะเห็นได้ว่ามีส่วนประกอบที่เพิ่มเติมแตกต่างจาก AT89Cxx อยู่หลายส่วน อาทิ วงจรเชื่อมอนุกรมแบบ SPI ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมนี้ใช้ในการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมโดยไม่ต้องถอดตัวชิปออกไปจากระบบหรือเรียกว่าโปรแกรมในวงจร ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต ที่เพิ่มเติมเข้ามาอีก หนึ่งตัวเป็น ไทม์เมอร์ 2 และวงจรวัดความถี่ที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดของซีพียู

2.6 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2-3 และ รูปที่ 2-4 โดยมีรายละเอียดข้างต้นดังนี้

ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5

ขา GND เป็นขาราวด์สำหรับต่อกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต (P0.0-P0.7) มี 8 ขาแต่ละขากำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูลเป็น 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอยจึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยการ

กับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยการใช้
กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานให้เป็นที่ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูล

ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขาแต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 1 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการ
เขียนข้อมูล 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับสัญญาณ นอกจากนี้ในอนุกรม AT89Sxx จะใช้
ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทม์เมอร์ 2 และขา P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทม์
เมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับต่อเชื่อม SPI เพื่อทำการ โปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มี 8 ขาแต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 2 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการ
เขียนข้อมูล 1 ไปยังบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับสัญญาณ ผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอยจึงมี
อินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานใน
การติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้
งานทั่วไป ถ้าต้องการให้ขาพอร์ต 3 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล 1 ไป
ยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับสัญญาณ ผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอยจึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์
สูง สามารถใช้งานเป็นขาอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ต 3 ยังทำหน้าที่พิเศษ ซึ่งมีรายละเอียดข้างต้น
ต่อไปนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม หรือขา RxD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา INTO

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา INT1

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทม์เมอร์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทม์เมอร์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา T1

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ขา รีเซต ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการป้อนสัญญาณเพื่อรี
เซ็ต สถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซ็ตอย่างน้อย 2 แมกซ์ซินไซเกิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณ
นาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างเป็นปกติ

ขา ALE/PROG (Address Latch Enable/Program pulse input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุม
การแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนี้ขานี้ยังใช้เป็นขา
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับ โปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นอีอีพรอม

ขา PSEN(Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละแมชชีนไซเคิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก ขานี้จะ ไม่มีการส่งสัญญาณใดๆออกมา

ขา EA/Vpp (External Access enable/Programing voltage input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์หรือหากขานี้เป็น "0" เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น "1" เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นอกจากนี้ ขานี้ยังเป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แพลตฟอร์คต้องการแรงดันสำหรับโปรแกรม +12 V

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาคำหรับต่อคริสตัลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.7 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต

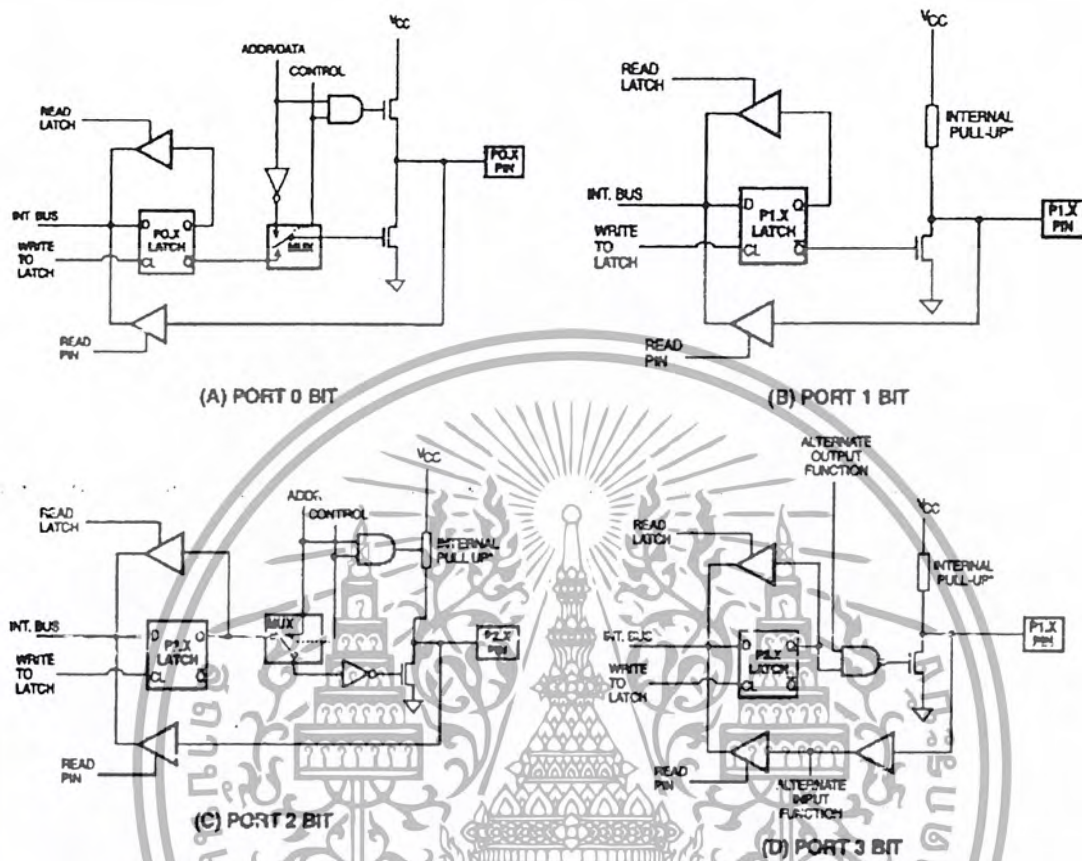
ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ตคือ พอร์ต 0 ถึง พอร์ต 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับข้อมูลเข้าและเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณข้อมูลออก ทุกพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีวงจรมัลติเพลกซ์และวงจรขับตลอดจนบัฟเฟอร์อินพุต ดังแสดงให้เห็นในสถาปัตยกรรมรูปที่ 2-3

ที่พอร์ต 0 และพอร์ต 2 จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไปและใช้ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สำหรับพอร์ต 3 ทั้งพอร์ตและพอร์ต 1 บางขานอกจากจะใช้เป็นขาอินพุตและเอาต์พุตตามปกติแล้ว ยังสามารถใช้งานในรหัสนาฬิกาพิเศษได้อีก ขึ้นอยู่กับว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ใด ดังสรุปได้ในตารางที่ 2

ขา	เบอร์ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์	หน้าที่พิเศษ
P1.0	AT89C52/AT89Sxx	ขา T2 เป็นขาอินพุตนับค่าของ ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 และเป็นขาเอาต์พุตของการกำเนิด สัญญาณนาฬิกาโดยไทม์เมอร์ 2 (clock out)
P1.1	AT89C52/AT89Sxx	ขา T2EXเป็นขาอินพุตตรีกเกอร์สำหรับการแคปเจอร์/ริโพลดและควบคุมทิศทางของสัญญาณ
P1.4	AT89Sxx	ขา SS (Slave Select) เป็นขาเลือกการติดต่อในกรณีที่ไม่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สเลฟ ในระบบการติดต่อแบบ SPI
P1.5	AT89Sxx	ขา MOSI (Master data output,Slave data input) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.6	AT89Sxx	ขา MISO (Master data input,Slavedata output)ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.7	AT89Sxx	ขา SCK (Master clock output)เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการติดต่อกับพอร์ต SPI

ตารางที่ 2 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 วงจรภายในของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในรูปที่ 4 ด้านบนแสดงวงจรภายในของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชโดยภาพ A เป็นวงจรพอร์ต 0 วงจรแลตช์ของแต่ละบิตในแต่ละพอร์ตก็คือวงจรดีฟลิปฟلوبนั่นเอง การอ่านค่าสถานะของพอร์ตและสถานะของวงจรถ่ายแลตช์สามารถกระทำได้อย่างอิสระต่อกันด้วยสัญญาณที่แยกออกจากกัน นั่นคือสัญญาณอ่านข้อมูลจากขาพอร์ตและสัญญาณอ่านข้อมูลจากวงจรถ่ายแลตช์ส่วนการเขียนข้อมูลมายังพอร์ตต้องส่งสัญญาณมายังขา CLK ของดีฟลิปฟلوبในขณะที่ข้อมูลจะส่งผ่านมาจากขาบัสข้อมูลภายในเข้าสู่ขา D ของดีฟลิปฟلوب

ที่พอร์ตนี้มีวงจรมัลติเพลกซ์สำหรับกำหนดลักษณะการทำงานของพอร์ตว่า ต้องการใช้งานปอร์ตเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุตปกติ หรือใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากที่ขาพอร์ต 0 ไม่มีวงจรถ่ายแลตช์ภายในหากมีการนำพอร์ต 0 ไปใช้งานเป็นพอร์ตขา

อินพุตจะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปภายนอกเข้ากับขาพอร์ต 0 ทุกขาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพ B เป็นวงจรของพอร์ต 1 ซึ่งมีลักษณะ โดยทั่วไปคล้ายกับพอร์ต 0 หากแต่ไม่มีวงจรมัลติเพลกซ์เนื่องจากพอร์ตนี้จะไม่ใช้ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่จะมีวงจรพูลอัปภายในที่แต่ละบิตของพอร์ตนี้แทน

ในภาพ C เป็นวงจรภายในของพอร์ต 2 จะคล้ายกับพอร์ต 0 มาก ต่างกันเพียงมีวงจรพูลอัปเพิ่มเติมเข้ามา ส่วนในภาพ D เป็นวงจรภายในของพอร์ต 3 จะเห็นได้คล้ายกับพอร์ต 1 มีการเพิ่มเติมวงจรบัฟเฟอร์ และวงจรอินพุตเอาต์พุตเมื่อทำงานในฟังก์ชันพิเศษเข้ามา เนื่องจากพอร์ต 3 สามารถนำไปใช้งานในหน้าที่พิเศษได้ทุกสาขา

2.8 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล "1" มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟดที่ใช้ในการจับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัปภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น "1" สามารถรับสัญญาณลิจิก "0" จากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ต แล้วรอให้ซีพียูมาอ่านค่าเข้าไปเมื่อเป็นเช่นนี้ อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชควรกำหนดให้ทำงานในสภาวะลอจิก "0" จะดีและสะดวกที่สุด(ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก 0 แล้ว)

2.9 การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้วดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมากล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล "0" ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังวงจรแลตซ์ ซึ่งจะส่งต่อไปจับเฟด ทำให้เฟดทำงานที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก "0" ขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าหากต้องการส่งข้อมูล "1" ออกไป ก็ให้เขียนข้อมูล "1" ไปยังวงจรแลตซ์วงจรจับก็จะหยุดทำงาน ทำให้ขาพอร์ตที่ต่อกับวงจรพูลอัปภายในเกิดเป็นลอจิก "1" ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งจะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมาก เพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่ถ้าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุทจะ ไม่มีการอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาท์พุท

เมื่อใช้งานพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเป็นพอร์ตเอาท์พุท แต่ละขา(หรือแต่ละบิต) ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสหรือที่เรียกว่า กระแสซอร์ส(Source Current) ได้สูงสุด 10 mA และทุกขาารวมกันในแต่ละพอร์ต(ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 mA สำหรับพอร์ต 0 และพอร์ต 2 ได้สูงสุด 15 mA สำหรับพอร์ต 1-3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71 mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาท์พุทเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงควรต่อบัฟเฟอร์ทางเอาท์พุทเพื่อช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง

2.10 การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตได้ 2 ลักษณะคืออ่านค่าจากขาพอร์ตโดยตรง และอ่านจากวงจรแลตช์ของแต่ละพอร์ต

ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN และขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวนั้นต่อลงกราวด์ หากมีการส่งข้อมูล "1" ไปยังทรานซิสเตอร์ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานสถานะลอจิกที่ขาพอร์ตเป็น "0" เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน จะเสมือนว่าพอร์ตนั้นถูกต่อลงกราวด์ทำให้หากอ่านลอจิกที่ขาพอร์ตจะได้ผลตรงข้ามกันที่ส่งออกมา แต่ถ้าหากทำงานอ่านค่าลอจิกที่วงจรแลตช์จะได้ค่าที่ตรงกับค่าที่ต้องการส่งจริง ดังนั้นในการอ่านค่าลอจิกพอร์ตจึงต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่มาต่อด้วย

2.11 จังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะต้องทำความเข้าใจถึงจังหวะการทำงานของซีพียูและลำดับขั้นตอนการประมวลผลคำสั่ง ในการประมวลผลคำสั่งของซีพียูจะมรขั้นตอนหลักๆ 2 ขั้นตอนคือ กระบวนการเฟตช์(fetch) เป็นการเรียกคำสั่งออกมาจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลรหัสคำสั่งนั้นเป็นภาษาเครื่องเพื่อเตรียมการประมวลผล ขั้นตอนต่อมาคือกระบวนการเอ็กซีคิวต์

กระบวนการเอ็กซีคิวต์ (execute) เป็นกรกระทำตามคำสั่งที่กำหนดหรือตามที่เฟตช์ขึ้นมา โดยกระบวนการก่อนหน้า เมื่อทำการเอ็กซีคิวต์คำสั่งเรียบร้อยแล้ว ก็จะไปเริ่มกระบวนการเฟตช์คำสั่งใหม่ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลช จะเกิดการรีเซตในลักษณะที่เรียกว่า เพาเวอร์ออนรีเซต (power-on reset) ทำให้ซีพียูไปเริ่มต้นทำงานที่แอดเดรส 0000h ของหน่วยความจำโปรแกรม จังหวะการทำงานของซีพียูจะเป็นไปตามรูปแบบ โดยได้รับการกำหนดมาจากรอบการทำงานหรือแมชชีนไซเคิล (machine cycle) ในรูปที่ 2-7 เป็นไคอะแกรมเวลาแสดงจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยใน 1 รอบการทำงานหรือแมชชีนไซเคิลจะแบ่งย่อยออกเป็น 6 สเตต (state) กำหนดให้ชื่อเป็น S1-S6 ในแต่ละสเตตจะมีค่าเวลาเท่ากับ 2 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา ถ้าสัญญาณนาฬิกามีความถี่ 12MHz จะมีคาบเวลาเท่ากับ 1ms คาบเวลาทั้งสองภายในหนึ่งสเตตจะเรียกว่า เฟส 1 (Phase 1) และเฟส 2 (Phase 2)

การเอ็คคิวต์คำสั่งที่ใช้เวลา 1 ไซเคิลเริ่มต้นที่สเตต 1 เป็นการอ่านออปโค้ด อันเป็นการแลตซ์คัก์ของออปโค้ดส่งไปให้รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register : IR) การเฟตซ์ครั้งที่สองจะเกิดขึ้นที่สเตตที่ 4 ภายในแมชชีนไซเคิลเดียวกัน ในกรณีที่เป็นคำสั่งไบต์เดียว การเฟตซ์ครั้งที่สองภายในแมชชีนไซเคิลเดียวจะถูกตัดทิ้งไป ในคำสั่งที่มีใช้เวลา 1 ไซเคิลจะสิ้นสุดการทำงานลงในสเตตที่ 6 ของแมชชีนไซเคิลเดียวกัน

ในกรณีที่คำสั่งใช้เวลา 2 ไซเคิล การทำงานของคำสั่งนั้นจะสิ้นสุดลงในสเตตที่ 6 ของแมชชีนไซเคิลที่สอง ดังในไคอะแกรมรูปที่ 2-7 (ค) สำหรับในการกระทำคำสั่ง MOVX ซึ่งเป็นคำสั่งขนาด 1 ไบต์ 2 ไซเคิล จะไม่มีการเฟตซ์เกิดขึ้นในไซเคิลที่ 2 ของคำสั่ง MOVX นี้เนื่องจาก ซีพียูจะทำการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกซึ่งแสดงในไคอะแกรมรูปที่ 2-7(ง) จะเห็นได้ว่าเวลาในการเอ็คคิวต์จะไม่นับอยู่ที่ว่าการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกหรือภายใน

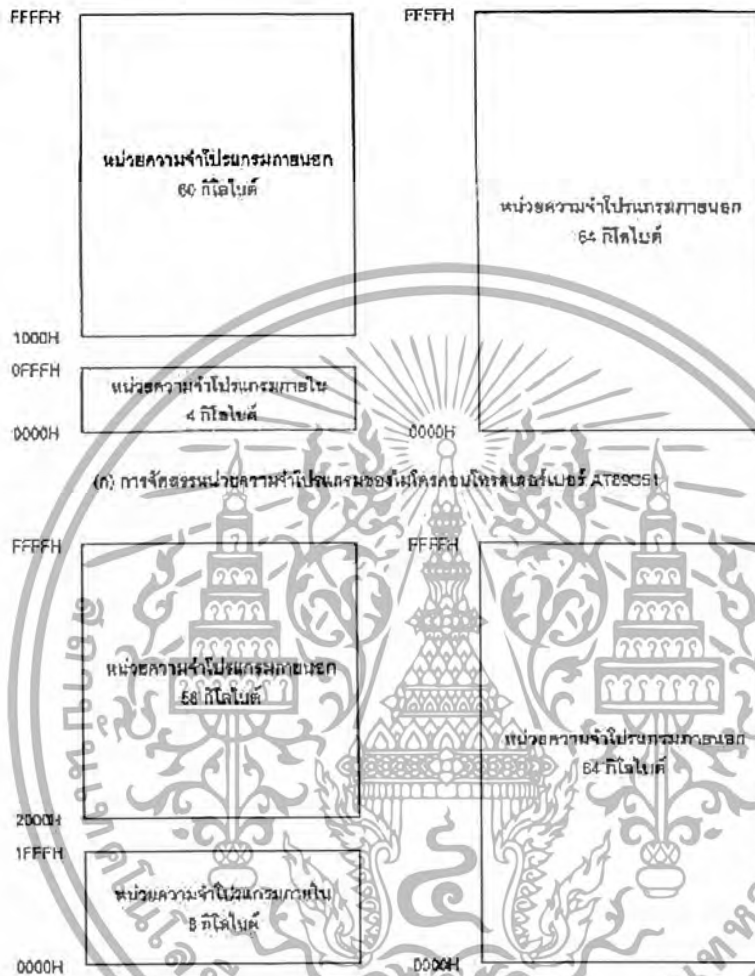
จากไคอะแกรมทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ในการทำงาน 1 รอบหรือ 1 แมชชีนไซเคิล ซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้เวลา 12 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกานั้นคือ เวลาในการทำงาน 1 ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 1ms หรือมีความเร็วในการทำงานภายใน 1 MHz ในกรณีที่ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz ดังนั้นถ้าต้องการทราบความเร็วของการทำงานภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถหาได้จากค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาหารด้วย 12 และถ้าต้องการหาค่าเวลาของ 1 รอบการทำงานหรือ 1 แมชชีนไซเคิล สามารถทำได้โดยการหาส่วนกลับของความเร็วในการทำงานภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถสรุปเป็นสูตร คณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เท่ากับ} \\ & \text{ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา(ค่าของคริสตอลที่ต่ออยู่ที่ขา XTAL 1 และ XTAL 2)/12} \\ & \text{เวลา 1แมชชีนไซเคิล} = 1/\text{ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

2.12.1 หน่วยความจำโปรแกรม(Program memory)



รูปที่ 5 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช
 ในรูปที่ 5 แสดงการจัดหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชใน
 เบอร์ต่างๆ ที่นิยมใช้งาน อันประกอบด้วย เบอร์ At89C51 และ AT89C52 จะเห็นได้ว่าทั้งสองเบอร์
 สามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยสามารถเลือกใช้หน่วยความจำ
 โปรแกรมภายในอย่างเดียวหรือรวมกับภายนอกหรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคียวก็ได้ดังรูปที่ 5 (ก) โดยภายใน AT89C51 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์ ในขณะที่ AT89C52 จะมีขนาด 8 กิโลไบต์

ในกรณีที่ใช้หน่วยความจำภายในและภายนอกรวมกันหากใช้ AT89C51 ก็สามารถติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้ 60 กิโลไบต์และถ้าใช้เบอร์ AT89C52 จะสามารถติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้ 56 กิโลไบต์

หากหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์หรือที่เรียกว่า โปรแกรมมอนิเตอร์ (monitor program) หากใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกมักจะบรรจุอยู่ในหน่วยความจำชนิดอีพรอม (EPROM: Erasable Programmable Read-only Memory) ซึ่งสามารถทำการอ่านได้อย่างเดียว

หน่วยความจำโปรแกรมมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000h เมื่อซีพียูริเซตให้เริ่มต้นทำงาน จะต้องมาเริ่มต้นที่แอดเดรส 0000h นี้เสมอ อย่างไรก็ตามในพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมไม่ว่าจะใช้งานภายในหรือภายนอกก็ตาม ต้องมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งเอาไว้สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 6 ประเภท ประกอบด้วย

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์จากไทม์เมอร์ 0 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 1 จากภายนอกกำหนดไว้ที่แอดเดรส 0013H

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์จากไทม์เมอร์ 1 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ของการสื่อสารอนุกรม กำหนดไว้ที่

- แอดเดรส 0023H

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์จากไทม์เมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002Bh

กรณีที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกด้วย สามารถทำได้โดยต้องกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมให้ต่อจากแอดเดรสสุดท้ายของหน่วยความจำโปรแกรมภายในของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ยกตัวอย่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 4 กิโลไบต์ มีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 0000h-ffffh เมื่อต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกต้องกำหนดให้แอดเดรสอยู่ช่วง 1000h-ffffh1

การต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกแสดงดังรูป 3-2 จะเห็นได้ว่าพอร์ต P0.0-P0.7 จะถูกใช้เป็นขาข้อมูล D0-D7 และขาแอดเดรสไบต์ต่ำ โดยผ่านวงจรถอดรหัส ชิพคิไอซีเบอร์ 74HC573

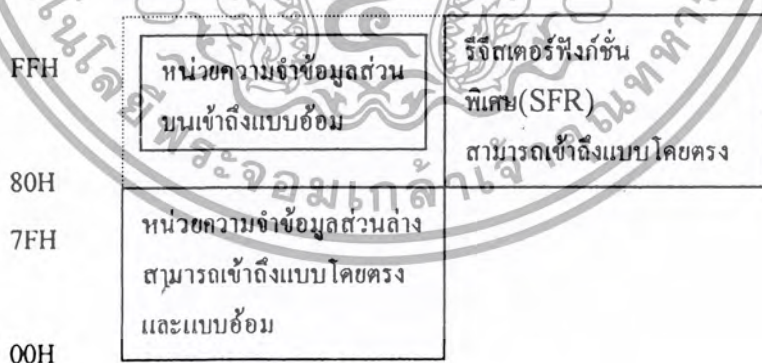
และใช้สัญญาณ ALE และ PSEN ในการเลือกว่าต้องการใช้งานขา P0.0-P0.7 เพื่อเป็นขาข้อมูลหรือเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาแอดเดรสในขณะ P2.0-P2.7 ใช้ในการเชื่อมต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูง A8-A15 ดังนั้นเมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเหลือขาพอร์ตใช้งานเพียง 16 บิตคือพอร์ต P1.0-P1.7 และ P3.0-P3.7

2.12.2 หน่วยความจำข้อมูล (Data memory)

มีด้วยกัน 2 แบบคือ หน่วยความจำข้อมูลภายนอกและภายใน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชอนุกรม AT89 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์โดยการใช้คำสั่ง MOVX ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก การติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชดังรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่ามีลักษณะคล้ายกับการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกแตกต่างที่มีสัญญาณที่ใช้สำหรับการอ่านและเขียน หน่วยความจำข้อมูลภายนอกนั้นคือ ขา RD และ WR

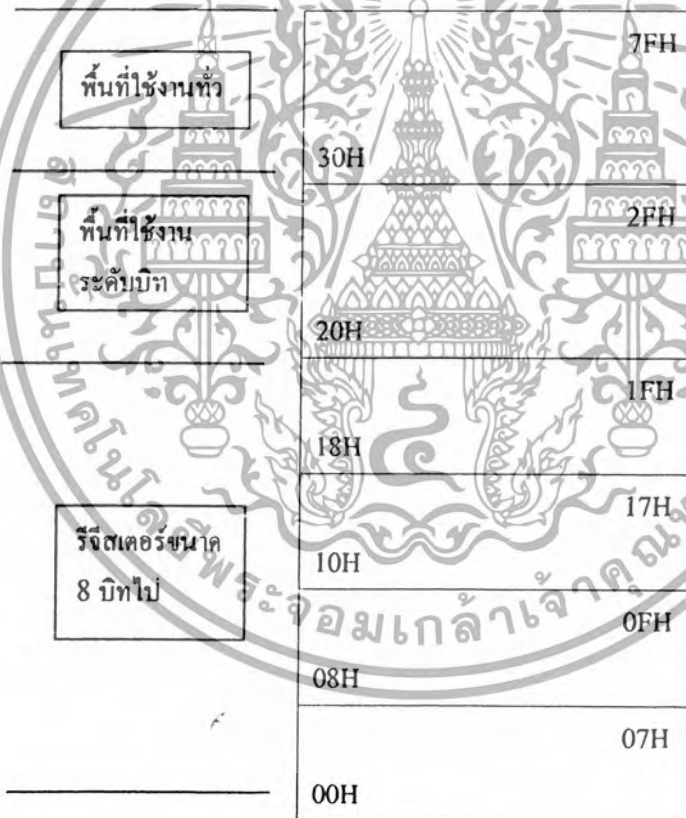
สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชอนุกรม AT89 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบแรม (RAM : Random Access Memory) โดยแต่ละเบอร์จะมีขนาดแตกต่างกันออกไป ในเบอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์ ในขณะที่เบอร์ AT89C52 มีขนาด 256 ไบต์ สำหรับการจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลภายในแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง (lower), ส่วนบน(Upper) และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (SFR :Special Function Register) แต่ละส่วนมีขนาด 128 ไบต์ ดังแสดงการจัดสรรในรูปที่ 3-4



