

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็ก



นาย เดช พันธุ์ภักดีวงษ์
น.ส. อังคณา ตั้งงามวิทย์กุล

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

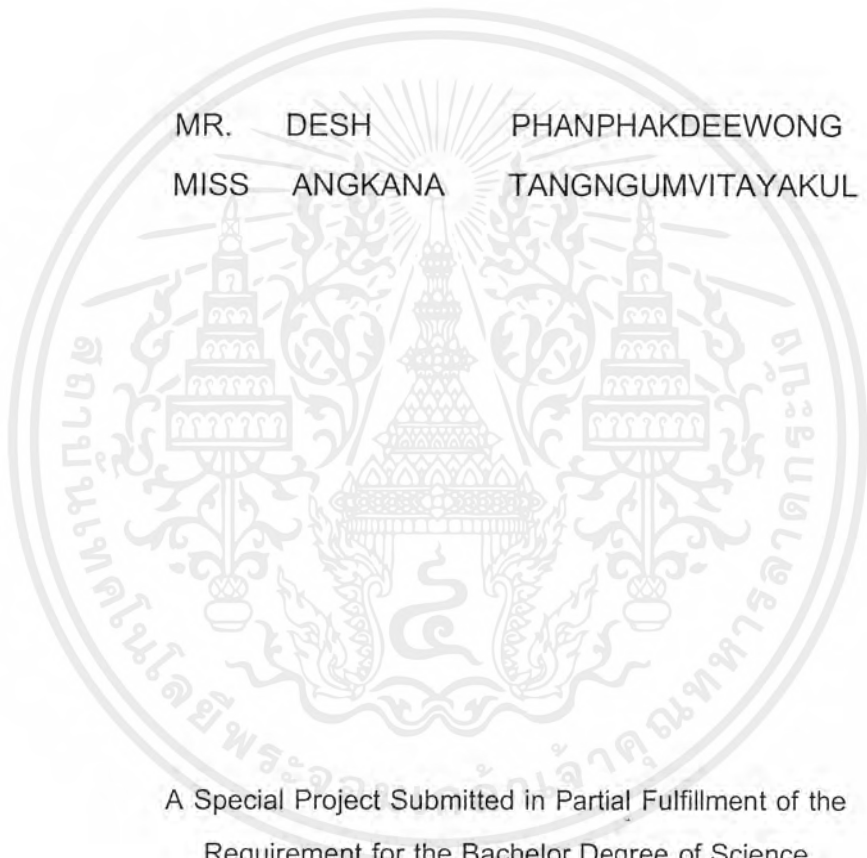
พ.ศ. 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 36696
วัน, เดือน, ปี 23 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF MINI-MOBILE VEHICAL

MR. DESH PHANPHAKDEEWONG
MISS ANGKANA TANGNGUMVITAYAKUL



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Bachelor Degree of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ
โดย

ภาควิชา
อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาคฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

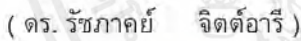
การศึกษาอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็ก
นายเดช พันธุ์ภักดีวงศ์
นางสาวอังคณา ตั้งงามวิทย์กุล
ฟิสิกส์ประยุกต์
ดร. รัชภาคย์ จิตต์อารี



(รศ. สุรพล รัทวิชัย)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ



(ดร. รัชภาคย์ จิตต์อารี)

ประธานกรรมการ



(อ.วิษณุ เพชรภา)

กรรมการ



(อ.วิชาญ เดชิตธีระ)

กรรมการ



(อ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล)

กรรมการ

ลิขิตของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ
เล็ก
โดย

อาจารย์ที่ปรึกษา
ภาควิชา
ปีการศึกษา

การศึกษาอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาด

นายเดช พันธุ์ภักดีวงศ์
นางสาวอังคณา ตั้งงามวิทย์กุล
ดร. รัชภาคย์ จิตต์อารี
ฟิสิกส์ประยุกต์
2541



บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้ อุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นงานในด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีเช่น การสำรวจในอวกาศหรือในสถานที่ต่างๆที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปถึง รวมทั้งยังนำมาผลิตเป็นของเล่นสำหรับบุคคลทั่วไปอีกด้วย ในการศึกษาอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กในครั้งนี้จะเป็นการศึกษาพื้นฐานการทำงานโดยทั่วไป ซึ่งใช้มอเตอร์กระแสตรงในการขับเคลื่อนล้อหลัง และใช้เซอร์โวมอเตอร์ในการบังคับเลี้ยวที่ล้อหน้า โดยมอเตอร์ทั้งสองตัวจะอยู่ภายใต้การควบคุมของไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อให้การทำงานเป็นไปตามที่ต้องการ และมีการบันทึกผลการทดลองขีดความสามารถของอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กนี้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	The study of mini-mobile vehicle
Name	Mr. Desh Phanphakdeewong Miss Angkana Tungngumvitayakul
Special Project Advisor	Dr.Ratchapark Jitaree
Department	Applied Physics
Academic	1998



ABSTRACT

Nowadays, the mini-mobile vehicles are popularly used in both science and technology. It is not only used for exploration in space as a spacecraft but also used in very tighted areas as monitoring vehicles and , of course , for pleasure as toys. In this research a mini-mobile vehicle driven by a DC motor for rear wheel driving and a servo motor for front wheel turning , was built. Both motors are under control by a micro-controller 89C2051. Some performance such as the vehicle velocity and load capacity were also presented.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษชิ้นนี้เป็นผลสำเร็จลงได้ ต้องขอขอบคุณ บิดา มารดา ซึ่งคอยให้กำลังใจและให้ความอุปการะให้ได้รับการศึกษาจนถึงระดับอุดมศึกษา อาจารย์ รัชภาคย์ จิตต์อารี ผู้ให้คำปรึกษาและแนะนำการทำงาน คณะกรรมการทุกท่านที่ช่วยแก้ไขและตรวจงานให้กลายเป็นงานฉบับสมบูรณ์ ขอขอบคุณพี่กี้ พี่ปิ๊อป พี่ตุ๋ พี่ตู่ พี่ศิษย์เก่าคณะวิศวกรรมศาสตร์ เจ้าของร้าน RCS และเจ้าของร้าน MAXIMA ซึ่งให้ข้อมูลและอนุเคราะห์อุปกรณ์ต่างๆ และสุดท้ายเพื่อนๆทุกคนในชั้นเรียนที่คอยช่วยเหลือเป็นกำลังใจ และสร้างรอยยิ้มในการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 มอเตอร์กระแสตรง	3
2.2 เซอร์โวมอเตอร์	11
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	14
2.4 อุปกรณ์ขับเคลื่อน	17
บทที่ 3 หลักการทำงานของวงจรควบคุมการเคลื่อนที่	26
3.1 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	26
3.2 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง	31
4.1 ผลการทดลองในส่วนของการหาความเร็วรอบ	31
4.2 ผลการทดลองในส่วนของการคำนวณค่าแรงบิดของมอเตอร์	31
4.3 ผลของการวัดขีดความสามารถในการรับน้ำหนักและความเร็ว ในระยะทางที่กำหนด	32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	33
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ	
ภาคผนวก ข โปรแกรมควบคุมด้วยสายสัญญาณ	
ภาคผนวก ค ผังการวางส่วนประกอบของอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็ก	
ภาคผนวก ง การคำนวณค่ากำลังงานของมอเตอร์	
ภาคผนวก จ ภาพถ่ายจากชิ้นงาน	
ภาคผนวก ฉ DATA SHEET	
เอกสารอ้างอิง	
ประวัติผู้เขียน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.2.1 แสดงการพันและการต่อลวดสนามแม่เหล็ก	3
รูปที่ 2.2.1 แสดงการพันและการต่อลวดสนามแม่เหล็กภายในของมอเตอร์ชาน	4
รูปที่ 2.1.3 แสดงการพันลวดสนามแม่เหล็กชุดชานและอนุกรมบนแกนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ผสม	5
1. ชนิดคีมมูลที่ฟ	
2. ชนิดดิฟเฟอเรนเชียล	
รูปที่ 2.1.4 แสดงโครงสร้างเบื้องต้นของมอเตอร์กระแสตรง	7
รูปที่ 2.1.5 แสดงการวางตัวของแปลงถ่าน	7
รูปที่ 2.1.6 แสดงการพันลวดทองแดงบนสล๊อตของอาร์เมเจอร์	8
รูปที่ 2.1.7 แสดงการเชื่อมต่อกันของคอมมิวเตเตอร์กับอาร์เมเจอร์และโครงสร้างของคอมมิวเตเตอร์	9
รูปที่ 2.2.1 ส่วนประกอบต่างๆของเซอร์โวมอเตอร์	11
รูปที่ 2.2.2 แสดงการป้อนสัญญาณให้แก่ SERVO MOTOR	12
รูปที่ 2.2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ป้อนให้แก่ SERVO MOTOR และการหมุนของ SERVO MOTOR	13
รูปที่ 2.3.1 แสดงการจัดวางขาของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด AT89C2051	15
รูปที่ 2.3.2 แสดงโครงสร้างภายในของ AT89C2051	16
รูปที่ 2.4.1 แสดงรายละเอียดของเฟืองที่เลือกใช้	20
รูปที่ 2.4.2 แสดงลักษณะของ Spur Gear	21
รูปที่ 2.4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ	21
รูปที่ 2.4.4 แสดงลักษณะของเพลลาที่ใช้ในโครงงานนี้	23
รูปที่ 2.4.5 แสดงลักษณะของ Steering Block	23
รูปที่ 2.4.6 แสดงลักษณะภายนอกของยางที่ใช้ในโครงงาน	24
รูปที่ 2.4.7 แสดงการบอกขนาดของยาง	25
รูปที่ 3.1.1 แสดงวงจรบริดจ์ที่ใช้ในโครงงาน	27
รูปที่ 3.1.2 แสดงการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์โดยผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์	27
รูปที่ 3.2.1 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่	28
รูปที่ 3.2.2 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่(ต่อ)	29
รูปที่ 3.2.3 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่(ต่อ)	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โครงการพิเศษ “การศึกษาอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็ก” ชั้นนี้ ได้แรงบันดาลใจมาจากภาครับของเครื่องบังคับวิทยุ ซึ่งสามารถปฏิบัติตามคำสั่งของเครื่องส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีเครื่องรับ-ส่งสัญญาณวิทยุได้ถูกพัฒนาให้มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก ด้วยขนาดที่เล็กและประสิทธิภาพที่สูงขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย เช่นใช้อุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กซึ่งถูกบังคับด้วยเครื่องรับส่ง เข้าไปทำงานในที่ต่างๆ ที่มนุษย์เข้าไม่ถึงรวมถึงการสำรวจในอวกาศ และยังสามารถสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามวิทยาการที่ก้าวหน้าย่อมมาจากพื้นฐานหรือหลักการหลายอย่าง ประกอบกันดังนั้นในโครงการพิเศษฉบับนี้จึงเลือกที่จะศึกษาเฉพาะพื้นฐานของตัวอุปกรณ์ขับเคลื่อนและพื้นฐานการควบคุมอย่างง่ายและน่าสนใจ

ในการศึกษาอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาพื้นฐานการทำงานของอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กอย่างละเอียด สามารถสร้างแบบจำลองให้เห็นการทำงานจริงได้ และทำให้อุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กใช้งานได้โดยที่มีขนาด น้ำหนักเหมาะสมกับการทำงานในที่แคบและเล็กทั้งแบกรับน้ำหนักได้พอสมควร โดยควบคุมการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กนี้จะเป็นต้นแบบให้ผู้ที่สนใจศึกษาได้ทำการศึกษาและพัฒนาได้ง่ายขึ้น

การทำงานเราสามารถแยกงานเป็น 2 ส่วน ได้อย่างชัดเจน คือในส่วนของการควบคุมและส่วนประกอบต่างๆของตัวอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็ก การควบคุมอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กชั้นนี้เราสามารถเลือกควบคุมได้ 2 แบบ คือควบคุมด้วยสายสัญญาณ หรือควบคุมด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ โดยที่การควบคุมแบบโปรแกรมอัตโนมัติเราเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051 เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่คุ้นเคยและเคยผ่านการเรียนการสอนมาแล้ว ในช่วงแรกเราจะต้องควบคุมอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กให้เคลื่อนที่ด้วยสายสัญญาณให้ได้ก่อน จากนั้นจึงปรับให้เป็นการควบคุมโดยไม่ต้องกดปุ่มสายสัญญาณ แต่เคลื่อนที่ไปตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้ ส่วนประกอบต่างๆของตัวอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กนั้น ในเบื้องต้นจะต้องทำการหาข้อมูลของอุปกรณ์ขับเคลื่อนชนิดต่างๆ จากนั้นทำการสรุปส่วนประกอบที่จำเป็นและมีความสำคัญในการประกอบอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็ก ทำการหาวัสดุที่เหมาะสมเพื่อมาทำเป็นส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็ก กำหนดแบบและขนาดของอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็ก โดยการประมาณเป็นอัตราส่วนย่อ ทำการเขียนแบบลักษณะการประกอบทุกชั้นตอนและหากส่วนประกอบส่วนใดใช้วัสดุไม่เหมาะสมหรือมีรูปแบบการประกอบที่ผิดควรจะต้องหาข้อมูลแล้วนำมาแก้ไขเปลี่ยนแปลงไปที่ละขั้นทีละตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กชิ้นนี้ได้ถูกออกแบบให้ทำการขับเคลื่อนล้อหลัง ส่วนการควบคุมทิศทางนั้นจะทำงานที่ล้อหน้า เมื่องานทั้งสองส่วนสำเร็จแล้วจึงนำอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็ก มาเชื่อมเข้ากับตัวควบคุมแล้วทำการทดสอบ ทั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ การควบคุมการบังคับทิศทาง ความสามารถในการแบกรับน้ำหนัก แล้วทำการบันทึกข้อมูลไว้ทั้งหมด

จุดมุ่งหมายที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้ นอกจากอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กจะสามารถทำงานและเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วยังจะต้องบรรลุวัตถุประสงค์ต่างๆที่กล่าวมาแล้ว และจุดมุ่งหมายที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการทำโครงการพิเศษนี้คือการได้ฝึกตนเองให้รู้จักคิดและแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอนตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ รู้จักการทำงานร่วมกับผู้อื่น และแข่งขันกับตนเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 มอเตอร์กระแสตรง

2.1.1 หลักการทำงานทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรง

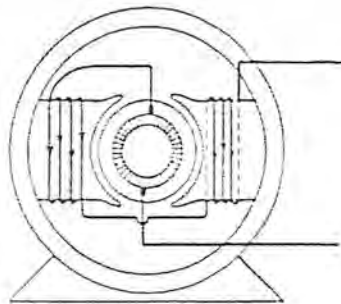
เป็นอุปกรณ์ที่มีหลักการทำงานคือมีการผ่านกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดในสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็ก สัดส่วนของแรงนี้ขึ้นอยู่กับกระแสและกำลังของสนามแม่เหล็ก แรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะตั้งฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็กและจะเกิดการกลับทิศของแรงแม่เหล็กนี้ได้ถ้ามีการกลับทิศของสนามแม่เหล็ก การเปลี่ยนแปลงของกระแสจะเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการหมุนได้

2.1.2 การแบ่งประเภทของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงสามารถจำแนกชนิดออกได้ทั้งตามลักษณะของการต่อขดลวดสนามแม่เหล็ก (หรือการพันขดลวดสนามแม่เหล็ก) และการไหลของกระแสผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กดังนี้ :

1. มอเตอร์อนุกรม (series motor)

ลักษณะโครงสร้าง : ประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็กที่มีความต้านทานต่ำ พันด้วยขดลวดทองแดงเส้นใหญ่บนแกนขั้วแม่เหล็กจำนวนน้อยรอบ เช่นเดียวกับขดลวดกระแสของแอมป์มิเตอร์ ต่อเป็นอนุกรมกับอาร์เมเจอร์และแรงดันหลัก



รูปที่ 2.1.1 แสดงการพันและการต่อขดลวดสนามแม่เหล็กภายในของมอเตอร์อนุกรม

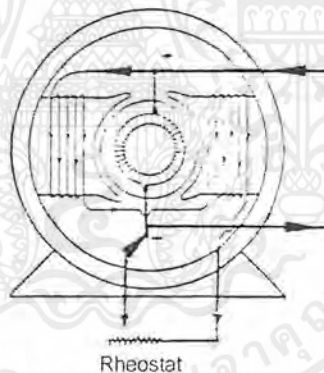
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะงาน : ใช้หมუნขั้บงานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูง และความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

ความสามารถในการขั้บหมุนโหลด : มอเตอร์อนุกรมตามรูปอาร์เมเจอร์จะต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็กและต่ออนุกรมกับแรงดันหลัก เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง กระแสอาร์เมเจอร์และเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย มีผลทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงไปในที่สุด ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด และพบว่าเมื่อโหลดเพิ่มขึ้นความเร็วรอบจะลดลงแต่ถ้าโหลดลดลงความเร็วรอบก็จะเพิ่มขึ้น

2.มอเตอร์ชานาน (shunt motor)

ลักษณะโครงสร้าง : ประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็กที่มีความต้านทานค่อนข้างสูง ซึ่งใช้ลวดทองแดงเส้นเล็ก ๆ พันบนแกนขั้วแม่เหล็กหลาย ๆ รอบ เช่นเดียวกับขดลวดแรงดันของโวลต์มิเตอร์ ต่อชานานกับอาร์เมเจอร์และต่ออนุกรมกับตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วต่อชานานกับแรงดันหลัก



