

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์เป็ด

ROBOT DUCK



เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 34130
วัน, เดือน, ปี..... 6 ต.ค. 2542

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์เปิด (ROBOT DUCK)

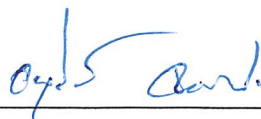
ผู้จัดทำ

1. นาย ขวัญประชา มณีสุทธิ
2. นาย อัครพล แสงสวัสดิ์
3. นาย สมเกียรติ สีหา
4. นาย สมศักดิ์ ชูริวัน



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูปภาพ	III
สารบัญตาราง	IV
บทนำ	V
บทที่ 1 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์	1
1.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	1
1.2 โครงสร้างภายในของ 8051	1
1.3 พอร์ตของ 8051	1
1.4 วงจรคัล็อก MCS-51	8
1.5 พังเวลาของซีพียู	9
1.6 การต่อหน่วยความจำ Program Memory และ Data Memory	12
1.7 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ	13
บทที่ 2 TSOP1838/TSOP1836 ไฟโตโมดูล	19
2.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์ไฟโตโมดูล	19
2.2 โครงสร้างภายใน	20
2.3 ลักษณะของมุมในการรับแสงของอินฟราเรดตัวรับ	21
บทที่ 3 สเตปมอเตอร์	23
3.1 นิยามของสเตปมอเตอร์	23
3.2 หลักการทำงานของสเตปมอเตอร์ต่างๆ ไป	23
3.3 สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	25
3.4 สเตปมอเตอร์แบบคาร์บอนคอล์ดาวน์สเปิร์คค่าได้ที่มีสเต็ปเดียว	26
3.5 สเตปมอเตอร์แบบคาร์บอนคอล์ดาวน์สเปิร์คค่าได้และมีหลายสเต็ป	31
3.6 สเตปมอเตอร์แบบไฮบริด ไฮบริดสเตปมอเตอร์ (HSM)	36
บทที่ 4 เครื่องจักรกลไฟฟ้า DC Machines	42
4.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง	42
4.2 แรงบิดและกระแสอาร์มาเจอร์	43
4.3 ความเร็วและกระแสอาร์มาเจอร์	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5	คุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ แบบขนาน (Characteristics of Shunt Motors)	44
4.6	คุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ ชนิดอนุกรม (Characteristics of Series Motors)	46
4.7	คุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ แบบผสม (Characteristic of Compound Motor)	48
บทที่ 5	หลักการการทำงานของหุ่นยนต์เปิด	50
5.1	การตรวจจับแสงจากตัวแม่	50
5.2	การหาทิศทางของตำแหน่งตัวแม่	52
5.3	การเคลื่อนที่เข้าหาตัวแม่	54
5.4	การจับเคลื่อนหุ่นยนต์	55
5.5	การทำงานของตัวแม่	56
บทที่ 6	วงจรควบคุมในส่วนต่างๆ	59
6.1	การทำงานของวงจรรับแสงอินฟราเรดหรือตาของหุ่นยนต์เปิด	60
6.2	การทำงานของวงจรหาทิศทางของตำแหน่งตัวแม่ และตำแหน่งตรงกลางของตา	60
6.3	การทำงานของวงจรถ่ายสัญญาณอินฟราเรดของตัวแม่	62
6.4	การทำงานของวงจรถ่ายมอเตอร์ล้อซ้ายและล้อขวา	62
6.5	การทำงานของวงจรถ่ายสเต็ปมอเตอร์	62
6.6	รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลอง	67
6.7	การใช้งานหุ่นยนต์เปิด	70
6.8	ข้อจำกัดของโครงการนี้	70
6.9	สรุปผลการทดลอง	70
	ภาคผนวก ก ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51	
	ภาคผนวก ข ไฟโตโมดูล TSOP1838	
	ภาคผนวก ค โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีควบคุมตัวหุ่นเปิดและตัวแม่	
	กิตติกรรมประกาศ	
	เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์เปิด

ขวัญประชา มณีสุทธิ

อัคคพล แสงสวัสดิ์

สมเกียรติ สีหา

สมศักดิ์ ชูริวัน

ผศ.ประภาย ไพรสวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.อนวัธน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้นำเสนอถึงหลักการงานของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายแบบอัตโนมัติ โดยตรวจจับแสงที่ส่งออกมาจากเป้าหมาย ซึ่งหุ่นยนต์ประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นตัวหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ และส่วนที่สองเป็นเป้าหมายและทำหน้าที่เป็นพ่อแม่โดยจะส่งแสงอินฟราเรดออกมา เมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบก็จะเคลื่อนที่เข้าหา โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 เป็นตัวควบคุมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROBOT DUCK

Kuanpracha Maneesut

Akkapol Sangsawas

Somkiat Siha

Somsak Churiwan

Asst.Prof. Prapas Praisuwana Advisor

Anuwat Jangwanitlert Advisor

1998

Abstract

This paper presents the principles of automatic navigation robot by detecting light source from the target. The robot consists of two parts. First part, is a robot and can move to target. Second part, is the target of robot as the mother of robot. The controlling uses MCS-51 microcontroller to control the robot. The target or mother of robot always sends infrared light for detecting robot and then it moves to the target.

III

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 8051 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51	2
รูปที่ 1.2 ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ และหน่วยความจำภายใน	3
รูปที่ 1.3 การจัดวางขาของ 8051	4
รูปที่ 1.4 แสดงโครงสร้าง พอร์ต 0 (บิต)	4
รูปที่ 1.5 โครงสร้างของพอร์ต 1 (บิต)	5
รูปที่ 1.6 โครงสร้างของพอร์ต 2 (บิต)	5
รูปที่ 1.7 โครงสร้างของพอร์ต 3 (บิต)	6
รูปที่ 1.8 การต่อขารีเซ็ตให้กับ 8051	7
รูปที่ 1.9 วงจรสร้างคัล็อกของ 8051	8
รูปที่ 1.10 ฟังก์ชันการทำงานของแต่ละคำสั่ง	9
รูปที่ 1.11 แสดงฟังก์ชันการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก	11
รูปที่ 1.12 การต่อหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลภายนอกชิพ	12
รูปที่ 1.13 ฟังก์ชันหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมสำหรับเบอร์ 8051	13
รูปที่ 1.14 ฟังก์ชันหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมสำหรับเบอร์ 8052	13
รูปที่ 1.15 ฟังก์ชันหน่วยความจำสำหรับ Data Memory เบอร์ 8051	14
รูปที่ 1.16 ฟังก์ชันหน่วยความจำสำหรับ Program Memory ของ 8052	14
รูปที่ 1.17 128 ไบต์ของ RAM ที่เข้าถึงข้อมูลแบบทางตรงและทางอ้อม	16
รูปที่ 2.1 รูปร่างและตัวถังบรรจุของ TSOP1838/TSOP1836	19
รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในของโฟโตโมดูล	19
รูปที่ 2.3 การประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น	20
รูปที่ 2.4 (ก) แพดเทิร์นมุมการรับในแนวตั้ง (ข) เป็นแพดเทิร์นมุมการรับในแนวนอน	22
รูปที่ 3.1 ตัวคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของ สเตปมอเตอร์	23
รูปที่ 3.2 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ	24
รูปที่ 3.3 แสดงแรงดึงดูดทำให้เกิดทอร์คที่หมุนอาร์มาเจอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุลย์	25
รูปที่ 3.4 โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟสและแต่ละเฟสพันด้วยขดลวดบน 2 ขั้วของสเตเตอร์มุมสเตปเท่ากับ 45°	26
รูปที่ 3.5 VR สเตปมอเตอร์แบบมีสเต็คเดียวและมีรายละเอียดโครงสร้างดังนี้	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 แสดงลำดับการสวิตช์ 3 สเตปของ VR สเตปมอเตอร์แบบสเต็ปเดียว และแสดงถึงตำแหน่ง ของ โรเตอร์และเส้นทางของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อ โรเตอร์ เคลื่อนที่ไปในแต่ละสเตป	29
รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 เฟส โรเตอร์และสเตเตอร์ ของแต่ละเฟส (สเต็ป) จะมี 12 ซี่ฟันและมุมสเตป (θ_s) = 10° , แต่ละเฟส ของสเตเตอร์ที่เรียงลำดับต่อเนื่องกันจะถูกจัดตำแหน่งให้ต่างกันเท่ากับ (1/3) ของช่องว่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (10°)	32
รูปที่ 3.8 แสดงลำดับการสเตปของ VRSM แบบ 3 เฟส	34
รูปที่ 3.9 แสดงถึง VRSM แบบ 3 เฟส	35
รูปที่ 3.10 โครงสร้างของไฮบริดสเตปมอเตอร์ : $N_r = 30, N_s = 24$ ซี่ฟัน ของสเตเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะ อยู่ในแนวเดียวกันด้วยซี่ฟันของ โรเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะอยู่ในแนวเดียวกันด้วยซี่ฟันของ โรเตอร์ ทั้ง 2 ตัวจะมีตำแหน่งต่างกัน $P_r/2 (= 6^\circ), \theta_s = 3^\circ$	36
รูปที่ 3.11 วงจรแม่เหล็กของ HSM	38
รูปที่ 3.12 ลำดับ 4 สเตปของ HSM แบบ 2 เฟส	40
รูปที่ 3.13 การพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์ (ก) แบบ unifilar (ข) แบบ bifilar	41
รูปที่ 3.14 ไฮบริดสเตปมอเตอร์ (ก) HSM แบบ 2 เฟส unifilar จะต้องจับแบบ ไบโพลาร์ (ข) HSM แบบ 4 เฟส bifilar ใช้การจับแบบยูนิโพลาร์ (ค) ตารางแสดงลำดับการจับทีละ 1 เฟส (ง) ตารางแสดงลำดับการ จับแบบครึ่งสเตปในทิศทาง CW	41
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสของมอเตอร์ขนาน	44
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์ขนาน	45
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิด T ของมอเตอร์ขนาน	45
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ I_a ของมอเตอร์อนุกรม	46
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว S กับกระแสอาร์มาเจอร์ I_a	47
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว S กับแรงบิด T ของมอเตอร์อนุกรม	48
รูปที่ 4.7 Electromagnetic torque (developed) and speed characteristics of shunt and compound motors	49
รูปที่ 5.1 แสดงมุมในการสแกนเมื่อมองจากด้านบน	50
รูปที่ 5.2 แสดงมุมการกระจายแสงของตัวแม่	51
รูปที่ 5.3 แสดงพื้นที่ ๆ หุ่นยนต์สามารถทำงานได้	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.4	งานเข้ารหัสเพื่อหาทิศทางซ้ายหรือขวาเมื่อมองจากด้านล่าง	52
รูปที่ 5.5	แสดงการวางตำแหน่งของ sensor เซ็คทิศทางกับงานเข้ารหัส	53
รูปที่ 5.6	(a) พื้นสีขาว (b) พื้นสีดำ	53
รูปที่ 5.7	แสดงตำแหน่งของจุดสีดำที่ใช้บอกตำแหน่งตรงกลาง	54
รูปที่ 5.8	ตำแหน่งการวาง Sensor ทั้ง 2 เมื่อมองด้านข้าง	55
รูปที่ 5.9	แสดงจุดศูนย์กลางของการเลี้ยว	55
รูปที่ 5.10	แสดงสัญญาณที่ตัวรับและตัวส่ง	56
รูปที่ 5.11	Block Diagram	57
รูปที่ 5.12	โฟลว์ชาร์ตการทำงานโดยรวม	58
รูปที่ 6.1	วงจรตาซ้ายและตาขวา	59
รูปที่ 6.2	วงจร Scan ชุดสแกนหาทิศทางตัวแม่	59
รูปที่ 6.3	วงจร Limit Switch ซ้ายและขวาของการสแกน	61
รูปที่ 6.4	วงจรกำเนิดสัญญาณอินฟราเรดของตัวแม่	61
รูปที่ 6.5	วงจรจับมอเตอร์ล้อซ้าย	63
รูปที่ 6.6	วงจรจับมอเตอร์ล้อขวา	64
รูปที่ 6.7	วงจรจับสเต็ปปีงมอเตอร์	65
รูปที่ 6.8	แสดงลำดับการจับแต่เฟสของสเต็ปปีงมอเตอร์	66
รูปที่ 6.9	รูปสัญญาณของตัวรับและตัวส่ง	67
รูปที่ 6.10	รูปคลื่นสัญญาณมอดูเลตของตัวส่ง	68
รูปที่ 6.11	รูปคลื่นสัญญาณพาหะของตัวส่ง	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงสัญลักษณ์ชื่อและตำแหน่งต่างๆ ที่มีอยู่ใน SFR	17
ตารางที่ 1.2 อินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ของ MCS-51 และลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัปต์	18
ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของโฟโตโมดูล	20
ตารางที่ 3.1 แสดงการเลือกพารามิเตอร์ของสเตปมอเตอร์	31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านหุ่นยนต์ได้เจริญก้าวหน้าไปมาก ทำให้มีการนำหุ่นยนต์มาทำงานแทนมนุษย์มากขึ้น โดยเฉพาะในงานที่เสี่ยงอันตรายหรืองานที่ทำซ้ำๆกัน การนำหุ่นยนต์มาทำงานแทนคน ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานจำนวนมากได้ ในงานอุตสาหกรรมที่ต้องมีการขนย้ายสิ่งของจำนวนมาก การใช้แรงงานคน อาจสร้างความเบื่อหน่ายในการทำงาน เพื่อความสะดวกในการควบคุมการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม จึงต้องมีระบบควบคุมอัตโนมัติที่จะมาทำงานแทนมนุษย์ ดังนั้นโครงการนี้จึงได้สร้างต้นแบบของหุ่นยนต์ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาปรับปรุงให้ใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 1 โครงสร้างของ MCS-51

1.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5V ชุดเดียว มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8051 และ 8031 สำหรับเบอร์ 8052 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์ มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 127 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมีถึง 256 ไบต์ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลแยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์ มีไทม์เมอร์ เคนต์เตอร์ ขนาด 16 บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4 โหมดรับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวกเตอร์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมี 8 แหล่ง 6 เวกเตอร์ มีพอร์ตรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ตแบบ Full Duplex เลือกได้ 4 โหมดมีคำสั่งในการทำ AND, OR หรือ Complement ได้ทั้งแบบ 8 บิตและ 1 บิต

1.2 โครงสร้างภายในของ 8051

MCS-51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตเป็นแบบ NMOS และ CMOS เบอร์ 8032 และ 8052 จะมี ROM BASIC อยู่ภายในจึงสะดวกสำหรับโปรแกรมเมอร์ที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก โครงสร้างภายในสำหรับเบอร์ 8051 ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2

1.3 พอร์ตของ 8051

8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา ซึ่งมีขาต่าง ๆ ดังนี้

Vcc (ขา 40) ต่อกับ +5V

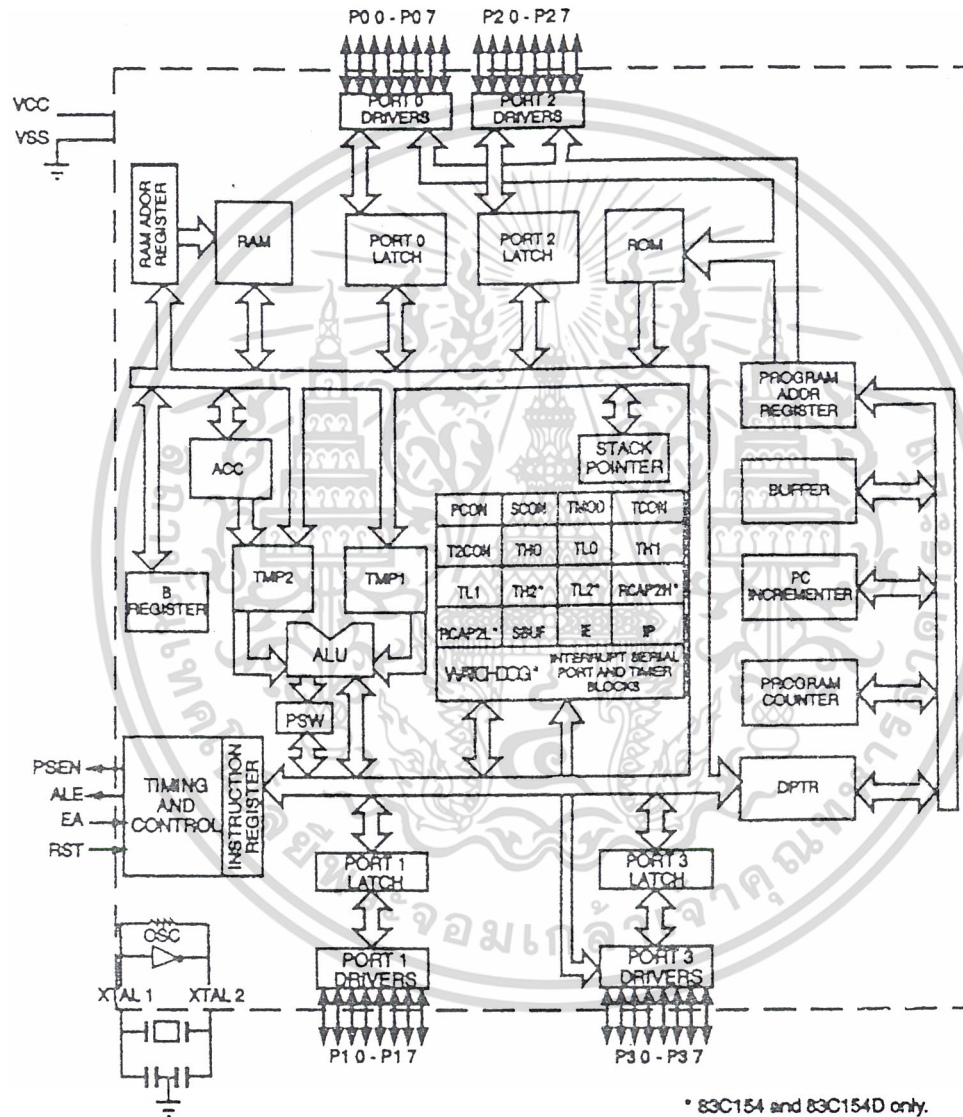
Vss (ขา 20) เป็นขา GND

พอร์ต 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.0-P0.7) มีโครงสร้างแบบ Open-Drain Bi-directional ดังแสดงในรูปที่ 1.4 ใช้งานได้ 2 หน้าที่ คือ แอคเตสบัตและดาต้าบัตเมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกหรือเป็นไอโอพอร์ตถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุตพอร์ตต้องส่งลอจิก "1" ไปยังพอร์ตนี้ จะมีผลให้ Q ของ D-FF เป็น "0" ทำให้ FET ตัวล่างมีสถานะ OFF สัญญาณที่ใช้อ่านอินพุตพอร์ตแลทซ์โดยส่งสัญญาณ READLATCH ไปกระตุ้นที่ Tri-State Buffer ตัวบนและการอ่าน Port (pin) จะใช้สัญญาณ Read (pin)