รูปที่ 6 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช จะเห็นได้ว่าหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนและรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ มีตำแหน่งทับซ้อนกัน แต่จะใช้การติดต่อกันที่แตกต่างกัน และในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 บางเบอร์จะไม่มีหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของหน่วยความจำข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชโดยแท้จริงแล้วมีเพียง 256 ไบต์ แต่ด้วยการจัดการเข้าถึงที่แตกต่างกันจึงดูเหมือนว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีหน่วยความจำข้อมูลภายในสูงถึง 384 ไบต์ โดยในหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างขนาด 128 ไบต์เช่นกัน มีแอดเดรสอยู่ที่ 00h-7Fh สามารถเข้าถึงได้โดยตรงและ โดยอ้อม สำหรับหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนมีขนาด 128 ไบต์เช่นกัน มีแอดเดรสอยู่ที่ 80h-FFh สามารถเข้าถึงข้อมูล โดยอ้อมเท่านั้น แต่สำหรับรีจิสเตอร์ SFR ใช้ในการเข้าถึงแบบโดยตรง ดังนั้นเพื่อความสะดวกและง่าย ตลอดจนป้องกันการสับสนในการเขียนสำหรับผู้เริ่มต้นจึงควรใช้หน่วยความจำข้อมูลภายในเพียง 128 ไบต์จากหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างร่วมกับรีจิสเตอร์ SFR



รูปที่ 7 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำภายในส่วนล่างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในรูปที่ 7 แสดงการจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง หน่วยความจำ 32 ไบต์ค่าสุดท้าย แอดเดรส 00h-1Fh แบ่งเป็น 4 กลุ่ม เรียกว่า 4 แบนก์ (bank) แต่ละแบนก์มีรีจิสเตอร์ 8 ตัวคือ R0-R7 การติดต่อกับหน่วยความจำในแบนก์ใดให้กำหนดที่รีจิสเตอร์ PSW(Program Status Word Register) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำข้อมูล 16 ไบต์ถัดมาที่แอดเดรส 20h-2Fh เป็นพื้นที่สำหรับใช้งานทั่วไป สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต (Bit addressable) และหน่วยความจำข้อมูลที่เหลือ 80 ไบต์ จะต้องแบ่งส่วนหนึ่งสำรองไว้เป็นพื้นที่ของสแต็ก (Stack : ที่พักข้อมูลชั่วคราวในกรณีที่มีกระบวนการโคดไปทำงานในโปรแกรมย่อย) การเข้าถึงหน่วยความจำในส่วนนี้ต้องใช้การเข้าถึงในระดับไบต์

2.12.3 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register : SFR)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชทั้งหมดมีด้วยกัน 22 สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C51 และ 28 ตัวในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx ทั้งนี้เนื่องจากใน AT89C52 และ AT89Sxx มีไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์มากกว่า AT89C51 รีจิสเตอร์ SFR มีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 80h-FFh ในพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนสามารถเข้าถึงได้โดยตรง (direct addressing) ในรูปที่ 3-7 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR แต่ละตัวในหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน สำหรับรายละเอียดเบื้องต้นของรีจิสเตอร์ SFR มีดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
CY	AC	FO	RS1	RS0	OV		P

CY : แฟล็กทาด (Carry Flag) เป็น 1 เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์ และลอจิก แล้วค่าของแอดคิวมูลเตเตอร์เกิน 255 (ฐานสิบ) หรือ FFh

AC : แฟล็กทาดเสริม (Auxiliary Carry Flag) เป็น 1 เมื่อมีการกระทำทางคณิตศาสตร์แล้วทำให้เกิดการทดข้ามบิตจากบิต 3 มายัง บิต 4 มักใช้ในการแปลงค่าเป็นฐานสิบ

FO : แฟล็กใช้งานทั่วไป เมื่อผู้เขียนโปรแกรมกำหนดค่าที่บิตนี้แล้วไม่ว่าจะกระทำคำสั่งใดๆที่บิตนี้ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

RS1 : บิตเลือกรีจิสเตอร์เบงค์ (Register Select 1) ใช้งานร่วมกับบิต RS0 เพื่อเลือกเบงค์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

RS0 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Select 2) ใช้งานร่วมกับบิต RS1 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

OV : บิตเกิน (Over Flow) เป็น 1 เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้วทำให้เกิดการทศข้ามจากบิต 6 มายัง บิต 7 ของแอกคิวมูลเตเตอร์ หรือแอกคิงมูลเตเตอร์มีค่าเกิน 127 (ฐานสิบ) นอกจากนั้นยังเป็นการแสดงค่าลบด้วย

- : บิตนี้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้อย่างอิสระ

P : บิตพาริตี (Parity) ใช้ในการตรวจสอบจำนวนค่า 1 ภายในแอกคิวมูลเตเตอร์ ถ้าหากแอกคิวมูลเตเตอร์มีจำนวนบิตที่เป็น 1 รวมกันเป็นเลขคู่ บิตนี้จะเป็น 0 ถ้ารวมกันเป็นเลขคี่บิตนี้จะเป็น 1

ตารางที่ 3 รายละเอียดของรีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรมหรือ PSW

2.12.4 รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรม (Program Status Word : PSW)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต นั้นหมายความว่าสามารถกระทำคำสั่งหรือกำหนดค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้โดยอิสระ มีแอกเคอเรสอยู่ที่ D0h เป็นรีจิสเตอร์ที่เก็บสถานะของโปรแกรมนั้น จะเรียกสถานะต่างของโปรแกรมว่า แฟล็ก (Flag) เมื่อซีพียูกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้วเกิดการเปลี่ยนสถานะขึ้นผลของกฎเปลี่ยนแปลงนั้นจะปรากฏที่บิตต่างๆของรีจิสเตอร์ PSW รายละเอียดของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ PSW แสดงได้ดังรูปที่ 3-8

จะเห็นได้ว่า นอกจากรีจิสเตอร์ PSW ถูกใช้งานในการเก็บสถานะของโปรแกรมแล้วที่บิต RS0 และ RS1 ยังใช้เลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่าง ซึ่งเป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ R0-R7 มักนิยมเลือกใช้แบงก์ 0 เป็นอันดับแรก หากไม่เพียงพอก็เลือกใช้แบงก์อื่นๆมาใช้แต่ต้องระมัดระวังในการกำหนดค่าและลำดับการติดต่อ ให้ดี มิเช่นนั้น อาจทำให้การเขียน โปรแกรมเกิดความสับสน ดังนั้นสำหรับผู้เริ่มต้นใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จึงควรเลือกใช้รีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงก์ 0 เพียงแบงก์เดียวให้ชำนาญเสียก่อน

การกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ PSW เพื่อเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 ควรกำหนดไว้ตอนต้นของโปรแกรมเสมอ เพื่อจะได้เขียนโปรแกรมติดต่อกับรีจิสเตอร์ R0-R7 ได้อย่างสะดวกและไม่เกิดความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.5 แอควมูเลเตอร์ (Accumulator : Acc)

มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง E0h เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก ก่อนที่จะส่งข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้นั้นให้แก่ซีพียูเพื่อทำการคำนวณต่อไป อาจเรียกรีจิสเตอร์แอควมูเลเตอร์อย่างสั้นๆว่า รีจิสเตอร์ A หรือ ACC

รีจิสเตอร์ A นี้สามารถเข้าถึงระดับบิตได้นั้นหมายความว่า สามารถกระทำคำสั่งหรือกำหนดค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้โดยอิสระ

2.12.6 รีจิสเตอร์ B

มีขนาด 8 บิตมีแอดเดรสอยู่ที่ F0h บิตหน้าที่พิเศษคือ หากมีความต้องการคูณหรือหารทางคณิตศาสตร์ จะต้องนำข้อมูลที่ต้องการหารหรือคูณนั้น มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ B แล้วกระทำคำสั่งการคูณหรือหารกับค่าในรีจิสเตอร์ A ต่อไป

ในกรณีที่ไม่ได้มีความต้องการคูณหรือหารข้อมูล สามารถใช้รีจิสเตอร์ B นี้ ในการเก็บข้อมูลทั่วไปได้ เหมือนกับรีจิสเตอร์ปกติ และสามารถเข้าถึงระดับบิตได้เช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ A

2.12.7 โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter : PC)

มีขนาด 16 บิตมีหน้าที่แจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมในตำแหน่งถัดไปที่ซีพียูจะต้องไปทำงาน รีจิสเตอร์ PC จะเป็นรีจิสเตอร์ตัวเดียวที่ไม่ได้จัดสรรไว้ร่วมกับ SFR ตัวอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงค่าของรีจิสเตอร์ PC จะขึ้นอยู่กับผลของการกระทำคำสั่งแต่ละคำสั่งภายในหน่วยความจำโปรแกรมที่ผู้เขียน โปรแกรมกำหนด

รีจิสเตอร์ PC มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมว่า ดำเนินไปตามลำดับขั้นตอนที่กำหนดไว้หรือไม่

2.12.8 สแต็กพอยน์เตอร์ (Stack Pointer : SP)

หรือรีจิสเตอร์ตัวชี้สแต็กมีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 81h ใช้งานในการเก็บค่าตำแหน่งของตัวชี้สแต็ก ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อซีพียูมีการกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อย หรือการกระโดดจากโปรแกรมย่อยกลับมายัง โปรแกรมหลัก เมื่อมีการรีเซตเกิดขึ้น (รีเซต : การกระทำที่ส่งผลให้ซีพียูต้องเริ่มต้นการทำงานใหม่ตั้งแต่ต้น) ค่าของรีจิสเตอร์ SP จะเท่ากับ 07h นั้นหมายความว่าตัวชี้สแต็กมีค่า 07h แอดเดรสของพื้นที่ที่สำรองไว้ทำหน้าที่เป็นสแต็กเท่ากับ 08h

2.12.9 รีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลหรือค้ำพอยน์เตอร์ (Data Pointer :DPTR)

มีขนาด 16 บิต โดยแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูล ไบต์สูง (DPH) และรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูล ไบต์ต่ำ (DPL) แต่ละตัวมีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 82h สำหรับ DPL และ 83h สำหรับ DPH รีจิสเตอร์ DPTR นี้ใช้ในการเก็บค่าแอดเดรสของหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ภายนอกที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ ต้องการติดต่อด้วย

2.12.10 รีจิสเตอร์พอร์ต (Port Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตที่ใช้เก็บข้อมูลของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีด้วยกันทั้งสิ้น 4 ตัวคือรีจิสเตอร์พอร์ต 0 หรือ P0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 80h รีจิสเตอร์พอร์ต 1 หรือ P1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 90h รีจิสเตอร์พอร์ต 2 หรือ P2 มีแอดเดรสอยู่ที่ A0h และรีจิสเตอร์พอร์ต 3 หรือ P3 มีแอดเดรสอยู่ที่ B0h รีจิสเตอร์ทุกตัวสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต เมื่อต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลออกไปยังพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องทำการผ่านรีจิสเตอร์ทุกครั้ง

2.12.11 รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer :SBUF)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตมีแอดเดรสอยู่ที่ 99h ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ต้องการส่งออกหรือรับเข้าของวงจรสื่อสารอนุกรมที่มีอยู่ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชโดยภายในรีจิสเตอร์ SBUF นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (Transmit buffer register) และรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูล (Receive buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลเพื่อส่งออกจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TXD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลสำหรับส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมายังขา RXD หรือขา P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.12.12 รีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ (Timer Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตแต่ละจะจัดแบ่งเป็นไบต์สูงและไบต์ต่ำเช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ DPTR รีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ใช้ในการเก็บค่าของตัวนับหรือเคาน์เตอร์ (Counter) ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการสร้างฐานเวลา, จังหวะเวลา หรือนับจำนวนพัลส์สัญญาณนาฬิกาภายในหรือบางที่เรียกรีจิสเตอร์ตัวนี้ว่า รีจิสเตอร์ไทม์เมอร์/ เคาน์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C51 จะมีรีจิสเตอร์ DPTR รีจิสเตอร์ไทม์เมอร์/คาน์เตอร์ 2 ตัว แบ่งเป็น T0 หรือ Timer 0 และ T1 หรือ Timer 1 ในรีจิสเตอร์ยังแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ไบต์ต่ำ(TL) และรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ไบต์สูง (TH)เหมือนกัน โดยรีจิสเตอร์ TLO มีแอดเดรสอยู่ที่ 8Ah รีจิสเตอร์ TH0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8Bh ในขณะที่ TL1 และ TH1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8Ch และ 8Dh ตามลำดับ

สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx จะมีรีจิสเตอร์ ไทม์เมอร์/คาน์เตอร์ถึง 3 ตัว โดยมีรีจิสเตอร์ TL2 และ TH2 ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ CCh และ CDh ตามลำดับเพิ่มเข้ามา

2.12.13 รีจิสเตอร์แคปเจอร์ (Capture register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต มีเฉพาะไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx เท่านั้นเนื่องจากต้องใช้งานร่วมกับไทม์เมอร์/คาน์เตอร์ 2 ซึ่งมีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx โดยรีจิสเตอร์แคปเจอร์นี้มีชื่อเรียกอย่างย่อว่า RCAP2H ซึ่งแบ่งออกเป็นไบต์ต่ำคือ RCAP2L มีแอดเดรสอยู่ที่ Cah และ ไบต์สูงคือ RCAP2H มีแอดเดรสอยู่ที่ CBh

รีจิสเตอร์แคปเจอร์จะถูกใช้งานเมื่อกำหนดให้ไทม์เมอร์ 2 ทำงานในโหมดแคปเจอร์ซึ่งเป็นโหมดที่กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสถานะทางลอจิกที่ขา T2EX ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการวัดค่าเวลาความถี่ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพัลส์ที่ขา T2EX นี้

2.12.14 รีจิสเตอร์ควบคุม (Control Register)

รีจิสเตอร์ SFR ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชยังมีหลายตัวประกอบกันด้วย

รีจิสเตอร์ PCON เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลของวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมและกำหนดการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

รีจิสเตอร์ SCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรรีจิสเตอร์ข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

รีจิสเตอร์ TCON และ T2CON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชโดย T2CON ใช้สำหรับไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx

รีจิสเตอร์ TMOD และ T2MOD เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดโหมดหรือลักษณะการทำงานของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx

รีจิสเตอร์ IE และ IP เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ (interrupt : การขัดจังหวะการทำงานปกติของซีพียู) โดย IE เป็นรีจิสเตอร์สำหรับอินทิเนลหรือใช้ในการกำหนดลักษณะของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ ในขณะที่ IP เป็นรีจิสเตอร์สำหรับการลำดับความสำคัญของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ว่าจะให้ซีพียูตอบสนองการเกิดอินเตอร์รัปต์ในลักษณะใด ก่อนหรือหลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ทฤษฎีและโครงสร้าง

3.1 แบบขา

สำหรับการเลือกลักษณะขาของหุ่นยนต์ สิ่งที่สำคัญต่อการเลือกขา คือ จะต้องเลือกแบบที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวมากที่สุด ให้เหมาะสมกับรูปร่างลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของตัวหุ่นยนต์ ลักษณะการเดินของขาแต่ละแบบ จะขึ้นอยู่กับข้อจำกัดทางกายภาพของขาด้วย ซึ่งในปัจจุบันมีการออกแบบขาหุ่นยนต์อยู่หลายชนิด แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะแบบ ดังต่อไปนี้

3.1.1 ขาสองข้อต่ออย่างง่าย (Simple Two Link Leg)

ขาชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นสองท่อน แต่ละท่อนจะต่อผ่านข้อต่อดังรูปที่ 3.1 ซึ่งสามารถควบคุมลักษณะการเดินได้ โดยการควบคุมของขาแต่ละท่อนซึ่งจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งปลายขาของหุ่นยนต์ ส่วนของขาทั้งหมดจะต่อเข้ากับเดือยที่โคนขาเพื่อใช้ในการก้าวขา และยึด หดขา



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของขาข้อต่ออย่างง่าย

วิธีการทำงานของข้อต่อ

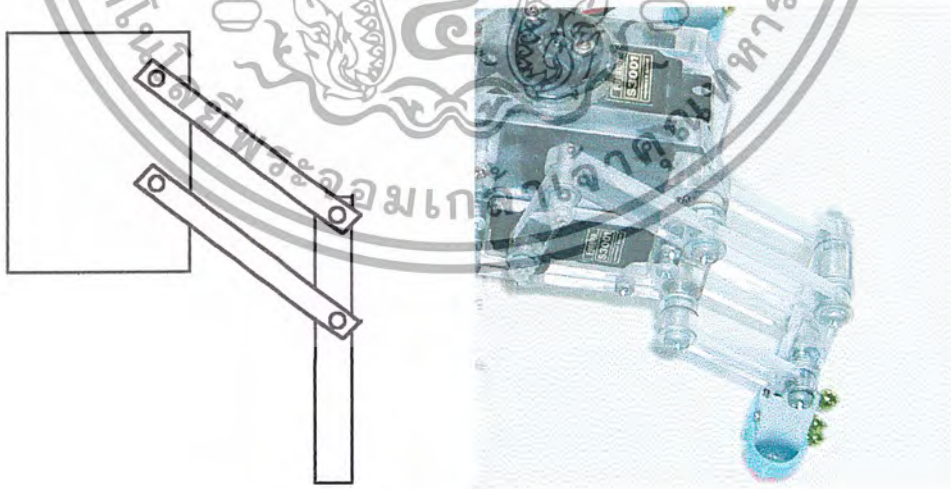
มีหลายวิธีที่จะทำให้ข้อต่อทำงานได้ โดยใช้ลักษณะการขับเคลื่อนของข้อต่อสำหรับแบบนี้อาจติดตั้งมอเตอร์เข้าที่ข้อต่อโดยตรง หรือใช้โซ่ สายพาน สกรู และส่งกำลังจากมอเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ในลำตัวบริเวณโคนขา เพื่อกำหนดมุมที่ข้อต่อในการก้าวเดินของขาหุ่น

จุดคือยประการสำคัญของขาแบบนี้คือ เราจำเป็นต้องใช้ตัวขับเคลื่อนอยู่ใกล้กับข้อต่อมากที่สุด การติดตั้งตัวขับเคลื่อนเข้าที่ข้อต่อจะทำให้เกิดผลกระทบบางทางไดนามิกต่อขาหุ่น ซึ่งต้องมีการชดเชยโดยใช้ตัวควบคุม ซึ่งจะทำได้ต้องเพิ่มความซับซ้อนให้กับอัลกอริทึมในการเคลื่อนที่ของขา รวมทั้งยังต้องการมอเตอร์ที่มีกำลังสูงที่ข้อต่อส่วนสะโพก เพื่อใช้ในการเคลื่อนขาที่มีมวลมาก ซึ่งเราก็สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้โดยการติดตั้งตัวขับเคลื่อนที่ฐานของขาแต่จะเป็นการเพิ่มความซับซ้อนทางแมคคานิกส์

3.1.2 ขาเพนโทกราฟ (Pantograph Leg)

ขาแบบนี้จะประกอบด้วยคานสี่ท่อนขนานกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ดังรูปที่ 2.2 เป็นแบบที่มีผู้ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะการควบคุมและระบบทางแมคคานิกส์ของขาทำง่ายซึ่งลดการประมวลที่ซับซ้อนในการควบคุมลงได้

ขอบเขตการเคลื่อนไหวของขา (Workspace) แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างแบบนี้ยังมีการคัปปลิง (Coupling) ของข้อต่อเกิดขึ้นในการเคลื่อนปลายขา ทำให้ปลายขาเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง เนื่องจากว่าขาแบบนี้เป็นแบบที่มีลักษณะทางเรขาคณิตอย่างง่าย ๆ ทำให้ผู้ออกแบบมักเลือกขาแบบนี้มาใช้ก่อนแบบอื่น แต่ปัญหาทางแมคคานิกส์ที่พบระหว่างการสร้างขาต้นแบบ ทำให้เราต้องดัดแปลงขาแบบนี้อีกครั้งก่อนที่จะตัดสินใจใช้ขาแบบนี้ให้เป็นขาที่จะนำไปใช้งาน



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะขาแบบ เพนโทกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทำงานของข้อต่อ

ส่วนประกอบที่ใช้ในการควบคุมเพื่อให้เขาเกิดการเคลื่อนที่อาจใช้ กระจบอกสูบ ในระบบของไฮดรอลิกส์ นิวเมตริก หรือมอเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและความต้องการที่จะนำไปใช้ ซึ่งไม่ว่าจะเป็นแบบใด ข้อควรพิจารณาที่สำคัญในระหว่างการออกแบบขา คือขนาดของขอบเขตการเคลื่อนไหวกองขา (Workspace) ที่ต้องการ คือ การยกขา (Lifting) , การยืดขา (Extending) และ การแกว่งขา (Rotating) ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการเคลื่อนที่ของขาแบบเพนโทกราฟ

ซึ่งมีผลโดยตรงต่อขนาดของขา การเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวของแต่ละส่วนของขาจะทำให้ความสูงที่หุ่นยนต์สามารถยกขาได้ หรือระยะที่หุ่นยนต์สามารถยืดขาได้ เปลี่ยนไปซึ่งส่งผลให้ขนาดของการก้าวแต่ละก้าวเปลี่ยนแปลงไปด้วย

ดังนั้นในการออกแบบสิ่งที่สำคัญที่ควรพิจารณาอีกประการหนึ่งก็คือ การพยายามให้ตัวขับเคลื่อน อยู่ติดกับฐานของขา การติดตั้งตัวขับเคลื่อนให้อยู่ที่จุดศูนย์กลางจะทำให้ผลกระทบทางไดนามิคลดลง ทั้งยังลดภาวะทางไดนามิคของแต่ละขาอีกด้วย เพราะไม่ต้องเคลื่อนมวลของตัวขับเคลื่อนที่ติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ห่างออกไปตามข้อต่อต่าง ๆ อีกทั้งวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างหุ่นยนต์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นมืออยู่หลายชนิด ซึ่งราคาก็เป็นปัจจัยอย่างหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามน้ำหนักก็มีความสำคัญกว่า ที่จะต้องนำมาพิจารณาเพื่อประสิทธิภาพโดยรวมของหุ่นยนต์

3.2 เซอร์โวมอเตอร์

3.2.1 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์ ประกอบด้วย มอเตอร์ความเร็วสูง ภายในมีเฟืองทอรอบ ให้หมุนช้าลง เพื่อจะได้มีกำลังแรงบิดที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีวงจรควบคุมมอเตอร์ ซึ่งวงจรนี้จะนำค่าแรงดันเฉลี่ยของพัลส์รูปที่เหลี่ยม เข้าไปเปรียบเทียบกับค่าแรงดันค่าหนึ่งที่มีอยู่ในวงจร ถ้าค่าต่างกัน วงจรควบคุมจะสั่งให้มอเตอร์หมุนไปตามทิศทาง ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างพัลส์ โดยที่แกนเฟืองทอรอบจะถูกพ่วงไปขับแกนของ VR. (ตัวต้านทานปรับค่าได้) ซึ่งอยู่ในวงจรควบคุมมอเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์หมุน VR จะถูกปรับค่า ทำให้ค่าแรงดันเปรียบเทียบของวงจรควบคุมมอเตอร์เปลี่ยนไปด้วย จนกระทั่งค่าเฉลี่ยของพัลส์ในวงจรควบคุมมอเตอร์ เท่ากับค่าเฉลี่ยของพัลส์ที่เข้ามา จึงทำให้มอเตอร์หยุดหมุนได้

เซอร์โวมอเตอร์จะมีสายไฟ 3 เส้นคือ สายไฟเลี้ยง สายกราวด์ และสายสัญญาณพัลส์ควบคุม ซึ่งลักษณะของสัญญาณ พัลส์ที่ใช้ควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ จะเป็นการส่งพัลส์ที่มีความกว้างต่างกัน เพื่อควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์ หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยที่มีความกว้างของพัลส์ จะเป็นตัวกำหนดขนาด และทิศทางของการหมุนแกนเซอร์โวมอเตอร์สำหรับเวลา หรือระยะห่างระหว่างพัลส์แต่ละลูก จะเป็นตัวกำหนดแรงบิดของมอเตอร์

ถ้ากำหนดให้ในสภาวะปกติ เมื่อป้อนพัลส์ สี่เหลี่ยม ที่มีความกว้างขนาด 1.5 ms ให้กับเซอร์โวมอเตอร์ แกนของเซอร์โวมอเตอร์จะอยู่ตำแหน่งกลาง

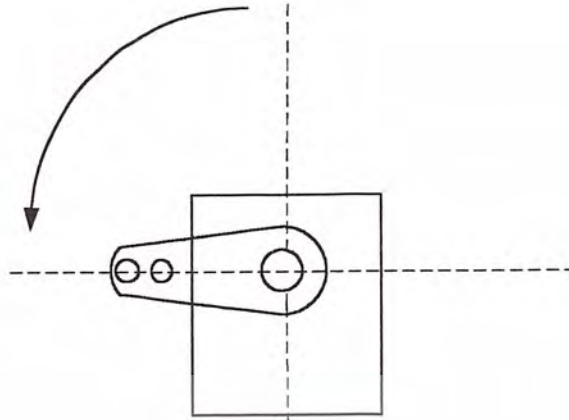
เมื่อป้อนพัลส์ สี่เหลี่ยม ที่มีความกว้างขนาด 1 ms ให้กับเซอร์โวมอเตอร์ แกนของเซอร์โวมอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา

เมื่อป้อนพัลส์ สี่เหลี่ยม ที่มีความกว้างขนาด 2 ms ให้กับเซอร์โวมอเตอร์ แกนของเซอร์โวมอเตอร์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ดังต่อไปนี้



ข. แสดงการตอบสนองของเซอร์โวเมื่อจ่ายพัลส์ขนาด 1 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค. แสดงการตอบสนองของเซอร์โวมอเตอร์จ่ายพัลส์ขนาด 2 ms

รูปที่ 3.4 แสดงการตอบสนองของเซอร์โวมอเตอร์ต่อสัญญาณพัลส์ในความถี่ที่ต่างกัน

ดังนั้นถ้าจ่ายสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างมากหรือน้อยกว่าความกว้างของพัลส์ 1.5 ms ก็จะทำให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนต่างทิศทาง ทั้งตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา โดยตำแหน่งของแกนหมุนเซอร์โวมอเตอร์จะเบี่ยงเบนออกจากจุดกึ่งกลาง เป็นสัดส่วนกับความกว้างของพัลส์ที่จ่ายให้

3.2.2 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

ในเซอร์โวมอเตอร์หนึ่งตัวจะประกอบไปด้วย 3 ภาคการทำงานแต่ละภาคมีหน้าที่และการทำงานดังนี้

ภาคขับเซอร์โว ประกอบด้วย วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ และวงจรเปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ที่สร้างขึ้น กับสัญญาณพัลส์ I/P ที่รับเข้ามา