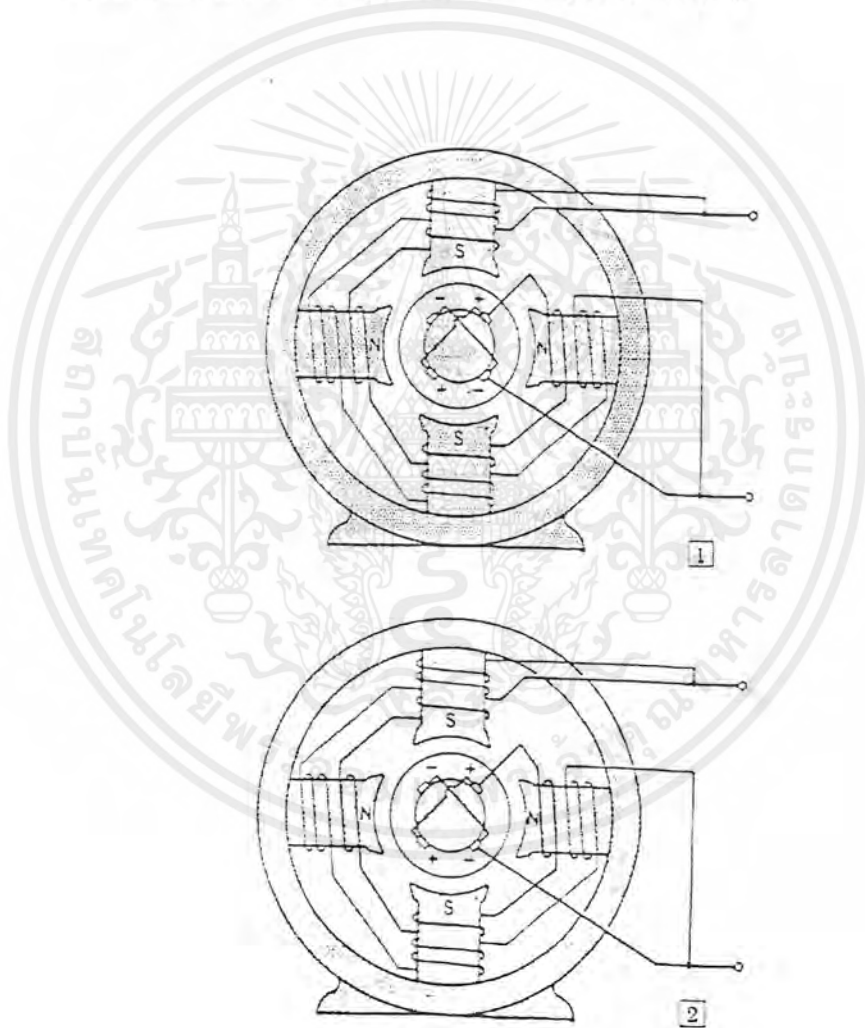
รูปที่ 2.1.2 แสดงการพันและการต่อขดลวดสนามแม่เหล็กภายในของมอเตอร์ชานาน

ลักษณะงาน : เป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนขั้บเครื่องจักรกลที่ต้องการความเร็วรอบคงที่

ความสามารถในการขั้บหมุนโหลด : ความเร็วรอบจะลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบค่อนข้างจะคงที่ที่ทราบเท่าที่มอเตอร์ยังคงต่ออยู่กับแรงดันหลักที่คงที่ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า “มอเตอร์ชานานเป็นมอเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่”

3.มอเตอร์ผสม (compound motor)

ลักษณะสร้าง : เป็นการรวมมอเตอร์สองตัว คือมอเตอร์ชานกับมอเตอร์อนุกรมเข้าด้วยกัน ดังนั้นมอเตอร์ผสมจึงประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็กสองชุด คือขดลวดสนามแม่เหล็กชุดชานกับขดลวดสนามแม่เหล็กชุดอนุกรมพันอยู่บนแกนขั้วแม่เหล็กเดียวกัน ถ้าพันขดลวดทั้งสองชุดในลักษณะที่ทำให้สนามแม่เหล็กมีทิศทางเสริมกัน เรียกว่า มอเตอร์ผสมชนิดคิวมูเลทีฟ (cumulative compound motor) ในทางตรงกันข้าม ถ้าพันขดลวดในลักษณะที่ทำให้สนามแม่เหล็กมีทิศทางหักล้างกัน เรียกว่า มอเตอร์ผสมชนิดดิฟเฟอเรนเชียล (differential compound motor)



รูปที่ 2.1.3 แสดงการพันขดลวดสนามแม่เหล็กชุดชานและอนุกรมบนแกนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ผสม 1.ชนิดคิวมูเลทีฟ 2.ชนิดดิฟเฟอเรนเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะงาน : เป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนขั้วงานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูง โดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบแต่อย่างใด และสามารถหมุนได้ด้วยความปลอดภัยขณะหมุนตัวเปล่า (no load)

ความสามารถในการหมุนขั้วโหลด : มอเตอร์ผสมชนิดความเร็วสูงที่ฟลักซ์ขณะหมุนตัวเปล่าจะไม่มีกระแสไหลในขดลวดสนามแม่เหล็กชุดอนุกรม มอเตอร์จึงหมุนด้วยเส้นแรงแม่เหล็กเนื่องมาจากขดลวดสนามแม่เหล็กชุดขนานเพียงชุดเดียวเท่านั้น จึงทำให้ความเร็วรอบมีค่าคงที่ แต่ในขณะที่ขั้วโหลด เมื่อเพิ่มโหลดเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวดอนุกรมจะเพิ่มขึ้นยังผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลง เมื่อเทียบกับมอเตอร์ขนานแล้วจะลดลงอย่างรวดเร็วและมากกว่ามอเตอร์ขนาน แต่ให้แรงบิดขั้วสูงกว่ามอเตอร์ขนานดังนั้นขณะขั้วโหลดมอเตอร์ชนิดนี้จึงมีคุณสมบัติคล้ายมอเตอร์อนุกรมมาก

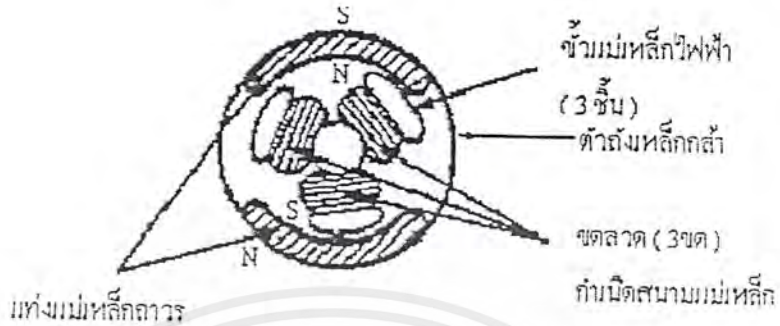
มอเตอร์ผสมชนิดดิฟเฟอเรนเชียล จะมีความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกระแสในขดลวดอนุกรมให้กำเนิดเส้นแรงแม่เหล็กสวนทางกับ เส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดชุดขนาน ขณะเพิ่มโหลดเส้นแรงแม่เหล็กของมอเตอร์จะลดลง ยังผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ขนานจะพบว่าด้วยขนาดของแรงบิดหมุนขั้วที่เท่ากันแล้วมอเตอร์ผสมชนิดดิฟเฟอเรนเชียลจะกินกระแสมากกว่า

ความเร็วรอบของมอเตอร์ชนิดนี้ขณะที่ขั้วโหลดหนัก ๆ จะไม่คงที่ เนื่องจากการลดลงของเส้นแรงแม่เหล็กและแรงดันย้อนกลับของมอเตอร์ ถ้าเพิ่มโหลดมากเกินไปจะพบว่าขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์เกิดการกลับขั้ว มอเตอร์จะหมุนกลับทางทันที และมอเตอร์ดิฟเฟอเรนเชียลนี้ให้แรงบิดหมุนขั้วต่ำกว่ามอเตอร์ขนานแต่ อัตราของการปรับความเร็วดีกว่ามอเตอร์ขนาน และสามารถควบคุมความเร็วให้คงที่ ณ โหลดใด ๆ ได้ตามที่ต้องการแต่ไม่ค่อยนิยมใช้

2.1.3 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรง

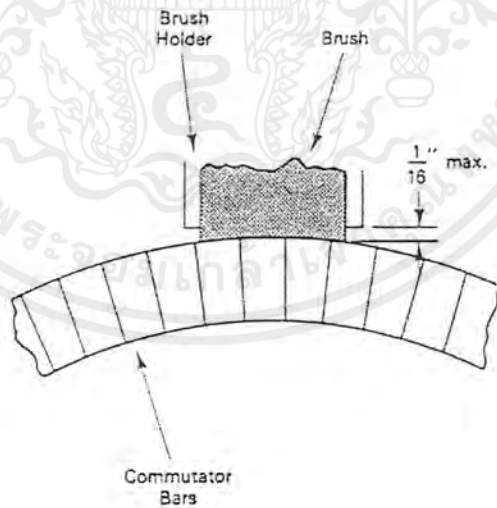
โครงสร้างโดยทั่ว ๆ ไปของมอเตอร์กระแสตรงจะประกอบไปด้วยส่วนที่เคลื่อนที่ไม่ได้ และส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ส่วนที่เคลื่อนที่ไม่ได้คือส่วนที่เป็นโครงของมอเตอร์และแปรงถ่าน กับส่วนที่เคลื่อนที่ได้ซึ่งก็คือส่วนที่ติดอยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์ได้แก่อาร์เมเจอร์และคอมมิวเตเตอร์

ส่วนที่เป็นโครงของมอเตอร์จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นแท่งแม่เหล็กถาวรซึ่งจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กหรือชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กกล้าหรือในบางชนิดที่ทำโครงมอเตอร์เป็นแม่เหล็กเลย



รูปที่ 2.1.4 แสดงโครงสร้างเบื้องต้นของมอเตอร์กระแสตรง

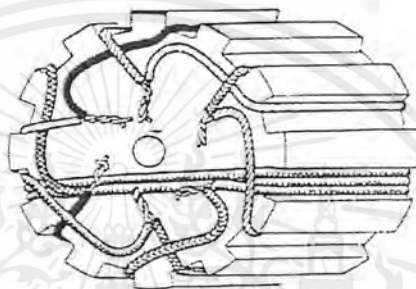
ในส่วนของแปรงถ่านจะมีตัวยึดให้อยู่กับที่ทำหน้าที่คอยสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์เพื่อป้อนกระแสให้แก่อาร์เมเจอร์ซึ่งต้องมีการหมุนตามแกนหมุนของมอเตอร์อยู่ตลอดเวลา ในขณะที่ป้อนกระแสให้กับมอเตอร์



รูปที่ 2.1.5 แสดงการวางตัวของแปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

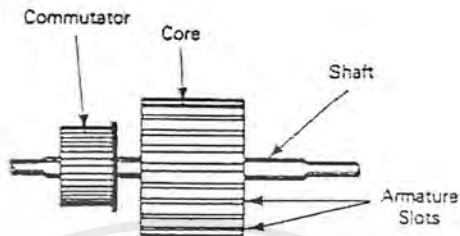
อาร์เมเจอร์จะเป็นลวดทองแดงที่พันอยู่บนส่วนที่เป็นสลิตที่ติดอยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์โดยที่ปลายด้านหนึ่งของสายทองแดงติดอยู่กับคอมมิวเตเตอร์ จะได้รับกระแสจากแปรงถ่านโดยผ่านคอมมิวเตเตอร์



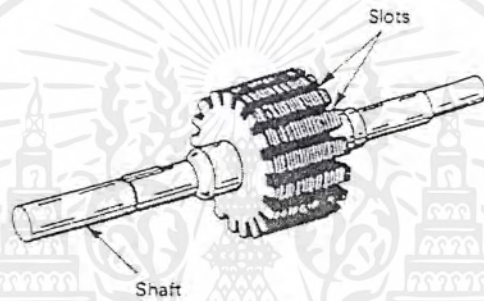
รูปที่ 2.1.6 แสดงการพันลวดทองแดงบนสลิตของอาร์เมเจอร์

คอมมิวเตเตอร์จะเป็นส่วนที่คอยเชื่อมต่อระหว่างอาร์เมเจอร์และแปรงถ่านโดยจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นทองแดงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามาประกอบกันเป็นรูปวงแหวนติดอยู่บนแกนหมุนของมอเตอร์แต่จะไม่สัมผัสกับแกนหมุนของมอเตอร์นั้นซึ่งทองแดงทุก ๆ ส่วนที่มาประกอบกันจะไม่สัมผัสถึงกัน

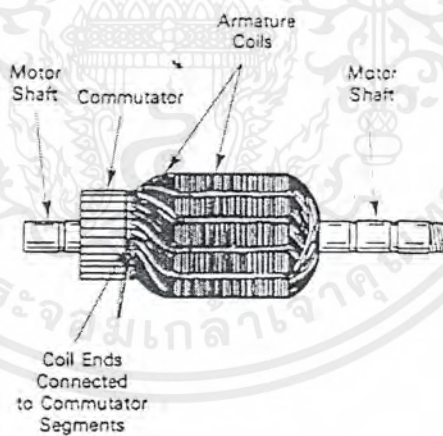
Brushes



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 2.1.7 แสดงการเชื่อมต่อกันของคอมมิวเตเตอร์กับอาร์เมเจอร์
และโครงสร้างของคอมมิวเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์กระแสตรง

แรงบิดของมอเตอร์กระแสตรงจะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างสนามที่ประกอบด้วยสนามแม่เหล็ก ϕ และขดลวดตัวนำอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของมอเตอร์และกระแส คือ

$$T = K\phi I$$

เมื่อ	T	คือ แรงบิดของมอเตอร์ที่มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร
	K	คือ ค่าคงที่ของพารามิเตอร์ทางกายภาพของมอเตอร์ (เช่น ความยาวของตัวนำ, รัศมีของอาร์เมเจอร์, พื้นที่ของแกนอาร์เมเจอร์ เป็นต้น)
	ϕ	คือ เส้นแรงแม่เหล็กที่มีหน่วยเป็นเวเบอร์
	I	คือ ค่ากระแสที่อาร์เมเจอร์

ซึ่งค่าแรงบิดของมอเตอร์กระแสตรงนี้จะมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าคือ

$$T = \frac{30000P}{\pi \times n}$$

เมื่อ	T	คือ แรงบิดที่มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร
	n	คือ ความเร็วรอบที่มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที
	P	คือ กำลังไฟฟ้ามี่หน่วยเป็นกิโลวัตต์

ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนในสนามแม่เหล็ก ตัวอาร์เมเจอร์จะตัดกับสนามแม่เหล็กทำให้มีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นบนตัวอาร์เมเจอร์มีทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำในลักษณะที่ต่อต้านการไหลของกระแสมอเตอร์ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า "แรงดันย้อนกลับ"

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันย้อนกลับและความเร็วรอบของมอเตอร์คือ

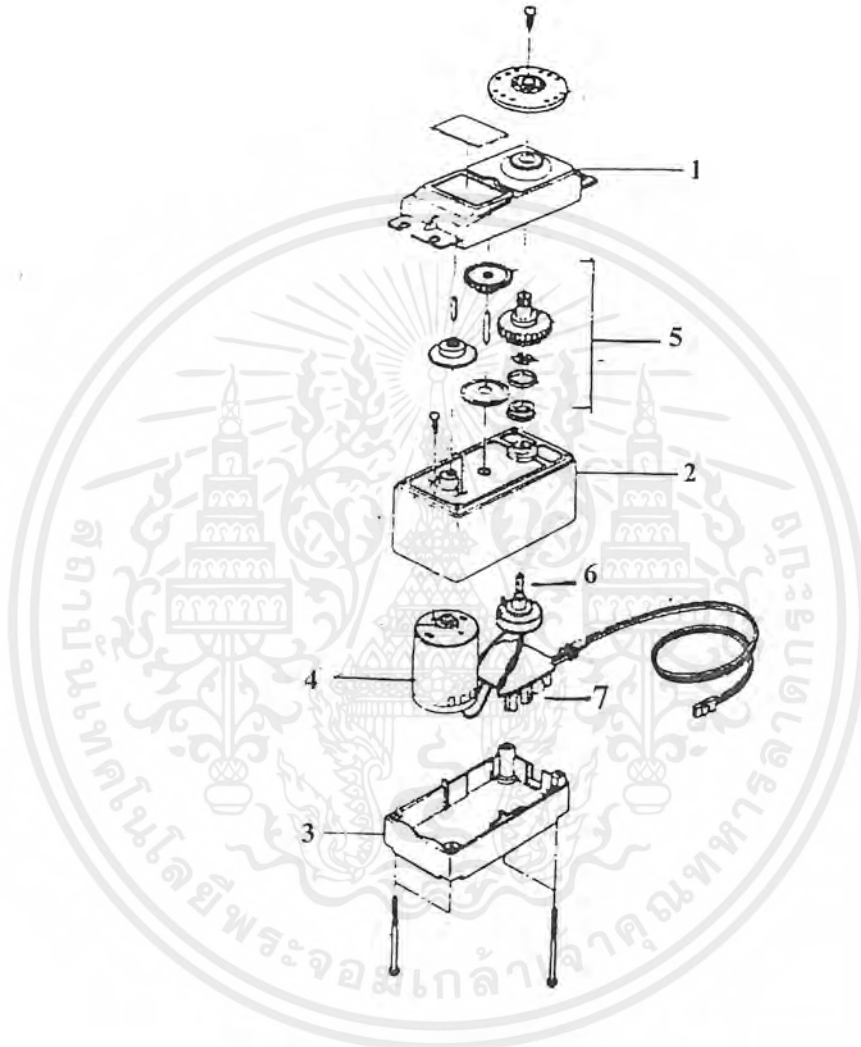
$$E = K\phi\omega$$

เมื่อ	E	คือ แรงดันย้อนกลับ
	ω	คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เซอร์โวมอเตอร์