พอร์ต 1 (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 0 แต่จะใช้ความต้านทานภายในพลัอัพแทน Internal Pull up Register มีโครงสร้างดังรูปที่ 1.5

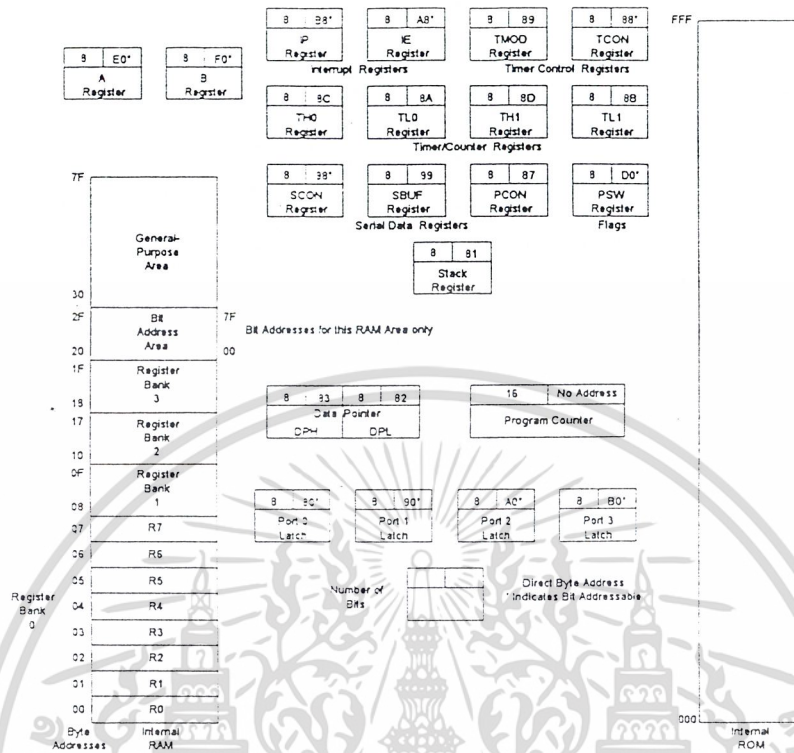
พอร์ต 2 (ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิต คือขา (P2.0-P2.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 0 โดยมี FET ตัวล่างตัวเดียวส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพลัอัพแทน (Internal pull up) พอร์ตนี้ไม่วากกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงาน 2 หน้าที คือสามารถใช้เป็นแอดเดรสบิตขนาด 8 บิต (A15-A8) และเป็นไอโอฟอร์ทใช้งานทั่วไปเมื่อจะใช้งานเป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก “1” มาที่พอร์ทนี้ก่อนเพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสภาวะ off ดังแสดงในรูปที่ 1.6



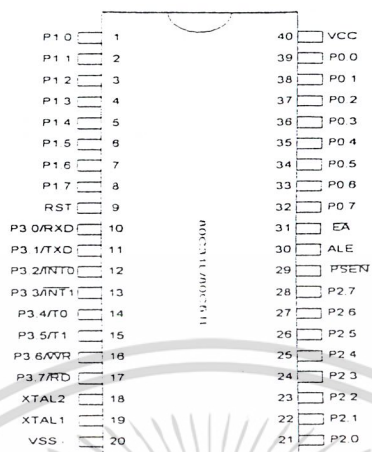
รูปที่ 1.1 8051 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

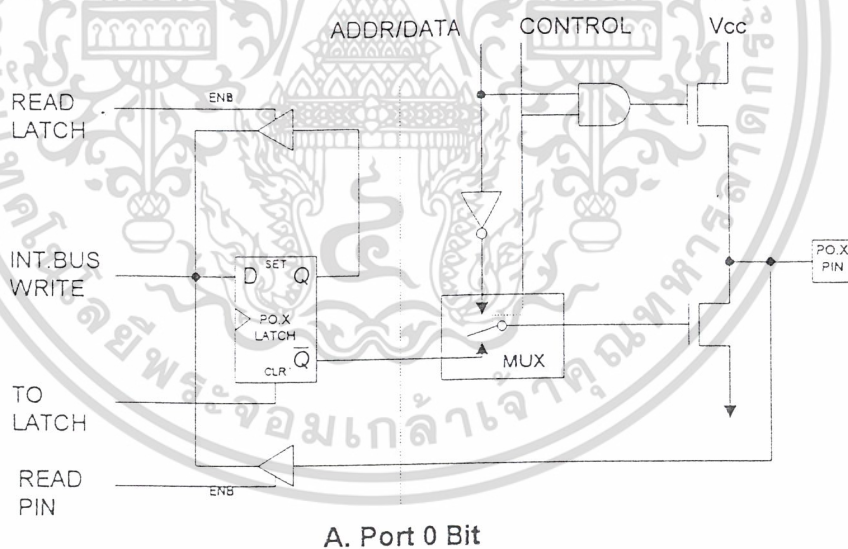


รูปที่ 1.2 ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่างๆ และหน่วยความจำภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

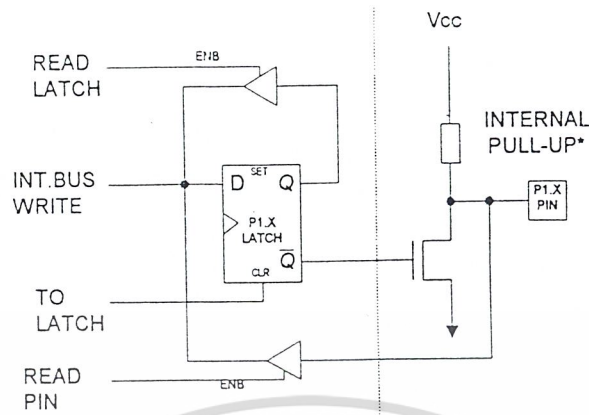


รูปที่ 1.3 การจัดวางขาของ 8051



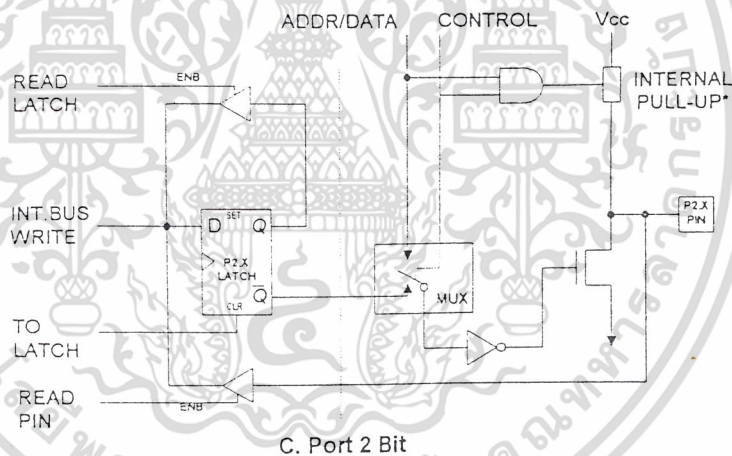
รูปที่ 1.4 แสดงโครงสร้าง พอร์ต 0 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



B. Port 1 Bit

รูปที่ 1.5 โครงสร้างของพอร์ท 1 (บิต)



C. Port 2 Bit

รูปที่ 1.6 โครงสร้างของพอร์ท 2 (บิต)

พอร์ท 3 (ขา 10-17) มีทั้งหมด 8 บิต คือ ขา (P3.0-P3.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท 1 ทำงานได้ 2 หน้าทีคือเป็นไอโอพอร์ท ถ้าจะโปรแกรมให้เป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก “1” มาที่พอร์ทนี้ก่อนและอีกหน้าที่หนึ่งก็คือใช้ส่งสัญญาณควบคุมออกมาและรับสัญญาณเข้าไปสัญญาณต่างๆ มีดังนี้

P3.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม (UART)

P3.1/TXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม (UART)

P3.2/INT0 (External Interrupt 0) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีสั่งซื้อเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

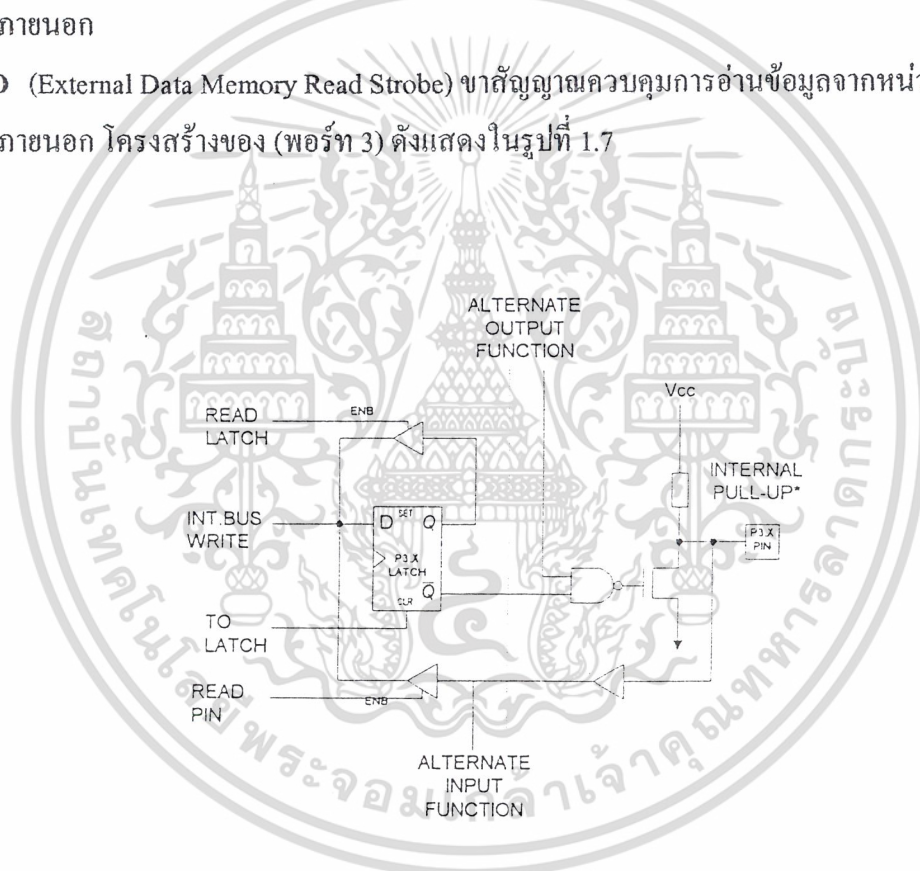
P3.3/INT1 (External Interrupt 1) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 1

P3.4/T0 (Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณพัลซ์อินพุตเข้าไปยังวงจร Counter 0(เป็นอินพุต โหมดเคาน์เตอร์)

P3.5/T1 (Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณพัลซ์อินพุตเข้าไปยังวงจร Counter 1(เป็นอินพุต โหมดเคาน์เตอร์)

P3.6/WR (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

P3.7/RD (External Data Memory Read Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลภายนอก โครงสร้างของ (พอร์ท 3) ดังแสดงในรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 โครงสร้างของพอร์ท 3 (บิต)

ALE (ขา 30) เป็นขาส่งสโตรบสำหรับใช้ในการแลตช์แอดเดรสไบต์ต่ำ (A7-A0) ที่ส่งออกมาจาก (พอร์ท 0) สัญญาณนี้จะแอดที่พทุก ๆ 2 ครั้ง ใน 1 แมชชีนไซเคิล

PSEN (ขา 29) เป็นขาสโตรบที่ใช้สำหรับอ่านข้อมูลจาก Program Memory ภายนอกสัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้งในแต่ละแมชชีนไซเคิลแต่ถ้าเป็นการอ่าน Internal Program Memory จะไม่มีสัญญาณออกที่ขา

EA (ขา 31) ใช้เลือกหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้อน “0” จะอ่านโปรแกรมจากภายนอกชิพ

ป้อน “1” จะอ่านโปรแกรมจากภายในชิพ

RST (ขา 9) ขารีเซ็ตจะรีเซ็ตได้ก็ต่อเมื่อป้อนลอจิก “1” เข้าที่ขานี้ นานอย่างน้อย 2 แมกซ์ซีไนซ์เคลิล

XTAL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นอินพุทเข้าสู่วงจรรอสซีสเลเตอร์ภายใน

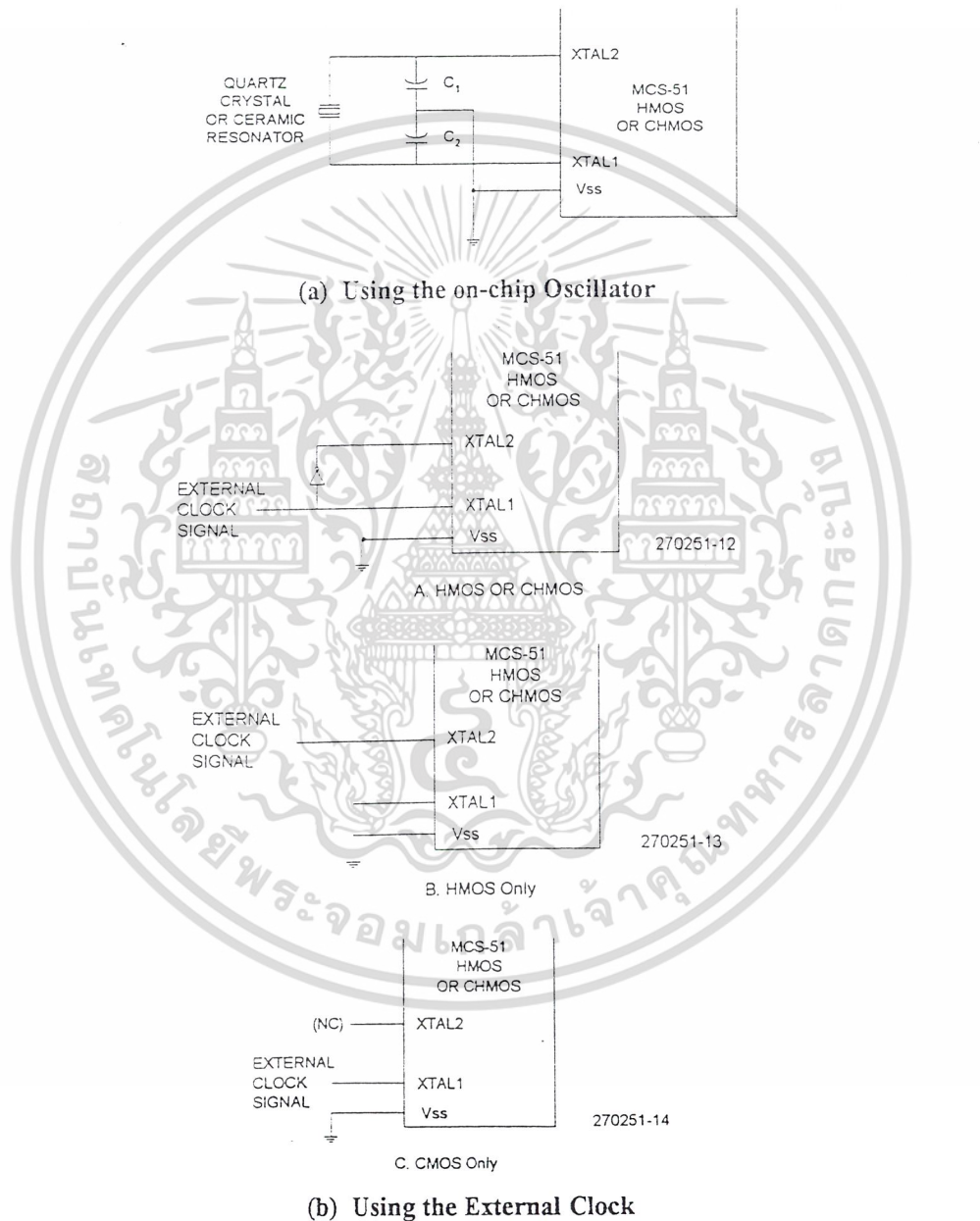
XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นเอาต์พุทของวงจรรอสซีสเลเตอร์ภายใน



รูปที่ 1.8 การต่อขารีเซ็ตให้กับ 8051

1.4 วงจรสล็อต MCS-51

การต่อมียู่ด้วยกัน 2 รูปแบบคือแบบใช้ตัวสล็อตภายในและตัวสล็อตจากภายนอกมีรูปแบบการต่อดังรูปที่ 1.9

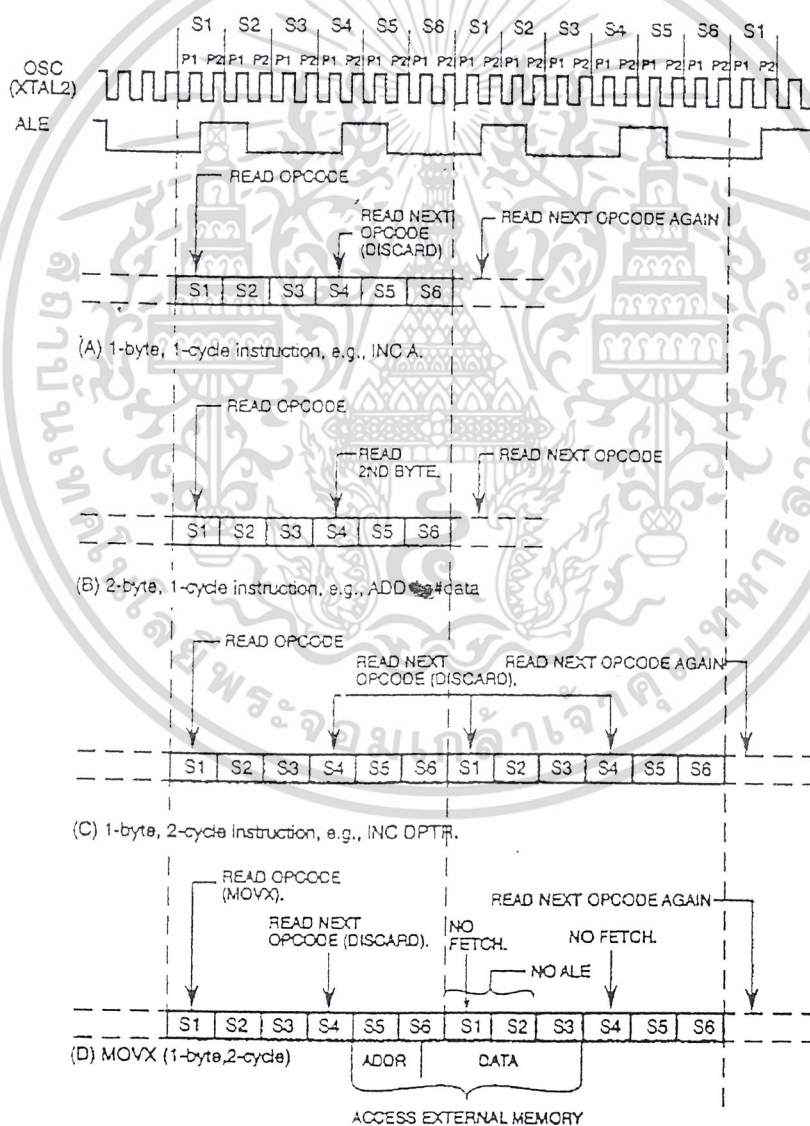


รูปที่ 1.9 วงจรสร้างค็อกของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ฝั่งเวลาของซีพียู