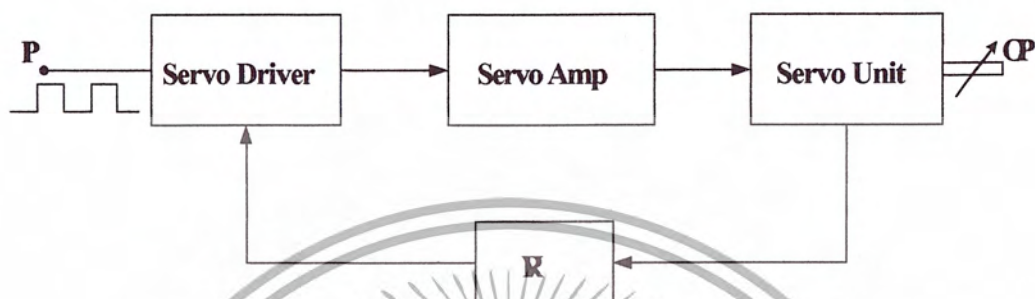
ภาคขยายเซอร์โว ประกอบด้วย วงจร RC Network ที่ช่วยหน่วงสัญญาณให้เซอร์โวสามารถทำงานได้ตลอดช่วงคาบเวลา จนกระทั่งมีสัญญาณถูกต่อไปมา รวมถึงวงจรกลับขั้วแรงดันไฟฟ้าควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

หน่วยเซอร์โว ประกอบด้วย มอเตอร์ความเร็วสูง เฟืองทดรอบ แกนหมุน อุปกรณ์ต่าง ๆ และ VR (ตัวต้านทานปรับค่าได้) ทำหน้าที่ป้อนกลับตำแหน่ง (Position Feedback)

ซึ่งในขณะที่มอเตอร์หมุน VR จะถูกปรับค่า Feedback กลับมาปรับและเปรียบเทียบค่าความกว้างของพัลส์ที่ภาคขับเซอร์โว เมื่อขนาดความกว้างของพัลส์ มีค่าเฉลี่ยของค่าแรงดันเท่า

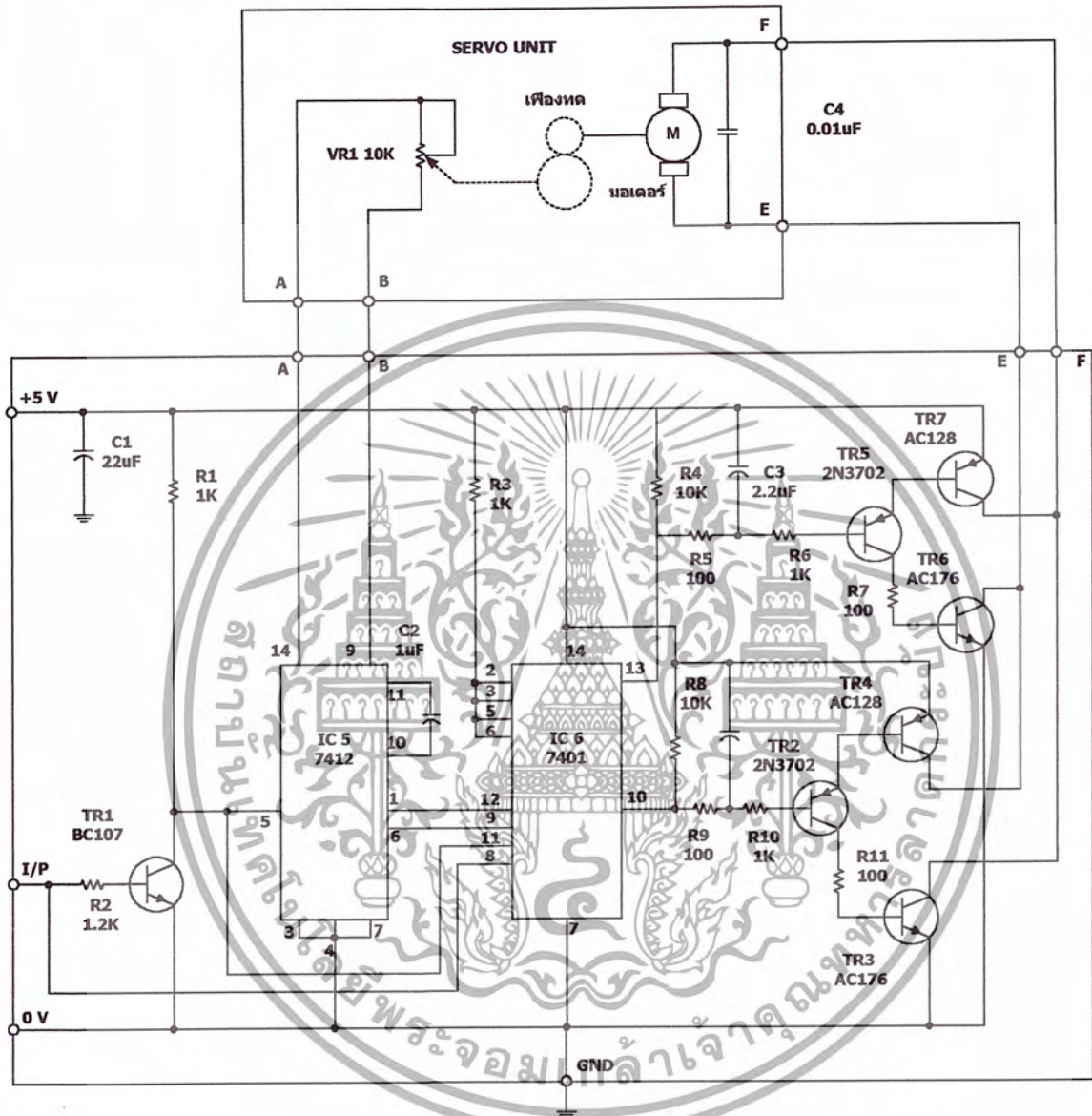
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับมอเตอร์จะหยุดหมุนทันที ซึ่งรูปที่ 3.5 ได้แสดงภาคการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ตามที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น และได้แสดงไว้ดังรูปต่อไปนี้



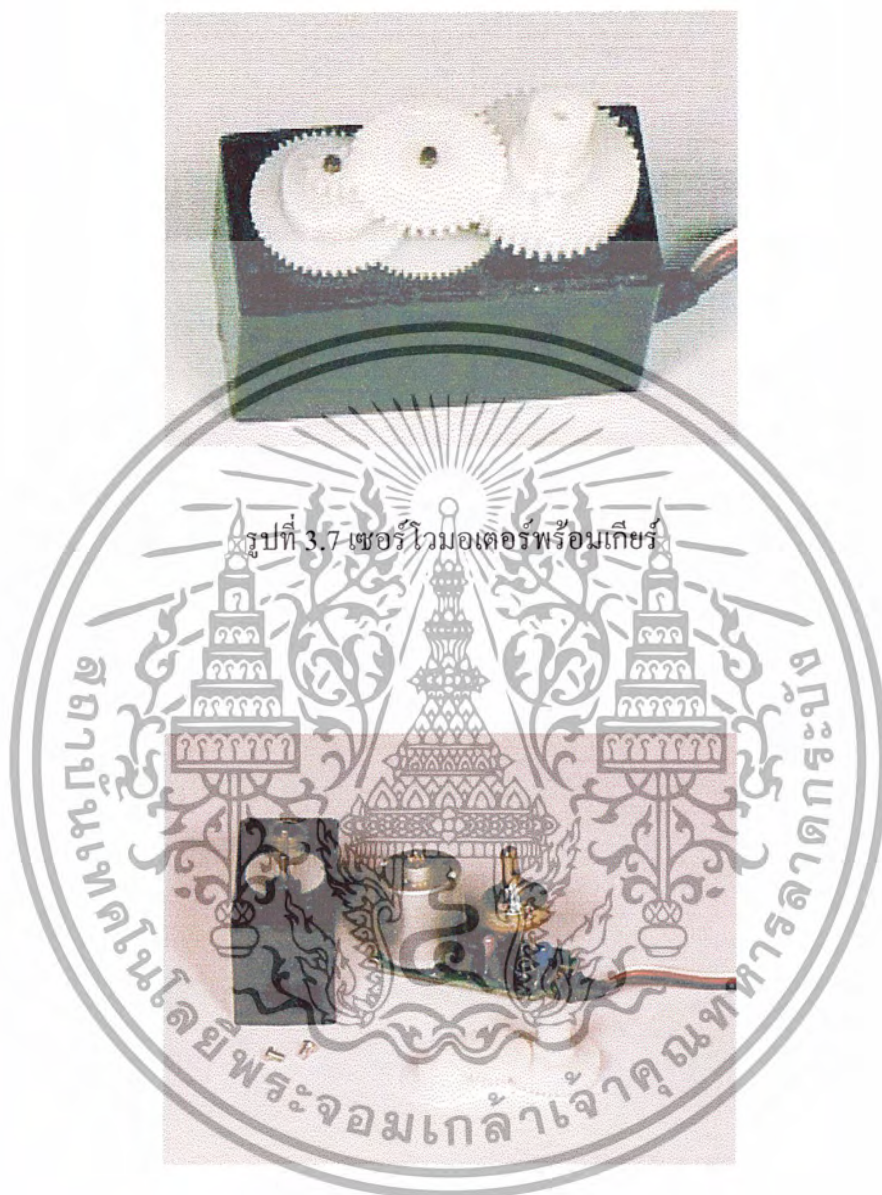
รูปที่ 3.5 แสดงภาคการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรภาคขยายเซอร์โว (SERVO AMP) และภาคขับเซอร์โว (SERVO DRIVE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบและการสร้าง

4.1 การออกแบบ

ในการออกแบบเลือกใช้ขาแบบ Pantograph Leg ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 เพราะโครงสร้างของขาง่ายต่อการสร้าง ไม่ซับซ้อนยุ่งยากในระบบแม็กคานิกส์ และใช้เซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน



รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบขาของหุ่น

โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ตัวหนึ่งทำหน้าที่ยกขาให้ลอยขึ้นและเซอร์โวมอเตอร์อีกตัวหนึ่งทำการหมุนขาเพื่อเคลื่อนย้ายตำแหน่งเท้าของหุ่นยนต์ ตามรูปที่ 3.2

4.2 การสร้าง

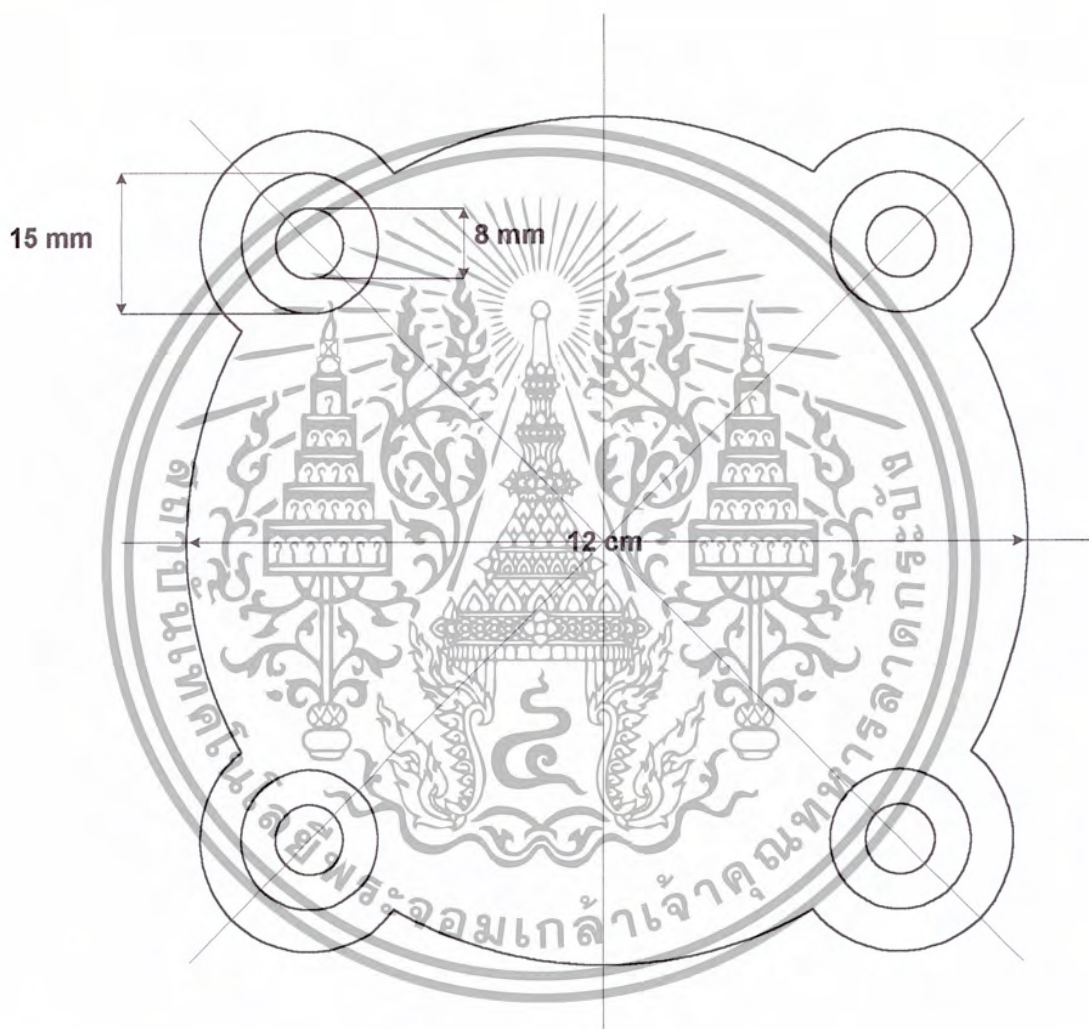
วัสดุที่ใช้สร้างแผ่นพลาสติกชนิดซิลิโคนจะนำมาสร้างเป็นตัวหุ่นและขาหุ่น เนื่องจากมีคุณสมบัติเหนียวทนทาน น้ำหนักเบา และตกแต่งง่าย ส่วนจุดหมุนเราใช้ลูกปืนเบอร์ขนาด 8 มม. เพื่อลดแรงเสียดทานของจุดหมุน

แผ่นลำตัวของหุ่นยนต์มีลักษณะเป็นวงกลม ทำหน้าที่ยึดขาทั้งหมดเข้าด้วยกันโดยจัดวางขาให้สมมาตรดังรูปที่ 4.3 ด้านบนของลำตัวมีพื้นที่สำหรับจัดวางอุปกรณ์ควบคุม ลำตัวของหุ่นมีความกว้าง 12 ซม. (ไม่รวมความยาวของขา)

การยึดขาเข้ากับลำตัวหุ่นจะใช้แผ่นยึดลำตัวสองแผ่นประกบด้านบนและด้านล่างเพื่อ

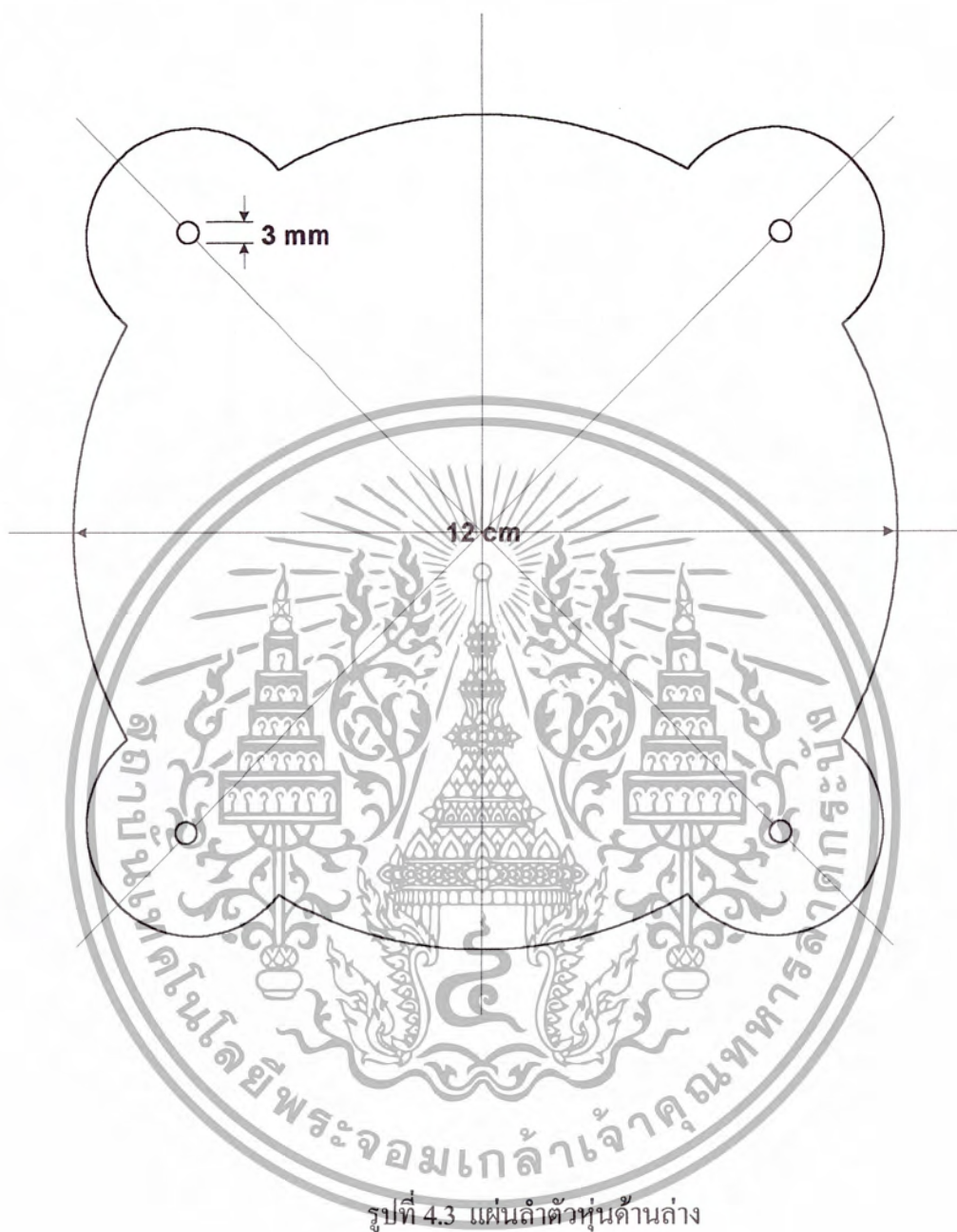
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยึดจุดหมุนส่วนขาให้มีความควบคุมคงที่ ตำแหน่งแต่ละขาวางห่างกัน ที่ 90 องศา ช่องว่างกลางลำตัวระหว่างแผ่นยึดลำตัวทั้งสองสามารถวางแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับส่วนควบคุม และส่วนขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ได้



รูปที่ 4.2 แผ่นลำตัวหุ่นค้ำบน

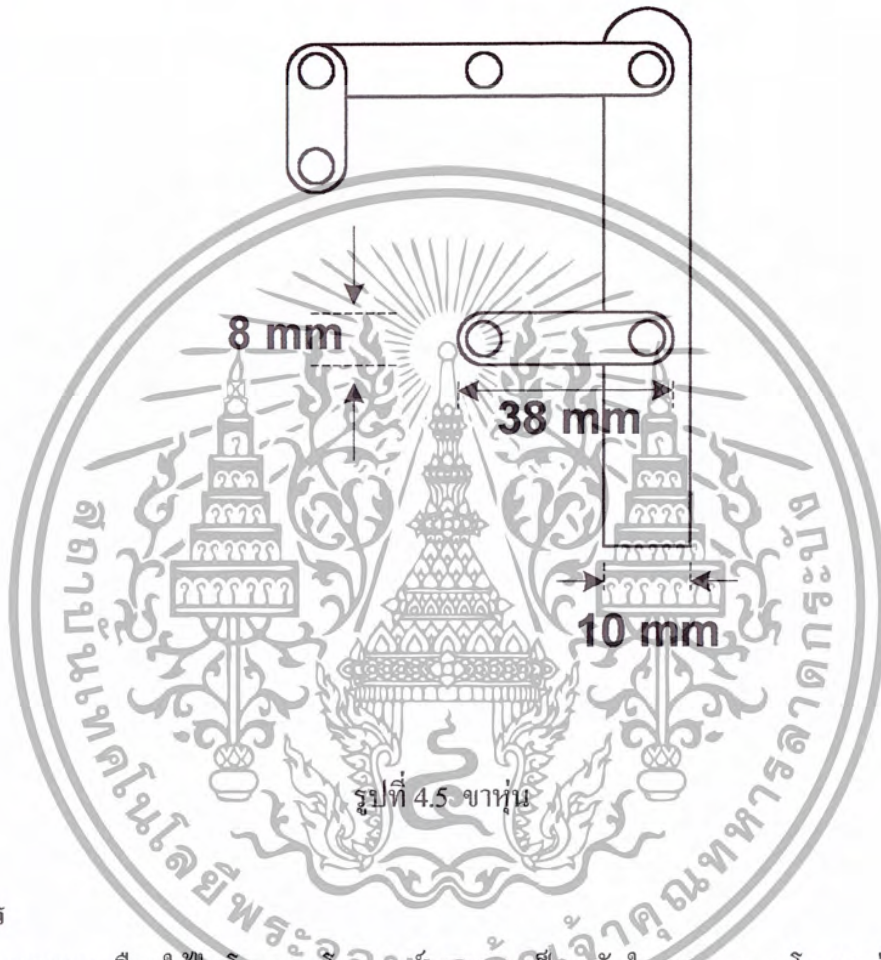
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แผ่นลวดหัวนุด้านล่าง

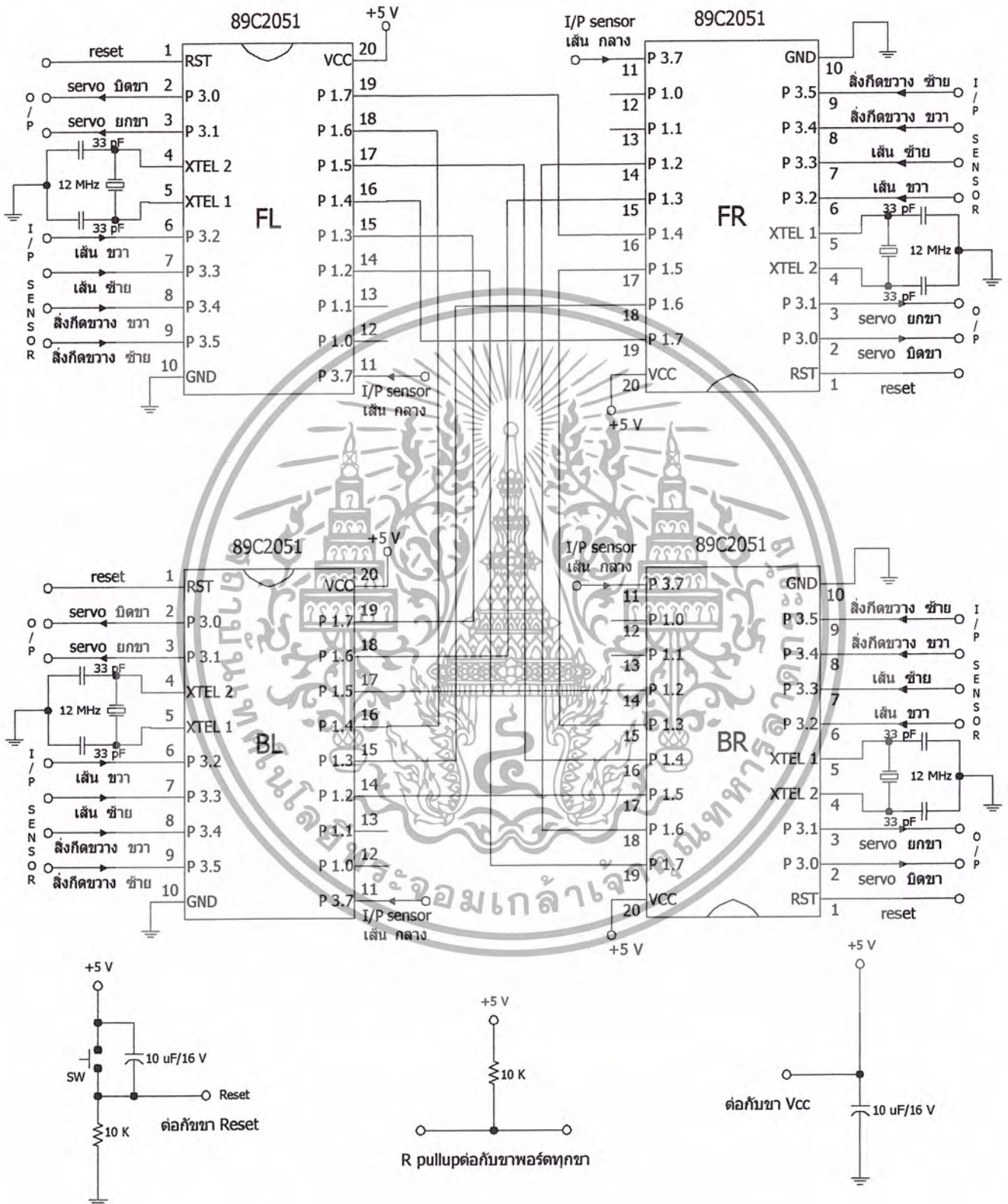
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของขาเป็นส่วนที่มีความละเอียดอ่อนที่สุด ประกอบด้วยจุดหมุน 6 จุดตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 โดยจะใส่ลูกปืนแบริ่งเพื่อลดแรงเสียดทานขณะที่หมุนที่จุดที่มีลักษณะเหมือนกันจะฝังลงไปในส่วนของแท่นยึดแกนหมุน



4.3 วงจร

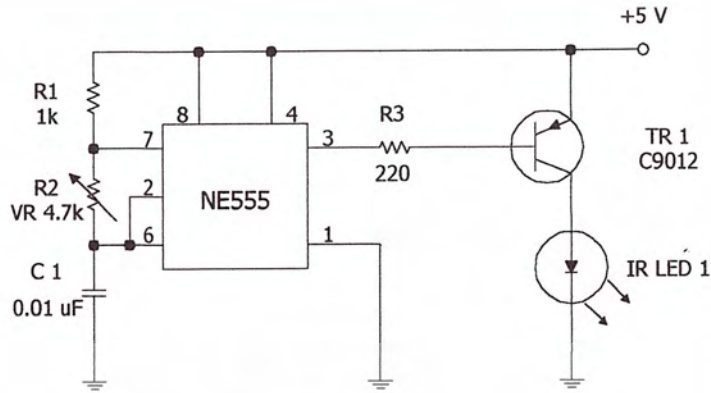
ในการควบคุมเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C52 เป็นหลักในการควบคุมโดยจะส่งสัญญาณไปควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051 ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมการทำงานของขาแต่ละขาอีกทีหนึ่ง โดยวงจรแสดงดังรูปที่ 4.6