2.2.1 ส่วนประกอบของ SERVO MOTOR



รูปที่ 2.2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของ SERVO MOTOR

จากภาพ เราจะเห็นส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

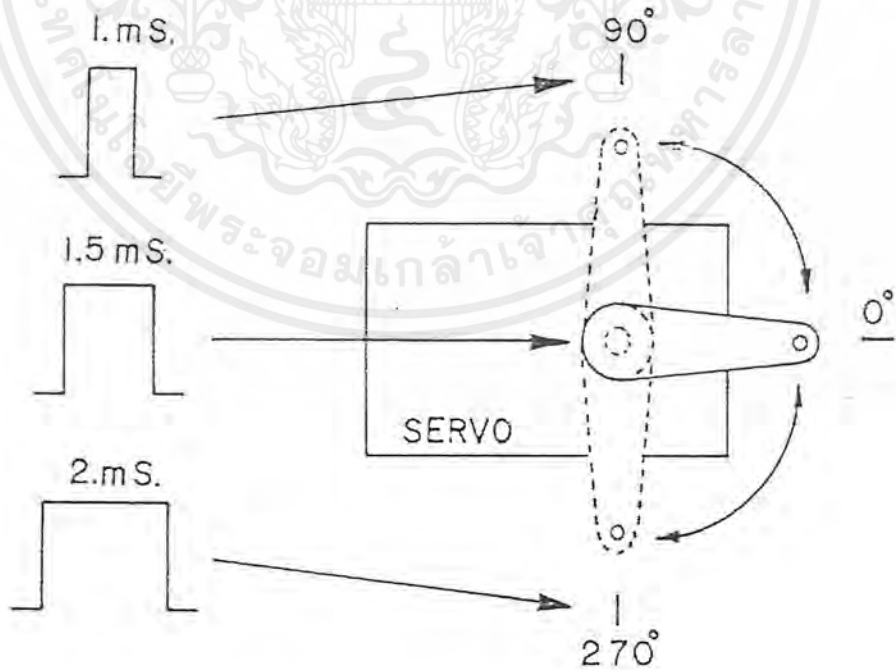
1. UPPER CASE
2. MIDDLE CASE
3. BOTTOM CASE
4. มอเตอร์ความเร็วสูง
5. เฟืองทด (การทดรอบเพื่อให้หมุนช้าลง และมีแรงบิดที่สูงขึ้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ตัวต้านทาน (PORT) ติดกันกับฐานของเฟือง ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์เป็นตัวกำหนดค่าแรงดันภายในวงจรควบคุมที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับสัญญาณพัลส์ ช่วยเซตให้มอเตอร์อยู่ที่ center
7. AMPLIFIER ใช้ขยายสัญญาณที่เข้ามาจากวิทยุ

2.2.2 หลักการทำงาน

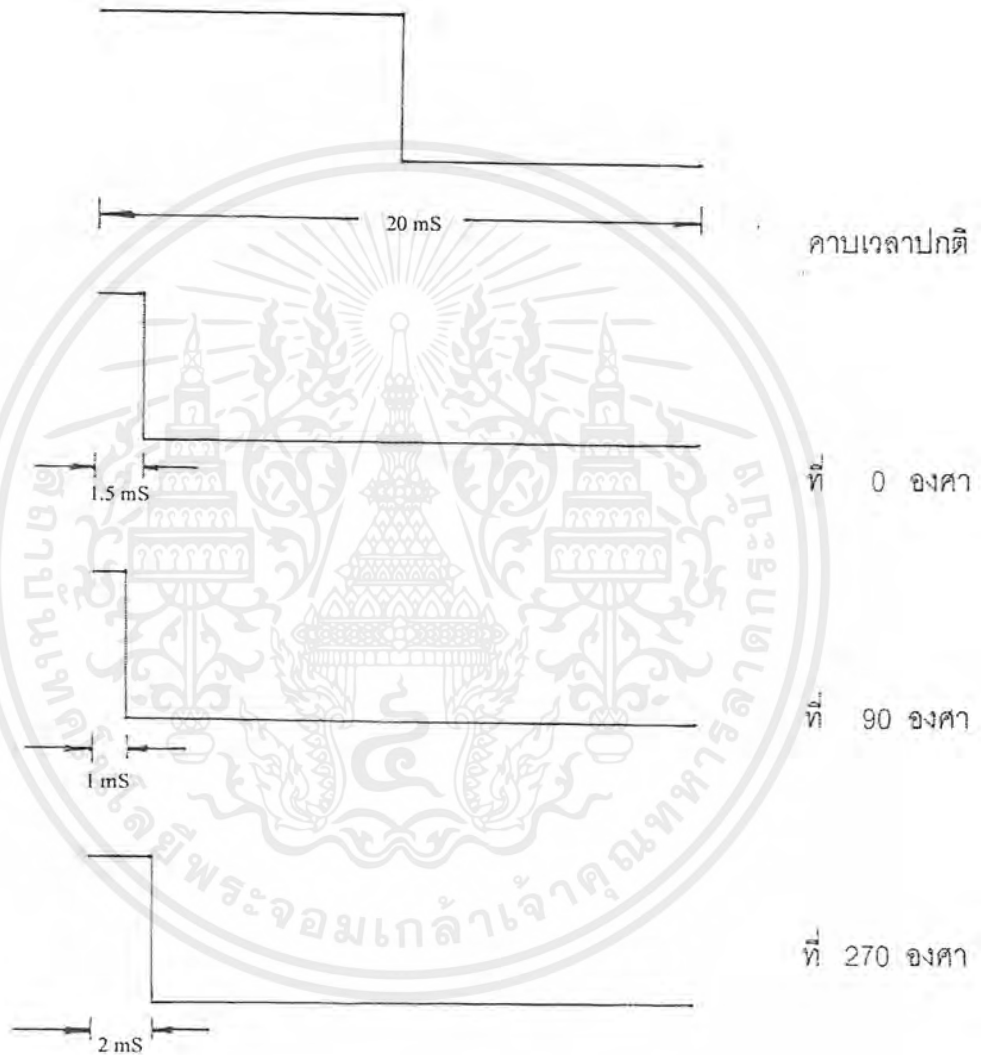
เมื่อได้รับสัญญาณรูปพัลส์สี่เหลี่ยมที่ส่งมาจากเครื่องส่ง SERVO ก็จะมาเปรียบเทียบกับพัลส์ที่สร้างขึ้น ซึ่งถือเป็นมาตรฐาน โดยเปรียบเทียบช่วงของความกว้างของรูปพัลส์ เพื่อรับสัญญาณแล้วนำไปใช้เป็นสัญญาณในการควบคุมให้เครื่องกลไกทำงานตามการบังคับจากด้านเครื่องส่ง ดังในรูปจะแสดงตัวอย่างสัญญาณพัลส์ที่ส่งเข้าไปควบคุมการทำงานของเซอร์โว สมมุติในสภาวะปกติ ความกว้างของพัลส์อยู่ที่ 1.5 ms แขนของเซอร์โวจะอยู่ในตำแหน่งกลาง หรือ ศูนย์องศา แต่เมื่อใดที่ความกว้างของพัลส์รูปสี่เหลี่ยมเปลี่ยนไปในทางที่น้อยลงเป็น 1 ms แขนของเซอร์โวจะเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ตำแหน่ง 90 องศา หรือในทำนองเดียวกัน ถ้าความกว้างของพัลส์เปลี่ยนไปในทางกว้างขึ้นเป็น 2 ms แขนของเซอร์โวจะเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ตำแหน่ง 270 องศา เราจะได้เห็นว่าความกว้างของพัลส์จะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงระหว่าง 1-2 ms



รูปที่ 2.2.2 แสดงการป้อนสัญญาณให้แก่ SERVO MOTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองเราได้ทำการหาค่าความถี่ในช่วงที่ Servo motor ทำงานโดยการนำวิทยุ
 ต่อตรงกับออสซิลโลสโคปพบว่า servo motor นี้ทำงานที่ความถี่ 50 Hz เมื่อ $T = \frac{1}{f}$ ดังนั้น พัลส์
 จะมีคาบเวลา 20 ms



รูปที่ 2.2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ป้อนให้แก่ SERVO MOTOR
 และการหมุนของ SERVO MOTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

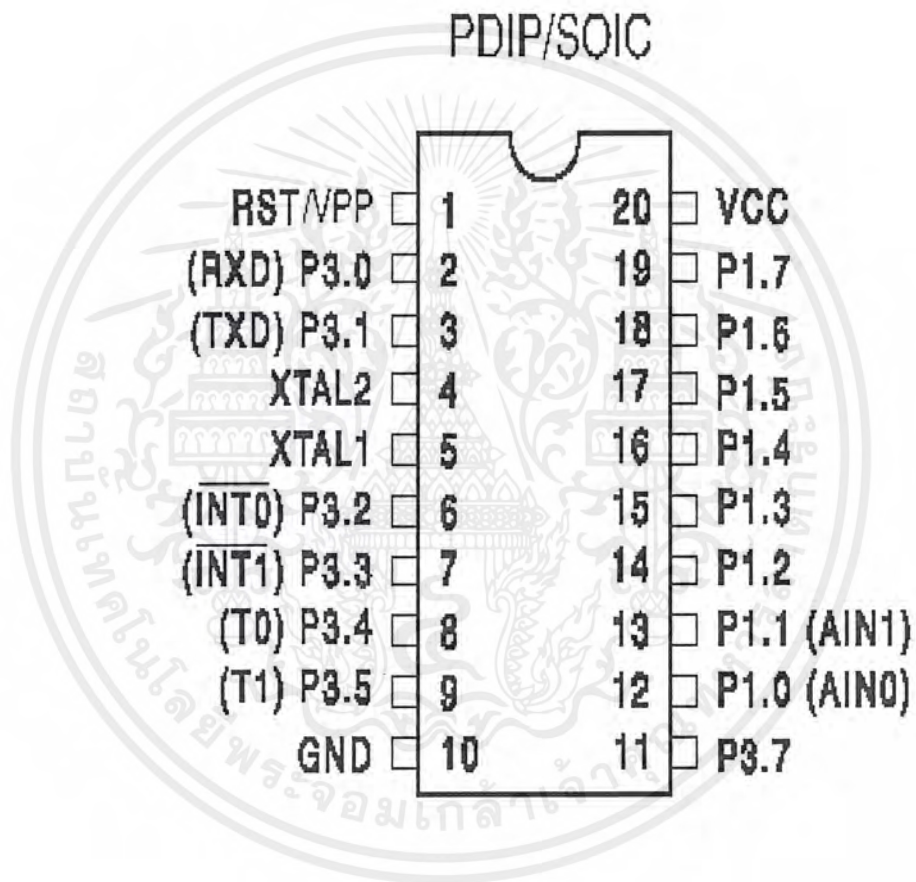
2.3.1 ลักษณะโดยทั่วไป

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นกับโครงสร้างภายในของมัน บางเบอร์จะมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบ ROM บางเบอร์เป็นแบบ EPROM บางเบอร์มี RAM ภายใน 128 ไบต์ บางเบอร์มี 256 ไบต์ เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดจะศึกษาได้จากคู่มือของมันโดยตรง ในโครงการพิเศษนี้ได้มีการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงและเซอร์โวมอเตอร์จึงได้เลือกเอา AT89C2051 มาใช้ เนื่องจากมีคุณสมบัติต่าง ๆ ตรงตามความต้องการอีกทั้งยังมีขนาดเล็กเหมาะกับการใช้งานอีกด้วย

AT89C2051 เป็นชิปไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วซึ่งถูกผลิตโดย ATMEL ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมภายในจะเหมือนกับไมโครคอมพิวเตอร์ตระกูล MCS-51 และมีจุดเด่นดังนี้

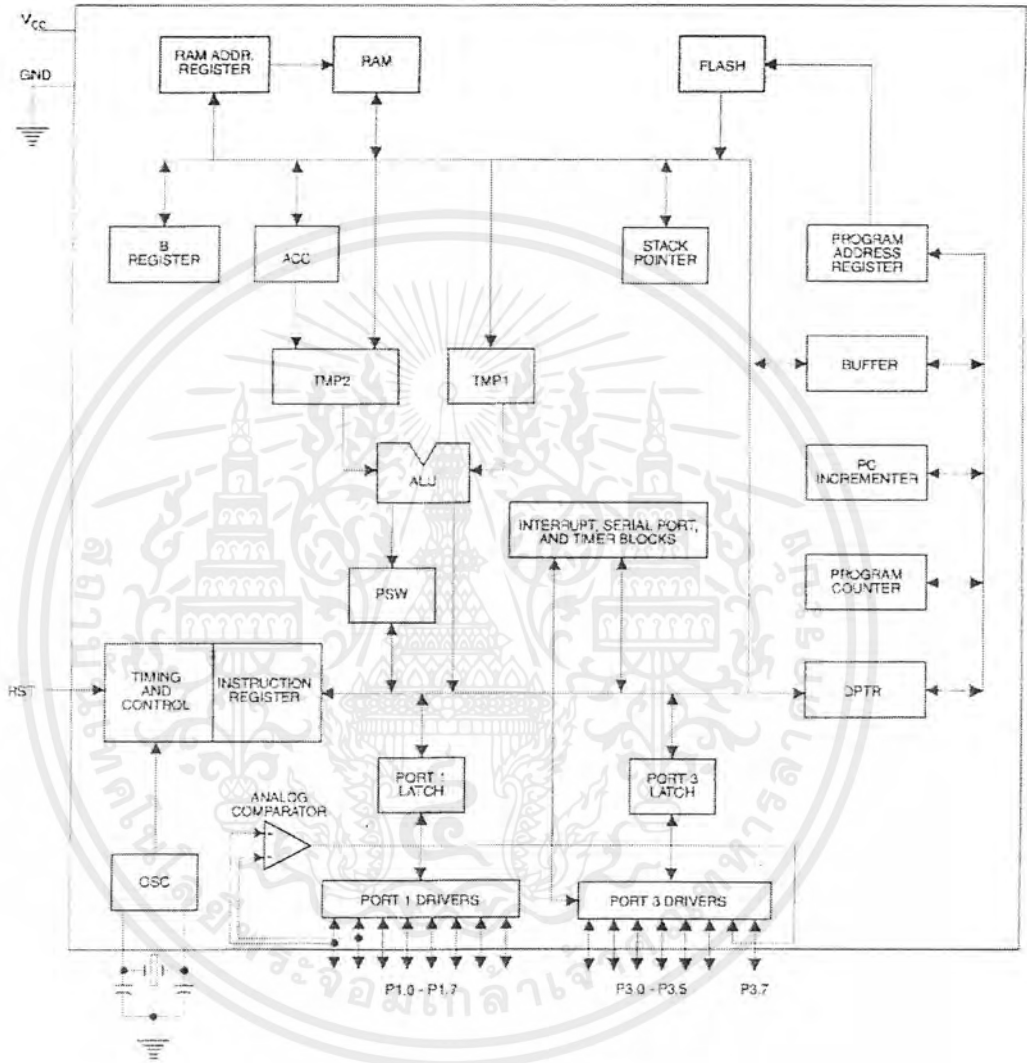
1. มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็น Flash memory ขนาด 2 KB (สามารถลบด้วยไฟฟ้าได้) ต่างกับ MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ EPROM และใช้แสง UV ในการลบ
2. สามารถเขียนและลบใหม่ได้มากกว่า 1,000 ครั้ง
3. โปรแกรมที่บันทึกไว้ในชิปสามารถเก็บได้นานถึง 10 ปีโดยไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยง (Nonvolatile memory technology)
4. ใช้ไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 2.7V - 6V
5. ออสซิลเลเตอร์สามารถปรับได้ตั้งแต่ 0 Hz - 24 MHz
6. หน่วยความจำข้อมูลบนชิปขนาด 128 ไบต์
7. มี Input/Output Port 15 บิต
8. มีตัวนับและตั้งเวลาขนาด 16 บิต 2 ตัว
9. มีอินเทอร์พอร์ท 5 แหล่ง
10. มีพอร์ตอนุกรมแบบ UART (RS-232) สามารถโปรแกรมความเร็วในการรับส่งข้อมูลได้
11. Output Port สามารถขับ LED ได้โดยตรงด้วยกระแส Sink 20mA

การจัดวางขาและโครงสร้างภายในของ AT89C2051 แสดงดังรูป



รูปที่ 2.3.1 แสดงการจัดวางขาของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C2051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.2 แสดงโครงสร้างภายในของ AT89C2051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4 อุปกรณ์ขับเคลื่อน

หลักในการออกแบบอุปกรณ์ขับเคลื่อนในโครงการนี้ เป็นการออกแบบกลไกการขับเคลื่อนแบบพื้นฐาน ไม่ซับซ้อน ใช้ส่วนประกอบต่างๆอย่างง่าย ๆ เช่น เพลาตรง เฟืองตรง และการขับเคลื่อนด้วย DC Motor เป็นต้น

ส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์ขับเคลื่อน

1. Chassis
2. Battery
3. เฟือง
4. เพลา
5. Steering block และ Steering rod
6. ล้อ

1. Chassis

เป็นแผ่นฐานที่ใช้เป็นหลักในการจับยึดส่วนประกอบทุกอย่าง ซึ่งในโครงการเราใช้แผ่นอะคริลิกซึ่งมีความหนา 4 mm เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาซื้อง่ายและมีราคาถูก แต่มีข้อเสียคือเนื้อค่อนข้างเปราะ ทำให้ไม่แข็งแรงและไม่ทนต่อแรงกระทบ

2. Battery

เป็น Battery ขนาด 1.2 V 1700 mAh ทำจากสาร Cadmium

3. เฟือง

ประวัติความเป็นมาของเฟือง

โครงข่ายฟันเฟือง ถูกใช้โดยมนุษยชาติมาเป็นเวลามากกว่า 3000 ปีมาแล้ว แต่มีหัวข้อหรือความจริงที่พวกเรายังไม่รู้ ว่าที่ใดหรือเมื่อไหร่ที่เฟืองตัวแรกถูกใช้ งานเฟืองแสดงออกต่างๆ ในสมัยโบราณตามอุปกรณ์กลไกอื่นๆ เช่น กงล้อของตัวปั้นหม้อ ลูกรอก คานงัด และอุปกรณ์อื่น ๆ