ทำงานใน 1 คำสั่งต่ำสุดจะกินเวลาเพียง 1 μ S เช่นคำสั่ง INC A ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ 1 แมกซีนไซเคิล ซึ่งจะใช้คล็อกไปเท่ากับ 12 ลูก โดยคล็อกลูกที่ 1 และ 2 จะอยู่ในช่วง S1 P1 และ S1 P2 และคล็อกลูกที่ 12 ก็อยู่ในช่วง S6P2 นั่นเอง (ปกติแล้วซีพียูจะ RUN ด้วยความเร็วเท่ากับ 12 MHz ดังนั้น คล็อก 12 ลูกจะกินเวลาเท่ากับ 1 μ S คำว่า 1 แมกซีนไซเคิล คือช่วงการทำงานตั้งแต่ S1 จนถึง S6



รูปที่ 1.10 ฝั่งเวลาการทำงานของแต่ละคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

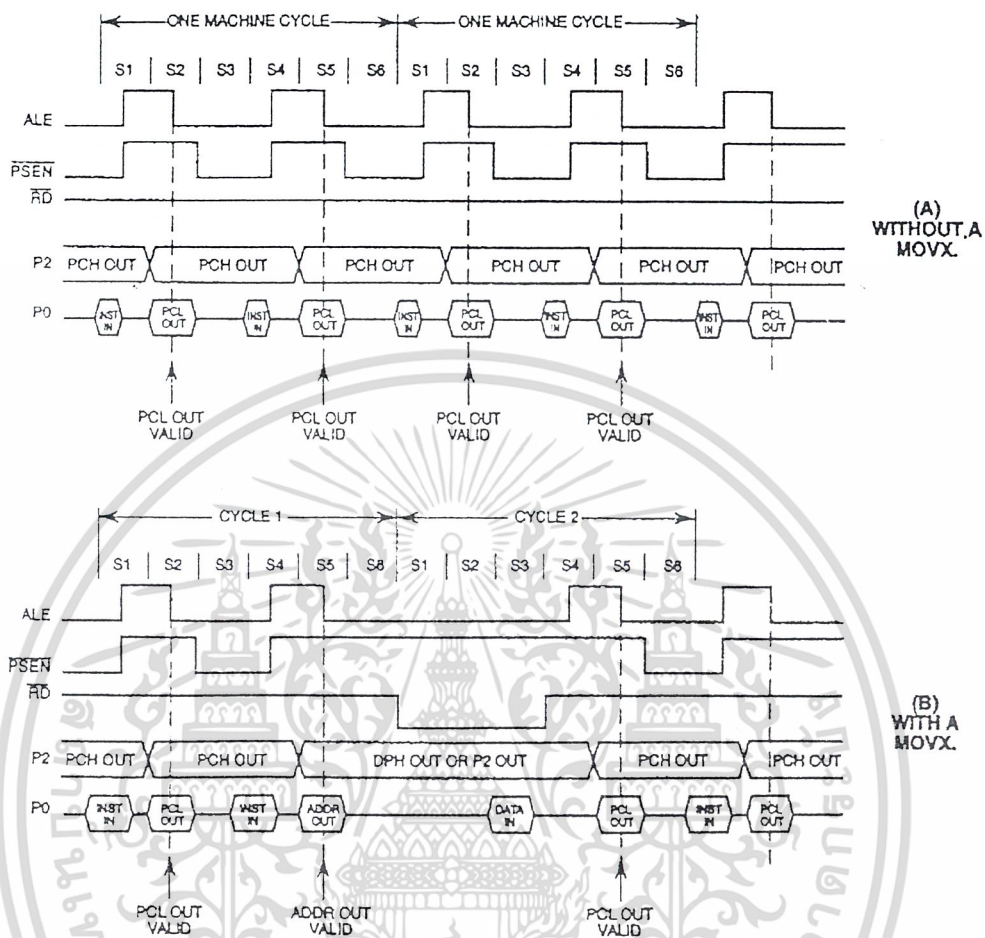
รูปที่ 1.10 (b) การทำงานของคำสั่ง ADD A.#Data ซึ่งเป็นคำสั่ง 2 ไบต์ทำงานเสร็จใน 1 แมชชีนไซเคิล

รูปที่ 1.10 (c) การทำงานของคำสั่ง INC DPTR ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จใน 2 แมชชีนไซเคิล

รูปที่ 1.10 (d) การทำงานของคำสั่ง MOVX ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จใน 2 แมชชีนไซเคิล

รูปที่ 1.11 (a) เป็นผังเวลาของสัญญาณซึ่งเกี่ยวข้องกับพีพซเมื่อส่วนของ Program Memory อยู่ภายนอก ดังนั้น สัญญาณที่จะนำไปใช้อ่านออกโอดีจาก Program Memory ก็คือ $\overline{\text{PSEN}}$ ซึ่งจะแอกทีฟ 2 ครั้งใน 1 แมชชีนไซเคิล ดังนั้น สัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูลจาก Program Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$ รูปที่ 1.11 (b) เป็นผังเวลาของสัญญาณที่ใช้การอ่านข้อมูลจาก Data Memory สัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$ จะมีเพียง 1 ลูก เพราะช่วงเวลาที่ถัดมาจะเป็นช่วงเวลาในการอ่านข้อมูลจาก Data Memory โดยใช้สัญญาณ $\overline{\text{RD}}$ (การอ่านข้อมูลจาก Program Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$ และการอ่านข้อมูลจาก Data Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{\text{RD}}$ ส่วนสัญญาณ ALE คือ สัญญาณที่ใช้ในการ Latch Address A7-A0 นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

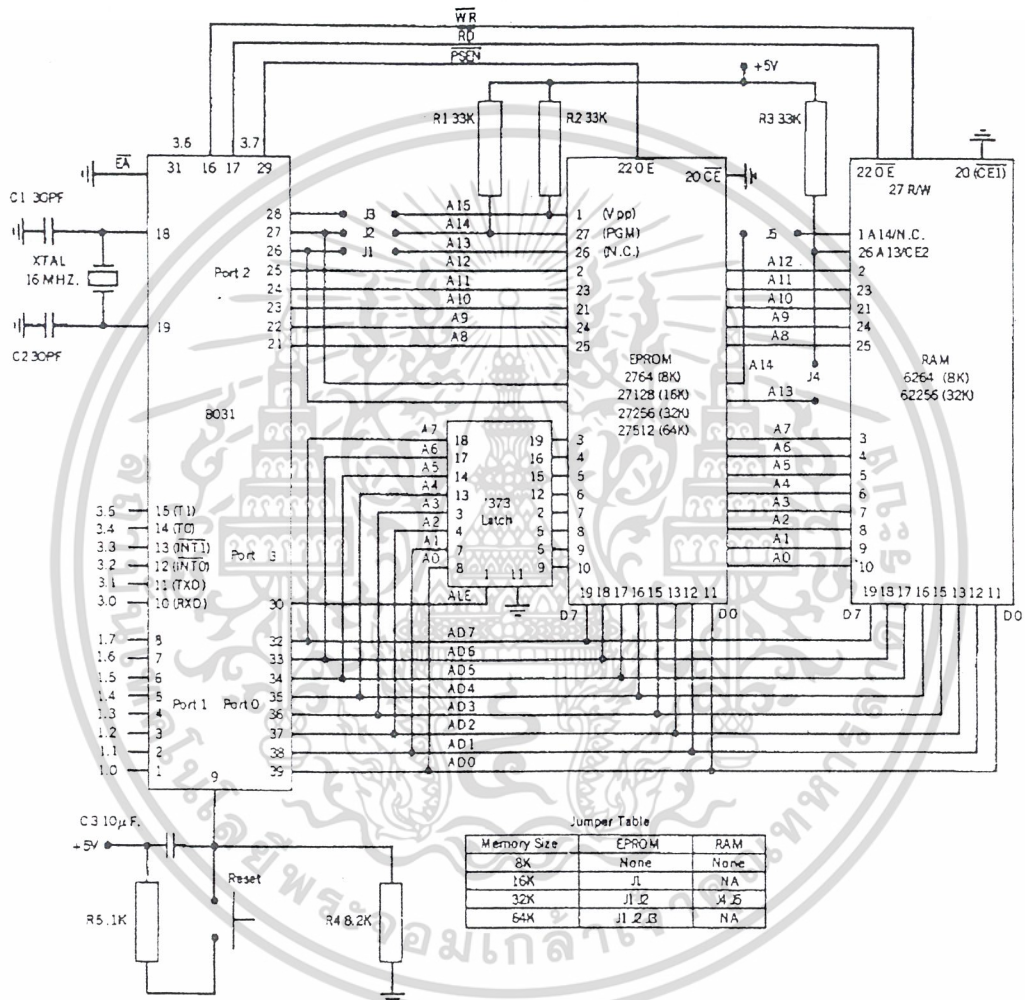


รูปที่ 1.11 แสดงผังเวลาการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 การต่อหน่วยความจำ Program Memory และ Data Memory

การต่อหน่วยความจำแสดงในรูปที่ 1.12

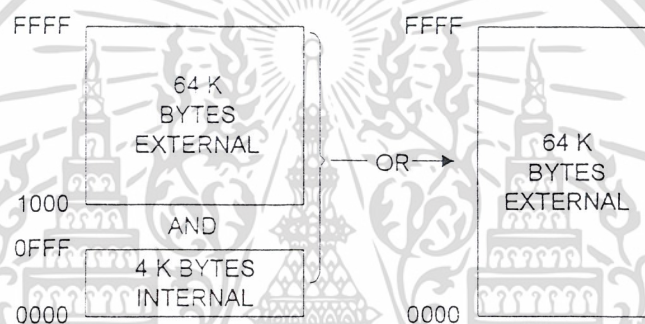


รูปที่ 1.12 การต่อหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลภายนอกชิพ

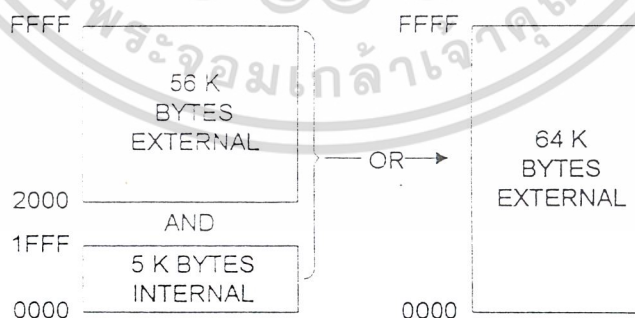
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ

หน่วยความจำที่ใช้ MCS-51 มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program Memory) หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมสั่งงานบรรจุอยู่ในชิพ 8051 ส่วนที่เป็น Program Memory ก็คือ ROM ขนาด 4 กิโลไบต์นั่นเอง แต่ถ้าเป็นเบอร์ 8052 จะมี ROM ขนาด 8 กิโลไบต์ ดังแสดงในรูปที่ 1.13 และรูปที่ 1.14



รูปที่ 1.13 ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสำหรับเบอร์ 8051

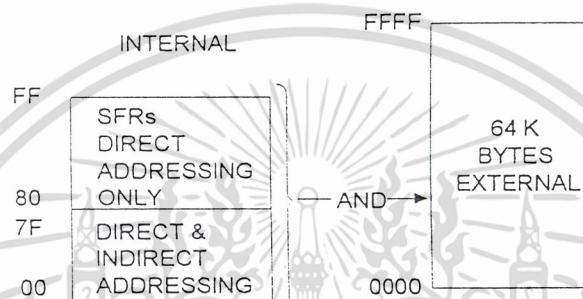


รูปที่ 1.14 ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสำหรับเบอร์ 8052

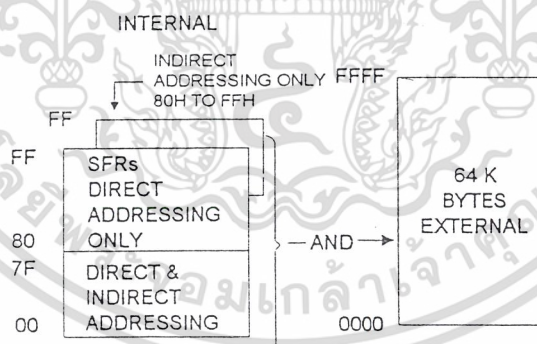
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Memory (RAM)

แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในชิพมีเพียง 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 และ 256 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปและหน่วยความจำข้อมูลภายนอกชิพมีความจุ 64 กิโลไบต์ ดังแสดงในรูปที่ 1.15 และรูปที่ 1.16



รูปที่ 1.15 ผังหน่วยความจำสำหรับ Data Memory เบอร์ 8051



รูปที่ 1.16 ผังหน่วยความจำสำหรับ Program Memory ของ 8052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลทางอ้อมเท่านั้น (Indirect Address Area)

พื้นที่หน่วยความจำบริเวณ (80h-FFh) ตามรูปที่ 1.16 เป็นพื้นที่ที่ซ้อนกันอยู่อย่างละ 128 ไบต์โดยส่วนแรกจะเป็น SFR แอดเดรสและ Indirect Address Area ดังนั้นผู้เขียนโปรแกรมถ้าจะติดต่อกับ SFR จะต้องใช้คำสั่งแบบเข้าถึงข้อมูลโดยตรงเท่านั้น (Direct Address Area) ส่วนพื้นที่อีกส่วนหนึ่งจะเข้าถึงข้อมูลแบบทางอ้อมเท่านั้น (Indirect Address Area) ส่วนตำแหน่ง (00h-7Fh) จะเข้าถึงข้อมูลได้ทั้ง 2 แบบ

พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยตรงและทางอ้อม (Direct and Indirect Address Area)

1.รีจิสเตอร์แบงก์ (Register Banks 0-3) ตั้งแต่ตำแหน่ง (00-1Fh) จะเป็นส่วนของรีจิสเตอร์แบงก์ (0-3) โดยแบ่งเป็นแบงก์ละ 8 ไบต์รวมแล้วได้ 32 ไบต์(แต่ละแบงก์จะมีรีจิสเตอร์ R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7) ถ้าชิพทำงานอยู่ที่แบงก์ 3 เมื่อถูกรีเซ็ตก็จะกลับมาทำงานที่แบงก์ 0 เสมอและ SP จะมาเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 07h ทันที

2.บริเวณหน่วยความจำที่ใช้คำสั่งอ่านเขียนทีละบิตได้ (Bit Addressable Area) พื้นที่ตั้งแต่แอดเดรส (20h-7Fh) จำนวน 16 ไบต์หรือแบ่งเป็นบิตจะได้เท่ากับ 128 บิตซึ่งตำแหน่งบิตมีดังนี้ 00, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07 จนถึง 7Fh เช่นบิต 00 ก็คือ D0 ของหน่วยความจำตำแหน่งที่ 20h บิต 01 ก็คือ D1 ของหน่วยความจำตำแหน่งที่ 20h ดูรูปที่ 1.17 ประกอบ เช่นต้องการเซตบิต 00 ต้องเขียนคำสั่งว่า SETB 20h.0

3.บริเวณหน่วยความจำที่ใช้งานทั่วไป (Scratch Pad Area) พื้นที่ตั้งแต่ (30h-7Fh) จะเขียนข้อมูลได้ที่ละ ไบต์เท่านั้นไม่สามารถใช้คำสั่งเกี่ยวกับบิตได้ถ้าย้ายเนื้อที่สแตคมาบริเวณนี้ โปรแกรมจะวิ่งในการเขียนข้อมูลมาที่สแตค

Byte	(MSB)							(LSB)								
7FH	Scratch Pad Area															
30H																
2FH									7F	7E	7D	7C	7B	7A	79	78
2EH									77	76	75	74	73	72	71	70
2DH	6F	6E	6D	6C	6B	6A	69	68								
2CH	67	66	65	64	63	62	61	60								
2BH	5F	5E	5D	5C	5B	5A	59	58								
2AH	57	56	55	54	53	52	51	50								
29H	4F	4E	4D	4C	4B	4A	49	48								
28H	47	46	45	44	43	42	41	40								
27H	3F	3E	3D	3C	3B	3A	39	38								
26H	37	36	35	34	33	32	31	30								
25H	2F	2E	2D	2C	2B	2A	29	28								
24H	27	26	25	24	23	22	21	20								
23H	1F	1E	1D	1C	1B	1A	19	18								
22H	17	16	15	14	13	12	11	10								
21H	0F	0E	0D	0C	0B	0A	09	08								
20H	07	06	05	04	03	02	01	00								
1FH	R0-R7							รีจิสเตอร์ แบงก์ 3								
18H	R0-R7							รีจิสเตอร์ แบงก์ 2								
17H																
10H	R0-R7							รีจิสเตอร์ แบงก์ 1								
0FH																
08H	R0-R7							รีจิสเตอร์ แบงก์ 0								
07H																
00H																

รูปที่ 1.17 128 ไบต์ของ RAM ที่เข้าถึงข้อมูลแบบทางตรงและทางอ้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Function Register (SFR) มีรายละเอียดดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงสัญลักษณ์ชื่อและตำแหน่งต่างๆ ที่มีอยู่ใน SFR

Symbol	Name	Address
*ACC	Accumulator	0E0H
*B	B Register	0F0H
*PSW	Program Status Word	0D0H
SP	Stack Pointer	81H
DPTR	Data Pointer 2 Bytes	
DPL	Low Byte	82H
DPH	High Byte	83H
*P0	Port 0	80H
*P1	Port 1	90H
*P2	Port 2	0A0H
*P3	Port 3	0B0H
*IP	Interrupt Priority Control	0B8H
*IE	Interrupt Enable Control	0A8H
TMOD	Timer/Counter Mode Control	89H
*TCON	Timer/Counter Control	88H
*+T2CON	Timer/Counter 2 Control	0C8H
TH0	Timer/Counter 0 High Byte	8CH
TL0	Timer/Counter 0 Low Byte	8AH
TH1	Timer/Counter 1 High Byte	8DH
TL1	Timer/Counter 1 Low Byte	8BH
+TH2	Timer/Counter 2 High Byte	0CDH
+TL2	Timer/Counter 2 Low Byte	0CCH
+RCAP2H	T/C 2 Capture Reg. High Byte	0CBH
+RCAP2L	T/C 2 Capture Reg. Low Byte	0CAH
*SCON	Serial Control	98H
SBUF	Serial Data Buffer	99H
PCON	Power Control	87H