* ทุกพอร์ทของ 89C2051 แต่ละตัวมี R 10K ต่อ PULLUP ทุกขา

รูปที่ 4.6 วงจรควบคุมการทำงานหลัก

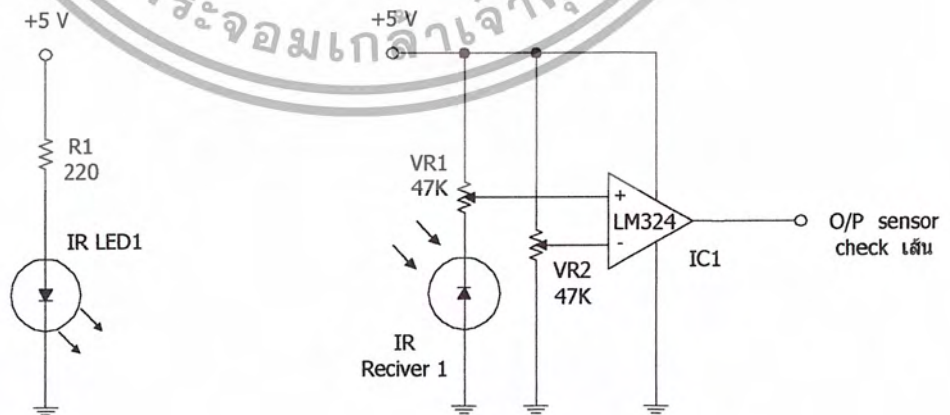
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ก. วงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิส่ง



รูปที่ 4.7 ข. วงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิรับ



รูปที่ 4.8 ก. วงจรเซนเซอร์เส้นภาคส่ง

รูปที่ 4.8 ข. วงจรเซนเซอร์เส้นภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและสรุปผล

5.1 การควบคุม

การคุมเซอร์โวมอเตอร์ทำได้โดยการป้อนพัลส์บวกที่ขนาดต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 เราได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างความถี่พัลส์เพื่อควบคุมการหมุนของเซอร์โว เพื่อให้หมุนไปในตำแหน่งที่ต้องการ และจะต้องมีการจ่ายพัลส์ตลอดเวลา เพื่อให้เซอร์โวแต่ละตัวรักษาค่าตำแหน่งของตัวเองไว้ และต้านทานแรงกตัทบจากน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์

ในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าคือการเปลี่ยนตำแหน่งของขาให้อยู่ในลักษณะที่จะหมุนกวาดในแนวนอนได้ เพื่อผลักดันตัวหุ่นยนต์ให้เคลื่อนตัว และแต่ละขาต้องอยู่ในตำแหน่งที่สมดุล เพื่อที่ไม่ให้ศูนย์ถ่วงของหุ่นหลุดออกนอกบริเวณฐาน ซึ่งจะทำให้หุ่นเสียการทรงตัวได้

5.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์พบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนตัวไปข้างหน้า เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา หลบหลีกสิ่งกีดขวาง และสามารถตรวจจับเส้นสีดำและเดินตามเส้นไปได้ จุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไข

- ระบบแมคคานิกส์ในส่วน โครงสร้างส่วนประกอบของขาหุ่นยนต์
- การควบคุมความเร็ว และการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งที่ต้องการ
- การจัดลำดับการก้าวของขา ต้องเป็นไปอย่างถูกต้องเพื่อการเดินที่ราบเรียบและเที่ยงตรง

รายละเอียดของหุ่นยนต์มีดังนี้

ตัวถัง	พลาสติกอะคริลิก
จำนวนขา	4 ขา
ข้อต่อ	น็อต, ลูกปืน
BATTERY	ถ่านอัลคาไลน์แบบ AA จำนวน 8 ก้อน
แรงดัน	+5 โวลท์
ระบบขับเคลื่อน	DC Servo S3001 จำนวน 8 ตัว
ระบบควบคุม	MCS 89C2051 จำนวน 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับ	เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ จำนวน 2 ตัว เซ็นเซอร์ตรวจจับเส้น จำนวน 3 ตัว
โหมดการทำงาน	-หลบหลีกสิ่งกีดขวาง -เดินตามเส้น
ความเร็ว	45sec/m
เคินตรง	เอียงขวา 10 องศา

5.3 ปัญหา

- ผู้จัดทำขาดความรู้ทางด้านกล จึงไม่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ได้ทั้งหมด
- การออกแบบ การเลือก และการจัดหาวัสดุที่นำมาสร้างหุ่นยนต์ใช้เวลานานเกินไป
- งานที่ออกแบบครั้งแรก ๆ มีข้อผิดพลาดเยอะ จึงต้องมีการแก้ไขบ่อยครั้ง ซึ่งเสียทั้งเงินและเวลา
- มีการเพิ่มวงจรในส่วนของเซนเซอร์และติดตั้งแบตเตอรี่ไว้ในตัวหุ่นยนต์ทำให้เซอร์โวต้องรับภาระแรงกดมากขึ้น
- วงจรเซนเซอร์วัตถุมีระยะ ในการตรวจจับแคบลงเมื่อเจอวัตถุสีดำ
- สภาพสนามที่สะท้อนแสงและสีของเส้นกับสีพื้นสนามที่มีสีใกล้เคียงกันทำให้หุ่นยนต์สับสนกับทิศทางที่จะไปได้

5.4 แนวทางแก้ไข

- การออกแบบและการเลือกวัสดุอุปกรณ์โครงหาวัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นเพื่อลดเวลาในการจัดหาอุปกรณ์ในการสร้าง
- เลื่อนจุดหมุนก้านส่งกำลังของแต่ละขาเพื่อลดภาระแรงกดให้กับเซอร์โวมอเตอร์
- ปรับแต่งความถี่ของภาคส่งให้ได้ระยะในการตรวจจับวัตถุค่าให้ได้ระยะไกลสุด
- ปรับลดความไวของเซนเซอร์เส้นเพื่อลดปัญหาการสะท้อนของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 รูป

หุ่นยนต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ 4 ขา ที่สร้างขึ้นมีลักษณะขาแบบแพนโทกราฟ ในแต่ละขาประกอบด้วยเซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว ตัวแรกทำหน้าที่ยกขาขึ้นในแนวระดับ สำหรับเซอร์โวมอเตอร์อีกตัวหนึ่ง ทำหน้าที่หมุนเพื่อการก้าวไปข้างหน้า โดยที่เซอร์โวมอเตอร์ทั้งหมดถูกสั่งการด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051 เป็นตัวควบคุมการทำงานของขาทั้ง 4 ขาซึ่งแต่ละขามีการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระต่อกันและหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นสีดำพร้อมกับหลบหลีกสิ่งกีดขวางทางด้านหน้าได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 พัลส์ควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวไปที่ตำแหน่งตรงกลาง

รูปที่ 5.2 พัลส์ควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวไปที่ตำแหน่งตรงขวาสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 พิสูจน์ของภาคส่งที่ส่งไปยังหลอดอินฟาเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



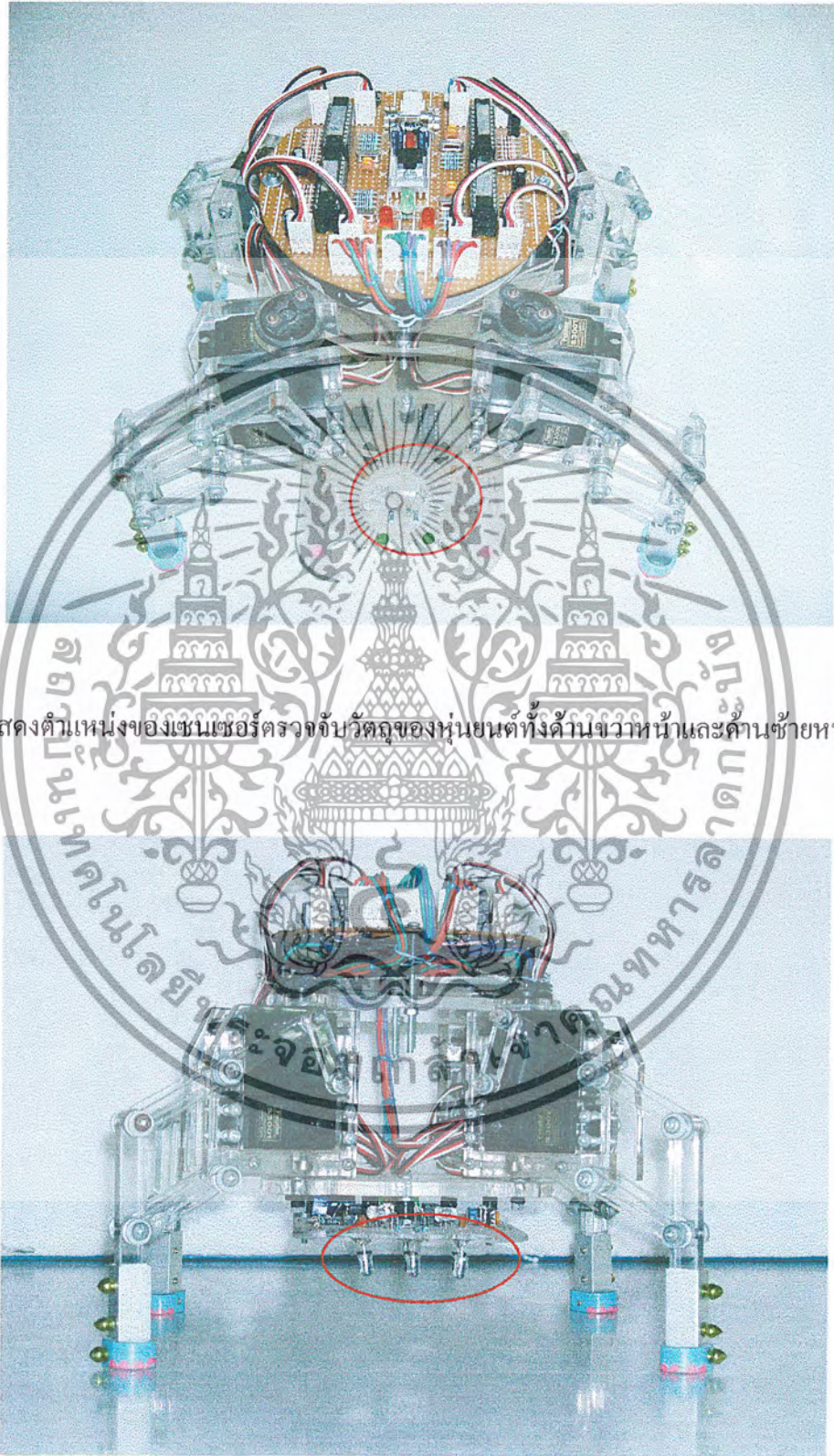
รูปที่ 5.5 เข้าพิกาศรับของวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิไม่พบวัตถุ

รูปที่ 5.6 เข้าพิกาศรับของวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิพบวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



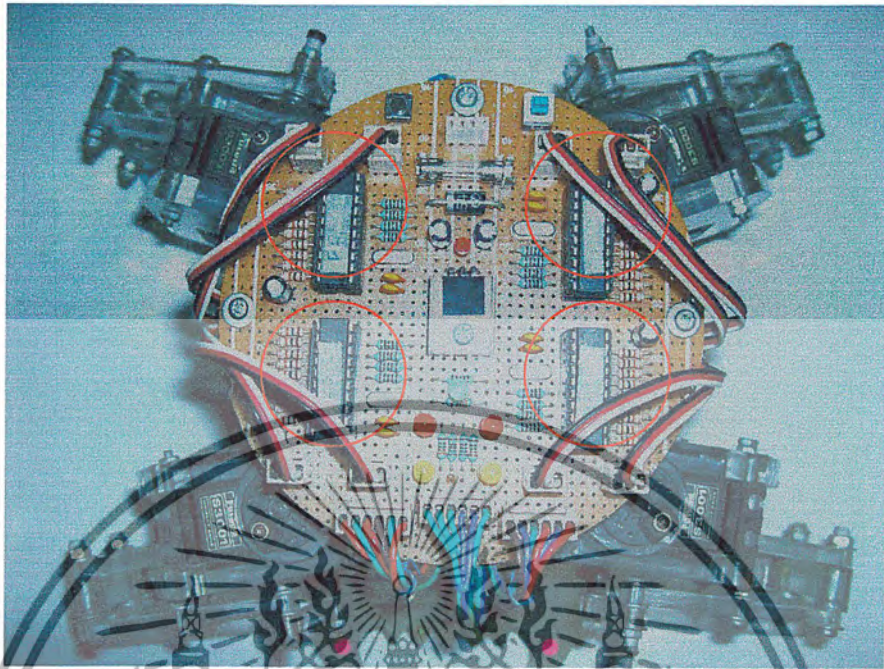
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



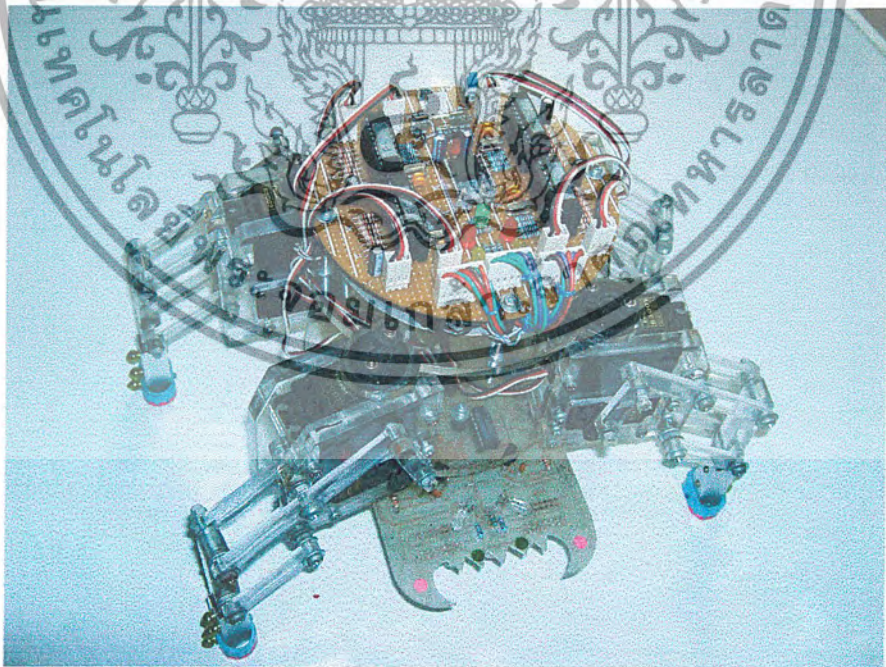
ภาพแสดงตำแหน่งของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุของหุ่นยนต์ทั้งด้านขวาหน้าและด้านซ้ายหน้า

ภาพแสดงตำแหน่งของเซนเซอร์ตรวจจับเส้นของหุ่นยนต์ (มองทางด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพแสดงตำแหน่งของ MCS-51 ทั้ง 4 ตัวและอุปกรณ์วงจรหลัก



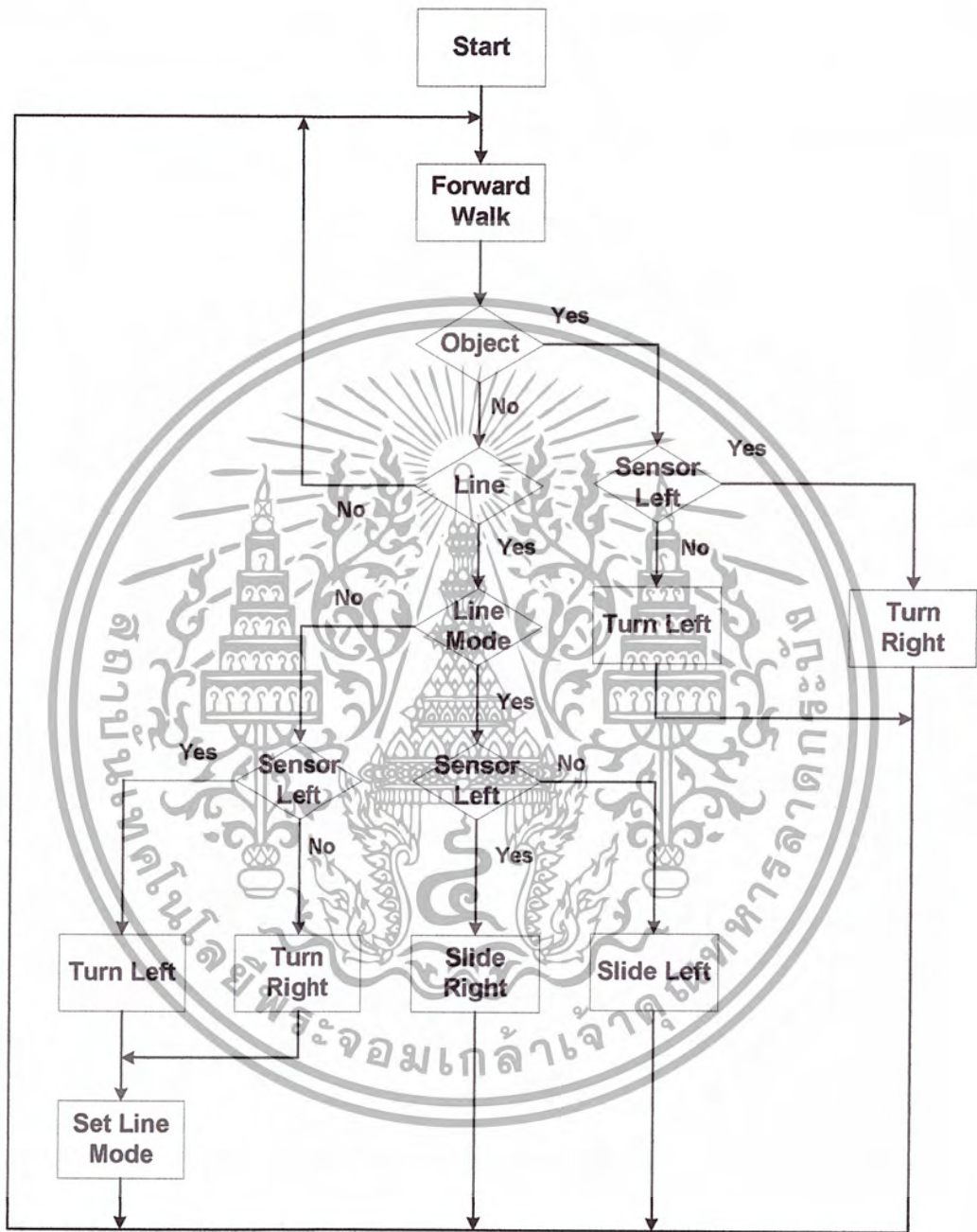
ภาพโดยรวมของหุ่นยนต์อีกมุมมองหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแบบสนามที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Main FlowChart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมขาซ้ายด้านหน้า

```
*****PROGRAM (FL)*****
ORG 0000H
MOV TMOD,#01H
MOV DPTR,#TABLE
POINT EQU 30H
ST2 BIT 00H          ;STEP 2
MSL BIT 01H         ;MEMORY SENSOR LEFT
SWM BIT 02H         ;SWITCH TO MODE LINE
CLR SWM
*****PORT 1 SENSOR*****
SR BIT P3.2         ;SENSOR RIGHT
SL BIT P3.3         ;SENSOR LEFT
SOR BIT P3.4        ;SENSOR OBJECT RIGHT
SOL BIT P3.5        ;SENSOR OBJECT LEFT
SM BIT P3.7         ;SENSOR MIDDLE
*****PORT 3 OUTPUT*****
MF BIT P3.0         ;MOVE FOWARD
MU BIT P3.1         ;MOVE UP
*****DATA LINK*****
IFR BIT P1.7        ;INPUT FR
IBL BIT P1.6        ;INPUT BL
IBR BIT P1.5        ;INPUT BR
OFR BIT P1.4        ;OUTPUT FR
OBL BIT P1.3        ;OUTPUT BL
OBR BIT P1.2        ;OUTPUT BR

MOV R2,#150
PREPARE:  ACALL CHECK
          ACALL STEP1
          DJNZ R2,PREPARE

;-----FORWARD WALK-----
FORWARD:  SETB OFR
          SETB OBL
          SETB OBR
          MOV R2,#30
FW1:     CLR ST2
          ACALL CHECK
          JB SR,FW11
          ACALL STEP1
          SJMP FW12
FW11:    ACALL STEP0
FW12:    DJNZ R2,FW1
FW2:     CLR OBR
          ACALL LEGUP
          SETB OBR
FW3:     SETB ST2
          ACALL CHECK
          ACALL STEP2
          JNB IBL,FORWARD
          SJMP FW3

;-----CHECK SENSOR-----
CHECK:    JNB SOL,P_RIGHT
          JNB SOR,P_LEFT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JB SL, MEM_L
JB SR, MEM_R
JB SM, MR1
JB SWM, LOAD_MEM
SJMP OUT
MEM_L: SETB SWM
        SETB MSL
        SJMP OUT
MEM_R: CLR MSL
MR1:   SETB SWM
OUT:   RET

```

```

LOAD_MEM: JB MSL, LOAD_LEFT
           MOV R3, #1
           SJMP PR0
LOAD_LEFT: MOV R3, #1
           SJMP PL0

```

```

;-----TURN LEFT-----
P_LEFT:  MOV R3, #3

```

```

        JNB SWM, PL0
        MOV R3, #5
        SETB MSL

```

```

PL0:    JNB ST2, LEFT
PL1:    ACALL STEP2
        JNB IBL, LEFT
        SJMP PL1

```

```

LEFT:   MOV R2, #30
L_0:    ACALL STEP1
        DJNZ R2, L_0

```

```

L_1:    CLR OBR
        ACALL LEGUP
        SETB OBR

```

```

L_2:    ACALL STEP2
        JNB IBL, L_3
        SJMP L_2

```

```

L_3:    MOV R2, #30
L_4:    ACALL STEP3
        DJNZ R2, L_4
        DJNZ R3, L_1
        LJMP FW2

```

```

;-----TURN RIGHT-----
P_RIGHT: MOV R3, #3

```

```

        JNB SWM, PR0
        MOV R3, #5
        CLR MSL

```

```

PR0:    JB ST2, RIGHT
        MOV R2, #30
PR1:    ACALL STEP1
        DJNZ R2, PR1
        CLR OBR

```

```

        ACALL LEGUP
        SETB OBR

```

```

RIGHT:  ACALL STEP2
        JNB IBL, R_1
        SJMP RIGHT

```

```

R_1:    MOV R2, #30

```

```

R_2:    ACALL STEP1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DJNZ R2,R_2
ACALL LEGUP
DJNZ R3,RIGHT
LJMP FW3
;-----SUB-----
LEGUP:  MOV R2,#25
LEG:    MOV R1,#11
        SETB MU
        ACALL DELAY
        CLR MU
        ACALL DELAY
        DJNZ R2,LEG
        RET
STEP0:  MOV POINT,#21
        SJMP STEPMU
STEP1:  MOV POINT,#0FFH
        SJMP STEPMU
STEP2:  MOV POINT,#5
        SJMP STEPMU
STEP3:  MOV POINT,#15
STEPMU: MOV R1,POINT
        SETB MU
        SETB MF
        ACALL DELAY
        CLR MU
        ACALL DELAY
        CLR MF
        ACALL DELAY
        RET
DELAY:  INC R1
        MOV A,R1
        MOVC A,@A+DPTR
        MOV TH0,A
        INC R1
        MOV A,R1
        MOVC A,@A+DPTR
        MOV TL0,A
        SETB TR0
        JNB TF0,$
        CLR TR0
        CLR TF0
        RET
TABLE:  DB 0FEH,0D4H,0FEH,70H,0D8H,0F0H ;0.3+0.4,10 ST1
        DB 0FEH,0D4H,0FDH,0A8H,0D8H,0F0H ;0.3+0.6,10 ST2
        DB 0F8H,30H,0D8H,0F0H ;2,10 LEGUP
        DB 0FEH,0D4H,0FCH,0E0H,0D8H,0F0H ;0.3+0.8,10 ST3
        DB 0FEH,0D4H,0FFH,38H,0D8H,0F0H ;0.3+0.2,10 ST0
        END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมขาทางด้านหน้า

```
*****PROGRAM (FR)*****
;
ORG 0000H
MOV TMOD,#01H
MOV DPTR,#TABLE
POINT EQU 30H
ST2 BIT 00H          ;STEP 2
MSL BIT 01H          ;MEMORY SENSOR LEFT
SWM BIT 02H          ;SWITCH TO MODE LINE
CLR SWM
;*****PORT 1 SENSOR*****
SR BIT P3.2          ;SENSOR RIGHT
SL BIT P3.3          ;SENSOR LEFT
SOR BIT P3.4          ;SENSOR OBJECT RIGHT
SOL BIT P3.5          ;SENSOR OBJECT LEFT
SM BIT P3.7          ;SENSOR MIDDLE
;*****PORT 3 OUTPUT*****
MF BIT P3.0          ;MOVE FOWARD
MU BIT P3.1          ;MOVE UP
;*****DATA LINK*****
IFL BIT P1.7          ;INPUT FR
IBL BIT P1.6          ;INPUT BL
IBR BIT P1.5          ;INPUT BR
OFL BIT P1.4          ;OUTPUT FR
OBL BIT P1.3          ;OUTPUT BL
OBR BIT P1.2          ;OUTPUT BR
;-----FOLLOW WALK-----
FORWARD:
        SETB OFL
        SETB OBL
        SETB OBR
FW1:    SETB ST2
        ACALL CHECK
        ACALL STEP2
        JNB IBR,FW2
        SJMP FW1
FW2:    MOV R2,#30
FW3:    CLR ST2
        ACALL CHECK
        JB SL,FW31
        ACALL STEP1
        SJMP FW32
FW31:   ACALL STEP0
FW32:   DJNZ R2,FW3
FW4:    CLR OBL
        ACALL LEGUP
        SJMP FORWARD
;-----CHECK SENSOR-----
CHECK:  JNB SOL,P_RIGHT
        JNB SOR,P_LEFT
        JB SL,MEM_L
        JB SR,MEM_R
        JB SM,MR1
        JB SWM,LOAD_MEM
        SJMP OUT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MEM_L:      SETB SWM
            SETB MSL
            SJMP OUT
MEM_R:      CLR MSL
MR1:       SETB SWM
OUT:        RET
LOAD_MEM:   JB MSL,LOAD_LEFT
            MOV R3,#1
            SJMP PR0
LOAD_LEFT:  MOV R3,#1
            SJMP PL0
;-----TURN RIGHT-----
P_RIGHT:    MOV R3,#3
            JNB SWM,PR0
            MOV R3,#5
            CLR MSL
PR0:        JNB ST2,RIGHT
PR1:        ACALL STEP2
            JNB IBR,RIGHT
            SJMP PR1
RIGHT:      MOV R2,#30
R_0:        ACALL STEP1
            DJNZ R2,R_0
R_1:        CLR OBL
            ACALL LEGUP
            SETB OBL
R_2:        ACALL STEP2
            JNB IBR,R_3
            SJMP R_2
R_3:        MOV R2,#30
R_4:        ACALL STEP3
            DJNZ R2,R_4
            DJNZ R3,R_1
            LJMP FW4
;-----TURN LEFT-----
P_LEFT:     MOV R3,#3
            JNB SWM,PL0
            MOV R3,#5
            SETB MSL
PL0:        JB ST2,LEFT
            MOV R2,#30
PL1:        ACALL STEP1
            DJNZ R2,PL1
            CLR OBL
            ACALL LEGUP
            SETB OBL
LEFT:       ACALL STEP2
            JNB IBR,L_1
            SJMP LEFT
L_1:        MOV R2,#30
L_2:        ACALL STEP1
            DJNZ R2,L_2
            ACALL LEGUP
            DJNZ R3,LEFT
            LJMP FW1
;-----SUB-----
LEGUP:      MOV R2,#25