ในตอนแรก ๆ เฟืองน่าจะถูกสร้างโดยปราศจากไม้ ชาวกรีกได้สร้างเฟืองตัวเล็ก ๆ สำหรับอุปกรณ์ดูดาวโดยปราศจากโลหะชาวโรมันได้ใช้เฟืองที่ทำด้วยไม้ในอุปกรณ์เพื่อความเคลื่อนไหวที่ ต้องการใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดในช่วงกลาง เฟืองถูกใช้ในโรงโม่ที่ใช้กำลังน้ำ อุปกรณ์กลไกในการประดิษฐ์นาฬิกาในช่วงปี ค.ศ. 1300 จะใช้เฟืองโลหะตัวเล็ก ๆ นาฬิกาลูกตุ้มที่เจริญขึ้นในเวลาต่อมา ใช้ระบบเฟืองทั้งหมด นาฬิกาเหล่านั้นบางส่วนที่อยู่ในโบสถ์มีขนาดใหญ่มากที่สุดทีเดียว

พลังงานจากเฟืองที่ถูกใช้มาอย่างยาวนาน ก็ได้เกิดขึ้นจริงๆ ครั้งแรกในประเทศฮอลแลนด์ ที่ซึ่งกังหันลมจำนวนมากใช้สูบน้ำทะเลออกจากพื้นดิน ซึ่งกังหันลมขนาดใหญ่จะใช้ฟันเฟืองของเฟืองที่ทำจากไม้ เพื่อนำกำลังจาก การหมุนอย่างรวดเร็วของใบพัดลม ที่ส่วนบนสุดของโรงโม่ และส่งต่อไปที่ตัวสูบน้ำที่หมุนช้า ๆ ที่ส่วนล่างของโรงโม่

ในการปฏิวัติอุตสาหกรรม ในปี ค.ศ. 1700 มีความต้องการตัวขับเฟืองทุกชนิด เฟืองที่ค่อนข้างดี จะถูกสร้างในแบบหล่อเหล็ก โดยใช้รูปแบบซึ่งมีความแน่นอนมาก ซึ่งสร้างด้วยซีเมนต์ซีลัลด และดุมล้อ อีกไม่นานนักเฟืองที่ตีกว่าได้ถูกสร้างขึ้น หลังจากที่เฟืองของเครื่องตัด ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้น และถูกใช้เพื่อทำรูปร่างฟันเฟืองในแบบหล่อเหล็ก และเหล็กกล้า ในศตวรรษที่ 19 ผู้คนได้คำนึงถึง เฟืองปกติ มี แบบหล่อฟันเฟือง และความแน่นอนของเฟือง

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 รถยนต์และเครื่องบินได้เริ่มมีใช้ แน่นนอนในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 เรือเครื่องจักรไอน้ำ รถบรรทุกหินด้วยพลังงานไฟฟ้า และอุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้เฟือง ถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง ตัวขับเฟืองจะใช้งานทั่วไปในล้อเลื่อน โรงโม่ และอุปกรณ์เครื่องจักรกลทุกแบบ การพัฒนาของเฟืองได้ถูกพัฒนาไปพร้อมๆ กับการใช้งานอย่างกว้างขวางของมัน

เทคโนโลยีของเฟือง จำเป็นต้องใช้ขั้นตอนที่ซับซ้อนของเครื่องจักร เพื่อสร้างเฟืองตามที่ต้องการ หลักการทางวิศวกรรมที่เพิ่มขึ้น และข้อมูลของการสร้าง เช่นความเค้นของหน้าสัมผัสซีฟัน ความเค้นความโค้งงอของซีฟัน การหล่อลิ้นของ โครงข่ายฟันเฟืองที่ความเร็วมาก ๆ และความเข้าใจเกี่ยวกับการผสมเหล็ก หรือโลหะอื่นที่ใช้ในระบบเฟือง

อะไรคือสิ่งที่ต้องการ แน่นนอน ก็คือการออกแบบเฟือง ซึ่งได้ทดสอบการสร้างด้วยเครื่องจักรที่หาได้ ขนาด และ คุณภาพที่ดีพอเพียงสำหรับการขับเฟืองตามต้องการให้นานที่สุดในแต่ละการใช้งาน และแน่นนอน โดยปกติความยุ่งยากที่เกิดขึ้น ก็คือตัวขับเฟืองต้องมีราคาถูก มีขนาดที่ไม่ใหญ่เกินไป หรือหนักมากเกินไป

ตลอดระยะเวลาระหว่างศตวรรษที่ 20 มีความก้าวหน้าเกี่ยวกับศิลปะของเฟืองอย่างรวดเร็ว ศิลปะการสร้างเฟืองได้เปลี่ยนจากการสร้างด้วยการทำงานเครื่องจักรที่ทำงานด้วยมือ บางส่วน ในเครื่องที่ทำงานอัตโนมัติ คอมพิวเตอร์คอนโทรลเลอร์ ซึ่งสามารถสร้างได้จำนวน และระดับคุณภาพที่ไม่น่าเชื่อ ในเวลาที่รวดเร็ว

การออกแบบทางวิศวกรรมของเฟือง ได้เติบโตและขยายไปมาก ซึ่งหนังสือเทคนิคทั้งหมด เป็นที่ต้องการของวิศวกรเพื่อความเข้าใจในวิธีการคำนวณทางเรขาคณิต การใช้งานเพื่อออกแบบ และข้อมูลที่ต้องการอื่น ๆ ในมาตรฐานการค้า ข้อมูลที่มากกว่า ที่ครอบคลุมปัญหาต่าง ๆ ที่ต้องหลีกเลี่ยงในอายุการใช้งานของเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นของเฟือง ลงความเห็นได้ว่า มากกว่า 90% ของความรู้ทางเทคนิคของมนุษย์ ในการใช้เกี่ยวกับเฟือง ถูกพัฒนาในระยะเวลาระหว่าง ปี 1890 ถึง 1990 ในช่วง 100 ปีสุดท้าย

ในช่วง 100 ปีสุดท้าย สามารถที่จะแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ในแต่ละช่วงจะประมาณจากความก้าวหน้าในรูปแบบเฟือง

1890 – 1930 ในช่วงเริ่มต้น ซึ่งโรงงานผลิตเฟืองและวิศวกรรมของเฟืองได้กลายเป็นที่รู้จักอย่างมั่นคง

1930-1960 โรงงานผลิตเฟืองและวิศวกรรมของเฟืองได้กลายเป็นพื้นฐานอย่างกว้างขวาง ศิลปะของเฟืองได้เติบโตขึ้นอย่างแท้จริง

1960-1980 เป็นช่วงสำคัญในการพัฒนาความก้าวหน้าเทคโนโลยีของเฟือง ศิลปะของเฟืองได้กลายเป็นสิ่งใหม่

1980-1990 ความมั่นคงของศิลปะเฟืองแบบเก่า เห็นความเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจนในการออกแบบเครื่องจักรสมัยใหม่ การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ วัสดุใหม่ ๆ และการหล่อขึ้นแบบใหม่

ศิลปะของเฟืองกำลังก้าวหน้าไปอย่างกว้างขวาง ความซับซ้อน ความสามารถที่น่าประหลาดใจ และ ทำให้เกิดความสับสนในการสร้างเครื่องจักรและกฎการออกแบบของ 30 ปีที่แล้วได้ล้าสมัยไปแล้ว เทคโนโลยีของเฟืองเป็นการพัฒนาอย่างสูงสุด เช่น เทคโนโลยีการสร้างล้อสุญญากาศ FAX แมชชีน พลาสติก เลเซอร์ และอีกหลาย ๆ อย่าง

เฟืองเป็นอุปกรณ์เครื่องกลชนิดหนึ่ง มีจุดประสงค์เพื่อส่งผ่านการเคลื่อนที่ และพลังงานจากเพลลาของมัน ผ่านเฟืองตัวอื่น สู่เพลลาของมัน โดยหมายถึงฟันของเฟือง โดยทั่วไปต้องการใช้ในการส่งผ่านการเคลื่อนที่ที่เป็นรูปแบบ นั่นคือถ้าการขับเฟืองเป็นการหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมค่าหนึ่ง ตัวขับเฟืองต้องหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมค่าหนึ่ง เฟืองตัวเล็ก ๆ 2 ตัวในเฟือง โดยทั่วไปตัวขับ จะถูกเรียกว่า ปีกนก (pinion); ส่วนตัวที่ใหญ่กว่าก็คือเฟือง

ชนิดต่าง ๆ ของเฟือง ในการใช้งานทั่วไป สามารถแยกออกได้ดังนี้

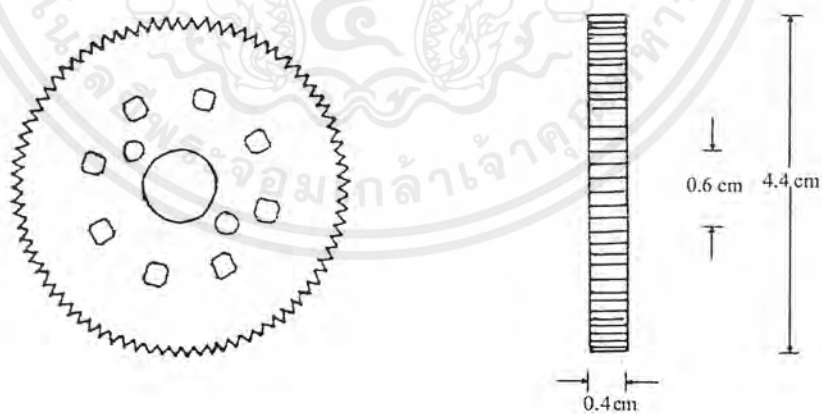
1. Parallel Shafts (เพลลาขนาน)

- Spur
- Helical
- Double-helical
- Herringbone
- Internal
- Rack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Intersecting Shafts
 - Straight bevel
 - Spiral bevel
 - Zero
3. Nonintersecting Nonparallel Shafts
 - Crossed - axis helical
 - Spiroid
4. Special Gear Types
 - Elliptical
 - Triangular
 - Square
 - Multiple-sector
 - Scroll

ในโครงการเราเลือกใช้เฟืองตรง หรือเรียกว่า Spur Gears โดยมีรายละเอียดของเฟืองแสดงด้วยภาพประกอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.4.1 แสดงรายละเอียดของเฟืองที่เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spur Gears

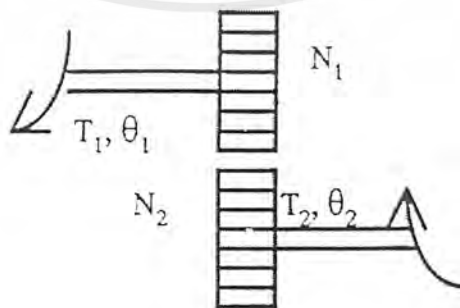
มีเฟืองและฟันตัดขนานกับแกนของการหมุน มีการออกแบบอย่างง่าย ๆ และสร้างโดยเปรียบเทียบกับเฟืองชนิดอื่น และการออกแบบเฟืองก็มักจะมีพื้นฐานมาจาก Spur Gear แล้วนำไปประยุกต์สร้างเฟืองชนิดต่างๆสำหรับการใช้งาน เช่นสามารถเปลี่ยนเป็น helicals หรือ herringbones ได้ Spur Gear แสดงในรูป



รูปที่ 2.4.2 แสดงลักษณะของ Spur Gear

ระบบเฟือง

ในการหาค่าความสัมพันธ์ต่างๆของเฟืองตรง เราจะใช้หลักในการพิจารณาของเฟืองในอุดมคติคือไม่คิดแรงเฉื่อยและแรงเสียดทาน



รูปที่ 2.4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด T_1 และ T_2 การเคลื่อนที่เชิงมุม θ_1 และ θ_2 และจำนวนซี่ฟัน N_1 และ N_2 ของระบบเฟืองสามารถหาได้จาก

1. จำนวนซี่ฟันของเฟืองจะเป็นสัดส่วนกับรัศมี ของเฟือง นั่นคือ

$$r_1 N_2 = r_2 N_1$$

2. ถ้าระยะทางการเคลื่อนที่ไปของเฟืองแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากัน

$$\theta_1 r_1 = \theta_2 r_2$$

3. งานที่ได้จากเฟืองตัวหนึ่งจะเท่ากับแรงงานที่ได้จากเฟืองอีกตัวหนึ่ง เนื่องจากสมมติให้ว่าไม่มีการสูญเสียแรงงาน

$$T_1 \theta_1 = T_2 \theta_2$$

ถ้าความเร็วเชิงมุมของเฟืองคือ ω_1 และ ω_2 จะได้ว่า

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$$

การคำนวณอัตราทด

การคำนวณอัตราทดของเฟืองสามารถทำได้ด้วยวิธีการง่ายๆ คือนำจำนวนฟันเฟืองหารด้วยจำนวนฟันของ เฟืองขับ (pinion) ตัวอย่างเช่นในโครงการ

$$\text{จำนวนฟันของเฟือง} = 81 \text{ ฟัน}$$

$$\text{จำนวนฟันของเฟืองทด} = 15 \text{ ฟัน}$$

$$\text{จะได้ว่าระบบเฟืองที่ใช้มีอัตราทด} = 5.4$$

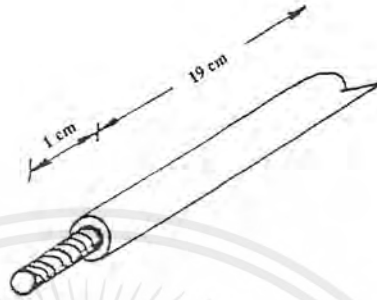
ขนาดของเฟือง

โดยทั่วไปการเรียกขนาดของเฟือง มักไม่เรียกเป็นเบอร์ แต่จะใช้อัตราของฟันเฟืองแทน เช่น เฟือง 48 pitch นั่นคือจำนวนฟันของเฟืองต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟือง 1 นิ้ว ในโครงการเราใช้เฟืองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.3 cm (1.6929 นิ้ว) จะได้ว่ามีฟันเฟืองทั้งหมด 81 ฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพลลา

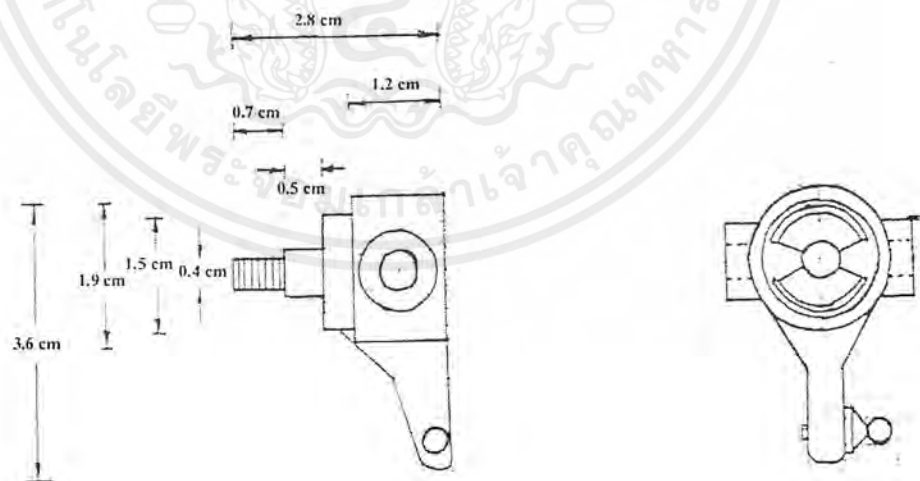
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่ง หรือถ่ายแรงจากเฟือง ในโครงการเราใช้เพลลาตรงในการรับแรงจากเฟืองเพื่อไปขับเคลื่อนล้อหลังซึ่งเพลลามี ขนาดยาว 19 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 mm ทำการกลึงเกลียว 4 mm ที่ปลายทั้งสองข้างข้างละ 1 cm ทำจากเหล็กธรรมดา



รูปที่ 2.4.4 แสดงลักษณะของเพลลาที่ใช้ในโครงการนี้

5. Steering block และ Steering rod

Steering block ทำจากพลาสติก ใช้เป็นตัวยึดล้อหน้าแต่ละล้อทำให้เลี้ยวได้อย่างอิสระ ส่วน Steering rod ช่วยในการบังคับเลี้ยว เราอาจเปรียบได้กับแกนที่ยึดระหว่างพวงมาลัยกับล้อในรถจริง



รูปที่ 2.4.5 แสดงลักษณะของ Steering Block

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ยาง

6.1 โครงยางแบบเรเดียล (Radial Construction)

โครงยางแบบนี้จะมีเส้นใยวางเป็นมุม 90 องศา กับเส้นรอบวงของยาง หรือเส้นใยแต่ละเส้นแผ่กระจายไปตามแนวรัศมีออกจากศูนย์กลางโดยรอบ และมีผ้าเสริมหน้ายาง 2-6 ชั้น คาดยึดโครงยางไว้ ทำให้ยางเกาะถนนได้ดีและผ้าเสริมหน้ายางมักเสริมใยเหล็กทำให้มีความยืดหยุ่นน้อย



รูปที่ 2.4.6 แสดงลักษณะภายนอกของยางที่ใช้ในโครงงาน

ข้อดีของยางเรเดียล

1. เกิดการสิ้นเปลืองในขณะเลี้ยวน้อย
2. มีการเกิดความร้อนภายในยางต่ำ
3. มีการตะกุกที่ดี

(อย่างไรก็ตามคุณลักษณะที่ดีเหล่านี้อาจเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะดอกยางและวัสดุที่ใช้ทำเส้นใย)