* = Bit addressable

+ = 8052 only

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์

ไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์ สามารถเลือกให้มีการทำงานเป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยเลือกที่บิต C / T ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TMOD โหมดไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์จะใช้ Up Counter Register (TH_x, TL_x) ตัวเดียวกันซึ่งเป็นแบบนับขึ้น โหมดไทม์เมอร์ Up Counter Register (TH_x, TL_x) จะถูกเพิ่มค่าทุก ๆ 1 แมกซ์ขึ้นไซเคิล (12 คาบเวลาของคล็อก) โหมดนี้ไม่ต้องป้อนสัญญาณจากภายนอกเข้ามาแต่ใช้สัญญาณ CPU osc โหมดเคาน์เตอร์ Up Counter Register (TH_x, TL_x) จะถูกเพิ่มค่าทีละหนึ่งเมื่อป้อนสัญญาณคล็อกจากภายนอกเข้ามาทางขา T0 (pin) อยู่ที่ขา 14 และ 15 ตามลำดับโดยไม่สนใจคาบเวลาของพัลส์ แต่ละลูกการตรวจสอบสัญญาณที่เข้ามาทางขา T0 โดยจะตรวจสอบทุก ๆ SSP2 ของแต่ละแมกซ์ขึ้นไซเคิล ดังนั้นการตรวจสอบคล็อก 1 ลูกจะต้องใช้ถึง 2 แมกซ์ขึ้นไซเคิล (1/24 คาบเวลา CPU osc)

การอินเทอร์รัปต์

คือการขัดจังหวะ โปรแกรมชั่วคราวแล้วมาทำโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Service Routine; ISR) การตรวจสอบสัญญาณการร้องขออินเทอร์รัปต์จะตรวจสอบที่ตำแหน่ง SSP2 ของทุก ๆ แมกซ์ขึ้นไซเคิลเมื่อพบแล้ว ในช่วงแมกซ์ขึ้นไซเคิลที่ 2 จะเป็นการตรวจสอบว่าเป็นของอุปกรณ์ใดและแมกซ์ขึ้นไซเคิลที่ 3 จะกระโดดไปทำโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Service Routine; ISR) อินเทอร์รัปต์ของ MCS-51 ได้มาจาก 8 แหล่ง และแต่มีเพียง 6 Vector (TI และ RI ใช้ตำแหน่งเดียวกัน) ตำแหน่งของเวกเตอร์ดังแสดงตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 อินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ของ MCS-51 และลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัปต์

ลำดับ	ชื่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์	Vector Address	Priority
1	$\overline{INT0}$	0003H	highest ↑ ↓ lowest
2	TF0	000BH	
3	$\overline{INT1}$	0013H	
4	TF1	001BH	
5	TI+RI	0023H	
6	TF2+EXF2	002BH	

- ถ้ามีอินเทอร์รัปต์เข้ามาพร้อมกัน $\overline{INT0}$ จะถือว่ามี Priority สูงสุด

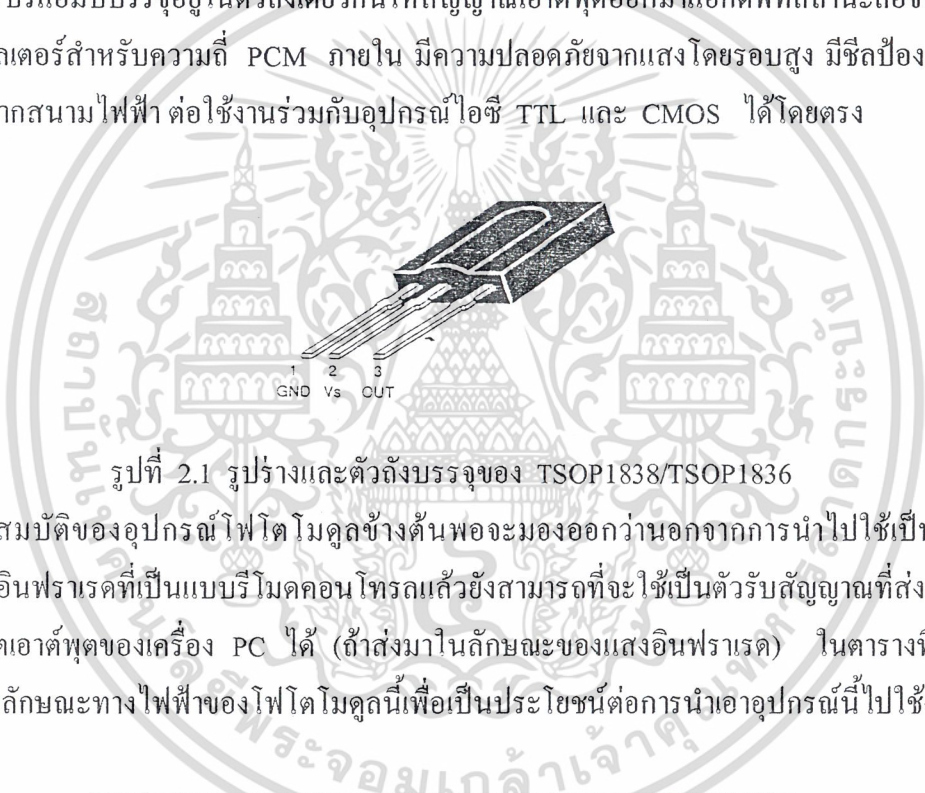
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

TSOP1838/TSOP1836 โฟโตโมดูล

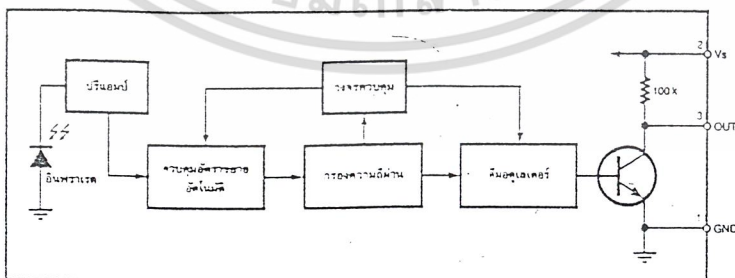
2.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์โฟโตโมดูล

โฟโตโมดูลนี้ถูกออกแบบมาให้เหมาะกับการใช้งานเป็นตัวรับแสงอินฟราเรดที่มีรหัสพัลส์มอดูเลตมาด้วยและพอจะยกคุณสมบัติที่มองเห็นได้ชัดเจนดังต่อไปนี้ มีตัวตรวจจับแสงและวงจรปรีแอมป์บรรจุอยู่ในตัวถึงขีดขั้วกันให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาแอกติฟที่สถานะลอจิก “0” มีวงจรฟิลเตอร์สำหรับความถี่ PCM ภายใน มีความปลอดภัยจากแสงโดยรอบสูง มีฉลป้องกันการรบกวนจากสนามไฟฟ้าต่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไอซี TTL และ CMOS ได้โดยตรง



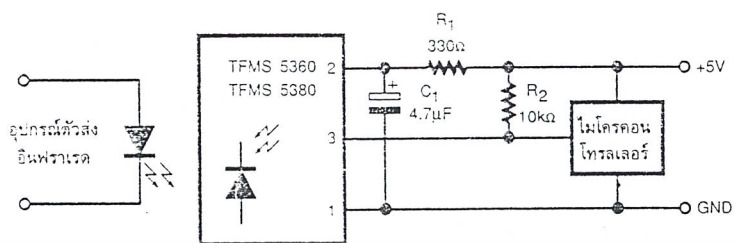
รูปที่ 2.1 รูปร่างและตัวถังบรรจุของ TSOP1838/TSOP1836

จากคุณสมบัติของอุปกรณ์โฟโตโมดูลข้างต้นพอจะมองออกว่านอกจากการนำไปใช้เป็นตัวรับสัญญาณอินฟราเรดที่เป็นแบบรีโมคคอนโทรลแล้วยังสามารถที่จะใช้เป็นตัวรับสัญญาณที่ส่งออกมาจากพอร์ตเอาต์พุตของเครื่อง PC ได้ (ถ้าส่งมาในลักษณะของแสงอินฟราเรด) ในตารางที่ 2.1 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโฟโตโมดูลนี้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำเอาอุปกรณ์นี้ไปใช้งาน



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในของโฟโตโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น
ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของโฟโตโมดูล

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
แรงดันซีพพลาย	V_s	4.5-5.5	โวลต์
กระแสซีพพลาย	I_s	5	มิลลิแอมป์
แรงดันเอาต์พุต	V_o	-0.3-6.0	โวลต์
กระแสเอาต์พุต	I_o	5	มิลลิแอมป์
ย่านอุณหภูมิขณะทำงาน	T_{amb}	-2.5 ถึง +85	องศาเซลเซียส
ความสิ้นเปลืองกำลังงาน	P_{tot}	50	มิลลิวัตต์
ระยะทางการส่งของตัวส่งมายังตัวรับ	d	35	เมตร
แรงดันเอาต์พุตที่ลอจิก "Low"	V_{osL}	250	มิลลิโวลต์
รัศมีการแผ่ของแสงอินฟราเรด	E_s	20	วัตต์/ตารางเมตร
ทิศทางการรับแสงอินฟราเรด	$\Phi_{1/2}$	± 55	องศา

2.2 โครงสร้างภายใน

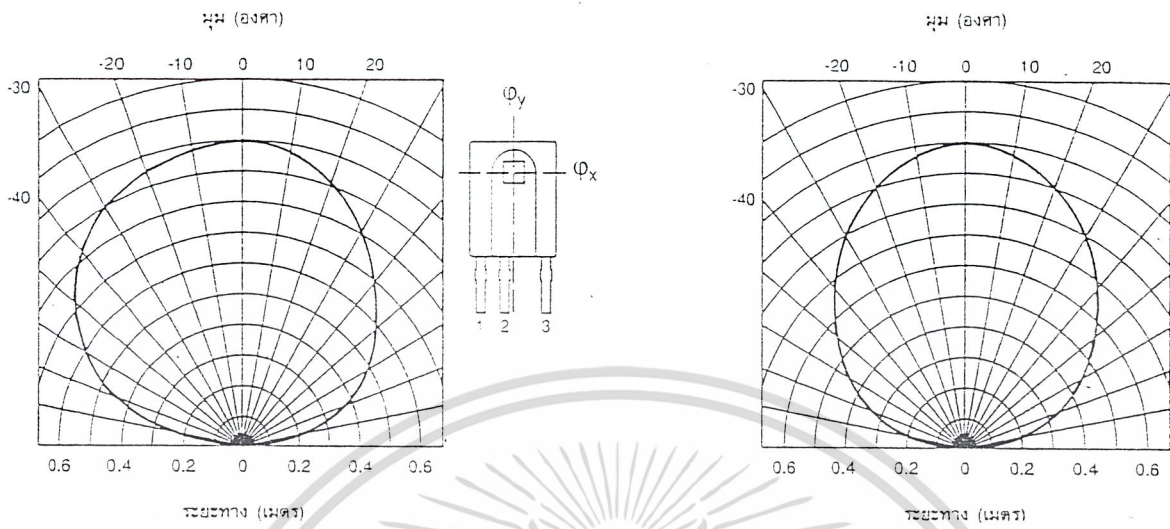
บล็อกไดอะแกรมภายในโครงสร้างหรือบล็อกไดอะแกรมการทำงานภายในของโฟโตโมดูลได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 จะสังเกตเห็นว่าแม้ถูกสร้างมาในรูปแบบโมดูลแล้วภายในก็ยังคงต้องอาศัยชิปไดโอดอินฟราเรดตัวรับบรรจุรวมอยู่ด้วยนอกเหนือจากวงจรปรีแอมป์, วงจรควบคุมและวงจรดีมอดูเลเตอร์ที่บรรจุรวมอยู่ด้วยและบล็อกไดอะแกรมภายในของโฟโตโมดูลของทั้งสองเบอร์นั้นเหมือนกันทุกประการหากแต่มีความแตกต่างกันอยู่บ้างที่ความถี่คลื่นพาห์ที่ทำการมอดูเลตโดยที่ TSOP1836 นั้นจะมีความถี่คลื่นพาห์ 36 กิโลเฮิร์ตซ์ ส่วน TSOP1838 จะมีความถี่คลื่นพาห์ 38 กิโลเฮิร์ตซ์ ส่วนบล็อกไดอะแกรมภายในนั้นจะมีไดโอดอินฟราเรดรับแสงและถูกขยายขึ้นด้วยวงจรปรีแอมป์นอกจากนี้สัญญาณที่ผ่านการขยายแล้วจะถูกควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ (AGC) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ได้ การนำ
ผ่านวงจรกรองความถี่ผ่านและถูกดีมอดูเลตสัญญาณความถี่คลื่นพาห์ออกจากสัญญาณข้อมูลโดยมี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่โดยทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่แปลงเป็นสัญญาณพัลส์ข้อมูลแอกคิฟที่ลอจิก “0” ออกทางเอาต์พุตขา 3 ในส่วนของไดโอดอินฟราเรดจะมีฟิลเตอร์กรองแสงอินฟราเรดประกอบรวมอยู่บนตัวถังด้วยเพื่อเป็นการป้องกันแสงรอบๆข้างที่มีความเข้มของแสงใกล้เคียงกับแสงของอินฟราเรดไม่ให้สามารถผ่านแผ่นกรองแสงเข้ามารบกวนการทำงานของโฟโตโมดูลนี้ได้อันอาจจะก่อให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่จะถูกตีมูลค่าออกทางเอาต์พุต จากการทำมีอินเวอร์เตอร์ก่อนขับสัญญาณออกทางเอาต์พุตนี้เอง จึงทำให้สามารถต่อใช้งานร่วมกับวงจร TTL และ CMOS ได้ โดยตรงการประยุกต์ใช้งาน การนำเอา TSOP1836/TSOP1838 ไปประยุกต์ใช้งานนั้นค่อนข้างจะง่ายเพราะเป็นการทำงานที่เสร็จสรรพในตัว ให้เอาต์พุตที่เป็นรหัสพัลส์ออกมาส่งต่อไปเข้าวงจรถอดรหัสหรือควบคุมภายนอกต่อไปในรูปแบบที่ 2.3 เป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานแบบพื้นฐานซึ่งอาจจะไม่ละเอียดมากนักแต่เป็นหลักการสื่อให้ทราบว่า การต่อใช้งานมาตรฐานนั้นต้องต่อวงจรแบบใด จากรูปจะมีตัวส่งสัญญาณที่มีการเข้ารหัสพัลส์มอดูเลตมากับคลื่นพาห์และตัวรับซึ่งเป็นโฟโตโมดูลก็จะรับเข้ามาและตีมูลค่าออกมาทางเอาต์พุต สัญญาณเอาต์พุตจะถูกส่งต่อไปเข้าวงจรถอดรหัสโดยตรงภายในวงจรที่ต่อใช้งานร่วมอยู่ซึ่งก็อาจจะเป็นวงจรตรวจจับธรรมดาไปจนถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อพิจารณาควงจรตรวจจับธรรมดาไปจนถึงไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อพิจารณาควงจรก็จะสังเกตเห็นอุปกรณ์ RI และ CI จะต่อไว้เพื่อป้องกันและลดปัญหาอันเนื่องมาจากการรบกวนทางสนามไฟฟ้า หรือเกิดการกระชากของกระแสที่เกิดจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ทำให้มีการรบกวนผ่านเข้ามาในระบบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงของโฟโตโมดูล ส่วนตัวต้านทาน R2 เป็นตัวต้านทานพูลอัพและจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 10 กิโลโอห์ม ตามความเหมาะสมของค่าแรงดันไฟเลี้ยงและระดับลอจิกอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ หรืออินพุตของวงจรถอดรหัสอื่น ๆ ที่ถูกนำมาต่อใช้งานร่วมอยู่

2.3 ลักษณะของมุมในการรับแสงของอินฟราเรดตัวรับ

ลักษณะของมุมในการรับแสงของอินฟราเรดตัวรับที่บรรจุอยู่ภายในรวมทั้งแผ่นกรองแสงด้านหน้าที่จะต้องมีความสัมพันธ์ทางด้านมุมในการรับแสงทั้งแนวแกน Y และแนวแกน X อันจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการติดตั้งในพื้นที่ที่กว้างขึ้นและมุมที่ไม่จำเป็นต้องตรงกันเสมอไปของตัวรับและตัวส่ง ในรูปที่ 2.4 แสดงถึงแพตเทิร์นของมุมในการรับแสงอินฟราเรดของโฟโตโมดูล โดยในรูปที่ 2.4 (ก) นั้นเป็นแพตเทิร์นมุมการรับในแนวตั้งหรือแนวแกน Y ส่วนรูปที่ 2.4 (ข) เป็นแพตเทิร์นมุมการรับในแนวนอนหรือแนวแกน X



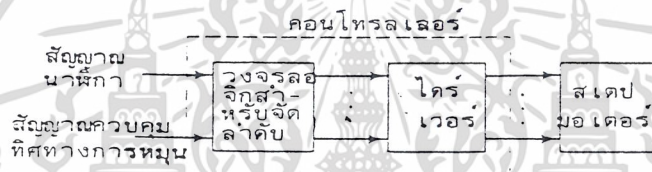
รูปที่ 2.4 (ก) แพดเทิร์นมุมการรับในแนวตั้ง (ข) เป็นแพดเทิร์นมุมการรับในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 สเตปป์มอเตอร์

3.1 นิยามของสเตปป์มอเตอร์

สเตปป์มอเตอร์จะมีเพลลาหมุนเป็นสเตปโดยการป้อนอินพัลส์ที่มีความถี่ค่าหนึ่งจะสเตปไปหนึ่งสเตปในแต่ละพัลส์ขนาดของสเตปขึ้นอยู่กับกรอกแบบสเตปมอเตอร์การทำงานของสเตปมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับพัลส์ที่ป้อนให้กับขดลวดเฟสของมันในลำดับที่ถูกต้องด้วยวงจรลอจิกสำหรับจัดลำดับด้วยกระแสที่พอเพียงโดยวงจร ไดรเวอร์