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

L1:      MOV R1,#11
         SETB MU
         ACALL DELAY
         CLR MU
         ACALL DELAY
         DJNZ R2,L1
         RET

STEP0:   MOV POINT,#21
         SJMP STEPMF

STEP1:   MOV POINT,#0FFH
         SJMP STEPMF

STEP2:   MOV POINT,#5
         SJMP STEPMF

STEP3:   MOV POINT,#15
STEPMF:  MOV R1,POINT
         SETB MU
         SETB MF
         ACALL DELAY
         CLR MF
         ACALL DELAY
         CLR MU
         ACALL DELAY
         RET

DELAY:   INC R1
         MOV A,R1
         MOVC A,@A+DPTR
         MOV TH0,A
         INC R1
         MOV A,R1
         MOVC A,@A+DPTR
         MOV TL0,A
         SETB TR0
         JNB TF0,S
         CLR TR0
         CLR TF0
         RET

TABLE:  DB 0F8H,0F8H,0FEH,0D4H,0D8H,0F0H ;1.8+0.3,10 ST1
         DB 0F9H,0C0H,0FEH,0CH,0D8H,0F0H ;1.6+0.5,10 ST2
         DB 0FEH,0D4H,0D8H,0F0H ;0.3,10 LEGUP
         DB 0FAH,88H,0FDH,44H,0D8H,0F0H ;1.4+0.7,10 ST3
         DB 0F8H,30H,0FFH,9CH,0D8H,0F0H ;2+0.1,10 ST0
         END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมขาซ้ายด้านหลัง

```
*****PROGRAM(BL)*****
ORG 0000H
MOV TMOD,#01H
MOV DPTR,#TABLE
POINT EQU 30H
ST2 BIT 00H           ;STEP 2
MSL BIT 01H          ;MEMORY SENSOR LEFT
SWM BIT 02H          ;SWITCH TO MODE LINE
CLR SWM
*****PORT 1 SENSOR*****
SR BIT P3.2           ;SENSOR RIGHT
SL BIT P3.3           ;SENSOR LEFT
SOR BIT P3.4          ;SENSOR OBJECT RIGHT
SOL BIT P3.5          ;SENSOR OBJECT LEFT
SM BIT P3.7           ;SENSOR MIDDLE
*****PORT 3 OUTPUT*****
MF BIT P3.0           ;MOVE FOWARD
MU BIT P3.1           ;MOVE UP
*****DATA LINK*****
IFL BIT P1.7          ;INPUT FR
IFR BIT P1.6          ;INPUT BL
IBR BIT P1.5          ;INPUT BR
OFL BIT P1.4          ;OUTPUT FR
OFR BIT P1.3          ;OUTPUT BL
OBR BIT P1.2          ;OUTPUT BR
;-----FOLLOW WALK-----
FORWARD: SETB OFL
          SETB OFR
          SETB OBR
FW1:     SETB ST2
          ACALL CHECK
          ACALL STEP2
          JNB IBR,FW2
          SJMP FW1
FW2:     CLR ST2
          ACALL CHECK
          JB SR,FW21
          ACALL STEP1
          SJMP FW22
FW21:    ACALL STEP0
FW22:    JNB IFR,FW3
          SJMP FW2
FW3:     ACALL LEGUP
          CLR OFL
          CLR OBR
          ACALL STEP2
          SJMP FORWARD
;-----CHECK SENSOR-----
CHECK:   JNB SOL,P_RIGHT
          JNB SOR,P_LEFT
          JB SL,MEM_L
          JB SR,MEM_R
          JB SM,MR1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MEM_L:      JB SWM,LOAD_MEM
            SJMP OUT
            SETB SWM
            SETB MSL
            SJMP OUT
MEM_R:      CLR MSL
MR1:       SETB SWM
OUT:       RET
LOAD_MEM:  JB MSL,LOAD_LEFT
            MOV R3,#1
            SJMP PR0
LOAD_LEFT: MOV R3,#1
            SJMP PL0
;-----TURN RIGHT-----
P_RIGHT:   MOV R3,#3
            JNB SWM,PR0
            MOV R3,#5
            CLR MSL
PR0:       JNB ST2,RIGHT
PR1:       ACALL STEP2
            JNB IBR,RIGHT
            SJMP PR1
RIGHT:     ACALL STEP1
            JNB IFR,R_1
            SJMP RIGHT
R_1:      ACALL LEGUP
            CLR OFL
            CLR OBR
            ACALL STEP2
            SETB OFL
            SETB OBR
R_2:      ACALL STEP2
            JNB IBR,R_3
            SJMP R_2
R_3:      DJNZ R3,RIGHT
            SJMP FW2
;-----TURN LEFT-----
P_LEFT:    MOV R3,#3
            JNB SWM,PL0
            MOV R3,#5
            SETB MSL
PL0:      JB ST2,LEFT
PL1:      ACALL STEP1
            JNB IFR,PL2
            SJMP PL1
PL2:      ACALL LEGUP
            CLR OFL
            CLR OBR
            ACALL STEP2
            ACALL STEP2
            SETB OFL
            SETB OBR
LEFT:     ACALL STEP2
            JNB IBR,L_1
            SJMP LEFT
L_1:     MOV R2,#30
L_2:     ACALL STEP3

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DJNZ R2,L_2
ACALL LEGUP
CLR OFL
CLR OBR
ACALL STEP2
SETB OFL
SETB OBR
DJNZ R3,LEFT
LJMP FW1
;-----SUB-----
LEGUP:  MOV R2,#25
LEG:    MOV R1,#11
        SETB MU
        ACALL DELAY
        CLR MU
        ACALL DELAY
        DJNZ R2,LEG
        RET
STEP0:  MOV POINT,#21
        SJMP STEPMF
STEP1:  MOV POINT,#0FFH
        SJMP STEPMF
STEP2:  MOV POINT,#5
        SJMP STEPMF
STEP3:  MOV POINT,#15
STEPMF: MOV R1,POINT
        SETB MU
        SETB MF
        ACALL DELAY
        CLR MF
        ACALL DELAY
        CLR MU
        ACALL DELAY
        RET
DELAY:  INC R1
        MOV A,R1
        MOVC A,@A+DPTR
        MOV TH0,A
        INC R1
        MOV A,R1
        MOVC A,@A+DPTR
        MOV TL0,A
        SETB TR0
        JNB TF0,S
        CLR TR0
        CLR TF0
        RET
TABLE:  DB 0FAH,88H,0FCH,0E0H,0D8H,0F0H ;1.4+0.8,10 ST1
        DB 0F9H,0C0H,0FDH,0A8H,0D8H,0F0H ;1.6+0.6,10 ST2
        DB 0FEH,0D4H,0D8H,0F0H ;0.3,10 LEGUP
        DB 0F8H,94H,0FEH,0D4H,0D8H,0F0H ;1.9+0.3,10 ST3
        DB 0FBH,0B4H,0FBH,0B4H,0D8H,0F0H ;1.1+1.1,10 ST0
        END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมขาซ้ายด้านหน้า

```
*****PROGRAM (BR)*****
ORG 0000H
MOV TMOD,#01H
MOV DPTR,#TABLE
POINT EQU 30H
ST2 BIT 00H          ;STEP 2
MSL BIT 01H         ;MEMORY SENSOR LEFT
SWM BIT 02H         ;SWITCH TO MODE LINE
CLR SWM
*****PORT 1 SENSOR*****
SR BIT P3.2         ;SENSOR RIGHT
SL BIT P3.3         ;SENSOR LEFT
SOR BIT P3.4        ;SENSOR OBJECT RIGHT
SOL BIT P3.5        ;SENSOR OBJECT LEFT
SM BIT P3.7         ;SENSOR MIDDLE
*****PORT 3 OUTPUT*****
MF BIT P3.0         ;MOVE FOWARD
MU BIT P3.1         ;MOVE UP
*****DATA LINK*****
IFL BIT P1.7        ;INPUT FR
IFR BIT P1.6        ;INPUT BL
IBL BIT P1.5        ;INPUT BR
OFL BIT P1.4        ;OUTPUT FR
OFR BIT P1.3        ;OUTPUT BL
OBL BIT P1.2        ;OUTPUT BR
;-----FOLLOW WALK-----
FORWARD: SETB OFL
          SETB OFR
          SETB OBL
FW1:     CLR ST2
          ACALL CHECK
          JB SL,FW11
          ACALL STEP1
          SJMP FW12
FW11:    ACALL STEP0
FW12:    JNB IFL,FW2
          SJMP FW1
FW2:     ACALL LEGUP
          CLR OFR
          CLR OBL
          ACALL STEP2
          SETB OFR
          SETB OBL
FW3:    SETB ST2
          ACALL CHECK
          ACALL STEP2
          JNB IBL,FORWARD
          SJMP FW3
;-----CHECK SENSOR-----
CHECK:   JNB SOL,P_RIGHT
          JNB SOR,P_LEFT
          JB SL,MEM_L
          JB SR,MEM_R
          JB SM,MRJ
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                JB SWM,LOAD_MEM
                SJMP OUT
MEM_L:         SETB SWM
                SETB MSL
                SJMP OUT
MEM_R:         CLR MSL
MR1:          SETB SWM
OUT:          RET
LOAD_MEM:     JB MSL,LOAD_LEFT
                MOV R3,#1
                SJMP PR0
LOAD_LEFT:    MOV R3,#1
                SJMP PL0
;-----TURN LEFT-----
P_LEFT:       MOV R3,#3
                JNB SWM,PL0
                MOV R3,#5
                SETB MSL
PL0:          JNB ST2,LEFT
PL1:          ACALL STEP2
                JNB IBL,LEFT
                SJMP PL1
LEFT:         ACALL STEP1
                JNB IFL,L_1
                SJMP LEFT
L_1:          ACALL LEGUP
                CLR OFR
                CLR OBL
                ACALL STEP2
                ACALL STEP2
                SETB OFR
                SETB OBL
L_2:          ACALL STEP2
                JNB IBL,L_3
                SJMP L_2
L_3:          DJNZ R3,LEFT
                LJMP FW1
;-----TURN RIGHT-----
P_RIGHT:      MOV R3,#3
                JNB SWM,PR0
                MOV R3,#5
                CLR MSL
PR0:          JB ST2,RIGHT
PR1:          ACALL STEP1
                JNB IFL,PR2
                SJMP PR1
PR2:          ACALL LEGUP
                CLR OFR
                CLR OBL
                ACALL STEP2
                ACALL STEP2
                SETB OFR
                SETB OBL
RIGHT:        ACALL STEP2
                JNB IBL,R_1
                SJMP RIGHT
R_1:          MOV R2,#30

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

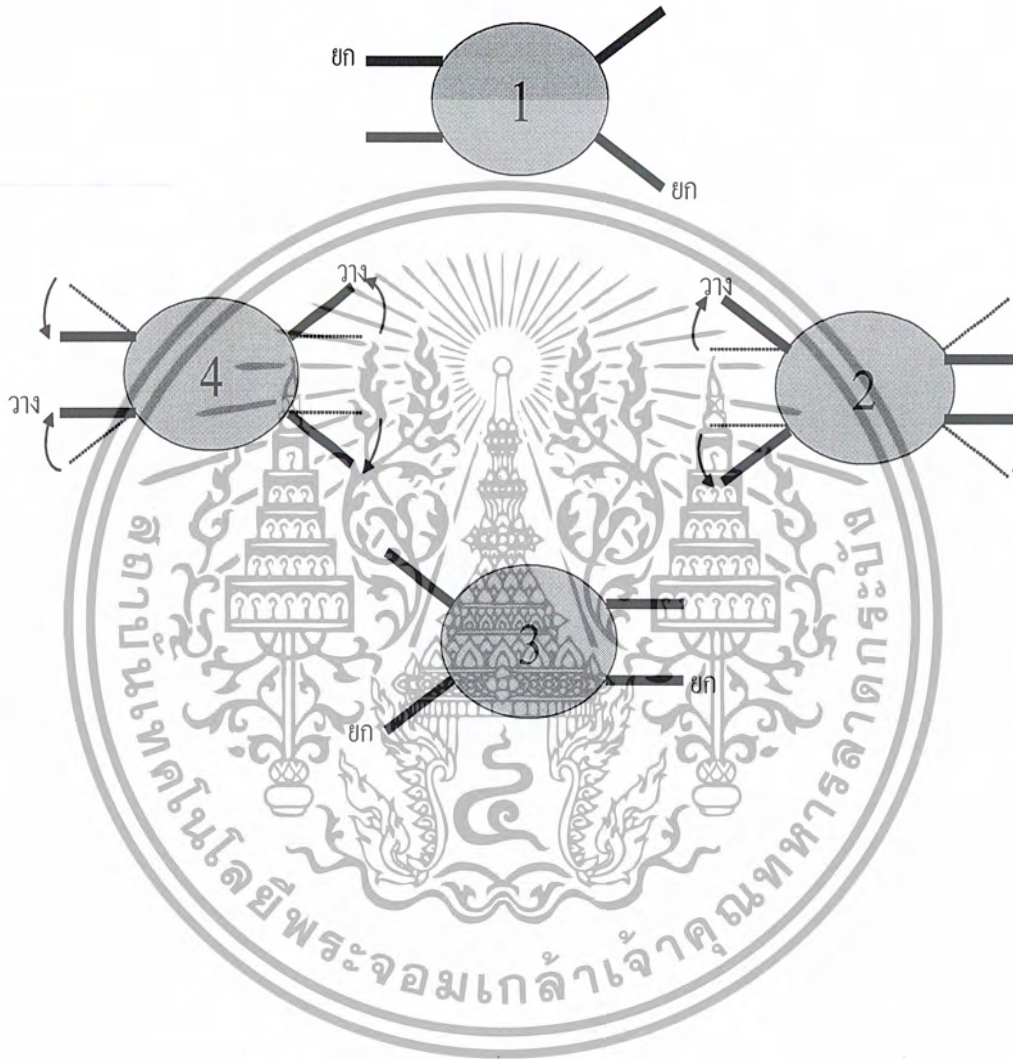
R_2:      ACALL STEP3
          DJNZ R2,R_2
          ACALL LEGUP
          CLR OFR
          CLR OBL
          ACALL STEP2
          ACALL STEP2
          SETB OFR
          SETB OBL
          DJNZ R3,RIGHT
          LJMP FW3

;-----SUB-----
LEGUP:    MOV R2,#25
LEG:      MOV R1,#11
          SETB MU
          ACALL DELAY
          CLR MU
          ACALL DELAY
          DJNZ R2,LEG
          RET
STEP0:    MOV POINT,#21
          SJMP STEPMU
STEP1:    MOV POINT,#0FFH
          SJMP STEPMU
STEP2:    MOV POINT,#5
          SJMP STEPMU
STEP3:    MOV POINT,#15
STEPMU:   MOV R1,POINT
          SETB MU
          SETB MF
          ACALL DELAY
          CLR MU
          ACALL DELAY
          CLR MF
          ACALL DELAY
          RET
DELAY:    INC R1
          MOV A,R1
          MOVC A,@A+DPTR
          MOV TH0,A
          INC R1
          MOV A,R1
          MOVC A,@A+DPTR
          MOV TL0,A
          SETB TR0
          JNB TF0,$
          CLR TR0
          CLR TF0
          RET
TABLE:    DB 0FEH,0D4H,0FCH,7CH,0D8H,0F0H      ;0.3+0.9,10   ST1
          DB 0FEH,0D4H,0FDH,0A8H,0D8H,0F0H    ;0.3+0.6,10   ST2
          DB 0F8H,30H,0D8H,0F0H                ;2,10         LEGUP
          DB 0FEH,0D4H,0FEH,0D4H,0D8H,0F0H    ;0.3+0.3,10   ST3
          DB 0FEH,0D4H,0FBH,0B4H,0D8H,0F0H    ;0.3+1.1,10   ST0
          END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Forward Walk



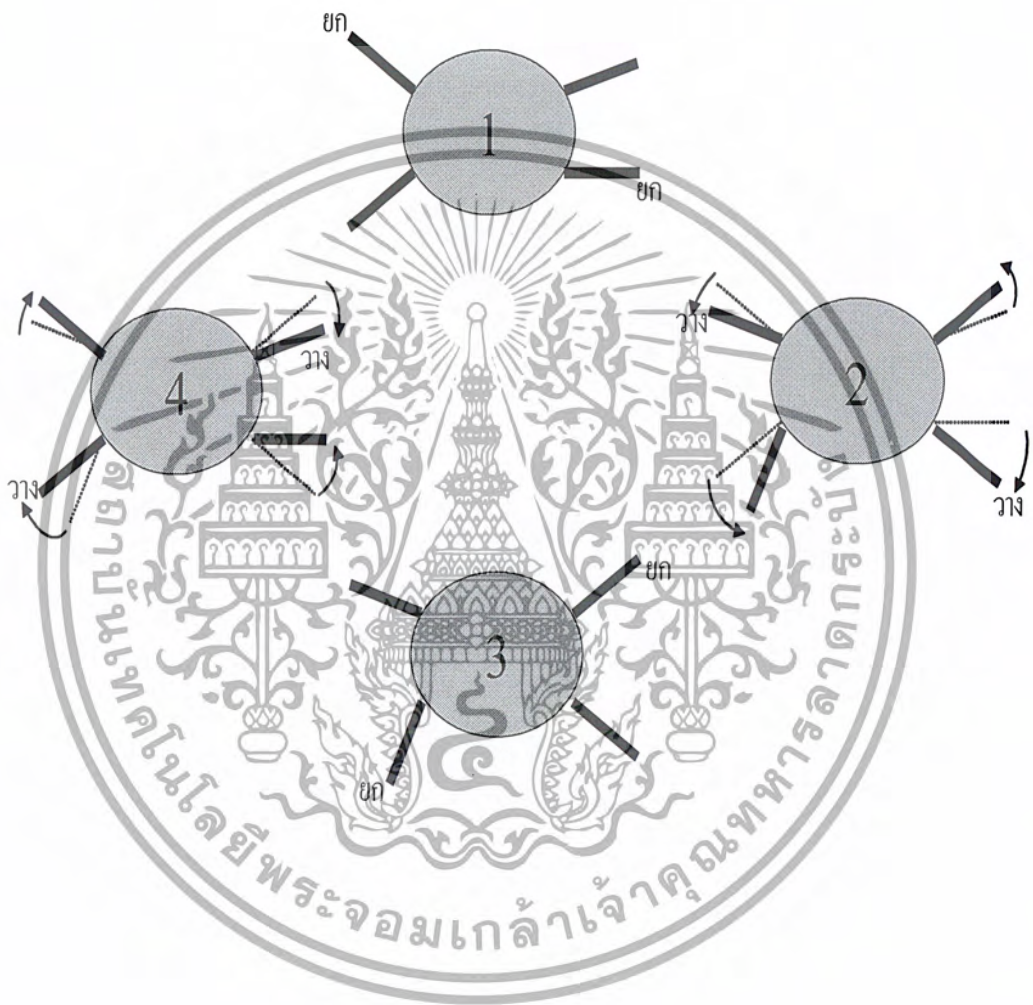
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Turn Left



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Turn Right



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

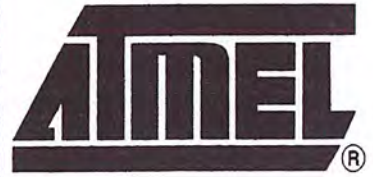
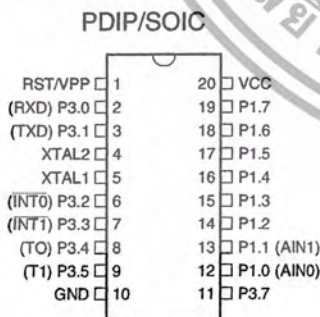
- Compatible with MCS-51™ Products
- 2K Bytes of Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2.7V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial UART Channel
- Direct LED Drive Outputs
- On-chip Analog Comparator
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

The AT89C2051 is a low-voltage, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 2K bytes of Flash programmable and erasable read-only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C2051 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89C2051 provides the following standard features: 2K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 15 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, a precision analog comparator, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C2051 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Configuration



8-bit Microcontroller with 2K Bytes Flash

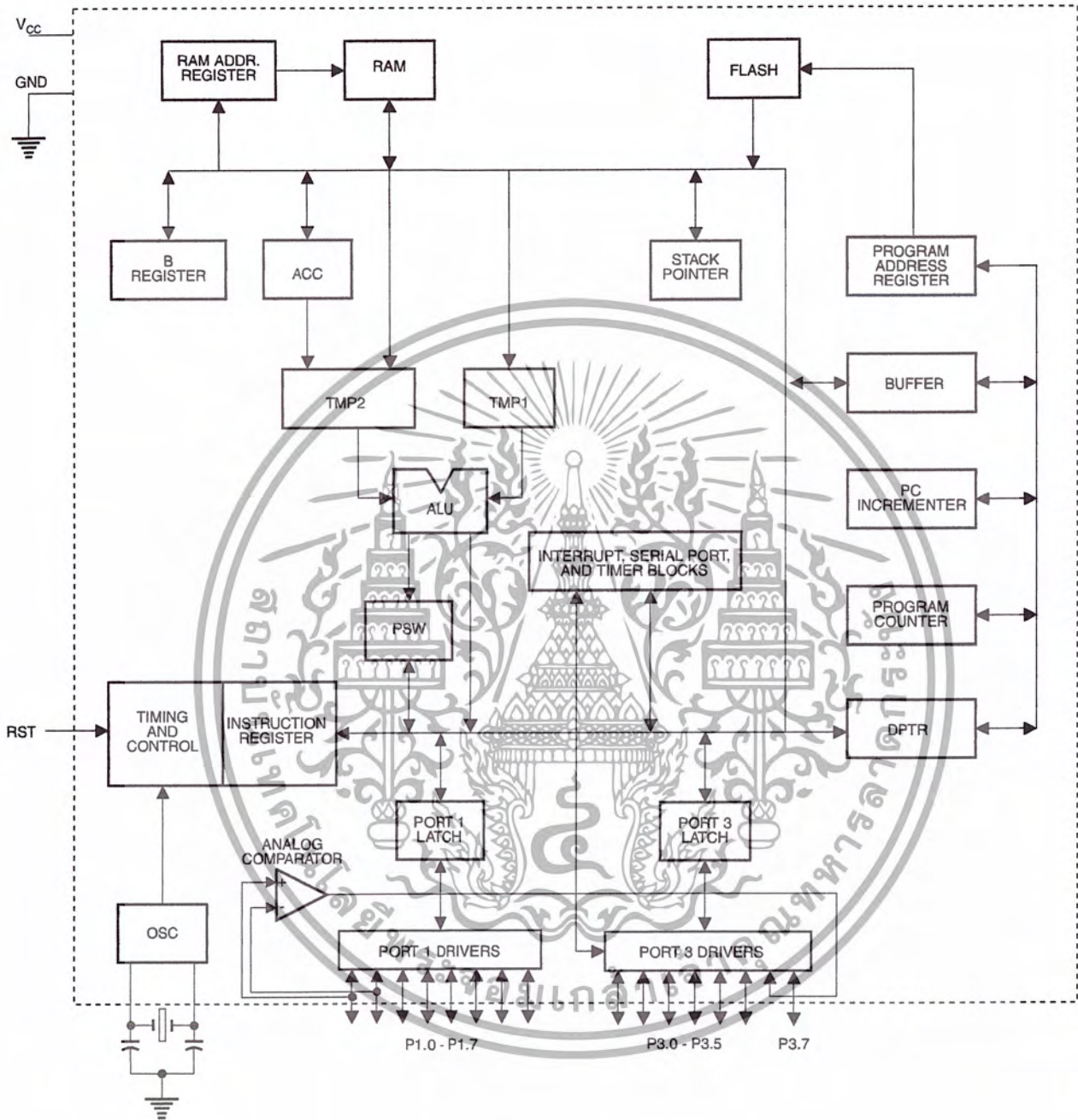
AT89C2051

Rev. 0368E-02/00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port. Port pins P1.2 to P1.7 provide internal pullups. P1.0 and P1.1 require external pullups. P1.0 and P1.1 also serve as the positive input (AIN0) and the negative input (AIN1), respectively, of the on-chip precision analog comparator. The Port 1 output buffers can sink 20 mA and can drive LED displays directly. When 1s are written to Port 1 pins, they can be used as inputs. When pins P1.2 to P1.7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives code data during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 pins P3.0 to P3.5, P3.7 are seven bi-directional I/O pins with internal pullups. P3.6 is hard-wired as an input to the output of the on-chip comparator and is not accessible as a general purpose I/O pin. The Port 3 output buffers can sink 20 mA. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C2051 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)

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

RST

Reset input. All I/O pins are reset to 1s as soon as RST goes high. Holding the RST pin high for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

Each machine cycle takes 12 oscillator or clock cycles.