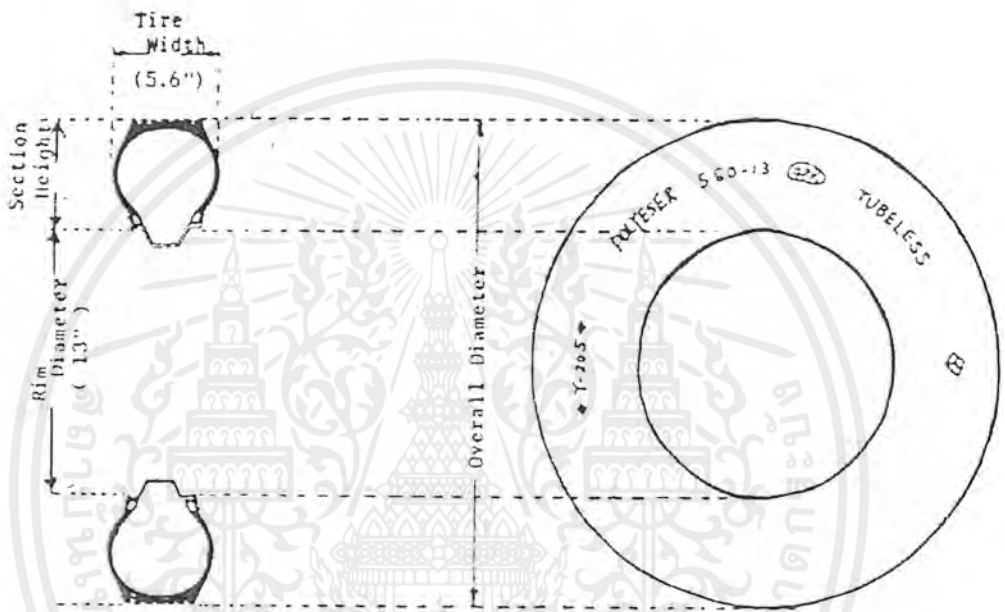
ข้อเสียของยางเรเดียล

1. การผลิตทำได้ยาก ต้องใช้เทคนิคขั้นสูง
2. วัสดุมีราคาสูง ทำให้ยางมีราคาสูงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การบอกขนาดของยาง

- ยางแบบเรเดียลจะสามารถบอกขนาดของยางได้ เช่น 165 SR 13 โดยที่
- 165 คือ ความกว้างของหน้ายาง หน่วยเป็นมิลลิเมตร
 - S คือ ขีดจำกัดความเร็วของยาง
 - R คือ โครงยางแบบเรเดียล
 - 13 คือ ขนาดของกระทะล้อหน่วยเป็นนิ้ว



รูปที่ 2.4.7 แสดงการบอกขนาดของยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการการทำงานของวงจรถวลการเคลื่อนที่

3.1 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

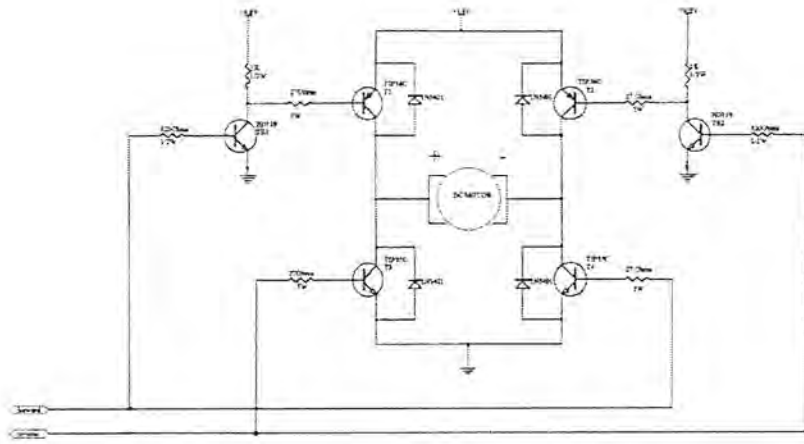
ในการที่จะควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงและเซอร์โวมอเตอร์นั้นจำเป็นที่จะต้องเขียนโปรแกรมควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยในส่วนของการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงนั้นโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาจะไปควบคุมทิศทางหมุนของมอเตอร์กระแสตรง แต่เนื่องด้วยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เองไม่สามารถจะขับมอเตอร์ให้หมุนได้จึงต้องใช่วงจรบริดจ์เข้ามาช่วยในการขับเคลื่อนมอเตอร์และยังต้องใช้ optoisolator มาช่วยในการแยกไฟเลี้ยงของทั้งสองระบบ (ระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์และระบบของวงจรถวลที่ใช้อยู่ในการขับเคลื่อนมอเตอร์) ออกจากกันเพื่อป้องกันการรบกวนกันของสัญญาณจากทั้งสองระบบ

การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมวงจรถวลนั้นในโครงงานพิเศษนี้ได้ใช้พอร์ต 3.3 และ 3.1 ในการควบคุมการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าและถอยหลังตามลำดับ โดยจะทำการเซตให้พอร์ตใดพอร์ตหนึ่งในทั้งสองพอร์ตมีสถานะเป็น low หรือเป็น "0" เมื่อมีการกดสวิตช์เดินหน้าหรือถอยหลังซึ่งจะทำให้ LED ภายใน optoisolator อยู่ในสถานะทำงานส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ภายใน optoisolator ได้รับการไบอัส ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 หรือ Q2 ได้รับการไบอัสจากทรานซิสเตอร์ภายใน optoisolator เมื่อทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งได้รับการไบอัสแล้วก็จะเกิดมีไฟ 4.8 โวลต์ไปไบอัสทรานซิสเตอร์ที่อยู่ในวงจรถวล โดยการไบอัสนี้จะทำการไบอัสทรานซิสเตอร์เป็นคู่คือ T1, T4 และ T2, T3 ในกรณีทรานซิสเตอร์ด้านบนซึ่งก็คือทรานซิสเตอร์ T1 และ T2 จะมีทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่งต่อเอาไว้ซึ่งก็คือทรานซิสเตอร์ TR1 และ TR2 ทรานซิสเตอร์ที่ต่อเอาไว้นี้จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์คือเมื่อตัวมันเองไม่ได้รับการไบอัสทรานซิสเตอร์ T1 และ T2 จะไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากไม่ได้รับการไบอัสด้วย แต่ถ้าทรานซิสเตอร์ TR1 และ TR2 ได้รับการไบอัสจะทำให้เกิดการไบอัสทรานซิสเตอร์ T1 และ T2 นั้นเอง ในกรณีของทรานซิสเตอร์ด้านล่างซึ่งก็คือทรานซิสเตอร์ T3 และ T4 จะได้รับการไบอัสในทันทีที่พอร์ต 3.3 หรือ 3.1 ถูกทำให้มีสถานะเป็น low

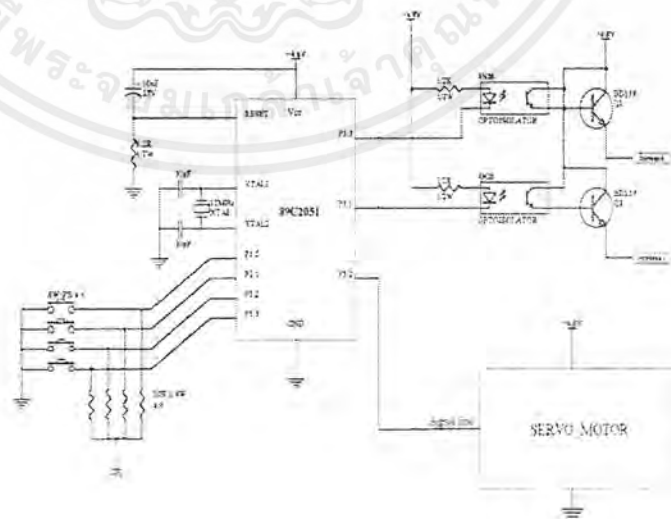
เมื่อทรานซิสเตอร์ T1 หรือ T2 ได้รับการไบอัส จะเกิดแรงดันไหลเข้าสู่มอเตอร์แล้วผ่านไปยังทรานซิสเตอร์ T3 หรือ T4 ทางด้านล่างแล้วแต่ว่าคู่ใดจะได้รับการไบอัสทำให้มอเตอร์กระแสตรงเกิดการหมุนไปในทิศทางหนึ่งซึ่งจะเกิดการกลับทิศ เมื่อทรานซิสเตอร์อีกคู่หนึ่งได้รับการไบอัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.1 แสดงวงจรบริดจ์ที่ใช้ในโครงการ

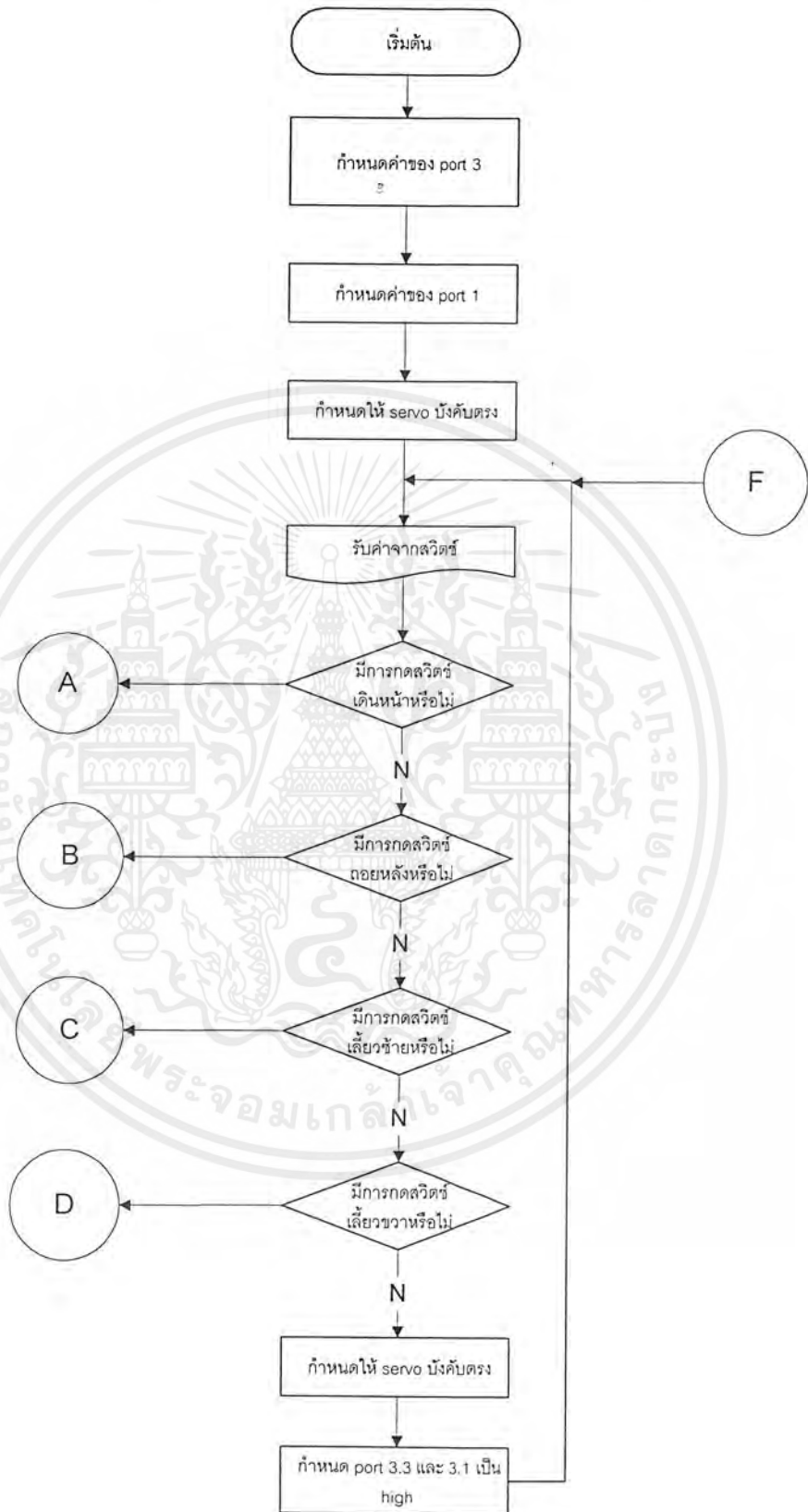
ส่วนการควบคุมทิศทางการเลี้ยวโดยการบังคับทิศทางการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์นั้นไม่จำเป็นต้องมีวงจรใด ๆ มาช่วยในการขับเพราะเซอร์โวมอเตอร์นั้นใช้เพียงสัญญาณความถี่ในการควบคุม ตามที่ได้กล่าวไปแล้วในส่วนของเซอร์โวมอเตอร์คือการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์จะใช้การป้อนสัญญาณความถี่ที่มีค่าความถี่คงที่ค่าหนึ่งแต่จะมีค่าความกว้างของพัลส์ต่างกันเข้าไป ดังนั้นจึงต้องเขียนโปรแกรมให้ AT89C2051 กำหนดสัญญาณที่มีความถี่ค่าหนึ่งแต่เปลี่ยนค่าความกว้างของพัลส์ไปตามการกดสวิตช์เลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวาหรือเมื่อไม่มีการกดสวิตช์เลยทั้งซ้ายและขวา โดยเมื่อไม่มีการกดสวิตช์ เซอร์โวมอเตอร์จะต้องอยู่ในสภาวะกึ่งกลางคือมีความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะ high เท่ากับ 1.5 มิลลิวินาที และเมื่อมีการเลี้ยวซ้ายความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะ high จะเท่ากับ 1 มิลลิวินาทีซึ่งจะทำให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางซ้าย 90 องศา ส่วนการเลี้ยวขวาคความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะ high จะเท่ากับ 2.0 มิลลิวินาทีซึ่งจะทำให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางขวา 90 องศาเช่นกัน



รูปที่ 3.1.2 แสดงการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์โดยผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์

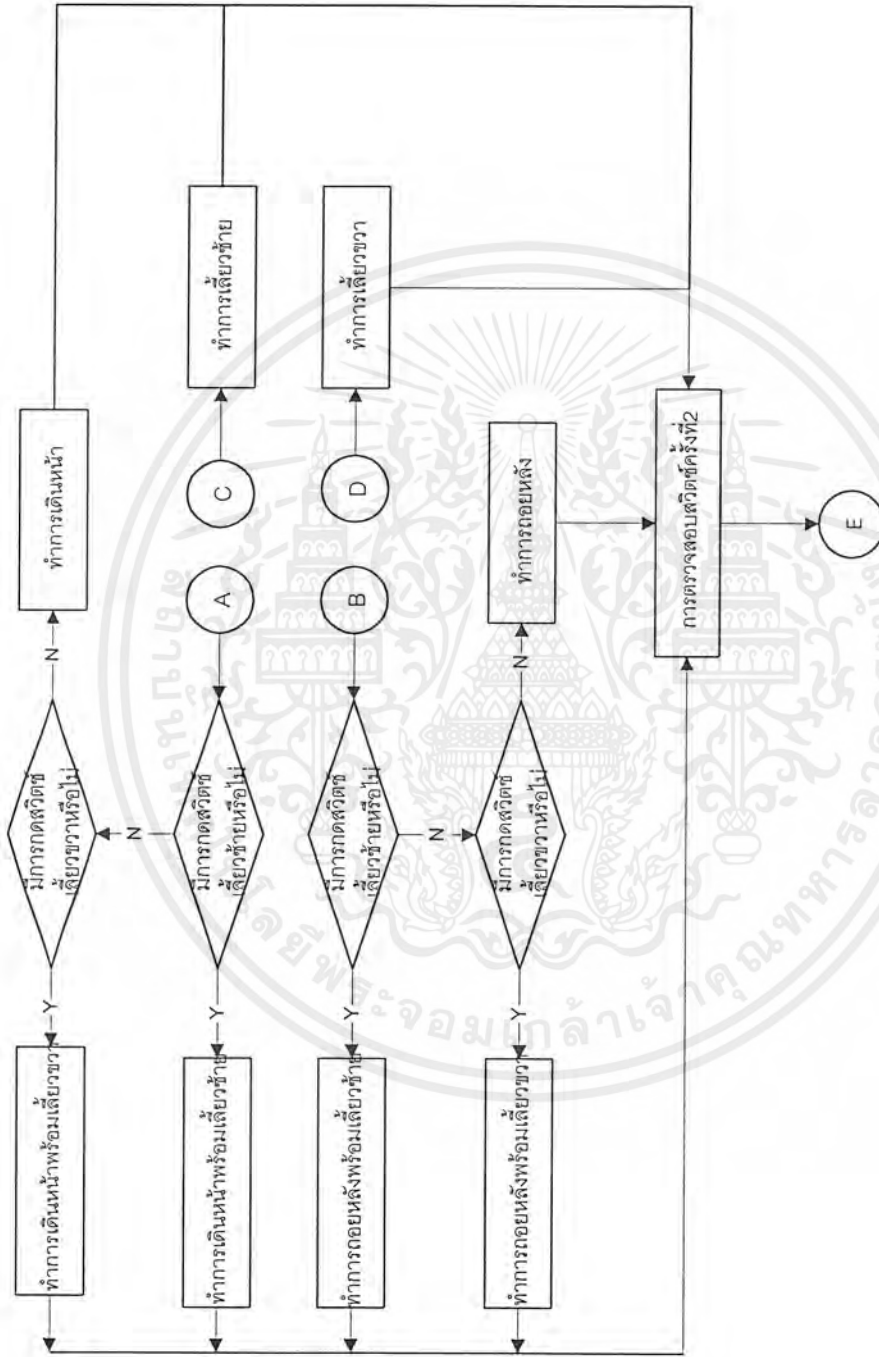
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่