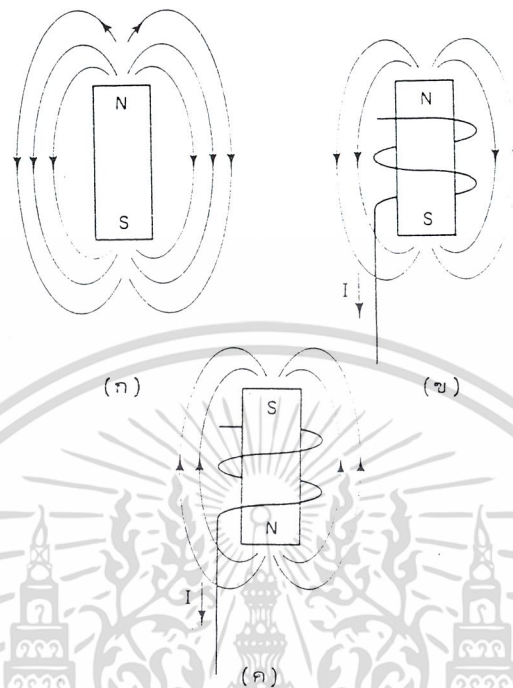


รูปที่ 3.1 ตัวคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของ สเตปมอเตอร์

ในรูปที่ 3.1 สเตปมอเตอร์จะทำงานเมื่อเราป้อนสัญญาณพัลส์นาฬิกา (clock pulses) อินพุตสำหรับควบคุมทิศทางการหมุน คอนโทรลเลอร์ของสเตปมอเตอร์จะอินเตอร์เฟสได้โดยตรงกับไมโครโปรเซสเซอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ สเตปมอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของโหลดได้อย่างเที่ยงตรงมากเนื่องจากแต่ละอินพุตพัลส์จะทำให้สเตปมอเตอร์เคลื่อนที่ไปหนึ่งสเตปอย่างเที่ยงตรง

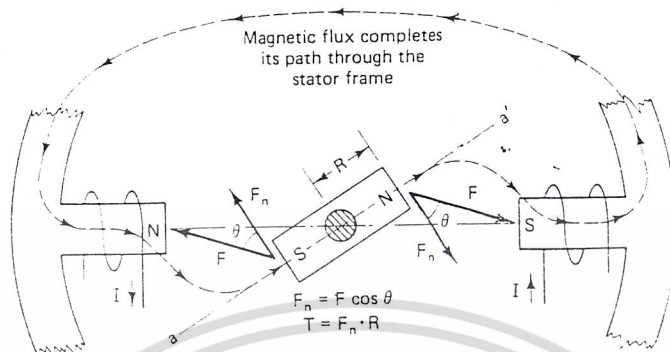
3.2 หลักการทำงานของสเตปมอเตอร์ทั่วไป

ในรูปที่ 3.2 แสดงการพื้นฐานของเส้นแรงแม่เหล็กในรูปที่ 3.2 (ก) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวร รูปที่ 3.2 (ข) สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแส I รูปที่ 3.2 (ค) ขั้วแม่เหล็กกลับทิศทางเมื่อขดลวดถูกพันกลับทิศทางและทิศทางกระแสไม่เปลี่ยนแปลง ในรูปที่ 3.3 แท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่บนเพลลาและหมุนได้ อิสรระเหมือนอาร์มาเจอร์ มีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ขั้วซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะที่เป็นสเตเตอร์ (stator) ในรูปที่ 3.3 ตำแหน่งแกนของอาร์มาเจอร์แม่เหล็กคือ $a-a'$ ซึ่งต่างไปจากตำแหน่งแกนขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กน้อยเป็นมุม θ



รูปที่ 3.2 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ

แรงแม่เหล็กที่เกิดจากการดึงดูดของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกันทำให้เกิดส่วนของแรงปกติ $F_n = F \cos \theta$ (แรงนี้ตั้งฉากกับแกน a-a') ทอร์กผลรวม $T = F_n \cdot R$ (ทำให้อาร์มาเจอร์หมุนในทิศทาง CW จนกว่าแกนของอาร์มาเจอร์ a-a' จะอยู่ในแนวเดียวกับแกนขั้วของสเตเตอร์) ถ้าหากมีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลาย ๆ คู่ ขั้วรอบ ๆ สเตเตอร์ และถ้าหากขั้วเหล่านั้นถูกกระตุ้นด้วยกระแสพัลส์ในรูปแบบที่เรียงลำดับกันไป อาร์มาเจอร์ก็จะหมุนในรูปลักษณะของสเตปที่เป็นไปตามการหมุนของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการสวิทซ์ที่เรียงลำดับของขดลวดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์

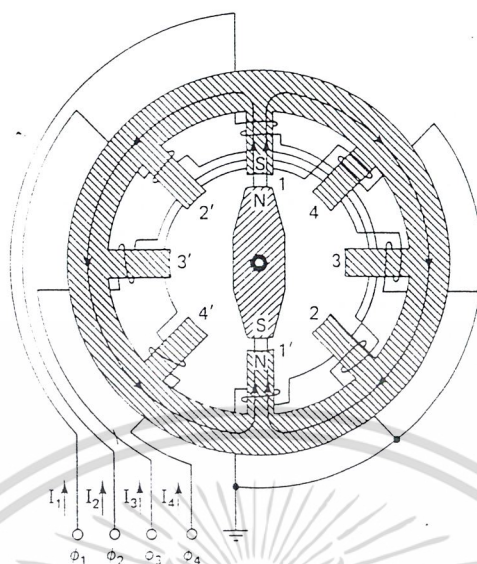


รูปที่ 3.3 แสดงแรงดึงดูดทำให้เกิดทอร์กที่หมุนอาร์มาเจอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุล

3.3 สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรแสดงได้ในรูปที่ 3.4 เป็นสเตปมอเตอร์แบบ 4 เฟส แต่ละเฟสเป็นขดลวดอยู่บน 2 ขั้วของสเตเตอร์ ดังนั้นในการออกแบบนี้สเตเตอร์จะต้องมี 8 ขั้ว โรเตอร์ทำจากแม่เหล็กถาวรและอยู่ในแนวของขั้วสเตเตอร์ 1 และ 1' มั่นหยุดอยู่ที่ตำแหน่งนี้ได้ด้วยกระแส I_1 ที่ไหลอยู่ในเฟส 1 ขดลวดของเฟส ϕ_1, ϕ_4, ϕ และ ϕ_2 (1-4-3-2 ตามลำดับ) จะได้นับพลังงานด้วยกระแสพัลส์ที่สอดคล้องกัน I_1, I_4, I_3 และ I_2 . กระแสแต่ละเฟสจะไหลในทิศทางที่แสดงในไดอะแกรม) แต่ละสเตปโรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางตามเข็มนาฬิกา 45° ($360/8$) เมื่อขั้วเหนือของโรเตอร์ (แม่เหล็กถาวร) หมุนไปถึงขั้วของสเตเตอร์หมายเลข 2 ลำดับการจับขดลวดเฟสของสเตปมอเตอร์คือ 1-4-3-2 จะต้องกระทำเหมือนเดิม (เพื่อให้มอเตอร์หมุนไปตามเข็มนาฬิกาอีก 180°) ยกเว้นเราต้องการให้หมุนกลับทิศทางใน 180° ที่เหลือด้วยการป้อนกระแสกลับทิศทางเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นขั้วได้ที่ขั้วสเตเตอร์ 1', 4', 3' และ 2' ตามลำดับ (ทิศทางของกระแสแสดงในรูปที่ 3.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

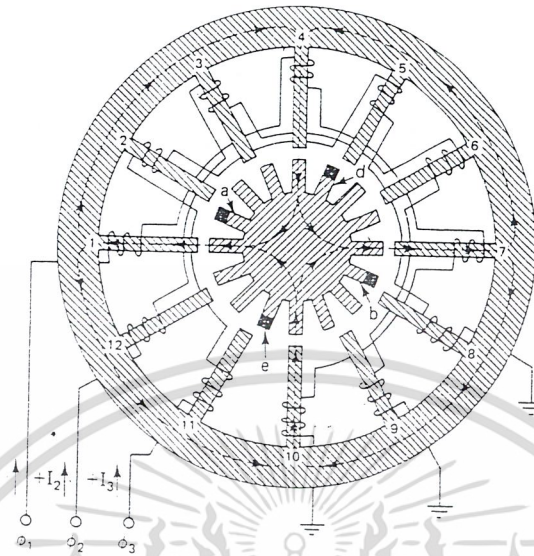


รูปที่ 3.4 โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4

เฟสและแต่ละเฟสพันด้วยขดลวดบน 2 ขั้วของสเตเตอร์มุมสเตปเท่ากับ 45°

3.4 สเตปมอเตอร์แบบคาร์ลัคเด็นซ์แปรค่าได้ที่มีสเต็คเดียว

ตัวอย่าง โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบคาร์ลัคเด็นซ์แปรค่าได้ที่มีสเต็คเดียวหรือที่เรียกสั้นๆว่า VR สเตปมอเตอร์ที่มีสเต็คเดียวแสดงได้ในรูปที่ 3.5 VR สเตปมอเตอร์ที่มีสเต็คเดียว จะมีโรเตอร์เดียวเมื่อเทียบกับ VR สเตปมอเตอร์แบบที่มีหลายสเต็คหมายถึงมีหลายโรเตอร์และสเตเตอร์ทำจากสารแม่เหล็ก สเตปมอเตอร์ในรูปที่ 3.5 มี 3 เฟสแต่ละเฟสใช้ขดลวดพันบน 4 ขั้วหรือซี่ฟันของสเตเตอร์ ตัวอย่าง เฟสที่ 1 พันอยู่บนขั้วที่ 1, 4, 7, และ 10 ของสเตเตอร์ดังนั้นสเตเตอร์ จะมี 12 ซี่ฟัน และในที่นี่กำหนดคให้โรเตอร์มี 16 ซี่ฟัน ขั้วของสเตเตอร์ที่อยู่ตรงกันข้ามจะพันด้วยขดลวดลักษณะที่ต่างกันเพื่อให้มีความสมดุลระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กเข้าออกจากโรเตอร์



รูปที่ 3.5 VR สเต็ปมอเตอร์แบบมีสเต็คเดียวและมีรายละเอียดโครงสร้างดังนี้

$N_r = 16$, $N_s = 12$, $X = 4$ โพล/เฟส, $\theta = 7.5^\circ$, $R_s = 48$ สเต็ป/รอบ สมมติว่ากระแส I_1 ป้อนให้กับเฟสที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และโรเตอร์ทั้ง 4 ซี่ฟันจะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 1, 4, 7 และ 10 ของสเตเตอร์ เส้นแรงแม่เหล็กจะเข้าสู่โรเตอร์จากสเตเตอร์ซี่ฟันที่ 4 และ 10 และออกจากโรเตอร์ไปยังซี่ฟันของ สเตเตอร์ที่ 1 และ 7 ซึ่งเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่ครบวงจร โดยผ่าน โครงร่างของสเตเตอร์ เราจะสังเกตเห็นได้ว่าปลายของซี่ฟันของสเตเตอร์ที่ 4 จะถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ (เนื่องจากเส้นแรงออกจากซี่ฟันที่ 4) และปลายของซี่ฟันโรเตอร์ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันที่ 4 ของสเตเตอร์จะเป็นเส้นทางผ่านเข้าไปยังโรเตอร์ของ นั้นเป็นขั้วได้ การทำให้เกิดลักษณะเป็นแม่เหล็กนี้จะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กอย่างต่อเนื่องผ่านช่องว่าง (gap) ระหว่างซี่ฟันทั้งสองที่อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของ สเตเตอร์และโรเตอร์ที่เหลืออีก 3 คู่ก็เกิดลักษณะของแม่เหล็กในทำนองเดียวกันในสถานะต่อไปเราจะให้โรเตอร์หมุนไปหนึ่งสเต็ปในทิศทาง CW เราจะต้องจ่ายพลังงานให้กับเฟส 3 ที่มีขดลวดพันอยู่บนซี่ฟันที่ 2, 5, 8 และ 11 ของสเตเตอร์ด้วยกระแส I_3 หลังจากหยุดจ่ายกระแส I_1 แล้ว

ในตอนนี้นี้เส้นแรงแม่เหล็กจะหาทางเดินที่ต่างไปจากเดิมเพื่อทำให้วงจรแม่เหล็กครบวงจร(เหมือนกับกระแสใน วงจรไฟฟ้าจะหาเส้นทางไหลในส่วนของที่มีความต้านทานต่ำที่สุด) ในทำนองเดียวกันเส้นแรงแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กก็จะหาเส้นทางเดินที่มีค่ารีลัคแตนซ์ ต่ำที่สุด (ช่องว่างอากาศระหว่างซี่ฟันจะทำให้เกิดค่ารีลัคแตนซ์ต่อเส้นแรงแม่เหล็ก ช่องว่างกว้างมากค่ารีลัคแตนซ์ก็จะมีค่ามาก) ด้วยเหตุผลดังกล่าว เส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากขั้วที่ 2 และ 8 ของสเตเตอร์ซึ่งถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วเหนือ และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะกระโดดผ่านช่องว่าง ไปยังซี่ฟันของโรเตอร์ที่ใกล้ที่สุด

ซี่ฟัน a และ b ของโรเตอร์เป็นโรเตอร์ที่อยู่ใกล้ที่สุดและจะถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วได้ เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ปรากฏใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เด็กจะออกจากซี่ฟัน d และ e ของโรเตอร์ผ่านช่องว่างอากาศเข้าสู่ซี่ฟันที่ 5 และ 11 ของสเตเตอร์ ดังนั้นส่วนที่เหลือของวงจรแม่เหล็กจะสมบูรณ์โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ ในระหว่างเวลานั้นแรงของแม่เหล็กหรือแรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างซี่ฟันที่ 2 ของสเตเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ) และซี่ฟัน a ของโรเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วใต้) แรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างขั้ว (11, e), (8, b) และ (5, d) ด้วยคังทอริบายในรูปที่ 3.3 ผลที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดทอร์คกระทำต่อโรเตอร์หมุนไปจนกระทั่งซี่ฟัน a, d, b และ e ของโรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟัน 2, 5, 8 และ 11 ของสเตเตอร์ตามลำดับ ขณะเวลาดังกล่าวช่องว่างระหว่างซี่ฟันตามลำดับจะมีค่าน้อยที่สุดผลลัพธ์ของค่ารีลักแตนซ์จะมีค่าต่ำที่สุดและเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าสูงสุดผ่านวงจรแม่เหล็ก ที่ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่สมดุทธ์ของการจับเฟส 3 ในกระบวนการที่กล่าวมาแล้ว โรเตอร์จะเคลื่อนที่ในทิศทาง CW หนึ่งสเตปเป็นมุม 7.5° ลำดับการทำงานที่สมบูรณ์แสดงได้ในรูปที่ 3.6 เมื่อตำแหน่งเริ่มต้นของซี่ฟันของโรเตอร์จะเป็นสีด้าเพื่อให้เราทำความเข้าใจได้ชัดเจนถึงการหมุนของโรเตอร์ในทิศทาง CW เมื่อเฟสถูกจับในลักษณะเรียงลำดับ 1-3-2-1 ซี่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสีด้าจะเคลื่อนที่ไป 3 สเตป คิดเป็นมุมได้เท่ากับ 22.5° เราจะจับเฟสในลักษณะเรียงลำดับเดิมซ้ำใหม่อีกเมื่อต้องการให้โรเตอร์หมุนในทิศทาง CCW เราต้องกลับการเรียงลำดับเฟสเป็น 1-2-3-1 สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของ VR สเตปมอเตอร์

N_r = จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์

N_s = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์

N_p = จำนวนเฟส

P_r = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์ (องศา)

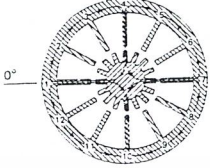
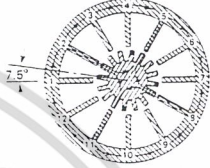
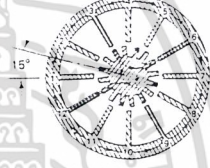
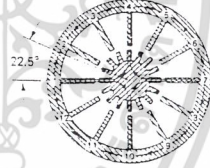
P_s = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของสเตเตอร์ (องศา)

θ_s = มุมสเตป (องศา)

R_s = อัตราการสเตปหรือความเร็วในการสเตป(สเตป/รอบ)

$X = N_s / N_p$ = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ต่อเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียงลำดับเฟส	ตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นแรงแม่เหล็ก
ตำแหน่งโรเตอร์เริ่มต้น : - เฟส ϕ_1 ได้รับพลังงาน - ซีพินของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซีพินที่ 1, 4, 7, 10 ของสเตเตอร์	
สเตปที่ 1 : เฟส ϕ_2 ได้รับพลังงาน - ซีพินของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซีพินที่ 2, 5, 8, 11 ของสเตเตอร์ - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW เป็นมุม 7.5° (ช่วงห่างระหว่างซีพินของโรเตอร์)	
สเตปที่ 2 : เฟส ϕ_3 ได้รับพลังงาน - ซีพินของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซีพินที่ 3, 6, 9, 12 ของสเตเตอร์ - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW รวมเป็นมุม 7.5°	
สเตปที่ 3 : เฟส ϕ_4 ได้รับพลังงาน - ซีพินของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซีพินที่ 1, 4, 7, 10 ของสเตเตอร์ - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW รวมเป็นมุม 22.5° (เคลื่อนที่ได้ 1 ช่วงห่างระหว่างซีพินของโรเตอร์)	

รูปที่ 3.6 แสดงลำดับการสวิตช์ 3 สเตปของ VR สเตปมอเตอร์แบบสเต็คเดียวและแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นทางของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อโรเตอร์เคลื่อนที่ไปในแต่ละสเตป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสเตปมอเตอร์

- 1 ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ (tooth pitch)

$$P_r = 360/N_r \text{ และ } P_s = 360/N_s$$

- 2 มุมสเตป (step angle) ในรูปที่ 3.6 โรเตอร์จะเคลื่อนที่ในขนาดมุม P_r ได้เท่ากับ N_p สเตป ดังนั้นเราจะหามุมสเตปได้

$$\theta_s = P_r/N_p = 360/N_r N_p \text{ องศา/สเตป}$$

- 3 มุมสเตปจะเท่ากับความแตกต่างระหว่าง P_r และ P_s ดังนั้นเราจะหามุมสเตปได้เป็น

$$\theta = |P_r - P_s|$$

- 4 อัตราการสเตป (stepping rate) ความเร็วในการสเตปต่อรอบ (360 องศา) หาได้เป็น

$$R_s = 360/\theta_s = N_r N_p \text{ สเตป/รอบ}$$

- 5 ความเร็วของสเตปมอเตอร์ (speed of step motor) เมื่อเราป้อนอินพุตพัลส์ที่มีความถี่ (f)

สเตปต่อพัลส์ให้กับสเตปมอเตอร์ มอเตอร์จะสเตปได้ด้วยความเร็ว

$$\omega = 60f/R_s = 60f/N_r N_p = \theta_s f/6 \text{ (rpm)}$$

- 6 จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (number of stator poles per phase)

$$\text{จำนวนโพลของ สเตอร์ต่อเฟส (X)} = N_s/N_p$$

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (X) จะสัมพันธ์กับอัตราการสเตปหรือจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์สเตปมอเตอร์ในรูปที่ 3.5 เราสามารถสรุปการเลือกพารามิเตอร์บางตัวของสเตปมอเตอร์ได้ดังในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงการเลือกพารามิเตอร์ของสเตปมอเตอร์

N_p	R_s	N_r	X	N_s
3	48	16	4 8	12 24
4	48	12	4	16
4	64	16	?	?