XTAL1

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

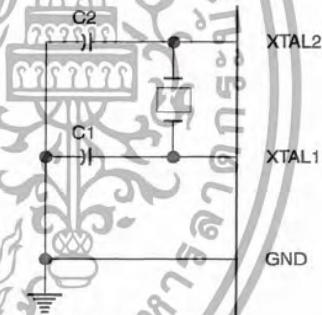
XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

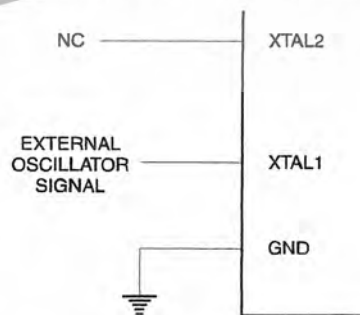
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected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

Figure 1. Oscillator Connections



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

Figure 2. External Clock Drive Configuration



Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in the table below.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return

random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Table 1. AT89C2051 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H								0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP XXX00000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0XX00000							0AFH
0A0H								0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H		SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 0XXX0000	87H

Restrictions on Certain Instructions

The AT89C2051 is an economical and cost-effective member of Atmel's growing family of microcontrollers. It contains 2K bytes of flash program memory. It is fully compatible with the MCS-51 architecture, and can be programmed using the MCS-51 instruction set. However, there are a few considerations one must keep in mind when utilizing certain instructions to program this device.

All the instructions related to jumping or branching should be restricted such that the destination address falls within the physical program memory space of the device, which is 2K for the AT89C2051. This should be the responsibility of the software programmer. For example, LJMP 7E0H would be a valid instruction for the AT89C2051 (with 2K of memory), whereas LJMP 900H would not.

1. Branching instructions:

LCALL, LJMP, ACALL, AJMP, SJMP, JMP @A+DPTR

These unconditional branching instructions will execute correctly as long as the programmer keeps in mind that the destination branching address must fall within the physical boundaries of the program memory size (locations 00H to 7FFH for the 89C2051). Violating the physical space limits may cause unknown program behavior.

CJNE [...], DJNZ [...], JB, JNB, JC, JNC, JBC, JZ, JNZ With these conditional branching instructions the same rule above applies. Again, violating the memory boundaries may cause erratic execution.

For applications involving interrupts the normal interrupt service routine address locations of the 80C51 family architecture have been preserved.

2. MOVX-related instructions, Data Memory:

The AT89C2051 contains 128 bytes of internal data memory. Thus, in the AT89C2051 the stack depth is limited to 128 bytes, the amount of available RAM. External DATA memory access is not supported in this device, nor is external PROGRAM memory execution. Therefore, no MOVX [...] instructions should be included in the program.

A typical 80C51 assembler will still assemble instructions, even if they are written in violation of the restrictions mentioned above. It is the responsibility of the controller user to know the physical features and limitations of the device being used and adjust the instructions used correspondingly.

Program Memory Lock Bits

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

Lock Bit Protection Modes⁽¹⁾

Program Lock Bits			Protection Type
	LB1	LB2	
1	U	U	No program lock features.
2	P	U	Further programming of the Flash is disabled.
3	P	P	Same as mode 2, also verify is disabled.

Note: 1. The Lock Bits can only be erased with the Chip Erase operation.

Idle Mode

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

P1.0 and P1.1 should be set to "0" if no external pullups are used, or set to "1" if external pullups are used.

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

Power-down Mode

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

P1.0 and P1.1 should be set to "0" if no external pullups are used, or set to "1" if external pullups are used.



Programming The Flash

The AT89C2051 is shipped with the 2K bytes of on-chip PEROM code memory array in the erased state (i.e., contents = FFH) and ready to be programmed. The code memory array is programmed one byte at a time. *Once the array is programmed, to re-program any non-blank byte, the entire memory array needs to be erased electrically.*

Internal Address Counter: The AT89C2051 contains an internal PEROM address counter which is always reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by applying a positive going pulse to pin XTAL1.

Programming Algorithm: To program the AT89C2051, the following sequence is recommended.

1. Power-up sequence:
Apply power between V_{CC} and GND pins
Set RST and XTAL1 to GND
2. Set pin RST to "H"
Set pin P3.2 to "H"
3. Apply the appropriate combination of "H" or "L" logic levels to pins P3.3, P3.4, P3.5, P3.7 to select one of the programming operations shown in the PEROM Programming Modes table.

To Program and Verify the Array:

4. Apply data for Code byte at location 000H to P1.0 to P1.7.
5. Raise RST to 12V to enable programming.
6. Pulse P3.2 once to program a byte in the PEROM array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes 1.2 ms.
7. To verify the programmed data, lower RST from 12V to logic "H" level and set pins P3.3 to P3.7 to the appropriate levels. Output data can be read at the port P1 pins.
8. To program a byte at the next address location, pulse XTAL1 pin once to advance the internal address counter. Apply new data to the port P1 pins.
9. Repeat steps 5 through 8, changing data and advancing the address counter for the entire 2K bytes array or until the end of the object file is reached.
10. Power-off sequence:
set XTAL1 to "L"
set RST to "L"
Turn V_{CC} power off

Data Polling: The AT89C2051 features $\overline{\text{Data}}$ Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on P1.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and

the next cycle may begin. $\overline{\text{Data}}$ Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The Progress of byte programming can also be monitored by the RDY/ $\overline{\text{BSY}}$ output signal. Pin P3.1 is pulled low after P3.2 goes High during programming to indicate BUSY. P3.1 is pulled High again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed code data can be read back via the data lines for verification:

1. Reset the internal address counter to 000H by bringing RST from "L" to "H".
2. Apply the appropriate control signals for Read Code data and read the output data at the port P1 pins.
3. Pulse pin XTAL1 once to advance the internal address counter.
4. Read the next code data byte at the port P1 pins.
5. Repeat steps 3 and 4 until the entire array is read.

The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire PEROM array (2K bytes) and the two Lock Bits are erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding P3.2 low for 10 ms. The code array is written with all "1"s in the Chip Erase operation and must be executed before any non-blank memory byte can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 000H, 001H, and 002H, except that P3.5 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

- (000H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (001H) = 21H indicates 89C2051

Programming Interface

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

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

Flash Programming Modes

Mode		RST/VPP	P3.2/ $\overline{\text{PROG}}$	P3.3	P3.4	P3.5	P3.7
Write Code Data ⁽¹⁾⁽³⁾		12V		L	H	H	H
Read Code Data ⁽¹⁾		H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	12V		H	H	H	H
	Bit - 2	12V		H	H	L	L
Chip Erase		12V		H	L	L	L
Read Signature Byte		H	H	L	L	L	L

- Notes:
1. The internal PEROM address counter is reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by a positive pulse at XTAL 1 pin.
 2. Chip Erase requires a 10 ms $\overline{\text{PROG}}$ pulse.
 3. P3.1 is pulled Low during programming to indicate RDY/BSY.

Figure 3. Programming the Flash Memory

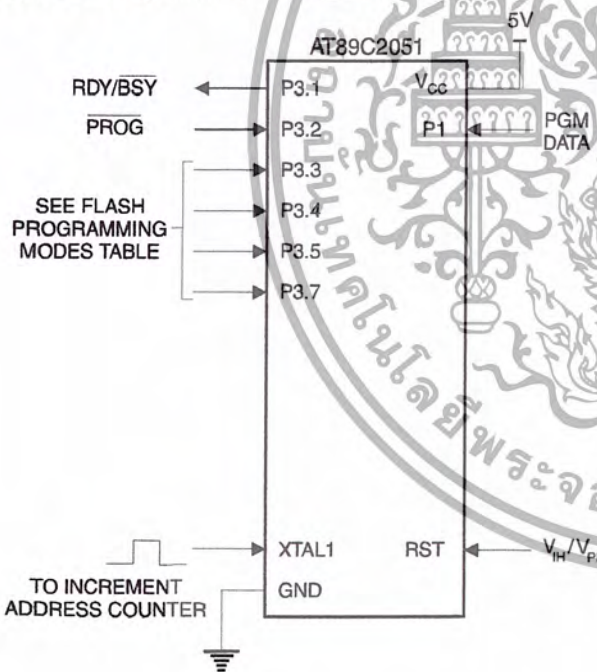
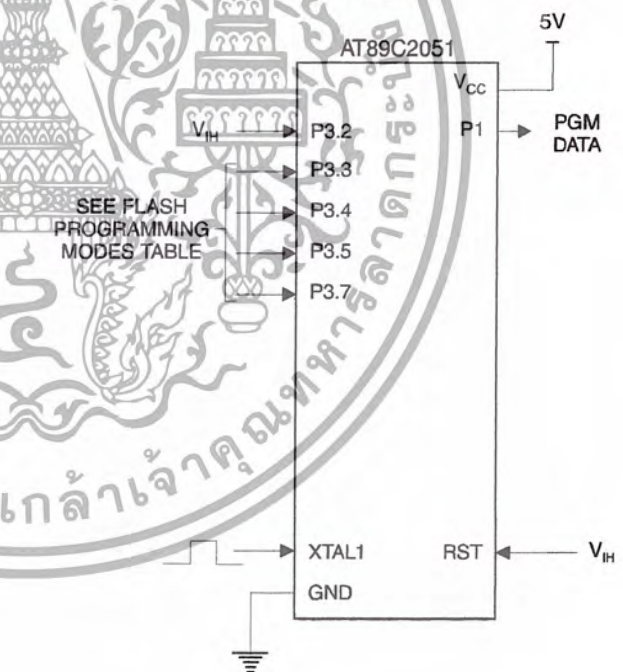


Figure 4. Verifying the Flash Memory



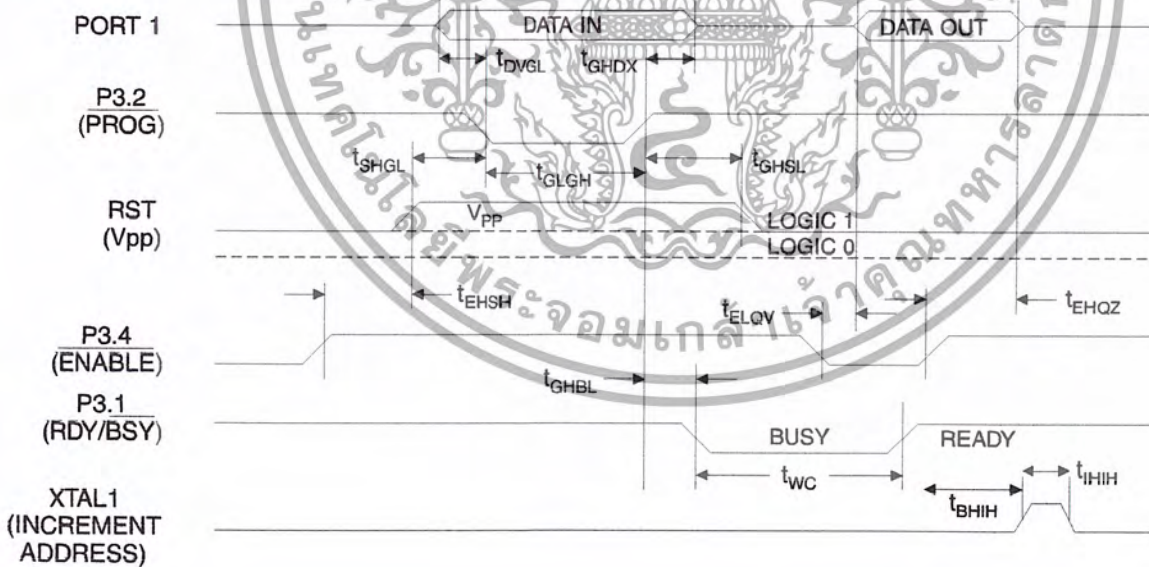
Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C , $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V_{PP}	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I_{PP}	Programming Enable Current		250	μA
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	1.0		μs
t_{GHDX}	Data Hold after $\overline{\text{PROG}}$	1.0		μs
t_{EHS}	P3.4 ($\overline{\text{ENABLE}}$) High to V_{PP}	1.0		μs
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t_{GHSL}	V_{PP} Hold after $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t_{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t_{ELQV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		1.0	μs
t_{EHQZ}	Data Float after $\overline{\text{ENABLE}}$	0	1.0	μs
t_{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		50	ns
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms
t_{BHIH}	$\text{RDY}/\overline{\text{BSY}}$ to Increment Clock Delay	1.0		μs
t_{HIL}	Increment Clock High	200		ns

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

Flash Programming and Verification Waveforms



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage	6.6V
DC Output Current.....	25.0 mA

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

DC Characteristics

T_A = -40°C to 85°C, V_{CC} = 2.0V to 6.0V (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V _{IL}	Input Low-voltage		-0.5	0.2 V _{CC} - 0.1	V
V _{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	0.2 V _{CC} + 0.9	V _{CC} + 0.5	V
V _{IH1}	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V
V _{OL}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Ports 1, 3)	I _{OL} = 20 mA, V _{CC} = 5V I _{OL} = 10 mA, V _{CC} = 2.7V		0.5	V
V _{OH}	Output High-voltage (Ports 1, 3)	I _{OH} = -80 μA, V _{CC} = 5V ± 10%	2.4		V
		I _{OH} = -30 μA	0.75 V _{CC}		V
		I _{OH} = -12 μA	0.9 V _{CC}		V
I _{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1, 3)	V _{IN} = 0.45V		-50	μA
I _{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 3)	V _{IN} = 2V, V _{CC} = 5V ± 10%		-750	μA
I _{LI}	Input Leakage Current (Port P1.0, P1.1)	0 < V _{IN} < V _{CC}		±10	μA
V _{OS}	Comparator Input Offset Voltage	V _{CC} = 5V		20	mV
V _{CM}	Comparator Input Common Mode Voltage		0	V _{CC}	V
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	KΩ
C _{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, T _A = 25°C		10	pF
I _{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz, V _{CC} = 6V/3V		15/5.5	mA
		Idle Mode, 12 MHz, V _{CC} = 6V/3V P1.0 & P1.1 = 0V or V _{CC}		5/1	mA
	Power-down Mode ⁽²⁾	V _{CC} = 6V P1.0 & P1.1 = 0V or V _{CC}		100	μA
		V _{CC} = 3V P1.0 & P1.1 = 0V or V _{CC}		20	μA

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:

Maximum I_{OL} per port pin: 20 mA

Maximum total I_{OL} for all output pins: 80 mA

If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.



LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

Single Supply Quad Operational Amplifiers

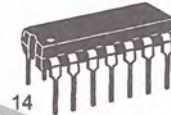
The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

- Short Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V (LM224, LM324, LM324A)
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation
- Pb-Free Package May be Available.* The G-Suffix Denotes a Pb-Free Lead Finish



ON Semiconductor®

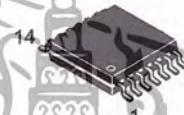
<http://onsemi.com>



PDIP-14
N SUFFIX
CASE 646

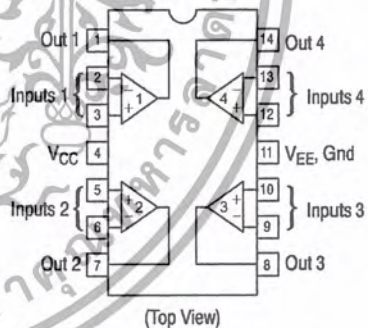


SO-14
D SUFFIX
CASE 751A



TSSOP-14
DTB SUFFIX
CASE 948G

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 9 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 10 of this data sheet.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	LM224 LM324, LM324A	LM2902, LM2902V	Unit
Power Supply Voltages				Vdc
Single Supply	V _{CC}	32	26	
Split Supplies	V _{CC} , V _{EE}	±16	±13	
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V _{IDR}	±32	±26	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V _{ICR}	-0.3 to 32	-0.3 to 26	Vdc
Output Short Circuit Duration	t _{SC}	Continuous		
Junction Temperature	T _J	150		°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150		°C
ESD Protection at any Pin	V _{esd}	2000		V
Human Body Model		200		
Machine Model				
Operating Ambient Temperature Range	T _A			°C
LM224		-25 to +85		
LM324, 324A		0 to +70		
LM2902			-40 to +105	
LM2902V, NCV2902			-40 to +125	

1. Split Power Supplies.

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{GND}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324			LM2902			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V (26 V for LM2902, V), $V_{ICR} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 2) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 2)	V_{IO}	-	2.0	5.0	-	2.0	3.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Notes 2 and 4)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	30	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 2)	I_{IO}	-	3.0	30	-	5.0	30	-	5.0	50	-	5.0	50	-	5.0	50	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Notes 2 and 4)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	300	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 2)	I_{IB}	-	-90	-150	-	-45	-100	-	-90	-250	-	-90	-250	-	-90	-250	nA
Input Common Mode Voltage Range (Note 3) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2902, V) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 2)	V_{ICR}	0	-	28.3	0	-	28.3	0	28.3	0	-	24.3	0	-	24.3	0	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, for Large V_O Swing $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 2)	A_{VOL}	50	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Channel Separation $10\text{ kHz} \leq f \leq 20\text{ kHz}$, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection, $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	70	85	-	65	70	-	65	70	-	50	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	50	100	-	dB

- LM224: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
LM324/LM324A: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
LM2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
LM2902V & NCV2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$
NCV2902 is qualified for automotive use.

- The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$.
- Guaranteed by design.

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{GND}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324			LM2902			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage – High Limit ($T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}) (Note 5) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2902, V), $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2902, V), $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	V
Output Voltage – Low Limit, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	V_{OL}	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	100	-	5.0	100	mV
Output Source Current ($V_{ID} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	I_{O+}	20	40	-	20	40	-	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
Output Sink Current ($V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5) ($V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{O-}	10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
Output Short Circuit to Ground (Note 6)	I_{SC}	-	40	60	-	40	60	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Power Supply Current ($T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}) (Note 5) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2902, V), $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$	I_{CC}	-	-	3.0	-	1.4	3.0	-	-	3.0	-	-	3.0	-	-	3.0	mA

5. LM224: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
 LM324/LM324A: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
 LM2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
 LM2902V & NCV2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$
 NCV2902 is qualified for automotive use.

6. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ³ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

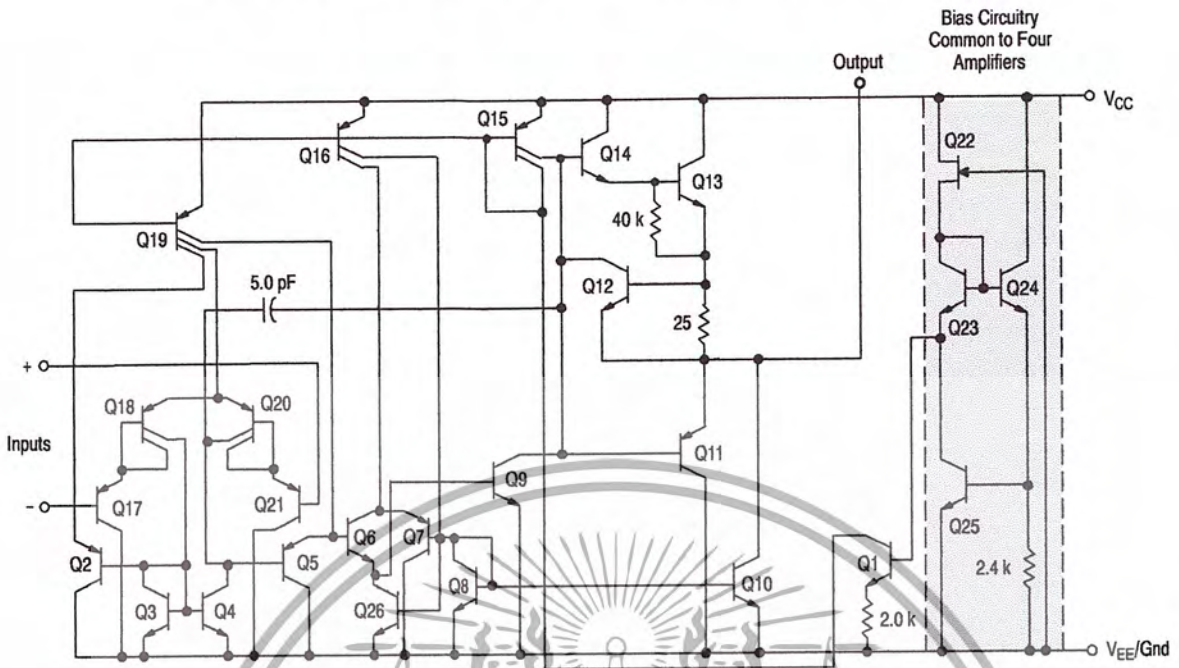


Figure 4. Representative Circuit Diagram
(One-Fourth of Circuit Shown)

CIRCUIT DESCRIPTION

The LM324 series is made using four internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance, a smaller compensation capacitor (only 5.0 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

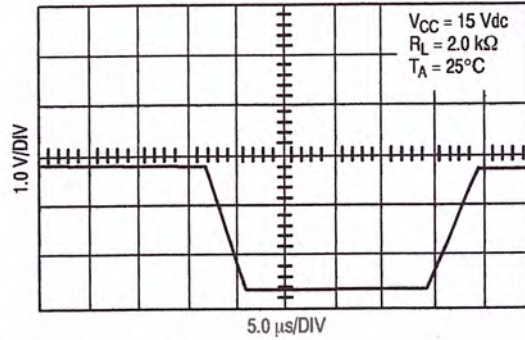


Figure 2. Large Signal Voltage Follower Response

Each amplifier is biased from an internal-voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.



Figure 3.

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

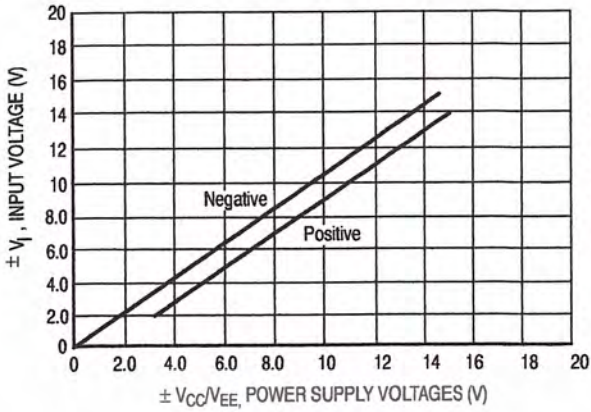


Figure 4. Input Voltage Range

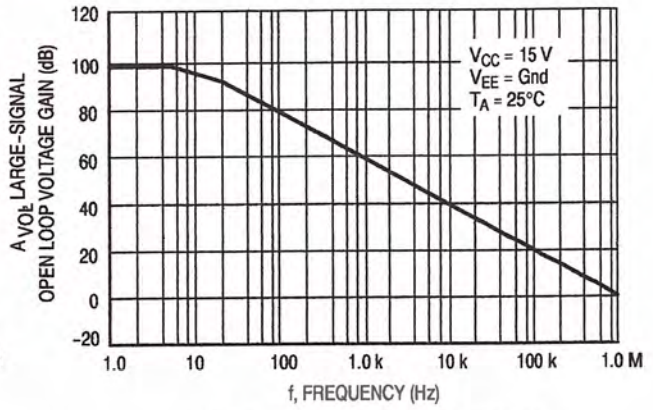


Figure 5. Open Loop Frequency

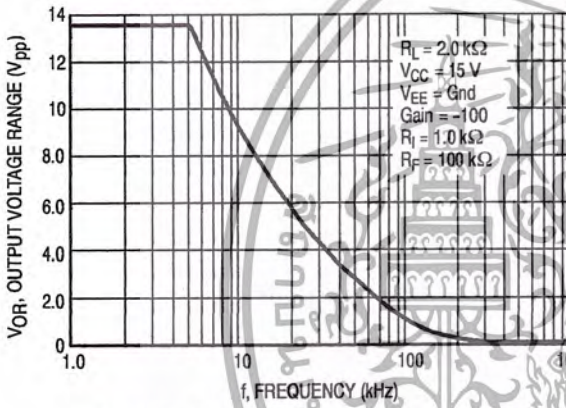


Figure 6. Large-Signal Frequency Response

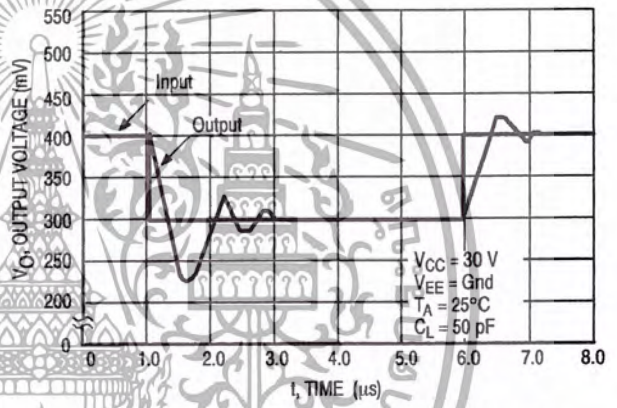


Figure 7. Small-Signal Voltage Follower Pulse Response (Noninverting)

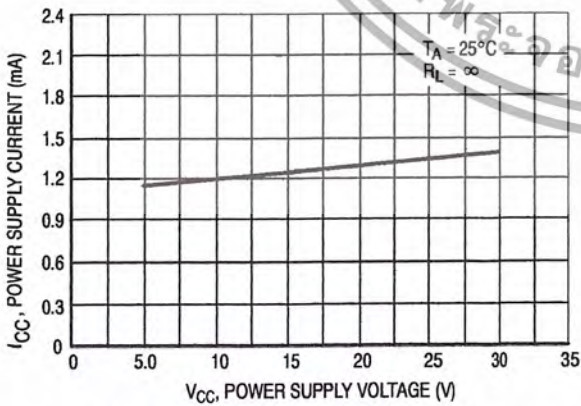


Figure 8. Power Supply Current versus Power Supply Voltage

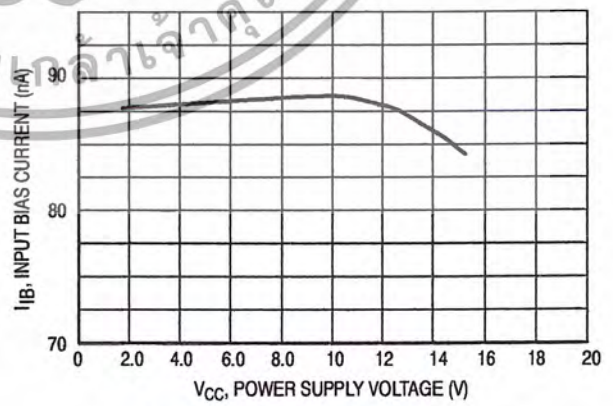
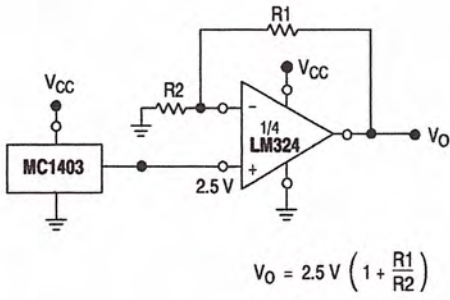