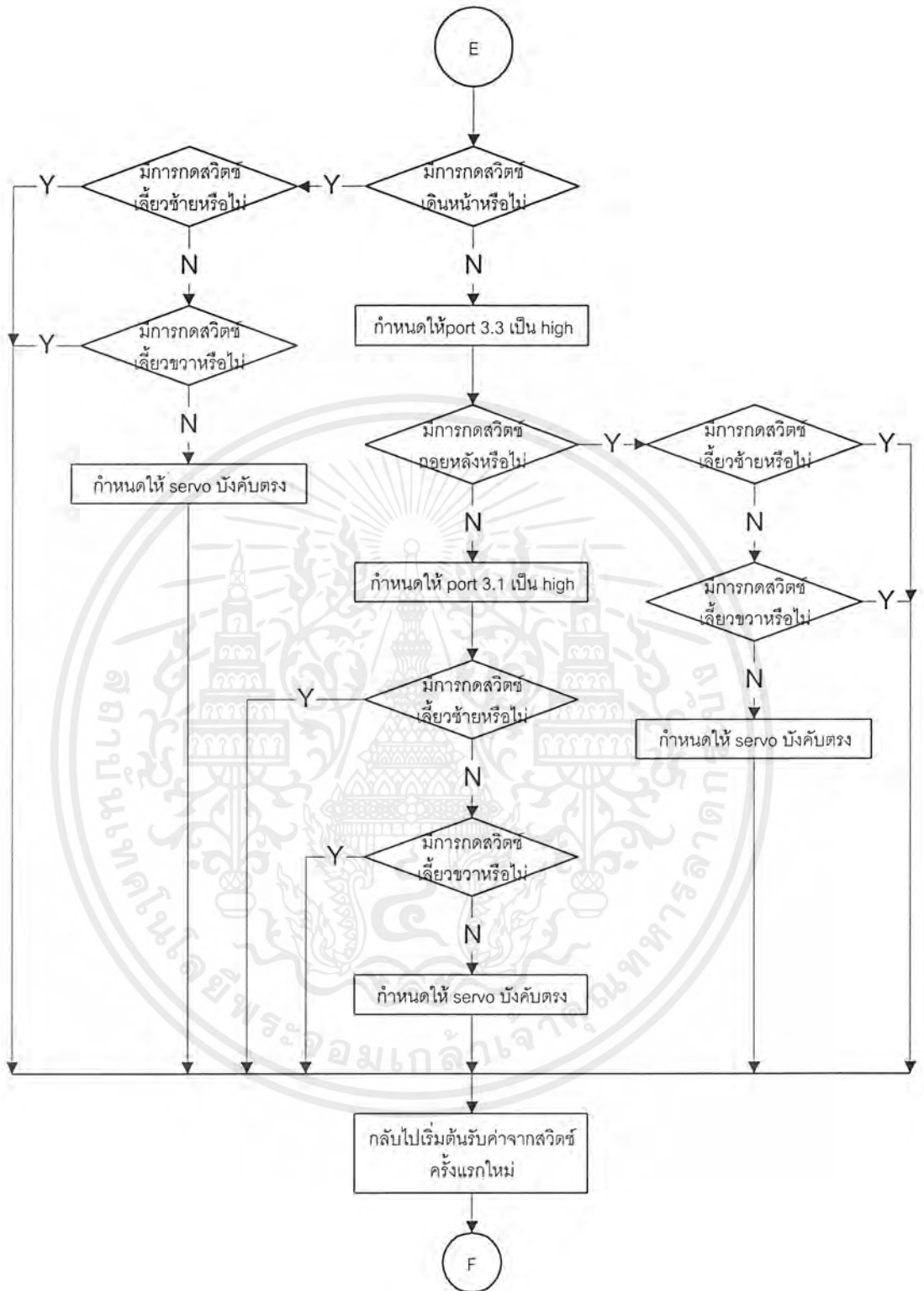
รูปที่ 3.2.1 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.2 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.3 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองในส่วนของการหาความเร็วรอบ

การหาความเร็วรอบในขณะที่ไม่มี load เราจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า stroboscope ในการวัด เมื่อวงจรบริดจ์จ่ายกระแสให้มอเตอร์ 1.66 A และแรงดัน 5.06 V จะได้ว่า ความเร็วรอบของ DC motor มีค่าเท่ากับ 1,400 รอบต่อนาที

4.2 ผลการทดลองในส่วนของการคำนวณหาค่าแรงบิดของมอเตอร์

การหาค่าแรงบิดของมอเตอร์สามารถหาได้โดยใช้ความสัมพันธ์

$$T = 30000 P / \pi n$$

T = แรงบิดของมอเตอร์มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร (N-m)

P = กำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นกิโลวัตต์

N = ความเร็วรอบของมอเตอร์มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที

$$\text{แรงบิดของมอเตอร์} = \frac{30000 (1.66 \times 5.05 \times 10^{-3})}{\pi (1400)}$$

$$= 0.0517 \quad N - m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของการวัดขีดความสามารถในการรับน้ำหนักและความเร็วในระยะทางที่กำหนด

น้ำหนัก LOAD (KG)	เวลา (วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)
0.0	2.5	10	4.00
0.5	3.0	10	3.33
1.0	4.5	10	2.22
1.5	6.0	10	1.66
2.0	7.0	10	1.43
2.5	8.0	10	1.25
3.0	10.0	10	1.00
3.5	17.0	10	0.58
4.0	20.0	10	0.50
4.5	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุป

อุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์และสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพพอสมควร สามารถควบคุมทิศทางในการเคลื่อนที่ได้ รับน้ำหนักได้ถึง 4 กิโลกรัม ในขณะที่มีความเร็ว 2 เมตรต่อวินาที ในส่วนของโปรแกรมควบคุมอัตโนมัติสามารถควบคุมอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กได้ ผลการทดลองสามารถ ที่จะประยุกต์อุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็กเข้ากับเครื่องรับส่งสัญญาณวิทยุระยะไกล เพื่อใช้งานจริง ต่อไป

การพัฒนา

การพัฒนาเพื่อใช้งานจริง สามารถทำได้โดยติดตั้งการควบคุมด้วยสัญญาณวิทยุระยะไกล และติดตั้งกล้องโทรทัศน์วงจรปิดเพื่อใช้ในการสำรวจเส้นทาง เพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ และรับน้ำหนักให้กับอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็ก เช่น ใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นและแข็งแรง มีน้ำหนักเบา เพื่อใช้ทำโครงสร้างของอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็ก เพลลาที่ใช้ควรเป็นเหล็กเพลลา เนื่องจากจะไม่เกิดสนิม และเพลลาบิดเบี้ยว เมื่อต้องเคลื่อนที่ไปในเส้นทางที่ยากต่อการขับเคลื่อน

ภาคผนวก ก
โปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ

```
ORG      100H
MAIN:    MOV     P3,#0FFH
         MOV     P1,#0FFH
         LCALL  FIRST
LOOP0:   LCALL  LOOP
         lcall  first
         setb   p3.1
         setb   p3.3
         SJMP  LOOP0
LOOP:    mov     a,p1
         JNB   acc.0,AUTO1
         JNB   acc.1,auto1
         JNB   acc.2,AUTO1
         JNB   acc.3,AUTO1
         lcall  first
         SETB  P3.3
         SETB  P3.1
         SJMP  LOOP
AUTO1:   lcall  delayr2
         clr   p3.3
         lcall  delayr1
         setb  p3.3
         clr   p3.1
         lcall  delayr1
         setb  p3.1
         clr   p3.3
         lcall  delayr1
desh:    lcall  left
         djnz  r4,desh
         setb  p3.3
         mov   r4,#30d
         lcall  delayr1
desh2:   lcall  first
         djnz  r4,desh2
         mov   r3,#20d
desh3:   clr   p3.1
         lcall  right
         djnz  r3,desh3
         lcall  delayr1
         setb  p3.1
         lcall  first
         RET
LEFT:    MOV     A,#4H
         SETB  P3.2
         LCALL DELAY
         CLR   P3.2
         LCALL DELAY3
         RET
RIGHT:   MOV     A,#2H
         SETB  P3.2
         LCALL DELAY
         CLR   P3.2
         LCALL DELAY4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

FIRST:      RET
            MOV     A, #3H
            SETB   P3.2
            LCALL  DELAY
            CLR    P3.2
            LCALL  DELAY2
            RET

DELAY:      MOV     R6, A
AGAIN:     MOV     R7, #0FAH
            DJNZ   R7, $
            DJNZ   R6, AGAIN
            RET

DELAY2:    MOV     R6, #37D
AGAIN2:    MOV     R7, #250D
            DJNZ   R7, $
            DJNZ   R6, AGAIN2
            RET

DELAY3:    MOV     R6, #36D
AGAIN3:    MOV     R7, #250D
            DJNZ   R7, $
            DJNZ   R6, AGAIN3
            RET

DELAY4:    MOV     R6, #38D
AGAIN4:    MOV     R7, #250D
            DJNZ   R7, $
            DJNZ   R6, AGAIN4
            RET

DELAYR1:   MOV     R0, #7D
AGAINR11:  MOV     R1, #250D
AGAINR12:  MOV     R2, #250D
            DJNZ   R2, $
            DJNZ   R1, AGAINR12
            DJNZ   R0, AGAINR11
            RET

DELAYR2:   MOV     R0, #20D
AGAINR21:  MOV     R1, #250D
AGAINR22:  MOV     R2, #250D
            DJNZ   R2, $
            DJNZ   R1, AGAINR22
            DJNZ   R0, AGAINR21
            RET
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
โปรแกรมควบคุมด้วยสายสัญญาณ

```

ORG      100H
MAIN:    MOV      P3,#0FFH
         MOV      P1,#0FFH
         LCALL   FIRST
LOOP0:   LCALL   LOOP
         LCALL   LOOP2
         SJMP   LOOP0
LOOP:    mov     a,p1
         JNB    acc.0, FORWARD
         JNB    acc.1, REVERSE
         JNB    acc.2, LEFT
         JNB    acc.3, RIGHT
         lcall  first
         SETB   P3.3
         SETB   P3.1
         SJMP   LOOP
FORWARD: JNB    ACC.2, FOR_LEFT
         JNB    ACC.3, FOR_RIGHT
         CLR    P3.3
         RET
REVERSE: JNB    ACC.2, REV_LEFT
         JNB    ACC.3, REV_RIGHT
         CLR    P3.1
         RET
LEFT:    MOV     A, #4H
         SETB   P3.2
         LCALL  DELAY
         CLR    P3.2
         LCALL  DELAY3
         RET
RIGHT:   MOV     A, #2H
         SETB   P3.2
         LCALL  DELAY
         CLR    P3.2
         LCALL  DELAY4
         RET
FOR_LEFT: CLR   P3.3
         JMP    LEFT
         RET
FOR_RIGHT: CLR  P3.3
         JMP    RIGHT
         RET
REV_LEFT: CLR   P3.1
         JMP    LEFT
         RET
REV_RIGHT: CLR  P3.1
         JMP    RIGHT
         RET
LOOP2:   JNB    ACC.0, CHECK_TURN
         SETB   P3.3
         JNB    ACC.1, CHECK_TURN
         SETB   P3.1
         JMP    CHECK_TURN
         RET