3.5 สเตปมอเตอร์แบบรีลักแตนซ์แปรค่าได้และมีหลายสเต็ค

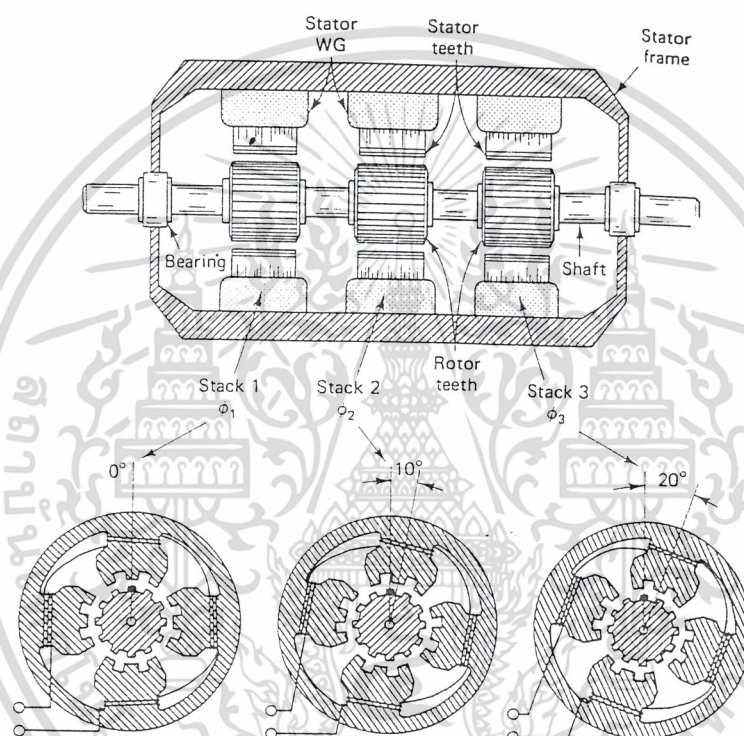
สเตปมอเตอร์แบบรีลักแตนซ์แปรค่าได้ (VR) และมีหลายสเต็คหรือมากกว่าหนึ่งสเต็คขึ้นไป สเต็คในที่นี้หมายถึงเฟสซึ่งประกอบด้วยโรเตอร์ที่เป็นซี่ฟันและโครงสร้างของสเตเตอร์ อยู่รอบนอกสเตปมอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 สเต็ค (หมายถึง 3 เฟส) มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.7 สเตปมอเตอร์ในรูปที่ 3.7 ได้ถูกออกแบบให้สเตเตอร์ของแต่ละสเต็คประกอบด้วย 4 โพล และแต่ละโพลจะมีซี่ฟัน 3 ซี่ซึ่งต่างจาก VR สเตปมอเตอร์แบบสเต็คเดียว (แต่ละโพลจะมีซี่ฟันเดียว) ข้อสังเกตในแต่ละสเต็คจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะมีจำนวนเท่ากันซึ่งต่างกับ VR สเตปมอเตอร์แบบสเต็คเดียวคือ จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะเท่ากันไม่ได้ ถ้าหากมีจำนวนซี่ฟันเท่ากันมันจะไม่ทำงาน การทำงานของ VR สเตปมอเตอร์ที่มี 3 สเต็คโคอะแกรม ส่วนต่างของรูปที่ 3.7 แสดงถึงโครงสร้างของโรเตอร์และสเตเตอร์ของ VR สเตปมอเตอร์ที่มี 3 สเต็คแต่ละสเต็คจะมี $N_r = N_s$ แต่ละสเต็คจะมีตำแหน่งของสเตเตอร์แตกต่างจากตำแหน่งของสเตเตอร์ในสเต็คถัดไปเท่ากับ 10° ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 3 อันจะประกอบอยู่บนแกนเดียวกันและได้รับการปรับแต่งให้อยู่แนวเดียวกันอย่างสมบูรณ์ ตามปกติเราจะคำนวณสเตป (หรือ index angle) ได้จากสมการที่ (2) ได้จากสมการเดียวกัน คือ

$$\theta = P_r/N_r = \theta_s \quad \text{ในกรณี } N_r = N_s = 12 \quad \text{ดังนั้นเราหา } P_r = 360/12 = 30^\circ \text{ และค่า}$$

$$\theta_i = 30/3 = 10^\circ$$

สเตปมอเตอร์ แบบ 3 สเต็คแม้ว่าโรเตอร์ทั้ง 3 อันจะติดอยู่บนเพลอันเดียวกัน สเต็คทั้ง 3 สเต็คจะมีวงจรมแม่เหล็กที่แยกกันดังนี้ถ้าเฟสที่ 1 ถูกขับด้วยกระแสเป็นเฟสเริ่มต้นให้ซี่ฟันของโรเตอร์ สเตเตอร์อยู่ในแนวเดียวกันส่วนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเต็คที่ 2 ในขณะนั้นจะมีตำแหน่งต่างกัน 10° และซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเต็คที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 20° ต่อจากนั้นเราหยุดจ่ายกระแส (กระแสลวดสเตเตอร์) ในสเต็คที่ 1 และป้อนกระแสให้กับสเต็คที่ 2 โรเตอร์จะหมุนไปอีก 10° ซึ่งจะทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเต็คที่ 2 อยู่ในแนวเดียวกัน ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 โรเตอร์จะหมุนไปอีก 10° ซึ่งจะทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 2 อยู่ในแนวเดียวกัน

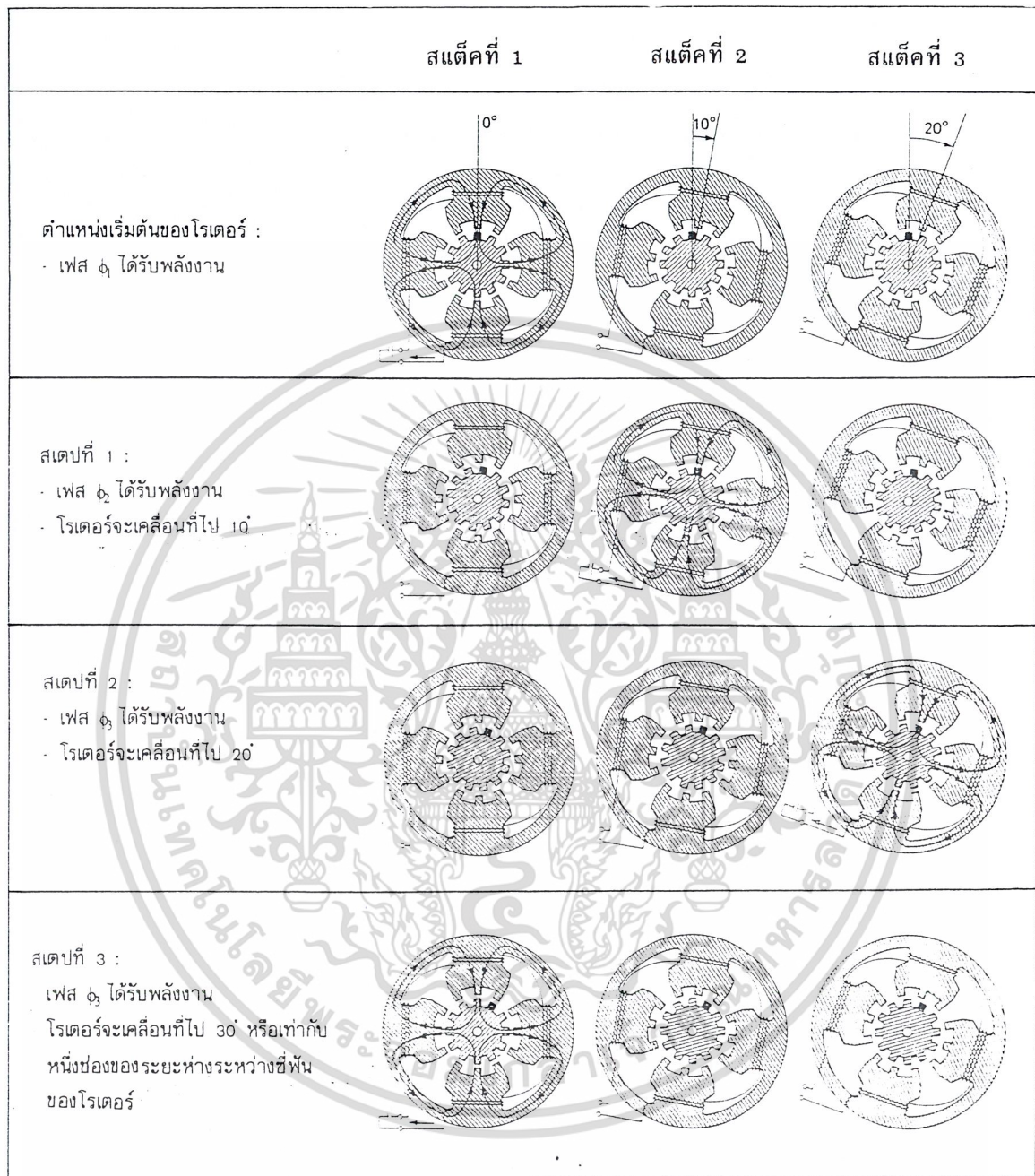


รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 เฟส โรเตอร์และสเตเตอร์ของแต่ละเฟส (สแต็ค) จะมี 12 ซี่ฟันและมุมสเตป (θ_s) = 10° , แต่ละเฟสของสเตเตอร์ที่เรียงลำดับต่อเนื่องกัน จะถูกจัดตำแหน่งให้ต่างกันเท่ากับ $(1/3)$ ของช่องห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (10°)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะนี้ซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเต็คที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10° ต่อจากนั้นเราหุคจ่ายกระแสในสเต็คที่ 2 และป้อนกระแสให้กับสเต็คที่ 3 โรเตอร์จะหมุนไปอีก 10° ซึ่งจะทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเต็คที่ 3 อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเต็คที่ 1 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10° ลำดับการสวิตช์และกระแสในแต่ละสเต็คแสดงได้ในรูปที่ 3.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพลลาของสลิปมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปเท่าหนึ่งช่องของระยะห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (30°) ภายใน 3 สเตป ตามปกติเพลลาของมอเตอร์ จะเคลื่อนที่ไปหนึ่งช่องของระยะห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (rotor tooth pitch) ด้วยการสเตปไป N_p สเตปเมื่อ N_p คือจำนวนสเต็คที่ใช้ (หรือเท่ากับจำนวนเฟส) ลำดับการสวิตช์ที่แสดงในรูปที่ 8 เราสามารถนำมาเขียนเป็นตารางได้ดังในรูปที่ 3.9 วงจรการสวิตช์ประกอบด้วย VRSM แบบ 3 เฟส (สัญลักษณ์ของสลิปมอเตอร์) การขับเฟสแสดงได้ด้วยสวิตช์และแหล่งกำเนิดดีซี





รูปที่ 3.8 แสดงลำดับการสแต็คของ VRSM แบบ 3 เฟส , $N_r = N_s = 12$, $P_r = 30^\circ$ และ $\theta_s = 10^\circ$ ซึ่งฟันของโรเตอร์ซี่ดำจะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW 10° ในแต่ละสแต็ครวมทั้งหมด 30° เมื่อสแต็คไปครบ 3 สแต็คสำหรับการหมุนในทิศทาง CW ลำดับการขับเฟส 1-2-3-1 และเมื่อต้องการ

ให้หมุนในทิศทาง CCW ลำดับการขับเฟสก็ต้องกลับเป็น 1-3-2-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส.เตบ	S_1	S_2	S_3
1	X		
2		X	
3			X
1	X		

(ก)

ส.เตบ	S_1	S_2	S_3
1	X	X	
2		X	X
3	X		X
1	X	X	

(ข)

ส.เตบ	S_1	S_2	S_3
1	X	X	
2		X	
3		X	X
4			X
5	X		X
6	X		
1	X	X	

(ค)



(ง)

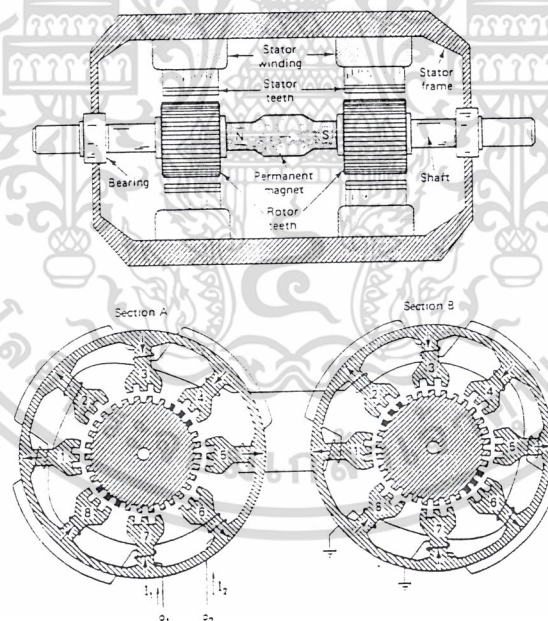
รูปที่ 3.9 แสดงถึง VRSM แบบ 3 เฟส (ก) ตารางแสดงลำดับการขับแบบเฟสเดียวในทิศทาง CW (ข) ตารางแสดงลำดับการขับแบบ 2 เฟสในทิศทาง CW (ค) การขับแบบครึ่งสเตปในทิศทาง CW (ง) วงจรการสวิตช์เมื่อต้องการให้หมุนในทิศทาง CCW เราจะต้องกลับลำดับการขับคือให้อ่านตาราง (ก), (ข) และ (ค) จากข้างล่างขึ้นไปข้างบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราขับเฟสที่ 2 และเฟสที่ 3 พร้อมกันอีกก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปครบเต็มหนึ่งสเตป ดังนั้นการขับแบบ 2 เฟสเราเรียงลำดับการขับได้ดังนี้ 1-2, 2-3, 3-1 และ 1-2 กระทำซ้ำๆเดิมไปเรื่อยๆอย่างไรก็ตามการขับแบบ 2 เฟสหรือ 1 เฟสจะให้การหมุนเป็นมุมสเตปเท่ากัน ที่ต่างกันก็คือการขับแบบ 2 เฟสจะให้การหมุนของโรตอร์นำหน้าการขับแบบเฟสเดียวด้วยขนาด $1/2$ สเตปนอกจากนั้นการขับแบบ เฟสจะต้องการกระแสเป็น 2 เท่าของการขับแบบเฟสเดียว ตาราง (ค) แสดงการขับแบบ 2 เฟสสลับกับการขับแบบ 1 เฟสซึ่งจะทำให้โรตอร์หมุนไป $1/2$ สเตปเท่านั้น การขับแบบนี้จะทำให้จำนวนสเตปต่อรอบเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าจากเดิม

3.6 สเตปมอเตอร์แบบไฮบริด ไฮบริดสเตปมอเตอร์ (HSM)

มีคุณลักษณะผสมของ PM และ VR สเตปมอเตอร์ ในรูปที่ 3.10 แสดงถึงโครงสร้างของ HSM ประกอบด้วย 2 ตอนกับแกนแม่เหล็กอยู่ระหว่าง 2 ตอน แต่ละตอนประกอบด้วยซี่ฟันของโรตอร์และโพลของสเตเตอร์ที่มีซี่ฟันเช่นกันและพันด้วยขดลวดวางละเอียด โครงสร้างของสเตเตอร์และโรตอร์ของแต่ละตอนแสดงในไดอะแกรมของรูปที่ 3.10