Figure 9. Input Bias Current versus Power Supply Voltage

<http://onsemi.com>

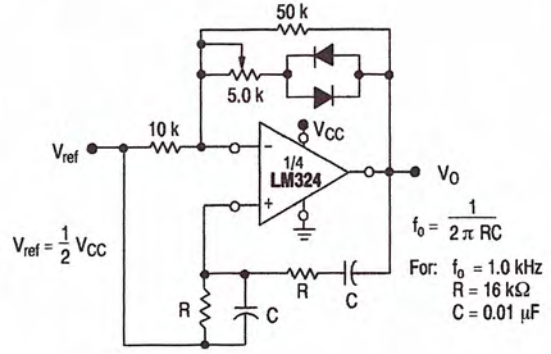
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902



$$V_O = 2.5 V \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

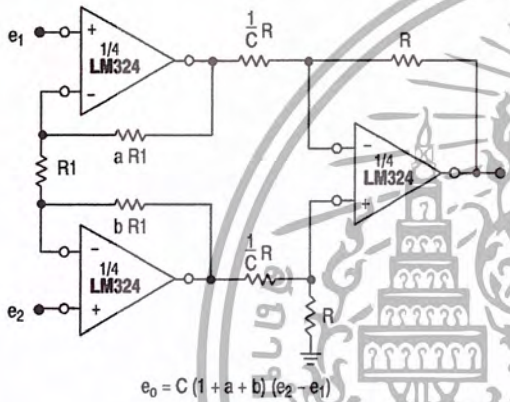
Figure 10. Voltage Reference



$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

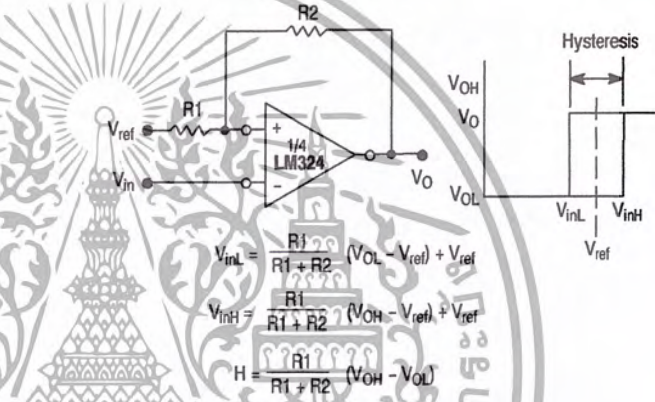
For: $f_o = 1.0 \text{ kHz}$
 $R = 16 \text{ k}\Omega$
 $C = 0.01 \mu\text{F}$

Figure 11. Wien Bridge Oscillator



$$e_0 = C(1 + a + b)(e_2 - e_1)$$

Figure 12. High Impedance Differential Amplifier

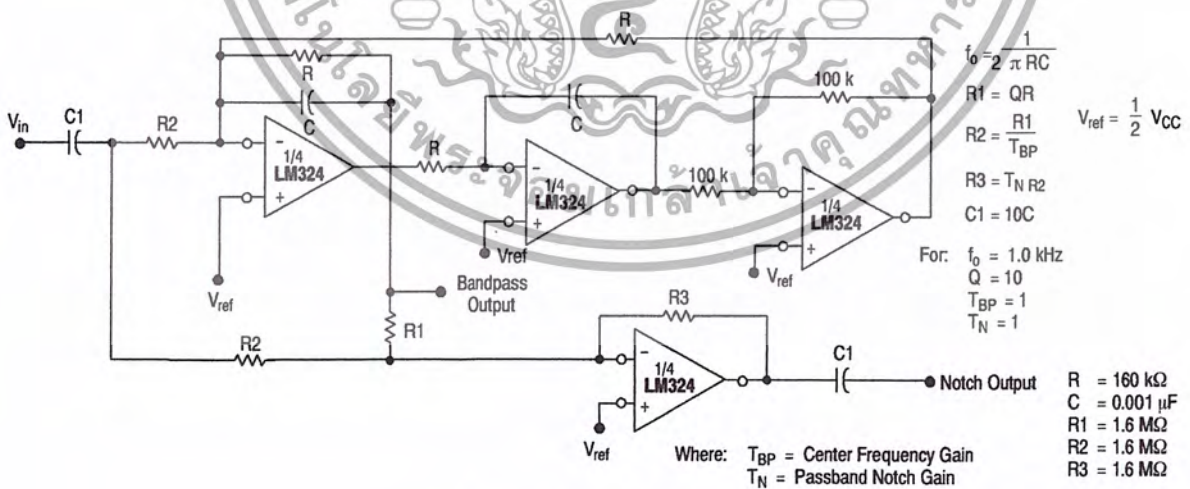


$$V_{inL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (V_{OL} - V_{ref}) + V_{ref}$$

$$V_{inH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (V_{OH} - V_{ref}) + V_{ref}$$

$$H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (V_{OH} - V_{OL})$$

Figure 13. Comparator with Hysteresis



$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$V_{ref} = \frac{1}{2} V_{CC}$$

For: $f_o = 1.0 \text{ kHz}$
 $Q = 10$
 $T_{BP} = 1$
 $T_N = 1$

$R = 160 \text{ k}\Omega$
 $C = 0.001 \mu\text{F}$
 $R_1 = 1.6 \text{ M}\Omega$
 $R_2 = 1.6 \text{ M}\Omega$
 $R_3 = 1.6 \text{ M}\Omega$

Where: T_{BP} = Center Frequency Gain
 T_N = Passband Notch Gain

Figure 14. Bi-Quad Filter

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

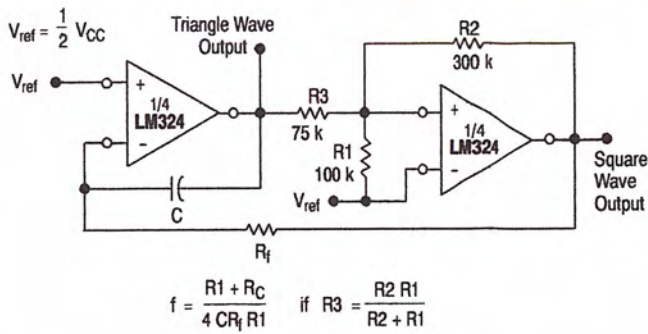


Figure 15. Function Generator

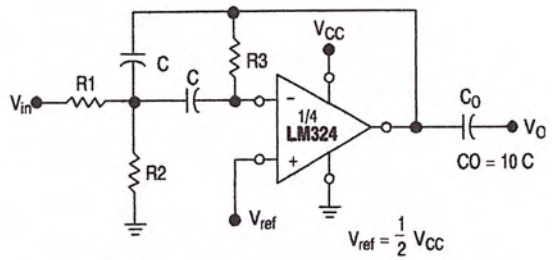


Figure 16. Multiple Feedback Bandpass Filter

Given: f_0 = center frequency
 $A(f_0)$ = gain at center frequency

Choose value f_0, C

Then: $R3 = \frac{Q}{\pi f_0 C}$

$R1 = \frac{R3}{2 A(f_0)}$

$R2 = \frac{R1 R3}{4Q^2 R1 - R3}$

For less than 10% error from operational amplifier, $\frac{Q_0 f_0}{BW} < 0.1$

where f_0 and BW are expressed in Hz.

If source impedance varies, filter may be preceded with voltage follower buffer to stabilize filter parameters.



CD54/74HC540, CD74HCT540, CD54/74HC541, CD54/74HCT541

High-Speed CMOS Logic Octal Buffer and Line Drivers, Three-State

Features

- 'HC540, CD74HCT540 Inverting
- 'HC541, 'HCT541 Non-Inverting
- Buffered Inputs
- Three-State Outputs
- Bus Line Driving Capability
- Typical Propagation Delay = 9ns at $V_{CC} = 5V$, $C_L = 15pF$, $T_A = 25^\circ C$
- Fanout (Over Temperature Range)
 - Standard Outputs 10 LSTTL Loads
 - Bus Driver Outputs 15 LSTTL Loads
- Wide Operating Temperature Range ... $-55^\circ C$ to $125^\circ C$
- Balanced Propagation Delay and Transition Times
- Significant Power Reduction Compared to LSTTL Logic ICs
- HC Types
 - 2V to 6V Operation
 - High Noise Immunity: $N_{IL} = 30\%$, $N_{IH} = 30\%$ of V_{CC} at $V_{CC} = 5V$
- HCT Types
 - 4.5V to 5.5V Operation
 - Direct LSTTL Input Logic Compatibility, $V_{IL} = 0.8V$ (Max), $V_{IH} = 2V$ (Min)
 - CMOS Input Compatibility, $I_I \leq 1\mu A$ at V_{OL} , V_{OH}

Description

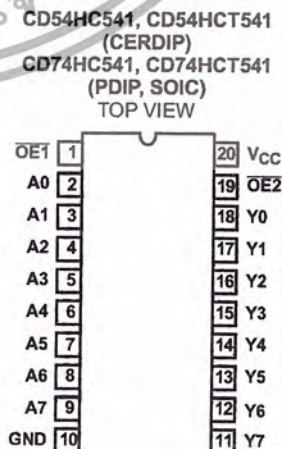
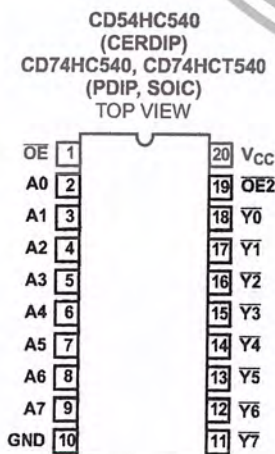
The 'HC540 and CD74HCT540 are Inverting Octal Buffers and Line Drivers with Three-State Outputs and the capability to drive 15 LSTTL loads. The 'HC541 and 'HCT541 are Non-Inverting Octal Buffers and Line Drivers with Three-State Outputs that can drive 15 LSTTL loads. The Output Enables ($\overline{OE1}$) and ($\overline{OE2}$) control the Three-State Outputs. If either $\overline{OE1}$ or $\overline{OE2}$ is HIGH the outputs will be in the high impedance state. For data output $\overline{OE1}$ and $\overline{OE2}$ both must be LOW.

Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE
CD54HC540F3A	-55 to 125	20 Ld CERDIP
CD54HC541F3A	-55 to 125	20 Ld CERDIP
CD54HCT541F3A	-55 to 125	20 Ld CERDIP
CD74HC540E	-55 to 125	20 Ld PDIP
CD74HC540M	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HC540M96	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HC541E	-55 to 125	20 Ld PDIP
CD74HC541M	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HC541M96	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HCT540E	-55 to 125	20 Ld PDIP
CD74HCT540M	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HCT540M96	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HCT541E	-55 to 125	20 Ld PDIP
CD74HCT541M	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HCT541M96	-55 to 125	20 Ld SOIC

NOTE: When ordering, use the entire part number. The suffix 96 denotes tape and reel.

Pinouts



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper IC Handling Procedures.

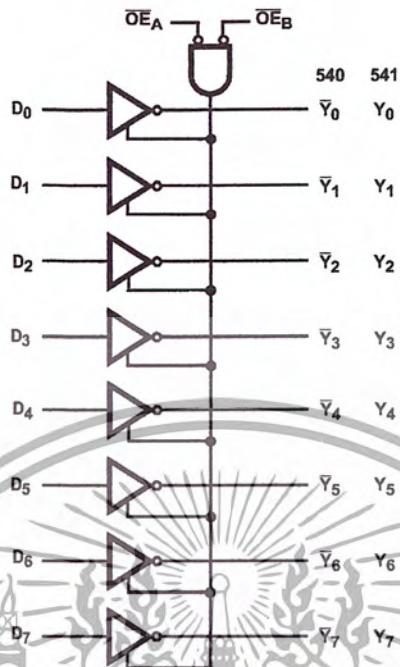
Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD54/74HC540, CD74HCT540, CD54/74HC541, CD54/74HCT541

Functional Diagram



TRUTH TABLE

INPUTS		An	OUTPUTS	
OE1	OE2		540	541
L	L	H	L	H
H	X	X	Z	Z
X	H	X	Z	Z
L	L	L	H	L

H = HIGH Voltage Level
 L = LOW Voltage Level
 X = Don't Care
 Z = High Impedance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD54174HC540, CD74HCT540, CD54174HC541, CD54174HCT541

Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage, V_{CC}	-0.5V to 7V
DC Input Diode Current, I_{IK}	
For $V_I < -0.5V$ or $V_I > V_{CC} + 0.5V$	$\pm 20mA$
DC Output Diode Current, I_{OK}	
For $V_O < -0.5V$ or $V_O > V_{CC} + 0.5V$	$\pm 20mA$
DC Drain Current, per Output, I_O	
For $-0.5V < V_O < V_{CC} + 0.5V$	$\pm 35mA$
DC Output Source or Sink Current per Output Pin, I_O	
For $V_O > -0.5V$ or $V_O < V_{CC} + 0.5V$	$\pm 25mA$
DC V_{CC} or Ground Current, I_{CC}	$\pm 50mA$

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} ($^{\circ}C/W$)
E (PDIP) Package	69
M (SOIC) Package	58
Maximum Junction Temperature	150 $^{\circ}C$
Maximum Storage Temperature Range	-65 $^{\circ}C$ to 150 $^{\circ}C$
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300 $^{\circ}C$ (SOIC - Lead Tips Only)

Operating Conditions

Temperature Range, T_A	-55 $^{\circ}C$ to 125 $^{\circ}C$
Supply Voltage Range, V_{CC}	
HC Types	.2V to 6V
HCT Types	4.5V to 5.5V
DC Input or Output Voltage, V_I, V_O	0V to V_{CC}
Input Rise and Fall Time	
2V	1000ns (Max)
4.5V	500ns (Max)
6V	400ns (Max)

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

DC Electrical Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		V_{CC} (V)	25 $^{\circ}C$			-40 $^{\circ}C$ TO 85 $^{\circ}C$		-55 $^{\circ}C$ TO 125 $^{\circ}C$		UNITS	
		V_I (V)	I_O (mA)		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX		
HC TYPES													
High Level Input Voltage	V_{IH}	-	-	2	1.5	-	-	1.5	-	1.5	-	V	
		-	-	4.5	3.15	-	-	3.15	-	3.15	-	V	
		-	-	6	4.2	-	-	4.2	-	4.2	-	V	
Low Level Input Voltage	V_{IL}	-	-	2	-	-	0.5	-	0.5	-	0.5	V	
		-	-	4.5	-	-	1.35	-	1.35	-	1.35	V	
		-	-	6	-	-	1.8	-	1.8	-	1.8	V	
High Level Output Voltage CMOS Loads	V_{OH}	V_{IH} or V_{IL}	-0.02	-0.02	2	1.9	-	-	1.9	-	1.9	-	V
			-0.02	-0.02	4.5	4.4	-	-	4.4	-	4.4	-	V
			-0.02	-0.02	6	5.9	-	-	5.9	-	5.9	-	V
High Level Output Voltage TTL Loads	V_{OH}	V_{IH} or V_{IL}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	V	
			-6	-6	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
			-7.8	-7.8	6	5.48	-	-	5.34	-	5.2	-	V
Low Level Output Voltage CMOS Loads	V_{OL}	V_{IH} or V_{IL}	0.02	0.02	2	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			0.02	0.02	4.5	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			0.02	0.02	6	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
Low Level Output Voltage TTL Loads	V_{OL}	V_{IH} or V_{IL}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	V	
			6	6	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
			7.8	7.8	6	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
Input Leakage Current	I_I	V_{CC} or GND	-	-	6	-	-	± 0.1	-	± 1	-	± 1	μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 3 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD54/74HC540, CD74HCT540, CD54/74HC541, CD54/74HCT541

DC Electrical Specifications (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		V _{CC} (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
		V _I (V)	I _O (mA)		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Quiescent Device Current	I _{CC}	V _{CC} or GND	0	6	-	-	8	-	80	-	160	μA
Three- State Leakage Current	I _{OZ}	V _{IL} or V _{IH}	V _O = V _{CC} or GND	6	-	-	±0.5	-	±5.0	-	±10	μA
HCT TYPES												
High Level Input Voltage	V _{IH}	-	-	4.5 to 5.5	2	-	-	2	-	2	-	V
Low Level Input Voltage	V _{IL}	-	-	4.5 to 5.5	-	-	0.8	-	0.8	-	0.8	V
High Level Output Voltage CMOS Loads	V _{OH}	V _{IH} or V _{IL}	-0.02	4.5	4.4	-	-	4.4	-	4.4	-	V
High Level Output Voltage TTL Loads			-6	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
Low Level Output Voltage CMOS Loads	V _{OL}	V _{IH} or V _{IL}	0.02	4.5	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
Low Level Output Voltage TTL Loads			-6	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
Input Leakage Current	I _I	V _{CC} and GND	0	5.5	-	-	±0.1	-	±1	-	±1	μA
Quiescent Device Current	I _{CC}	V _{CC} or GND	0	5.5	-	-	8	-	80	-	160	μA
Three- State Leakage Current	I _{OZ}	V _{IL} or V _{IH}	V _O = V _{CC} or GND	5.5	-	-	±0.5	-	±5.0	-	±10	μA
Additional Quiescent Device Current Per Input Pin: 1 Unit Load	ΔI _{CC} (Note 2)	V _{CC} -2.1	-	4.5 to 5.5	-	100	360	-	450	-	490	μA

NOTE:

2. For dual-supply systems theoretical worst case (V_I = 2.4V, V_{CC} = 5.5V) specification is 1.8mA.

HCT Input Loading Table

INPUT	UNIT LOADS	
	HCT540	HCT541
A0 - A7	1	0.4
OE2	0.75	0.75
OE1	1.15	1.15

NOTE: Unit Load is ΔI_{CC} limit specific in DC Electrical Specifications Table, e.g., 360μA max. at 25°C.

CD54174HC540, CD74HCT540, CD54174HC541, CD54174HCT541

Switching Specifications $C_L = 50\text{pF}$, Input $t_r, t_f = 6\text{ns}$

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	V_{CC} (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
HC TYPES											
Propagation Delay Data to Outputs (540)	t_{PLH}, t_{PHL}	$C_L = 50\text{pF}$	2	-	-	110	-	140	-	165	ns
			4.5	-	-	22	-	28	-	33	ns
		$C_L = 15\text{pF}$	5	-	9	-	-	-	-	-	ns
		$C_L = 50\text{pF}$	6	-	-	19	-	24	-	28	ns
Data to Outputs (541)	t_{PLZ}, t_{PHZ}	$C_L = 50\text{pF}$	2	-	-	115	-	145	-	175	ns
			4.5	-	-	23	-	29	-	35	ns
		$C_L = 15\text{pF}$	5	-	9	-	-	-	-	-	ns
		$C_L = 50\text{pF}$	6	-	-	20	-	25	-	30	ns
Output Enable and Disable to Outputs (540)	t_{PLZ}, t_{PHZ}	$C_L = 50\text{pF}$	2	-	-	160	-	200	-	240	ns
			4.5	-	-	32	-	40	-	48	ns
		$C_L = 15\text{pF}$	5	-	13	-	-	-	-	-	ns
		$C_L = 50\text{pF}$	6	-	-	27	-	34	-	41	ns
Output Enable and Disable to Outputs (541)	t_{PLZ}, t_{PHZ}	$C_L = 50\text{pF}$	2	-	-	160	-	200	-	240	ns
			4.5	-	-	32	-	40	-	48	ns
		$C_L = 15\text{pF}$	5	-	14	-	-	-	-	-	ns
		$C_L = 50\text{pF}$	6	-	-	23	-	29	-	35	ns
Output Transition Time	t_{THL}, t_{TLH}	$C_L = 50\text{pF}$	2	-	-	60	-	75	-	90	ns
			4.5	-	-	12	-	15	-	18	ns
			6	-	-	10	-	13	-	15	ns
Input Capacitance	C_i	$C_L = 50\text{pF}$	-	10	-	10	-	10	-	10	pF
Three-State Output Capacitance	C_o	-	-	20	-	20	-	20	-	20	pF
Power Dissipation Capacitance (Notes 3, 4) (540)	C_{PD}	$C_L = 15\text{pF}$	5	-	50	-	-	-	-	-	pF
Power Dissipation Capacitance (Notes 3, 4) (541)	C_{PD}	$C_L = 15\text{pF}$	5	-	48	-	-	-	-	-	pF
HCT TYPES											
Propagation Delay Data to Outputs (540)	t_{PHL}, t_{PLH}	$C_L = 50\text{pF}$	4.5	-	-	24	-	30	-	36	ns
		$C_L = 15\text{pF}$	5	-	9	-	-	-	-	-	ns
Data to Outputs (541)	t_{PHL}, t_{PLH}	$C_L = 50\text{pF}$	4.5	-	-	28	-	35	-	42	ns
		$C_L = 15\text{pF}$	5	-	11	-	-	-	-	-	ns
Output Enable and Disable to Outputs (540, 541)	t_{PLZ}, t_{PHZ}	$C_L = 50\text{pF}$	4.5	-	-	35	-	44	-	53	ns
		$C_L = 15\text{pF}$	5	-	14	-	-	-	-	-	ns
Output Transition Time	t_{TLH}, t_{THL}	$C_L = 50\text{pF}$	4.5	-	-	12	-	15	-	18	ns
Input Capacitance	C_i	$C_L = 50\text{pF}$	-	10	-	10	-	10	-	10	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 5 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD54/74HC540, CD74HCT540, CD54/74HC541, CD54/74HCT541

Switching Specifications $C_L = 50\text{pF}$, Input $t_r, t_f = 6\text{ns}$ (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	V_{CC} (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Three-State Output Capacitance	C_O	-	-	20	-	20	-	20	-	20	pF
Power Dissipation Capacitance (Notes 3, 4) (540, 541)	C_{PD}	$C_L = 15\text{pF}$	5	-	55	-	-	-	-	-	pF

NOTES:

- C_{PD} is used to determine the dynamic power consumption, per channel.
- $P_D = V_{CC}^2 f_i (C_{PD} + C_L)$ where f_i = Input Frequency, C_L = Output Load Capacitance, V_{CC} = Supply Voltage.

Test Circuits and Waveforms



FIGURE 1. HC TRANSITION TIMES AND PROPAGATION DELAY TIMES, COMBINATION LOGIC

FIGURE 2. HCT TRANSITION TIMES AND PROPAGATION DELAY TIMES, COMBINATION LOGIC

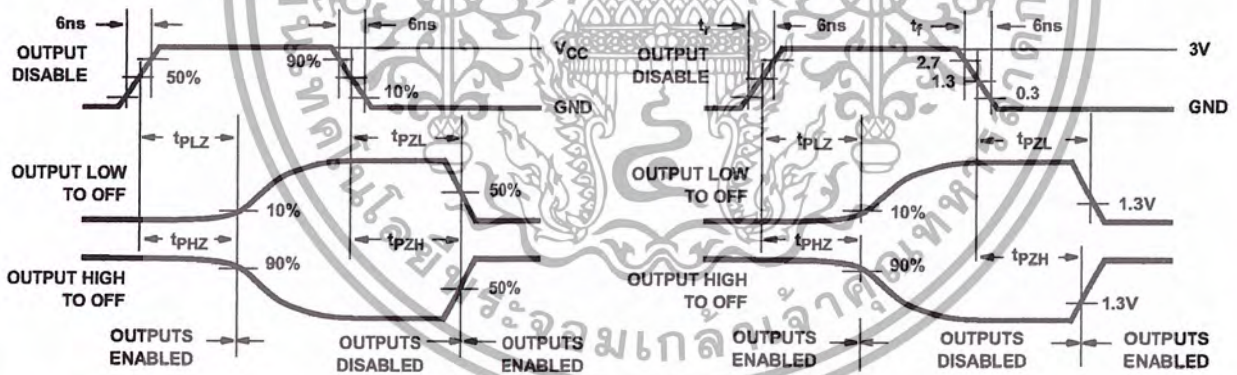
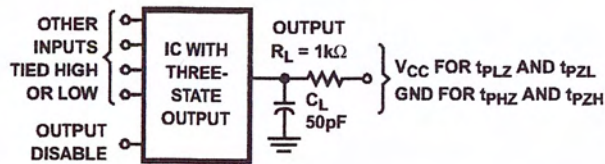


FIGURE 3. HC THREE-STATE PROPAGATION DELAY WAVEFORM

FIGURE 4. HCT THREE-STATE PROPAGATION DELAY WAVEFORM

Test Circuits and Waveforms (Continued)



NOTE: Open drain waveforms t_{PLZ} and t_{PZL} are the same as those for three-state shown on the left. The test circuit is Output $R_L = 1k\Omega$ to V_{CC} , $C_L = 50pF$.