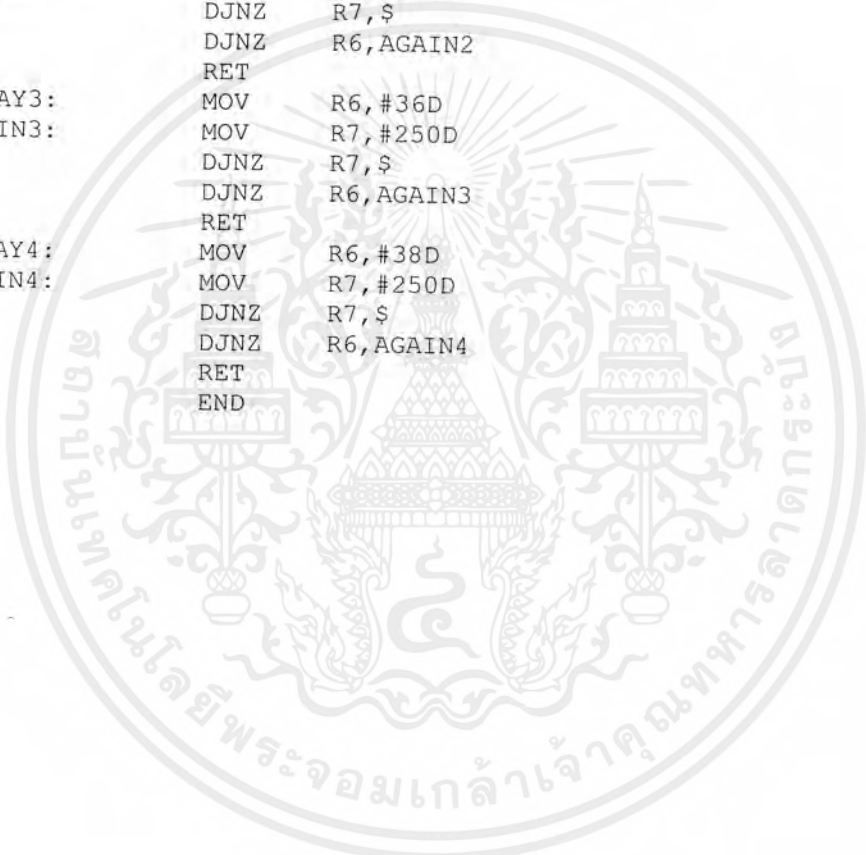
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CHECK_TURN:   JNB     ACC.2, LOOP
              JNB     ACC.3, LOOP
              LCALL  FIRST
              RET
FIRST:        MOV     A, #3H
              SETB   P3.2
              LCALL  DELAY
              CLR    P3.2
              LCALL  DELAY2
              RET
DELAY:        MOV     R6, A
AGAIN:        MOV     R7, #0FAH
              DJNZ   R7, $
              DJNZ   R6, AGAIN
              RET
DELAY2:       MOV     R6, #37D
AGAIN2:       MOV     R7, #250D
              DJNZ   R7, $
              DJNZ   R6, AGAIN2
              RET
DELAY3:       MOV     R6, #36D
AGAIN3:       MOV     R7, #250D
              DJNZ   R7, $
              DJNZ   R6, AGAIN3
              RET
DELAY4:       MOV     R6, #38D
AGAIN4:       MOV     R7, #250D
              DJNZ   R7, $
              DJNZ   R6, AGAIN4
              RET
              END

```

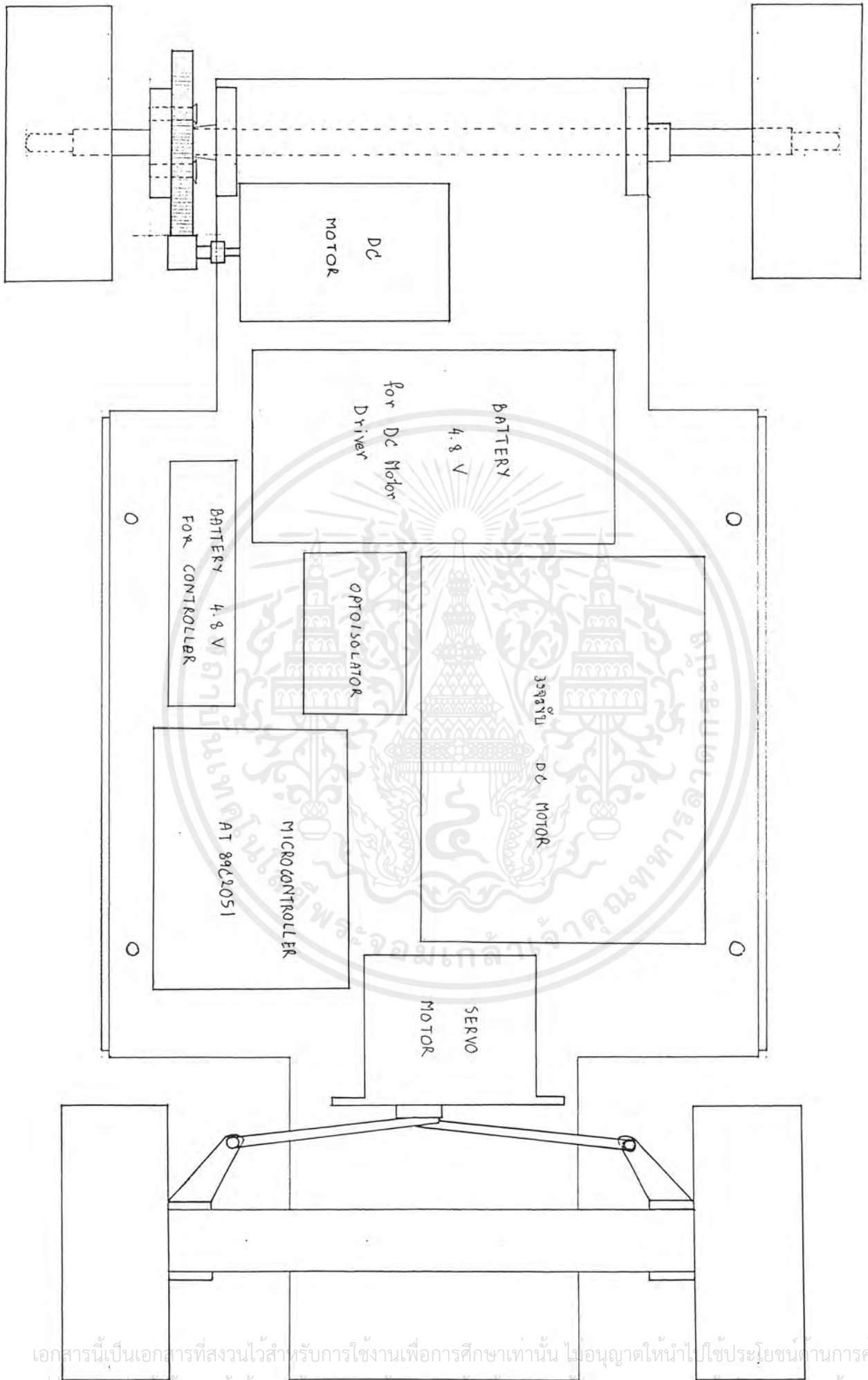


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
ผังการวางส่วนประกอบของอุปกรณ์ขับเคลื่อนขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณค่ากำลังงานของมอเตอร์

เราจะทำการคำนวณหาค่าเพื่อมาเปรียบเทียบระหว่างค่ากำลังงานที่ป้อนให้กับมอเตอร์และค่ากำลังงานที่มอเตอร์สามารถให้ออกมาได้

โดยเราจะทราบค่ากระแสและแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.66 A และ 5.05 v ตามลำดับ จากค่าดังกล่าวจะทำให้มอเตอร์สามารถขับอุปกรณ์ให้เคลื่อนที่ไปได้ด้วยความเร็ว 4 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้เราทำการวัดจากระยะทาง 10 เมตร

จากข้อมูลข้างต้น เราจะได้ค่ากำลังงานที่ป้อนให้กับมอเตอร์จากสมการ

$$P_m = I \cdot V$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1.66 \times 5.05 = 8.383$ วัตต์

และเรายังสามารถคำนวณหาพลังงานที่มอเตอร์ให้ออกมาได้จากสมการ

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

ซึ่งค่า K ในที่นี้ก็คือค่า W (งาน) นั่นเอง และจะได้ค่างานดังนี้

$$W = \frac{1}{2}(1.2)(4^2) \text{ J}$$

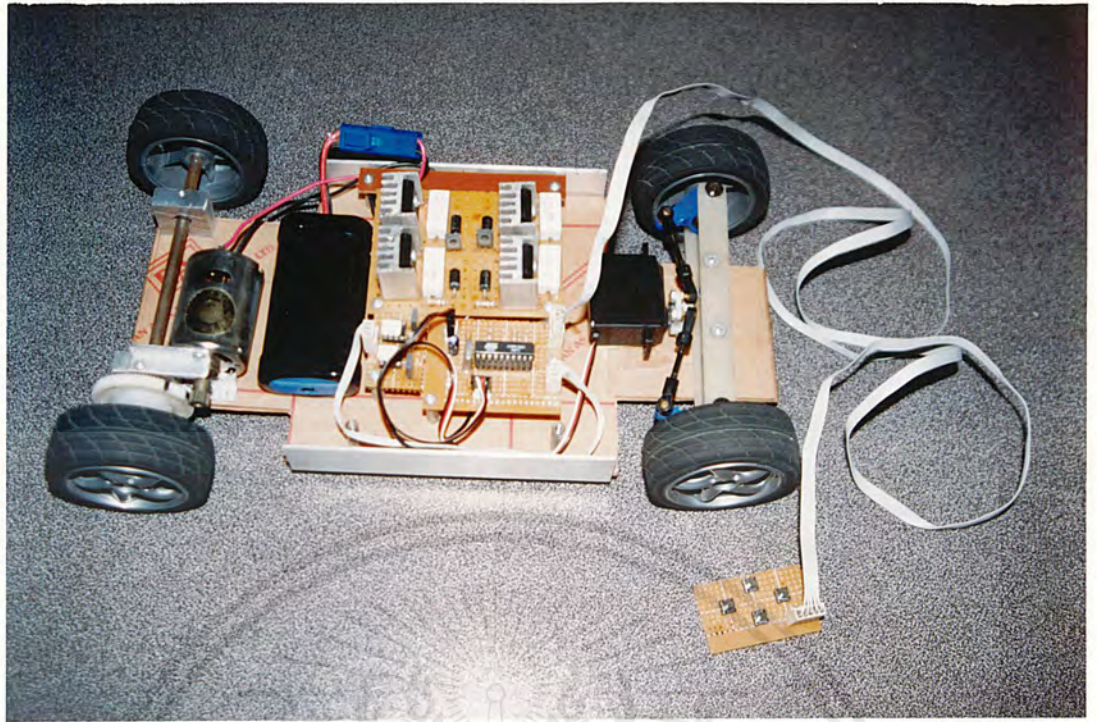
มีค่าเท่ากับ 9.6 จูล แต่เราต้องทำให้งานอยู่ในรูปของกำลังงานให้ได้โดยใช้ค่าของเวลามาทำการหารจะได้ว่าค่ากำลังงานที่มอเตอร์ให้ออกมาคือ

$$P_{out} = \frac{9.6}{2.5} = 3.84 \text{ W}$$

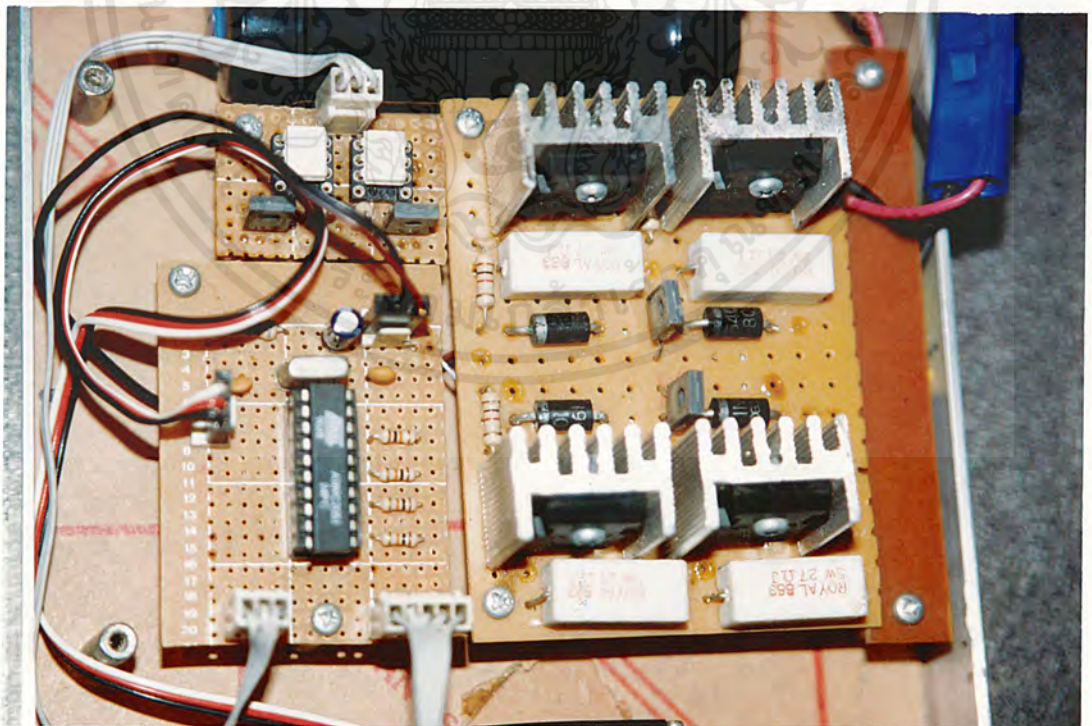
สรุปว่าค่ากำลังงานที่ป้อนให้กับมอเตอร์ซึ่งมีค่า 8.383 วัตต์ มีการสูญเสียไปเป็นกำลังงานรูปอื่นคงเหลือเพียง 3.84 วัตต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

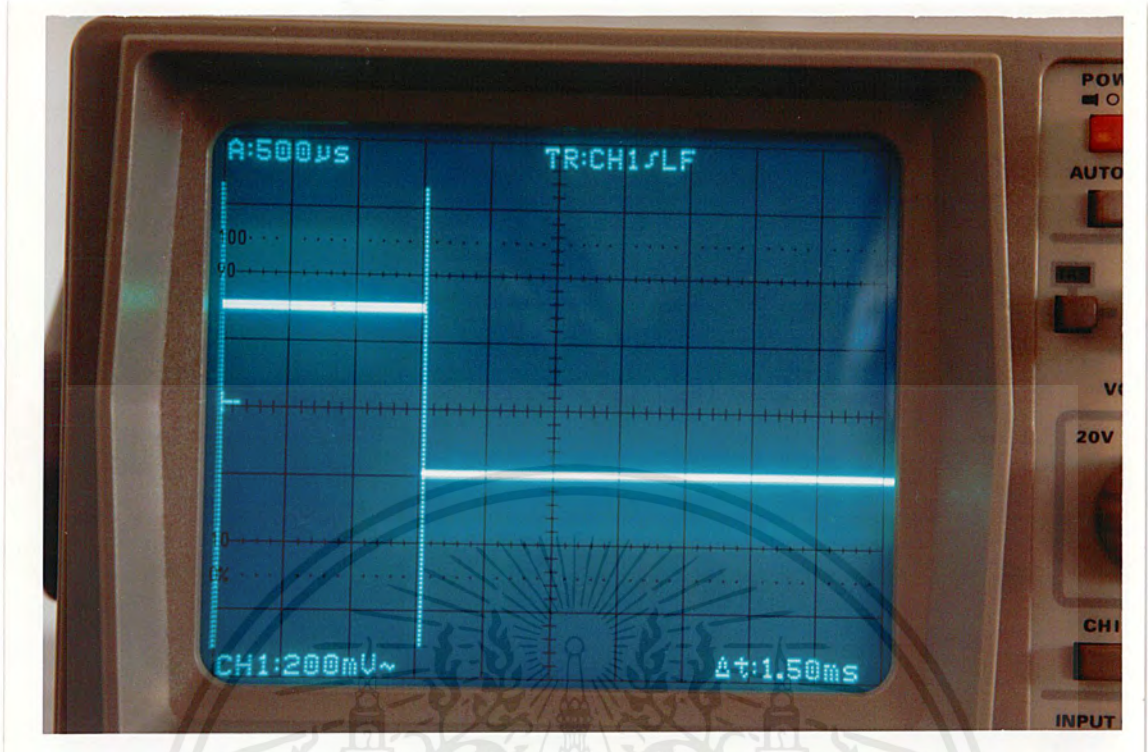


รูปที่ 1

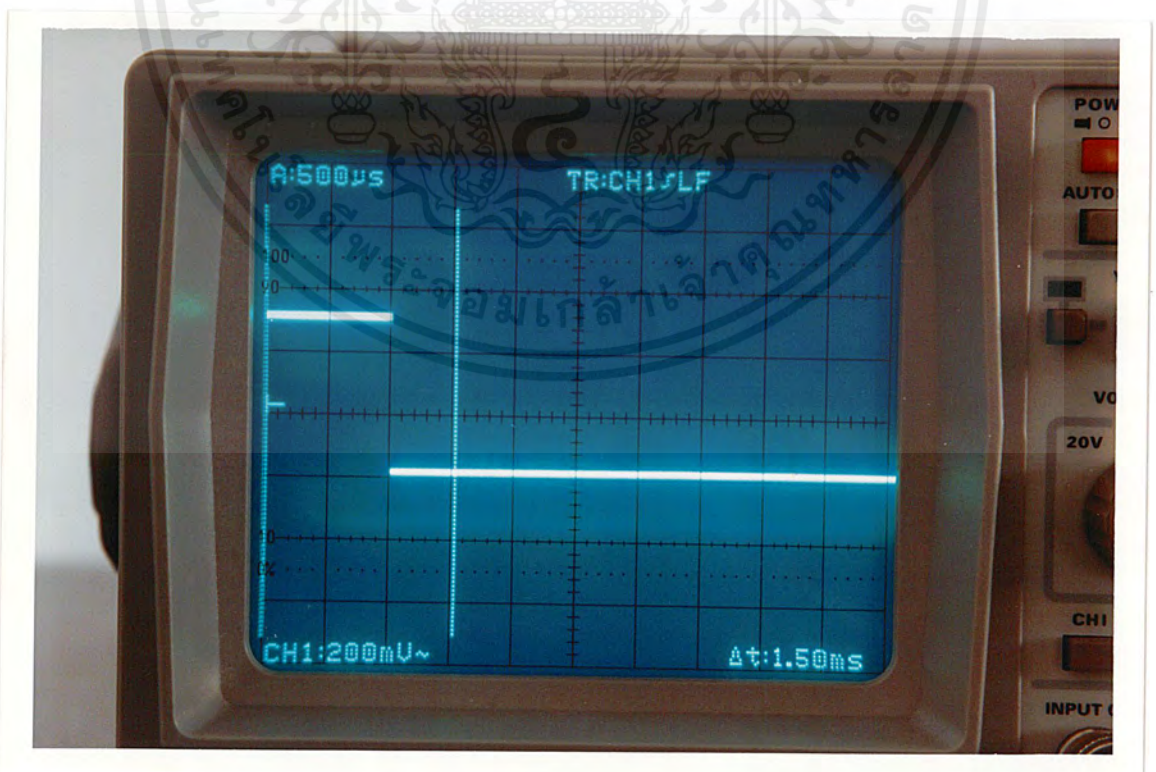


รูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

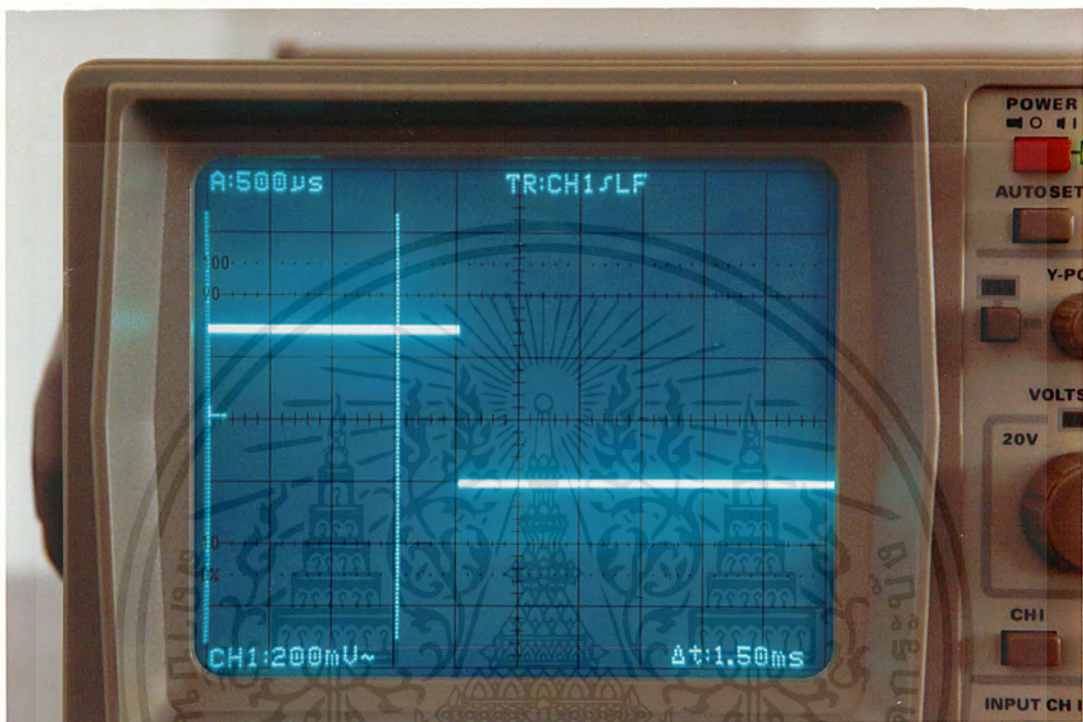


รูปที่ 3 สัญญาณควบคุม servo motor ขณะทิศทางตรง



รูปที่ 4 สัญญาณควบคุม servo motor ขณะเลี้ยวขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 สัญญาณควบคุม servo motor ขณะเลี้ยวซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

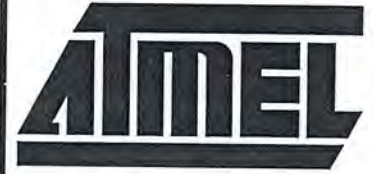
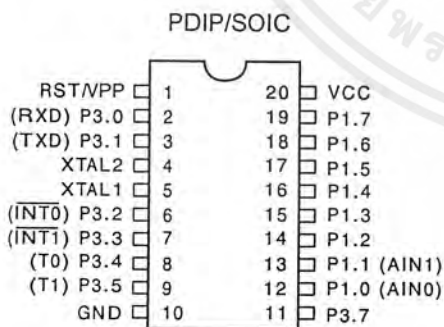
- Compatible with MCS-51™ Products
- 2K Bytes of Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2.7V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-Level Program Memory Lock
- 128 x 8-Bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- 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

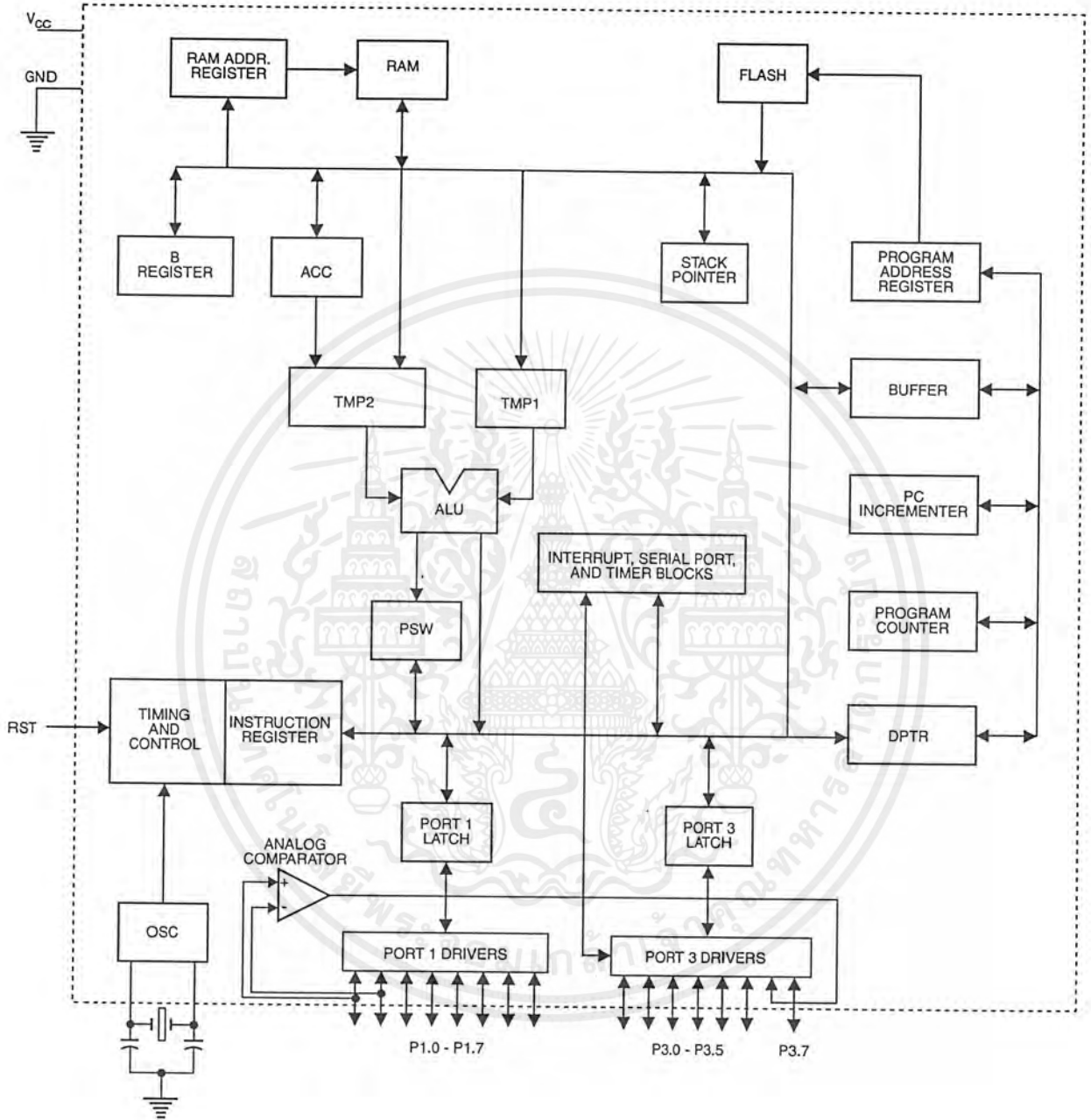
0368D-B-12/97



4-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Description

V_{CC}
Supply voltage.

GND
Ground.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bidirectional 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 bidirectional 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.

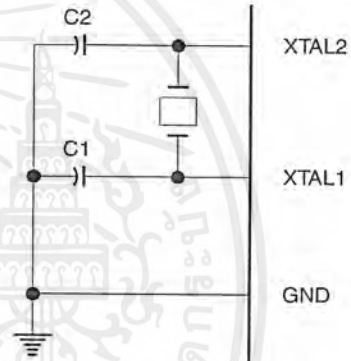
XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

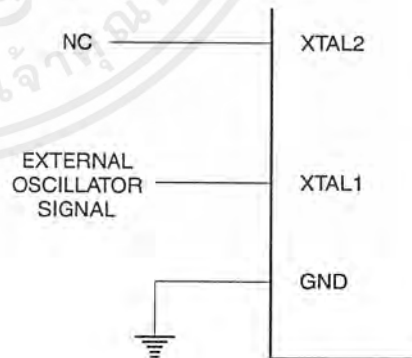
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected 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 and 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 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. 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/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.

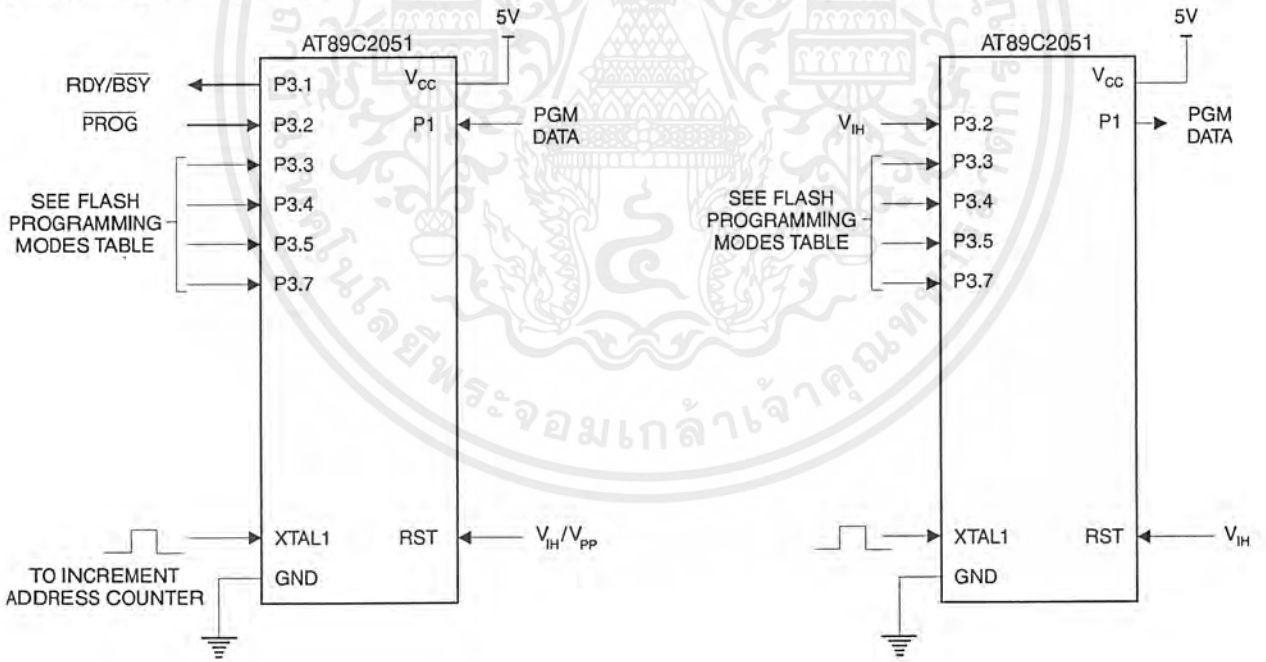
Flash Programming Modes

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	(2)	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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



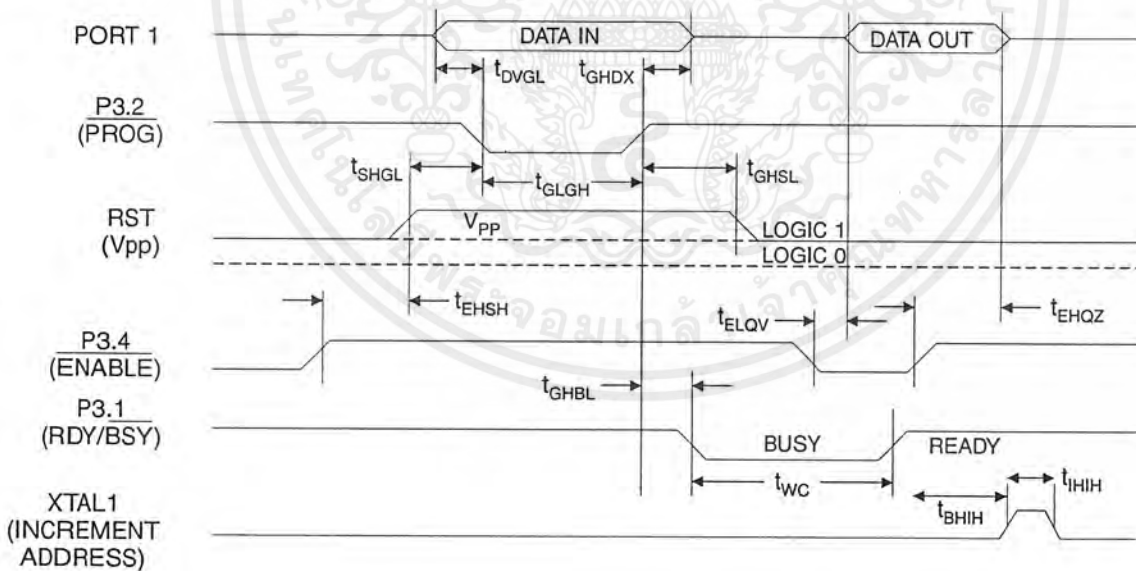
Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C}$ 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

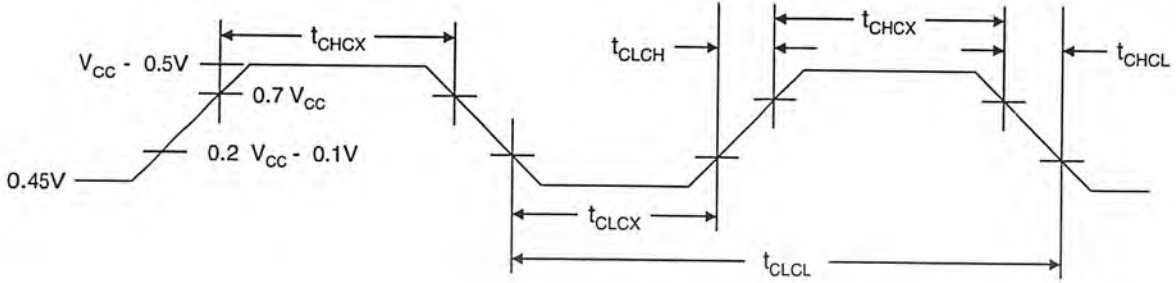
$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 2.0\text{V}$ to 6.0V (unless otherwise noted)