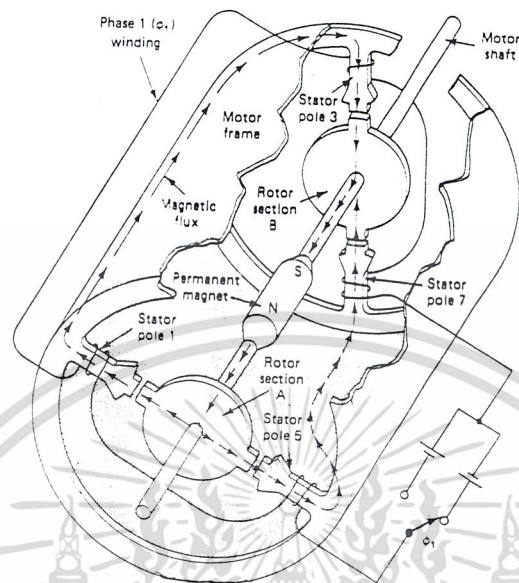


รูปที่ 3.10 โครงสร้างของไฮบริดสเตปมอเตอร์ : $N_r = 30, N_s = 24$ ซี่ฟันของสเตเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะอยู่ในแนวเดียวกันด้วยซี่ฟันของโรตอร์ทั้ง 2 ตอนจะอยู่ในแนวเดียวกันด้วยซี่ฟันของโรตอร์ทั้ง 2

$$\text{คิ้วจะมีตำแหน่งต่างกัน } P_r/2 (= 6^\circ), \theta_s = 3^\circ$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะโครงสร้างของไฮบริดสเตปมอเตอร์จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และของสเตเตอร์ไม่เท่ากันตอน A และตอน B มีโครงสร้างเหมือนกัน ซี่ฟันของสเตเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะอยู่ในแนวเดียวกันอย่างถูกต้อง ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะมีตำแหน่งที่แตกต่างกัน $P_r / 2$ (ในรูปที่ 3.10 กำหนดให้ $P_r = 360/30 = 12^\circ$ ตำแหน่งซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะแตกต่างกัน 6° สเตเตอร์ของแต่ละตอนมี 8 โพลแบ่งออกเป็น 2 สเตเตอร์เฟสเฟสที่ 1 จะพันขดลวดบนสเตเตอร์โพลหมายเลข 1, 3, 5 และ 7 ของทั้งในตอน A และตอน B เฟสที่ 2 จะพันขดลวดบนสเตเตอร์โพลหมายเลข 2, 4, 6 และ 8 ของทั้งในตอน A และ ตอน B แกนแม่เหล็กถาวรจะเหนี่ยวนำโรเตอร์ในตอน A ให้เป็นแม่เหล็กขั้วเหนือและโรเตอร์ในตอน B ให้เป็นแม่เหล็กขั้วใต้ ความซับซ้อนจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการแบ่งส่วนของขดลวดเฟสใน 2 ตอนทำให้ได้วงจรแม่เหล็กที่ซับซ้อนและได้เส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่แตกต่างกันเป็นวงกลม ทิศทางเดินของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์โพลจะขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสเฟสดังแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 3.10 ส่วนการทำงานของไฮบริดสเตปมอเตอร์ ขณะที่เฟสที่ 1 (\odot_1) ได้รับพลังงานโดยการป้อนกระแส I_1 ในทิศทางดังแสดงด้วยลูกศร ซี่ฟันของโรเตอร์ในตอน A จะอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันของสเตเตอร์ของโพลที่ 1 และโพลที่ 5 ส่วนของตอน B จะอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันของโพลที่ 3 และโพลที่ 7 ดังแสดงในรูปที่ 3.11 เพื่อให้เพลลาของมอเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตปในทิศทาง CW เราจะต้องหยุดป้อนกระแส I_1 และป้อนกระแส I_2 ให้กับเฟสที่ 2 (\odot_2) ในรูปที่ 3.10 ซี่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสัปดาห์สำหรับอ้างอิงซี่ฟันสัปดาห์จะอยู่ใกล้แนวซี่ฟันของสเตเตอร์โพลที่ 4 และโพลที่ 8 ในตอน A และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ในตอน B มากที่สุด (ซี่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสัปดาห์อยู่ห่างจากแนวซี่ฟันของสเตเตอร์เท่ากับ 1 สเตปพอดี) เราจะต้องป้อนกระแส I_2 ในทิศทางที่ถูกต้องคือจะต้องทำให้โพลที่ 4 และโพลที่ 8 และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ถูกเหนี่ยวนำเป็นแม่เหล็กในทิศทางที่ถูกต้อง (เกิดวงจรแม่เหล็กที่สมบูรณ์) ด้วย I_2 ในกรณีนี้ I_2 จะต้องเป็นลบ ในรูปที่ 3.12 แสดงถึงลำดับการสวิตช์ (ให้กระแสไหล) ให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทาง CW 4 สเตป ซึ่งแสดงถึง ตำแหน่งของโรเตอร์และทิศทางการเป็นแม่เหล็กของสเตเตอร์โพลในแต่ละตอนด้วยการกำหนดทิศทางการไหลของกระแส สำหรับการหมุนในทิศทาง CW (ดังแสดงในรูป) เราจะต้องกำหนดลำดับของกระแสเฟสดังนี้ $1^+, 2^-, 1^-, 2^+$ และ 1^+ ตามลำดับ ถ้าต้องการหมุนในทิศทาง CCW ลำดับเหล่านี้ก็กลับไปเป็น $1^+, 2^+, 1^-, 2^-$ และ 1^+



รูปที่ 3.11 วงจรแม่เหล็กของ HSM

รูปที่ 3.11 แสดงถึงเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อเฟสที่ 1 ได้รับพลังงานและเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นในตอน A จะผ่านโพลที่ 1 และโพลที่ 5 เข้าไปยังโรเตอร์ของตอน B ผ่านโพลที่ 3 และโพลที่ 5 เข้าไปยังโรเตอร์ของตอน B ผ่านโพลที่ 3 และโพลที่ 7 เข้าสู่ขั้วใต้ (S) ของแม่เหล็กถาวร และถ้าเฟลาของมอเตอร์หมุนไปได้หนึ่งช่องห่างระหว่างซี่ฟันภายใน 4 สเตป ดังนั้นมุมสเตปจะต้องเท่ากับ $P_r/4$ หรือมีค่าเท่ากับ $|P_s - P_r|$ ดังนั้น

$$\theta = P_r/4 = 360/4N_r = 90/N_r = |P_s - P_r| \quad \text{ในรูปที่ 3.12 } N_r = 30 \text{ และ } N_r = 24$$

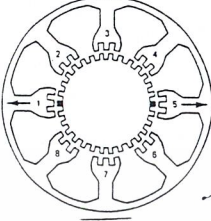
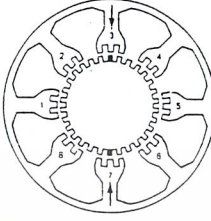
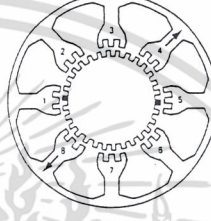
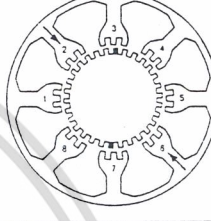

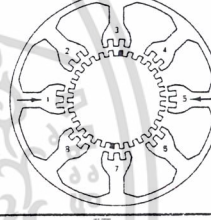
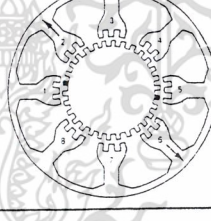
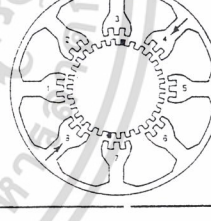
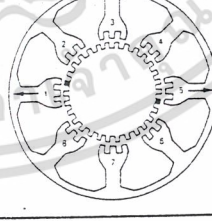
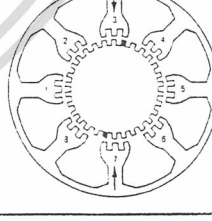
ไฮบริดสเตปมอเตอร์ (HSM) จะทำงานด้วยกระแสเฟสที่มีการไหลได้สองทิศทาง ดังนั้นเราจำเป็นต้องใช้เพาเวอร์ซัพพลาย 2 ตัว (bipolar drive) การแก้ปัญหาเพื่อจะขับไฮบริดสเตปมอเตอร์ให้ทำงานด้วยเพาเวอร์ซัพพลายเพียงตัวเดียว (unipolar drive) ได้โดยดัดแปลงโครงสร้างการพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์ การพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์แบบ unifilar (การพันแบบแฉกเดียว) จะต้องขับแบบไบโพลาร์ (bipolar drive) การพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์แบบ bifilar (การพันแบบสองแฉกสลับกัน) สามารถขับได้ด้วย ยูนิโพลาร์ (unipolar drive) ขดลวดแบบ unifilar แสดงดังในรูปที่ 3.13 (ก) เราจะต้องกลับทิศทางของกระแสเพื่อกลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก B ขดลวดแบบ bifilar แสดงในรูปที่ 3.13 (ข) ถ้าเราต้องการกลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเป็น -B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถือว่าผิดกฎหมายและจะดำเนินการฟ้องดำเนินคดีตามกฎหมายต่อไป

รูปที่ 3.13 (ข) ก็จะทำให้ทิศทางการเหนี่ยวนำแม่เหล็กและทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก (-B) กลับทิศทางได้ ในตอนนี้ก็จะทำให้เราได้ขดลวดเฟสถึง 4 เฟสและแต่ละเฟสสามารถจับได้ด้วยกระแสที่ไหลในทิศทางเดียว ส่วนเครื่องหมาย + และ - ใช้สำหรับแสดงถึงทิศทางการเกิดสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์โพล ในรูปที่ 3.14 (ก), (ข) แสดงวงจรการสวิตช์ 2 วงจร สำหรับ HSM แบบ 2 เฟส และแบบ 4 เฟส รูปที่ 3.14 (ค), (ง) และ(จ) แสดงตารางลำดับการจับแบบทีละเฟส และแบบทีละ 2 เฟส และการจับแบบครึ่งสเตปตามลำดับ ถ้าหาก HSM รูปที่ 3.10 มีขดลวดเฟสของสเตเตอร์เป็นแบบ bifila ขดลวดเฟส ϕ_1 เดิมจะถูกแบ่งตัวออกเป็นสองขดลวดเฟส ϕ_1^+ และเฟส ϕ_1^- ขดลวดเฟส ϕ_2 เดิมจะถูกแบ่งตัวออกเป็นสองขดลวดเฟส ϕ_2^+ และเฟส ϕ_2^-



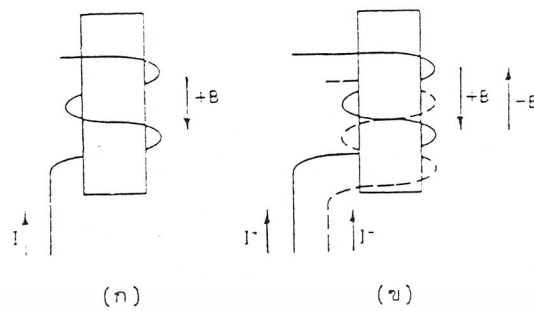
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตป	ϕ_1 I_1	ϕ_2 I_2	เส้นแรง ออกจาก ตอน A	เส้นแรง เข้าสู่ ตอน B	ตอน A	ตอน B
1	+		1.5	3.7		
2			4.8	2.6		
3			3.7	1.5		
4		+	2.6	4.8		
1	+		1.5	3.7		

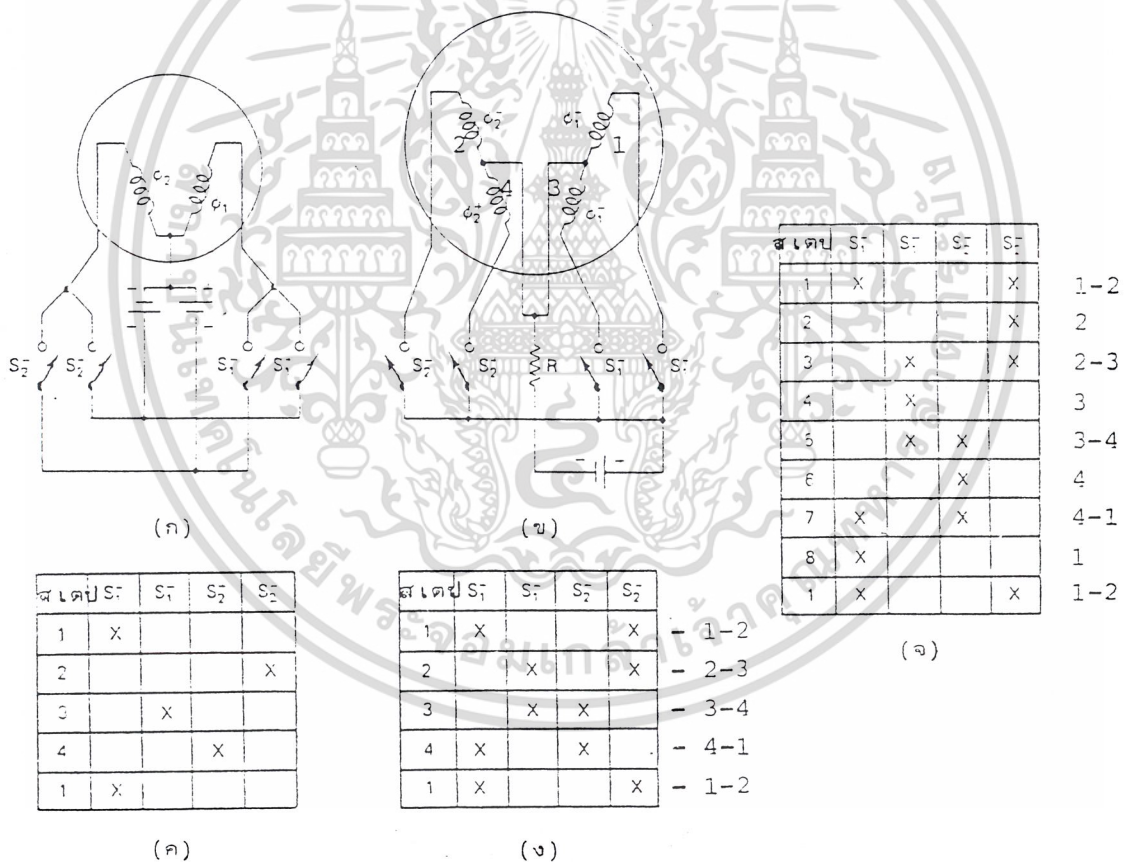
รูปที่ 3.12 ลำดับ 4 สเตปของ HSM แบบ 2 เฟส

ในแต่ละสเตปแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์และทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก $N_r = 30, N_s = 24$, $\phi_s = 3^\circ$ ซึ่งฟันของโรเตอร์ที่เป็นสตีลจะหมุนในทิศทาง CW ไป 3° ในแต่ละสเตปได้เป็น 12° เมื่อครบตามจำนวนลำดับ (หนึ่งช่องห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์) สำหรับการหมุนในทิศทาง CW จะต้องจัดลำดับการขับเป็น $1^+, 2^-, 1^-, 2^+, 1^+$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์ (ก) แบบ unifilar (ข) แบบ bifilar



รูปที่ 3.14 ไสบริดสเตปมอเตอร์ (ก) HSM แบบ 2 เฟส unifilar จะต้องขับแบบไบโพลาร์ (ข) HSM แบบ 4 เฟส bifilar ใช้การขับแบบยูนิโพลาร์ (ค) ตารางแสดงลำดับการขับทีละ 1 เฟส (ง)

ตารางแสดงลำดับการขับแบบครึ่งสเตปในทิศทาง CW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

เครื่องจักรกลไฟฟ้า DC Machines

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่แปลงรูปพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงกับพลังงานกลโดยที่เครื่องจักรทำงานโดยการหมุนตัวหมุน เมื่อเครื่องจักรแปลงรูปพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเรียกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง(DC Generator or Dynamo) และถ้าเครื่องจักรแปลงรูปพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงกลเป็นพลังงานกลเรียกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(DC Motor) เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงมีซี่คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) กับแปรงถ่าน (Carbon brush) ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสจากไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature coil) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงออกจากตัวเครื่องจักรจึงเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรงแต่เมื่อตัดค่าไฟฟ้าที่ขั้วมีค่าสูงกว่าศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจากภายนอกเข้าสู่ในตัวเครื่องจักร ซึ่งซี่คอมมิวเตเตอร์จะทำหน้าที่จัดเรียงกระแสที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกันก็จะมีกระแสไหลเข้าทำให้เกิดแรงบิดเสริมกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่ง จะสามารถนำมาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือนำมาเป็นมอเตอร์ก็ได้ จุดเด่นของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงคือทำงานอยู่ในตำแหน่งที่มุมระหว่างสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กจากอาร์เมเจอร์ทำมุมเท่ากับ 90 องศาซึ่งเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสสลับโดยทั่วไปไม่สามารถทำงานที่ตำแหน่งนี้ได้ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีแรงบิดขณะเริ่มหมุนสูง

4.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงประกอบไปด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.1.1 เปลือกนอก (Yoke frame) เป็นตัวยึดขั้วแม่เหล็กของส่วนที่อยู่กับที่ พร้อมทั้งเป็นวงจรมแม่เหล็กเชื่อมต่อระหว่างขั้วแม่เหล็กนอกจากนี้เปลือกนอกยังทำหน้าที่เป็นตัวยึดสำหรับติดตั้งเครื่องจักรรวมถึงเป็นเบ้ายึดลูกปืน (bearing) สำหรับเพลาของตัวหมุน การทำเปลือกนอกทำได้โดยการขึ้นรูปโดยการใช้เหล็กหล่อหรือใช้วิธีม้วนเหล็กแผ่นแล้วเชื่อมเป็นวง

4.1.2 ขั้วแม่เหล็ก (Pole) เป็นส่วนที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้า เมื่อหมุนตัวหมุน หรือเกิดแรงบิดเมื่อมีกระแสไหลในอาร์เมเจอร์ โดยที่ขั้วแม่เหล็กประกอบไปด้วยแกนขั้วแม่เหล็ก (Pole core) และ ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (field coil)

4.1.3 อาร์เมเจอร์ (Armature) เป็นส่วนที่เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าและ เกิดแรงบิดจากสนามแม่เหล็กโดยจะประกอบไปด้วยแกนของอาร์เมเจอร์ (Armature core) เป็นแผ่นเหล็กบางๆ

(laminate) วางเรียงซ้อนกันเพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (eddy current) บนแกนของอาร์เมเจอร์

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับพันขดลวดเรียกว่า ร่องสล็อต (slot) โดยร่องนี้จะไว้สำหรับพันขดลวดอาเมเจอร์ (Armature winding)

4.1.4 คอมมิวเตเตอร์(Commutator) เป็นแท่งตัวนำโดยปกติใช้แท่งทองแดงวางเรียงกันและมีฉนวนกั้นกลางเพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่างแท่งทองแดง ตัวคอมมิวเตเตอร์จะใช้เป็นจุดต่อระหว่างขดลวดอาเมเจอร์และมีแปรงถ่านมากบนคอมมิวเตเตอร์เพื่อป้อนไฟฟ้าเข้าไปในอาเมเจอร์หรือจ่ายไฟฟ้าออกจากอาเมเจอร์ดังนั้นคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่นำมาทำซีคอมมิวเตเตอร์ต้องเป็นตัวนำที่ดีมีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำเป็นตัวนำความร้อนและมีความสึกกร่อนจากการเสียดสีน้อย หรือไม่สึกกร่อนเลยยิ่งดี

4.1.5 แปรงถ่าน (Carbon brush) เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่ต่อวงจรระหว่างจุดที่ขุดกับส่วนที่เป็นคอมมิวเตเตอร์ตัวแปรงถ่านจะมีส่วนที่เป็นกราไฟท์ (Graphite) และส่วนที่เป็นสายทองแดงอีกเพื่อใช้ต่อกับวงจรไฟฟ้าได้ ช่องยึดแปรงถ่าน (brush holder) เป็นตัวยึดแปรงถ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ คุณสมบัติของแปรงถ่านต้องเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี มีค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำและต้องไม่แข็งจนเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายที่ซีคอมมิวเตเตอร์ของคุณลักษณะประจำของมอเตอร์ (Motor Characteristics) คุณลักษณะประจำของมอเตอร์ก็คือ เส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่างๆที่มอเตอร์ได้ส่งออกไปและได้รับเข้าไปซึ่งมีทั้งปริมาณไฟฟ้าและปริมาณทางกลความสัมพันธ์ต่างๆ ที่จะพิจารณามีดังนี้

4.2 แรงบิดและกระแสอาร์มาเจอร์

คือการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง “ แรงบิดกับกระแสตัวเอง (T/I_a) คุณลักษณะชนิดนี้รู้จักกันในรูปของ คุณลักษณะทางไฟฟ้า (Electrical Characteristic) ”