FIGURE 5. HC AND HCT THREE-STATE PROPAGATION DELAY TEST CIRCUIT



LM555/NE555/SA555

Single Timer

Features

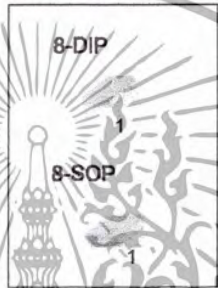
- High Current Drive Capability (200mA)
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of 0.005%/°C
- Timing From μ Sec to Hours
- Turn off Time Less Than 2 μ Sec

Applications

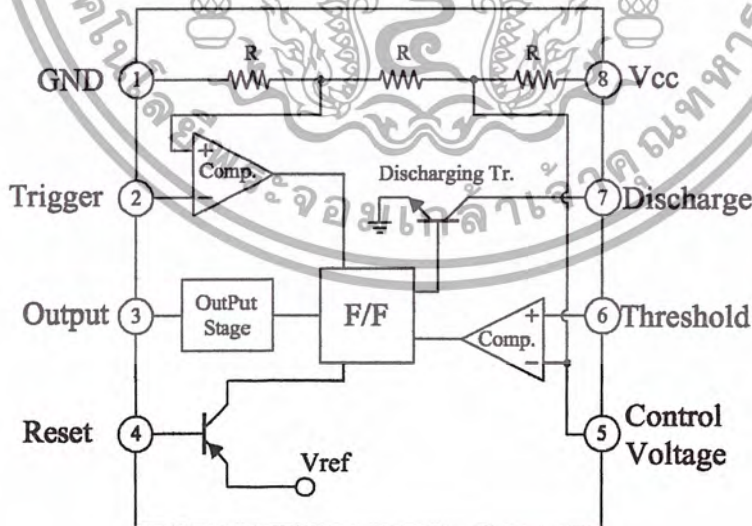
- Precision Timing
- Pulse Generation
- Time Delay Generation
- Sequential Timing

Description

The LM555/NE555/SA555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With a monostable operation, the time delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With an astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled by two external resistors and one capacitor.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.3

Absolute Maximum Ratings (TA = 25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	16	V
Lead Temperature (Soldering 10sec)	TLEAD	300	°C
Power Dissipation	PD	600	mW
Operating Temperature Range LM555/NE555 SA555	TOPR	0 ~ +70 -40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	°C



Electrical Characteristics

(TA = 25°C, VCC = 5 ~ 15V, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	VCC	-	4.5	-	16	V
Supply Current (Low Stable) (Note1)	ICC	VCC = 5V, RL = ∞	-	3	6	mA
		VCC = 15V, RL = ∞	-	7.5	15	mA
Timing Error (Monostable) Initial Accuracy (Note2) Drift with Temperature (Note4) Drift with Supply Voltage (Note4)	ACCUR $\Delta V/\Delta T$ $\Delta t/\Delta V_{CC}$	RA = 1kΩ to 100kΩ C = 0.1μF	-	1.0 50 0.1	3.0 -	% ppm/°C %/V
Timing Error (Astable) Initial Accuracy (Note2) Drift with Temperature (Note4) Drift with Supply Voltage (Note4)	ACCUR $\Delta V/\Delta T$ $\Delta t/\Delta V_{CC}$	RA = 1kΩ to 100kΩ C = 0.1μF	-	2.25 150 0.3	-	% ppm/°C %/V
Control Voltage	VC	VCC = 15V	9.0	10.0	11.0	V
		VCC = 5V	2.6	3.33	4.0	V
Threshold Voltage	VTH	VCC = 15V	-	10.0	-	V
		VCC = 5V	-	3.33	-	V
Threshold Current (Note3)	ITH	-	-	0.1	0.25	μA
Trigger Voltage	VTR	VCC = 5V	1.1	1.67	2.2	V
		VCC = 15V	4.5	5	5.6	V
Trigger Current	ITR	VTR = 0V	-	0.01	2.0	μA
Reset Voltage	VRST	-	0.4	0.7	1.0	V
Reset Current	IRST	-	-	0.1	0.4	mA
Low Output Voltage	VOL	VCC = 15V ISINK = 10mA	-	0.06	0.25	V
		ISINK = 50mA	-	0.3	0.75	V
		VCC = 5V ISINK = 5mA	-	0.05	0.35	V
High Output Voltage	VOH	VCC = 15V ISOURCE = 200mA	12.5	-	-	V
		ISOURCE = 100mA	12.75	13.3	-	V
		VCC = 5V ISOURCE = 100mA	2.75	3.3	-	V
Rise Time of Output (Note4)	tR	-	-	100	-	ns
Fall Time of Output (Note4)	tF	-	-	100	-	ns
Discharge Leakage Current	ILKG	-	-	20	100	nA

Notes:

- When the output is high, the supply current is typically 1mA less than at VCC = 5V.
- Tested at VCC = 5.0V and VCC = 15V.
- This will determine the maximum value of RA + RB for 15V operation, the max. total R = 20MΩ, and for 5V operation, the max. total R = 6.7MΩ.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Application Information

Table 1 below is the basic operating table of 555 timer:

Table 1. Basic Operating Table

Threshold Voltage (V _{th})(PIN 6)	Trigger Voltage (V _{tr})(PIN 2)	Reset(PIN 4)	Output(PIN 3)	Discharging Tr. (PIN 7)
Don't care	Don't care	Low	Low	ON
V _{th} > 2V _{cc} / 3	V _{th} > 2V _{cc} / 3	High	Low	ON
V _{cc} / 3 < V _{th} < 2 V _{cc} / 3	V _{cc} / 3 < V _{th} < 2 V _{cc} / 3	High	-	-
V _{th} < V _{cc} / 3	V _{th} < V _{cc} / 3	High	High	OFF

When the low signal input is applied to the reset terminal, the timer output remains low regardless of the threshold voltage or the trigger voltage. Only when the high signal is applied to the reset terminal, the timer's output changes according to threshold voltage and trigger voltage.

When the threshold voltage exceeds 2/3 of the supply voltage while the timer output is high, the timer's internal discharge Tr. turns on, lowering the threshold voltage to below 1/3 of the supply voltage. During this time, the timer output is maintained low. Later, if a low signal is applied to the trigger voltage so that it becomes 1/3 of the supply voltage, the timer's internal discharge Tr. turns off, increasing the threshold voltage and driving the timer output again at high.

1. Monostable Operation

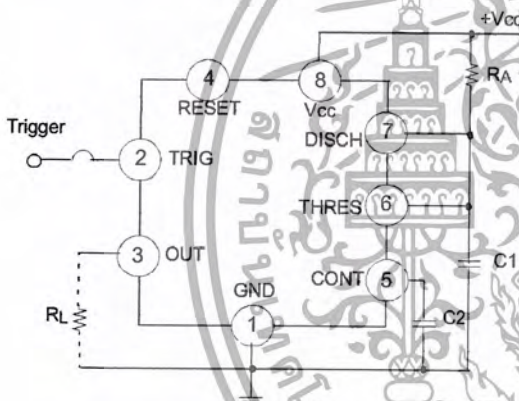


Figure 1. Monoatable Circuit



Figure 2. Resistance and Capacitance vs. Time delay (td)

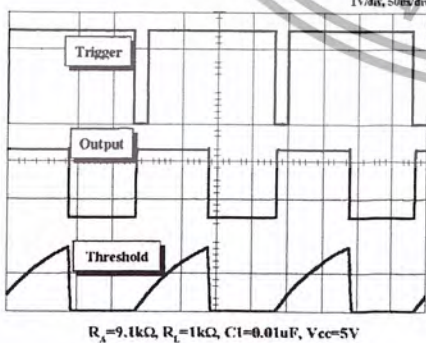


Figure 3. Waveforms of Monostable Operation

Figure 1 illustrates a monostable circuit. In this mode, the timer generates a fixed pulse whenever the trigger voltage falls below $V_{cc}/3$. When the trigger pulse voltage applied to the #2 pin falls below $V_{cc}/3$ while the timer output is low, the timer's internal flip-flop turns the discharging Tr off and causes the timer output to become high by charging the external capacitor $C1$ and setting the flip-flop output at the same time.

The voltage across the external capacitor $C1$, V_{C1} increases exponentially with the time constant $t=RA * C$ and reaches $2V_{cc}/3$ at $td=1.1RA * C$. Hence, capacitor $C1$ is charged through resistor RA . The greater the time constant $RA * C$, the longer it takes for the V_{C1} to reach $2V_{cc}/3$. In other words, the time constant $RA * C$ controls the output pulse width.

When the applied voltage to the capacitor $C1$ reaches $2V_{cc}/3$, the comparator on the trigger terminal resets the flip-flop, turning the discharging Tr on. At this time, $C1$ begins to discharge and the timer output converts to low.

In this way, the timer operating in the monostable repeats the above process. Figure 2 shows the time constant relationship based on RA and C . Figure 3 shows the general waveforms during the monostable operation.

It must be noted that, for a normal operation, the trigger pulse voltage needs to maintain a minimum of $V_{cc}/3$ before the timer output turns low. That is, although the output remains unaffected even if a different trigger pulse is applied while the output is high, it may be affected and the waveform does not operate properly if the trigger pulse voltage at the end of the output pulse remains at below $V_{cc}/3$. Figure 4 shows such a timer output abnormality.

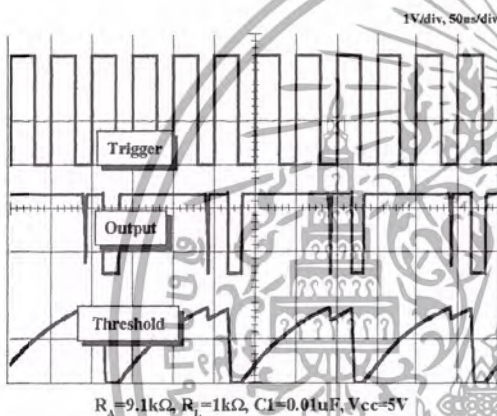


Figure 4. Waveforms of Monostable Operation (abnormal)

2. Astable Operation

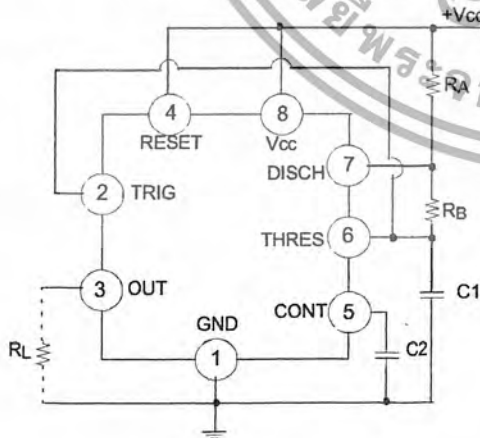


Figure 5. Astable Circuit

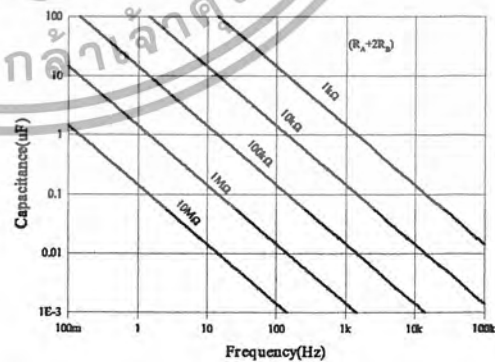


Figure 6. Capacitance and Resistance vs. Frequency

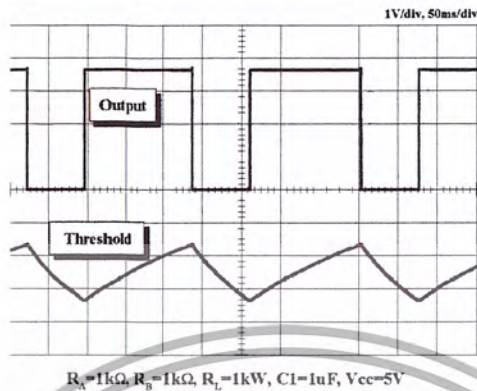
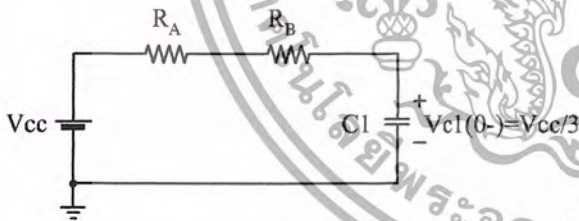


Figure 7. Waveforms of Astable Operation

An astable timer operation is achieved by adding resistor R_B to Figure 1 and configuring as shown on Figure 5. In the astable operation, the trigger terminal and the threshold terminal are connected so that a self-trigger is formed, operating as a multi vibrator. When the timer output is high, its internal discharging Tr turns off and the V_{C1} increases by exponential function with the time constant $(R_A + R_B) \cdot C$.

When the V_{C1} , or the threshold voltage, reaches $2V_{CC}/3$, the comparator output on the trigger terminal becomes high, resetting the F/F and causing the timer output to become low. This in turn turns on the discharging Tr and the $C1$ discharges through the discharging channel formed by R_B and the discharging Tr . When the V_{C1} falls below $V_{CC}/3$, the comparator output on the trigger terminal becomes high and the timer output becomes high again. The discharging Tr turns off and the V_{C1} rises again.

In the above process, the section where the timer output is high is the time it takes for the V_{C1} to rise from $V_{CC}/3$ to $2V_{CC}/3$, and the section where the timer output is low is the time it takes for the V_{C1} to drop from $2V_{CC}/3$ to $V_{CC}/3$. When timer output is high, the equivalent circuit for charging capacitor $C1$ is as follows:



$$C_1 \frac{dv_{c1}}{dt} = \frac{V_{CC} - V(0-)}{R_A + R_B} \quad (1)$$

$$V_{C1}(0+) = V_{CC}/3 \quad (2)$$

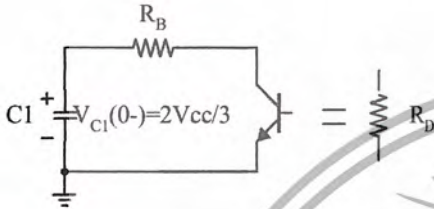
$$V_{C1}(t) = V_{CC} \left(1 - \frac{2}{3} e^{-\left(\frac{t}{(R_A + R_B) C_1} \right)} \right) \quad (3)$$

Since the duration of the timer output high state (t_H) is the amount of time it takes for the $V_{C1}(t)$ to reach $2V_{CC}/3$,

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3}V_{CC} = V_{CC} \left(1 - \frac{2}{3}e^{-\left(\frac{t_H}{(R_A + R_B)C_1}\right)} \right) \quad (4)$$

$$t_H = C_1(R_A + R_B)\ln 2 = 0.693(R_A + R_B)C_1 \quad (5)$$

The equivalent circuit for discharging capacitor C1, when timer output is low is, as follows:



$$C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} + \frac{1}{R_A + R_B} V_{C1} = 0 \quad (6)$$

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3}V_{CC} e^{-\frac{t}{(R_A + R_D)C_1}} \quad (7)$$

Since the duration of the timer output low state (t_L) is the amount of time it takes for the $V_{C1}(t)$ to reach $V_{CC}/3$,

$$\frac{1}{3}V_{CC} = \frac{2}{3}V_{CC} e^{-\frac{t_L}{(R_A + R_D)C_1}} \quad (8)$$

$$t_L = C_1(R_B + R_D)\ln 2 = 0.693(R_B + R_D)C_1 \quad (9)$$

Since R_D is normally $R_B \gg R_D$ although related to the size of discharging T_r , $t_L = 0.693R_B C_1$ (10)

Consequently, if the timer operates in astable, the period is the same with ' $T = t_H + t_L = 0.693(R_A + R_B)C_1 + 0.693R_B C_1 = 0.693(R_A + 2R_B)C_1$ ' because the period is the sum of the charge time and discharge time. And since frequency is the reciprocal of the period, the following applies.

$$\text{frequency, } f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C_1} \quad (11)$$

3. Frequency divider

By adjusting the length of the timing cycle, the basic circuit of Figure 1 can be made to operate as a frequency divider. Figure 8. illustrates a divide-by-three circuit that makes use of the fact that retriggering cannot occur during the timing cycle.

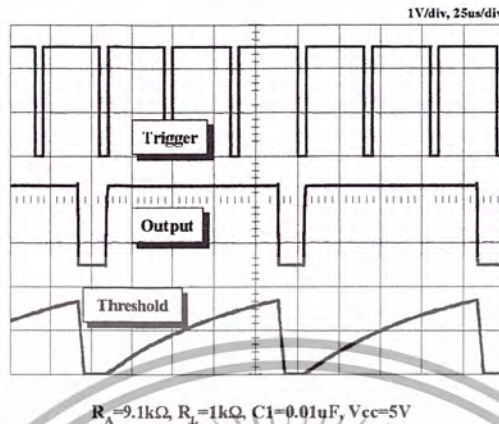


Figure 8. Waveforms of Frequency Divider Operation

4. Pulse Width Modulation

The timer output waveform may be changed by modulating the control voltage applied to the timer's pin 5 and changing the reference of the timer's internal comparators. Figure 9 illustrates the pulse width modulation circuit. When the continuous trigger pulse train is applied in the monostable mode, the timer output width is modulated according to the signal applied to the control terminal. Sine wave as well as other waveforms may be applied as a signal to the control terminal. Figure 10 shows the example of pulse width modulation waveform.

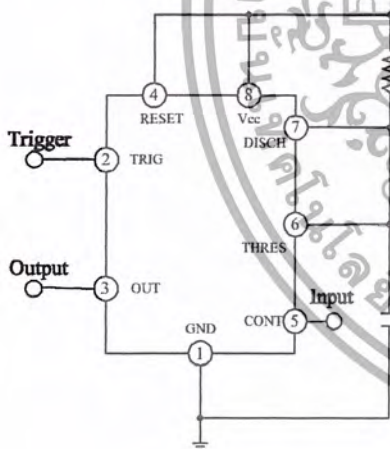


Figure 9. Circuit for Pulse Width Modulation

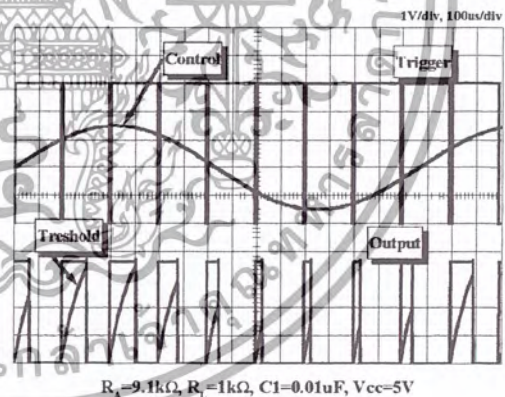


Figure 10. Waveforms of Pulse Width Modulation

5. Pulse Position Modulation

If the modulating signal is applied to the control terminal while the timer is connected for the astable operation as in Figure 11, the timer becomes a pulse position modulator.

In the pulse position modulator, the reference of the timer's internal comparators is modulated which in turn modulates the timer output according to the modulation signal applied to the control terminal.

Figure 12 illustrates a sine wave for modulation signal and the resulting output pulse position modulation : however, any wave shape could be used.

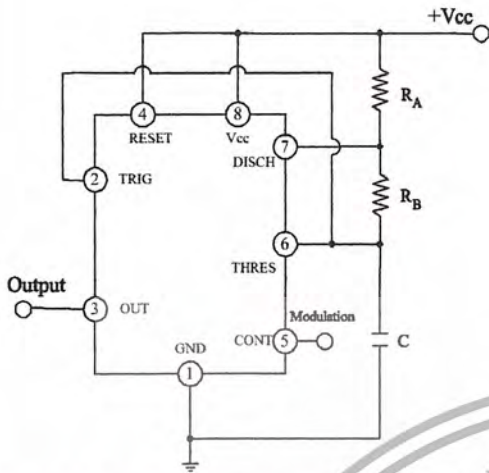


Figure 11. Circuit for Pulse Position Modulation

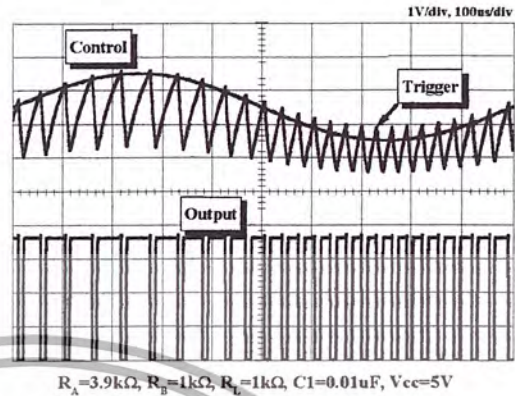


Figure 12. Waveforms of pulse position modulation

6. Linear Ramp

When the pull-up resistor R_A in the monostable circuit shown in Figure 1 is replaced with constant current source, the V_C increases linearly, generating a linear ramp. Figure 13 shows the linear ramp generating circuit and Figure 14 illustrates the generated linear ramp waveforms.

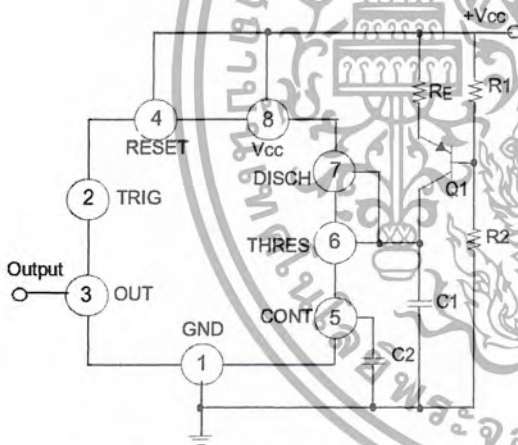


Figure 13. Circuit for Linear Ramp

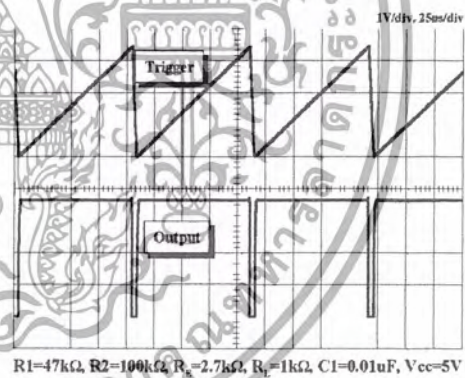


Figure 14. Waveforms of Linear Ramp

In Figure 13, current source is created by PNP transistor $Q1$ and resistor $R1$, $R2$, and R_E .

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_E}{R_E} \quad (12)$$

Here, V_E is

$$V_E = V_{BE} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (13)$$

For example, if $V_{CC}=15V$, $R_E=20k\Omega$, $R_1=5k\Omega$, $R_2=10k\Omega$, and $V_{BE}=0.7V$,
 $V_E=0.7V+10V=10.7V$
 $I_C=(15-10.7)/20k=0.215mA$

When the trigger starts in a timer configured as shown in Figure 13, the current flowing through capacitor C1 becomes a constant current generated by PNP transistor and resistors.

Hence, the V_C is a linear ramp function as shown in Figure 14. The gradient S of the linear ramp function is defined as follows:

$$S = \frac{V_{p-p}}{T} \quad (14)$$

Here the V_{p-p} is the peak-to-peak voltage.

If the electric charge amount accumulated in the capacitor is divided by the capacitance, the V_C comes out as follows:

$$V=Q/C \quad (15)$$

The above equation divided on both sides by T gives us

$$\frac{V}{T} = \frac{Q/T}{C} \quad (16)$$

and may be simplified into the following equation.

$$S=I/C \quad (17)$$

In other words, the gradient of the linear ramp function appearing across the capacitor can be obtained by using the constant current flowing through the capacitor.

If the constant current flow through the capacitor is 0.215mA and the capacitance is 0.02 μ F, the gradient of the ramp function at both ends of the capacitor is $S = 0.215m/0.022\mu = 9.77V/ms$.

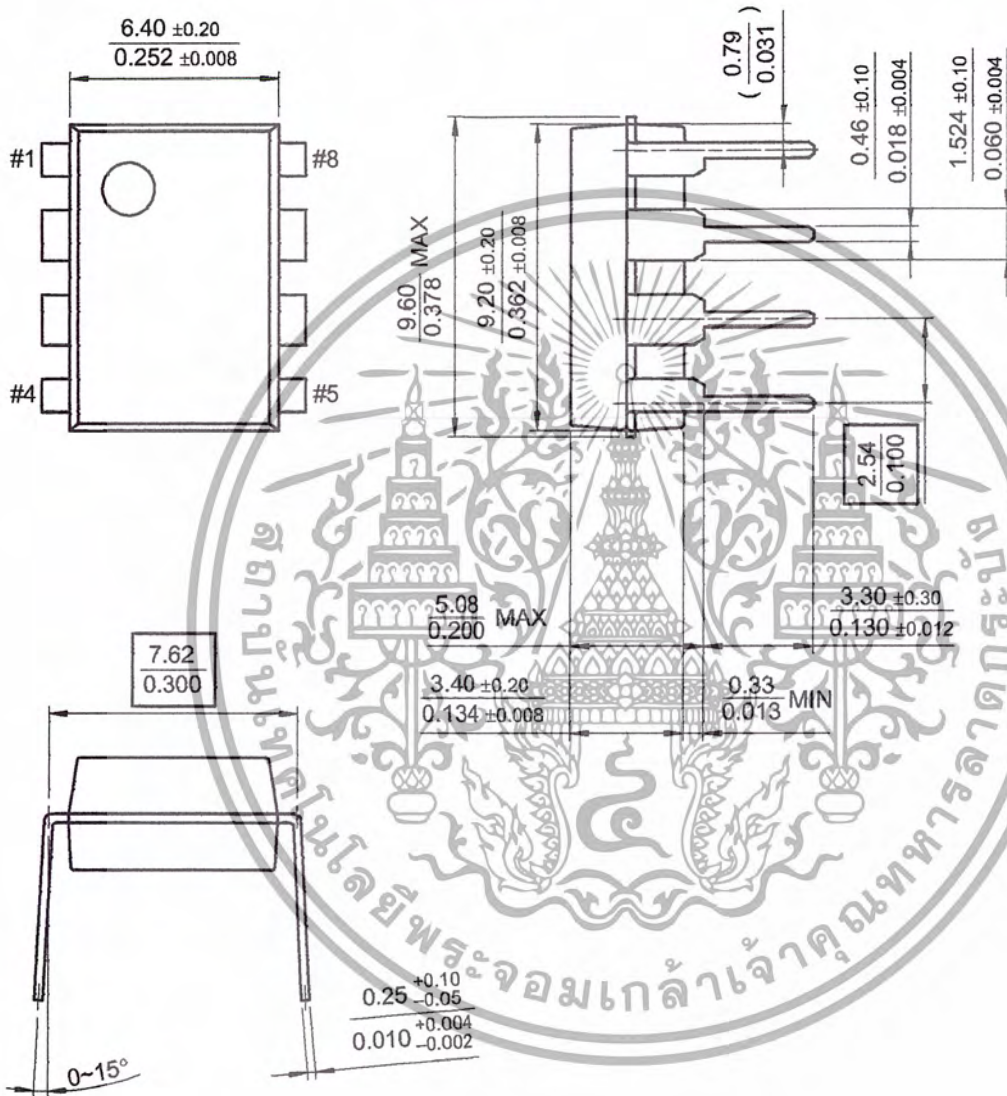


Mechanical Dimensions

Package

Dimensions in millimeters

8-DIP



หนังสืออ้างอิง

1. วรพจน์ กรแก้ววัฒนากุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิไล, “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 Flash Microcontroller”, บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด ,หน้า 399
2. อรรถนพ พีรชาติ, “รีโมตควบคุมเซอร์โว 4 แชนแนล”, วารสาร HOBBY ELECTRONICS, ฉบับที่ 8, 2543, หน้า 112-115
3. บรรเจิด ตันติศักดิ์ยาภรณ์, “นักเลงรีโมต”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้