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)	$I_{OL} = 20\text{ mA}$, $V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{OL} = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 2.7\text{V}$		0.5	V
V_{OH}	Output High Voltage (Ports 1, 3)	$I_{OH} = -80\ \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -30\ \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -12\ \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1, 3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 3)	$V_{IN} = 2\text{V}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-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	$V_{CC} = 5\text{V}$		20	mV
V_{CM}	Comparator Input Common Mode Voltage		0	V_{CC}	V
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{V}/3\text{V}$		15/5.5	mA
		Idle Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{V}/3\text{V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		5/1	mA
	Power Down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$ 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.



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

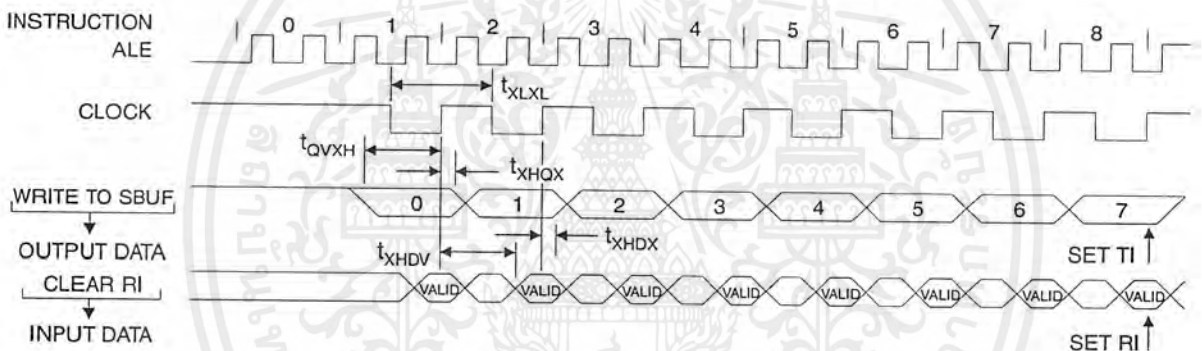
Symbol	Parameter	$V_{CC} = 2.7V \text{ to } 6.0V$		$V_{CC} = 4.0V \text{ to } 6.0V$		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	12	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	83.3		41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	30		15		ns
t_{CLCX}	Low Time	30		15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20		20	ns

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

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

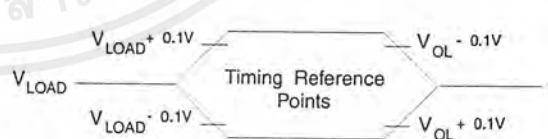
Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t _{LXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		12t _{CLCL}		μs
t _{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		10t _{CLCL} -133		ns
t _{XHQX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		2t _{CLCL} -117		ns
t _{XHDX}	Input Data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

Shift Register Mode Timing Waveforms



AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾

Float Waveforms⁽¹⁾



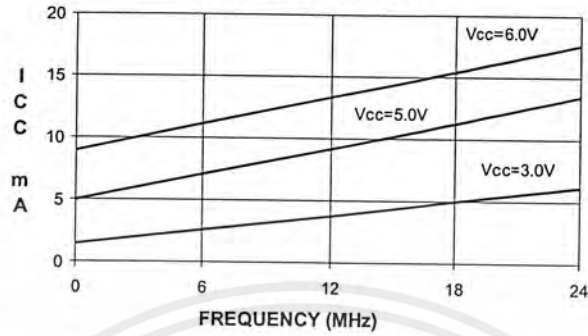
Note: 1. AC Inputs during testing are driven at V_{CC} - 0.5V for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

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

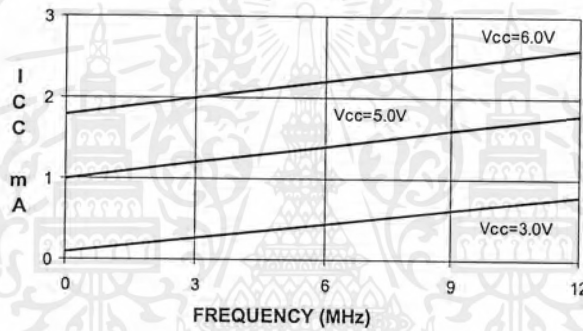


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

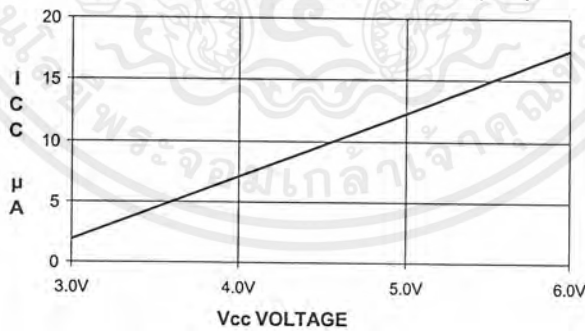
AT89C2051
TYPICAL I_{CC} - ACTIVE (85°C)



AT89C2051
TYPICAL I_{CC} - IDLE (85°C)



AT89C2051
TYPICAL I_{CC} vs. VOLTAGE- POWER DOWN (85°C)



- Notes:
1. XTAL1 tied to GND for I_{CC} (power down)
 2. P1.0 and P1.1 = V_{CC} or GND
 3. Lock bits programmed

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	2.7V to 6.0V	AT89C2051-12PC	20P3	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-12SC	20S	
		AT89C2051-12PI	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-12SI	20S	
		AT89C2051-12PA	20P3	Automotive (-40°C to 105°C)
		AT89C2051-12SA	20S	
24	4.0V to 6.0V	AT89C2051-24PC	20P3	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-24SC	20S	
		AT89C2051-24PI	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-24SI	20S	



Package Type	
20P3	20 Lead, 0.300" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
20S	20 Lead, 0.300" Wide, Plastic Gull Wing Small Outline (SOIC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

K. Newton, W. Steeds, and T.K. Garrett , The motor vehicle : a text-book for students, draughtsmen and owner-drivers , Iliffe Books , London , 1972

H. Wayne Beaty, and James L. Kirtley , Electric motor handbook , McGraw-Hill
New York , 1998

วุฒิชัย กปิลกาญจน์ , เฟื่อง , ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์ , 253-

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตนนทบุรี, ทฤษฎีระบบเครื่องล่าง 1 , ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ
อรรณพ พีรชาติ, เซอร์โวควบคุมได้อย่างไร, HOBBY ELECTRONICS 57, ตุลาคม 2538

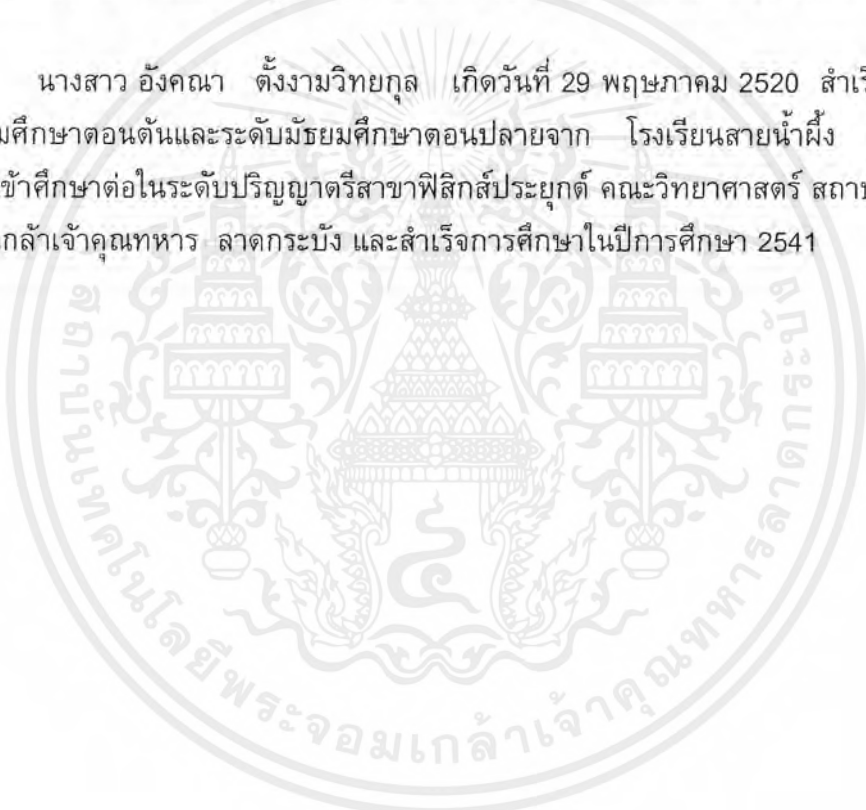


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย เดช พันธุ์ภักดีวงศ์ เกิดวันที่ 9 พฤศจิกายน 2519 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนเบญจมราชรังสฤษฎิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา แล้วเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2541

นางสาว อังคณา ตั้งงามวิทย์กุล เกิดวันที่ 29 พฤษภาคม 2520 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนสายน้ำผึ้ง กรุงเทพมหานคร แล้วเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้