4.3 ความเร็วและกระแสอาร์มาเจอร์

คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสที่ไหลในอาร์มาเจอร์นั่นคือ คุณลักษณะของ S/I_a

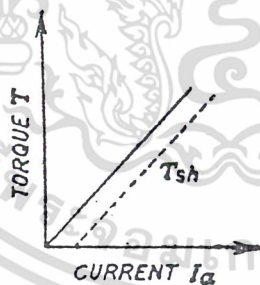
4.4 ความเร็วและแรงบิด

คือการแสดงความสัมพันธ์โดยใช้เส้นกราฟระหว่างความเร็วกับแรงบิด S/T คุณลักษณะเช่นนี้เรียกว่า “ คุณลักษณะทางกล (Mechanical Characteristic) ” คุณลักษณะข้อนี้หาได้จากข้อ 1) และข้อ 2

4.5 คุณลักษณะประจำของมอเตอร์แบบขนาน (Characteristics of Shunt Motors)

4.5.1 คุณลักษณะระหว่างแรงบิด T กับกระแสอาร์มาเจอร์ I_a

ในการพิจารณาคุณลักษณะเช่นนี้จะกำหนดให้ ϕ เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ ที่เกิดจากสนามกระตุ้นมีค่าคงที่ตลอดไป แม้ว่าเมื่อมอเตอร์ได้รับการกระทำจะทำให้ ϕ ลดลงไปที่ตามนั้นคือให้ ϕ เป็นค่าคงที่ทุกๆ การกระทำที่มอเตอร์ได้รับ ดังนั้นในกรณีที่ เป็นมอเตอร์แบบขนานจึงได้ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ I_a คือ $T \propto \phi I_a$ นั่นคือเมื่อ plot graph ระหว่าง T กับ I_a จึงได้ graph เป็นเส้นตรงโดยเริ่มต้นจากค่าศูนย์ด้วยกันทั้งคู่ดังรูปที่ 4.3 เส้นกราฟที่ได้นี้เป็นเส้นตรงผ่านจุดเริ่มต้น (original) แรงบิด T_{sh} ที่เกิดที่แกน (shaft) ของมอเตอร์เมื่อส่งออกมาข้างนอกนั้นจึงต้องมีค่าน้อยกว่าแรงบิดที่เกิดขึ้น T ณ ที่ค่ากระแส I_a เดียวกันซึ่งเห็นได้ในรูปที่ 4.1 ดังเส้นประ การที่ T_{sh} น้อยกว่า T ที่ค่ากระแสเดียวกันนี้ เนื่องจากว่าต้องสูญเสียแรงบิดจำนวนหนึ่งไปเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานที่แกน (shaft) ได้รับค่าแรงเสียดทานนี้ถือว่าคงที่ตลอดไป ดังนั้นเส้น graph ของ T_{sh} จึงมี slope เท่ากับเส้น graph ของ T จากรูปนี้พบว่าเราไม่อาจใช้ shunt มอเตอร์ start ในขณะที่มี load หนัก ๆ ได้ เพราะการทำเช่นนั้นย่อมทำให้มอเตอร์ต้องดึงกระแสจำนวนมากมาเข้าไปใช้ด้วยนั่นคือ shunt มอเตอร์จะไม่ใช่ในการ start load ที่หนัก ๆ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสของมอเตอร์ขนาน

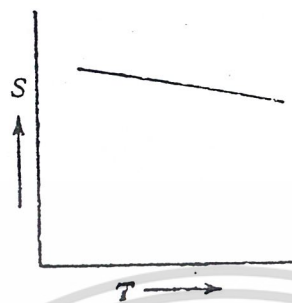
4.5.2 คุณลักษณะระหว่างความเร็ว S กับกระแสอาร์มาเจอร์ I_a

ในการพิจารณากรณีนี้ก็ยังคงให้ ϕ คงที่ตลอดไปนั่นคือจะได้ค่าความเร็ว S เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเคลื่อนไฟสวนกลับ E_b ($S \propto E_b$) ในทางปฏิบัติแล้วมักให้ความเร็วที่ใช้งานกับ load มีค่าคงที่นั่นคือ E_b ต้องคงที่ด้วย แต่การลดของ E_b นี้ลดลงไปมากกว่าการลดของ ϕ ฉะนั้นเมื่อรวมผลทั้งหมดที่เกิดขึ้นแล้วความเร็วย่อมลดลงไป (E_b ลดไปเป็นอัตราส่วนมากกว่า ϕ) ดัง

รูปที่ 4.2 ที่แสดงด้วยเส้นประเมื่อมอเตอร์ได้รับ load แต่ในทางปฏิบัติแล้วมักใช้ shunt motor เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ต้องการความเร็วคงที่

ไม่ว่ากรณีใดๆ หวังว่าผู้อ่านจะโปรดพิจารณาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

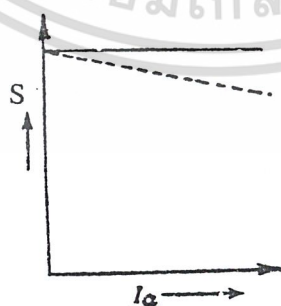


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์ชาน

เนื่องจากมอเตอร์แบบชาน (shunt motor) นี้ไม่มีการเปลี่ยนหรือลดความเร็วไปมากนักจากเมื่อตอนมีภาระถึงตอนที่มีการเติมที่ ดังนั้นจึงต่อเข้าหรือตัดออกได้จากภาระ (load) โดยทันทีทันใดได้โดยไม่ต้องเกรงว่าจะมีความเร็วสูงมากเกินไปจนเป็นอันตรายอย่างไรก็ตามมอเตอร์แบบนี้ให้แรงบิดเริ่มแรกต่ำ (low starting torque) ฉะนั้นจึงไม่นิยมใช้ load ที่ต้องการแรงบิดเริ่มแรกสูง แต่เนื่องจากว่าเป็นมอเตอร์แบบที่มีความเร็วค่อนข้างคงที่มากดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ขับเคลื่อนของเครื่องกลึง machine tools, wood-working machines และเครื่องจักรชนิดต่าง ๆ ที่ต้องการความเร็วคงที่โดยประมาณ

4.5.3 คุณลักษณะประจำของเครื่องระหว่างความเร็ว S กับแรงบิด T

นี่ก็อาศัยจากหลักการที่ได้ในข้อ (1) และ (2) ข้างบนนั่นเอง จากข้อ 1 ทราบว่าแรงบิด T เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ I_a ดังรูปที่ 4.1 ดังนั้นจึงได้ความสัมพันธ์ระหว่าง S กับ T ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิด T ของมอเตอร์ชาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 คุณลักษณะประจำของมอเตอร์ชนิดอนุกรม (Characteristics of Series Motors)

เป็นคุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ในเรื่องของแรงบิด T กระแสในอาร์มาเจอร์ I_a และความเร็ว S ของมอเตอร์ชนิดนี้เช่นกัน โดยแบ่งการพิจารณาความสัมพันธ์แต่ละอย่างได้ดังนี้

4.6.1 คุณลักษณะประจำระหว่างแรงบิด T กับกระแสอาร์มาเจอร์ I_a

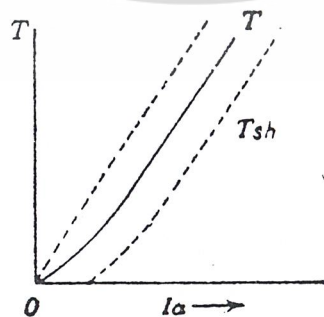
ในการพิจารณานี้สามารถพิจารณาได้จากสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด T กับกระแส I_a จากสมการที่ได้พิสูจน์มาแล้วในตอนต้นนั่นคือ

$$T \propto \phi I_a$$

และ $\phi \propto I_a$

$$T \propto I_a^2$$

นั่นคือ T/I_a curve จะเป็น parabola ดังรูปที่ 4.4 จะนั่นขณะที่ load น้อย I_a ก็น้อย และ ϕ ก็จะน้อยและเมื่อ load มากขึ้นจะได้แรงบิด T เพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนกับกระแสอาร์มาเจอร์ กำลังสอง แต่เมื่อ load เพิ่มมากขึ้นจนทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัวแล้วก็จะพบว่าแรงบิดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่เพิ่มขึ้น ($T \propto I_a$) เพียงอย่างเดียว นั่นคือได้เส้นกราฟระหว่าง T กับ I_a เป็นเส้นตรง ส่วนแรงบิดที่จ่ายออกมาที่แกน (T_{sh} = Shaft torque) นั้นมีค่าน้อยกว่าแรงบิดที่เกิดขึ้น T เพราะมีการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน แรงลมและค่าสูญเสียที่คงที่อื่นๆ อีกค่าสูญเสียเหล่านี้คือ “Stray losses” แรงบิด T_{sh} นี้แสดงไว้ในรูปด้วยเส้นประแล้ว



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ I_a ของมอเตอร์อนุกรม

จากคุณลักษณะระหว่างแรงบิด T กับกระแสอาร์มาเจอร์ I_a ที่กล่าวมาแล้วจากข้างบนนี้จึงสรุปได้ว่ามอเตอร์แบบอนุกรมนี้เหมาะสำหรับที่จะโหลด Load เริ่มแรกที่มี load หนัก ๆ ได้ (ในขณะที่ยังไม่มีการอิมตัวของเส้นแรงแม่เหล็ก) ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้กับ load หนักในขณะเริ่มแรก เช่น ปั่นจัน (hoist) รถไฟฟ้า (electric trains) และอื่นๆ

4.6.2 คุณลักษณะประจําระหว่างความเร็ว S กับกระแสอาร์มาเจอร์ I_a ของมอเตอร์อนุกรม

ศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว S กับกระแสอาร์มาเจอร์ I_a ด้รับเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะประจําตัวของมอเตอร์แบบนี้เพื่อนำไปใช้งานนั่นเอง อย่างไรก็ตาม คุณลักษณะเช่นนี้ สามารถได้จากความสัมพันธ์ของสมการคือ $S \propto Eb/\phi$ จากสมการพบว่าความเร็ว S เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเคลื่อนสวนกลับ E_b แต่ E_b นี้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากไม่ว่าที่ค่าภาระทางกลใด ๆ ก็ตามและพบว่าความเร็ว S แปรผันผกผันกับเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ แต่เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ นี้แปรผันโดยตรงกับกระแสที่ไหลผ่านอาร์มาเจอร์ I_a นั่นคือความเร็วแปรผันผกผันกับกระแสอาร์มาเจอร์นั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ load จึงทำให้ความเร็ว S มีการแปรผันผกผันกับ ϕ มากกว่า E_b มาก นั่นคือ S แปรผันผกผันกับ I_a โดยตรงนั่นเอง ดังรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว S กับกระแสอาร์มาเจอร์ I_a

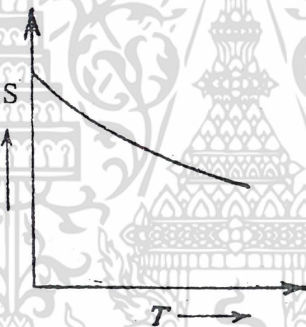
เมื่อมี load มาก ๆ จะทำให้มอเตอร์ต้องใช้กระแส I_a มาก ๆ ด้วยดังนั้นความเร็วของมอเตอร์แบบนี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว (ซึ่งทำให้ลด E_b ลงไปด้วยและนั่นก็คือ กระแสอาร์มาเจอร์ไหลเข้าไปในมอเตอร์มากขึ้น) แต่ในกรณีที่มอเตอร์มี load น้อย ๆ กระแสอาร์มาเจอร์จะน้อยก็จะน้อยลงไปด้วยจำนวนมากดังนั้นความเร็ว ϕ ก็จะสูงขึ้นจนอาจเป็นอันตรายต่อมอเตอร์ได้ นั่นก็คือสำหรับมอเตอร์แบบอนุกรมนี้ต้องไม่ start หรือให้เริ่มหมุนในขณะที่ไม่มี load มิฉะนั้นแล้วจะทำให้มีความเร็วสูงมากเกินไปจนเป็นอันตรายกับมอเตอร์ได้ อันเนื่องมาจากแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นในที่นี้ควรจะสังเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่ามอเตอร์แบบนี้เป็นมอเตอร์แบบที่มีความเร็วเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของloadที่มอเตอร์ได้รับ

4.6.3 คุณลักษณะทางกลของเครื่อง (Mechanical Characteristic)

ความสัมพันธ์ในกรณีนี้อาศัยหลักเกณฑ์จากข้อ (1) และข้อ (2) ที่กล่าวมาแล้วข้างบน โดยที่พบว่า T เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ I_a^2 เมื่อตอนที่ ϕ ยังไม่อิ่มตัวแต่เมื่อ ϕ อิ่มตัวแล้วก็จะเป็นส่วนสัดส่วนโดยตรงกับ I_a เท่านั้นและยังพบจากข้อ (2) อีกว่าเมื่อความเร็วสูง ๆ นั้นมี load น้อย (I_a น้อย) ส่วนความเร็วต่ำ load มาก (I_a มาก) ดังนั้นจึงนับได้ว่าเมื่อความเร็วสูงมอเตอร์ก็ให้แรงบิดต่ำและในทำนองกลับกันเมื่อความเร็วต่ำก็ให้แรงบิดสูงดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็ว S ไว้ในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว S กับแรงบิด T ของมอเตอร์อนุกรม

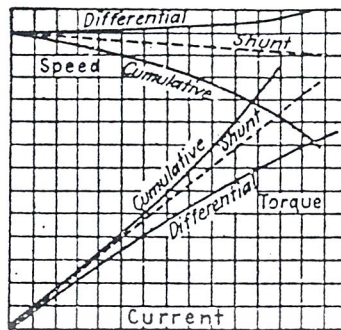
4.7 คุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบผสม (Characteristic of Compound Motor)

ลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบนี้ก็คือการนำเอาคุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ทั้ง 2 แบบมาผสมกันทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานมอเตอร์แบบผสมนี้แบ่งเป็น 2 แบบ โดยแบ่งตามลักษณะการต่อ series field เพิ่มเข้าไปให้กับ shunt motor ดังนี้

4.7.1 มอเตอร์แบบผสมชนิดสะสมหรือเสริมสนามแม่เหล็กให้มากขึ้น (Cumulative Compound Motor)

มอเตอร์แบบนี้จุดต่อสนามอนุกรม (Series field) เพิ่มเข้าไปโดยให้มีสนามแม่เหล็กที่ต่อเพิ่มเข้าไปนี้ไปช่วยเพิ่ม หรือเสริมกับสนามแม่เหล็กขนาน (Shunt field) ของมอเตอร์แบบขนาน ดังนั้นจึงทำให้มอเตอร์แบบนี้รวมคุณลักษณะของมอเตอร์ที่เป็นทั้งแบบอนุกรมและแบบขนานเข้าด้วยกันนั่นคือขณะที่มอเตอร์ได้รับloadสนามอนุกรมก็เพิ่มสนามแม่เหล็กขึ้นจึงทำให้เกิดแรงบิดมากขึ้นกว่าเมื่อเป็นมอเตอร์แบบขนาน(shunt motor) นั่นคือเมื่อเพิ่มเส้นแรงแม่เหล็กเข้าไปที่สนามแม่เหล็ก ก็ยอมทำให้ความเร็วลดลงอย่างรวดเร็วกว่าเมื่อเป็นแบบ shunt มอเตอร์ ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานวิจัยของศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบอัตโนมัติของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบอัตโนมัติของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 Electromagnetic torque (developed) and speed characteristics of shunt and compound motors

มอเตอร์แบบนี้เกิดแรงบิดที่อาร์มาเจอร์สูงในขณะที่ได้รับ Load ทันทีทันใดและยังมีความเร็วที่ค่าๆ หนึ่งในขณะที่ไม่มีภาระหรือ load นั่นก็คือ แม้ว่า จะไม่มีภาระ ก็ไม่ทำให้มอเตอร์มีความเร็วสูงเกินไปจนเกิดอันตรายได้ในการนำมอเตอร์ชนิดนี้ไปใช้งานนั้นมักนำไปใช้กับการขับ load ที่หนักๆ เช่น เครื่องโม่หิน เครื่องตัดเหล็ก (shear) หรือเครื่องอัดย่ำ (punch) crane, elevator (ลิฟท์) เป็นต้น เครื่องจักรกลต่างๆ เหล่านี้มักไม่สะดวกในการนำมอเตอร์แบบอนุกรม (series motor) มาใช้ เพราะมอเตอร์อนุกรมนี้ต้องต่อกับ load ตลอดเวลาในการนำมอเตอร์แบบผสมชนิดสะสมไปใช้กับลิฟท์ นั้นมักจะทำการลัดวงจรขดสนามอนุกรมเมื่อมอเตอร์มีความเร็วถึงที่ต้องการทั้งนี้เพื่อให้ความเร็วของลิฟท์การเคลื่อนที่ขึ้นลงมีค่าสม่ำเสมอข้อดีอีกอย่างหนึ่งของมอเตอร์แบบนี้ก็คือสามารถปรับความเร็วของตัวเองให้ลดลงโดยอัตโนมัติในขณะที่ได้รับ load ทันทีในการเพิ่มพลังงานกลสะสมของเครื่องแบบนี้ทำได้โดยการต่อ pulley เข้าไปซึ่งจะช่วยให้มีเสถียรภาพในการใช้งานดีขึ้น

4.7.2 มอเตอร์แบบผสมชนิดที่มีสนามแตกต่าง (Differential - Compound)

อนุกรมหักล้างกับมอเตอร์ชนิดนี้มีสนามอนุกรมสวนทางกับสนามขานานดังนั้นจึงทำให้สนามแม่เหล็กลดไปขณะที่มอเตอร์ได้รับ Load เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.7 จากคุณลักษณะของมอเตอร์ที่ว่าเมื่อแรงบิดเพิ่มขึ้นตาม load ที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้อัตราความเร็วที่เปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนของ load มีค่าคงที่ที่สอดคล้องกับการเพิ่ม load นั้น ๆ หรือกล่าวง่าย ๆ ก็คือว่าเมื่อมอเตอร์ได้รับ load มากขึ้นนั้นแทนที่จะมีความเร็วลดลงไปก็กลับกลายเป็นว่ามีความเร็วเพิ่มขึ้นเท่าเดิมตามที่ load เพิ่มขึ้น ดังนั้นมอเตอร์ชนิดนี้จึงต้องการนำไปใช้กับ load ที่ต้องการให้มีความเร็วคงที่มากๆ ในขณะที่ load เพิ่มมากขึ้นแต่มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อเสียตรงที่ว่าเมื่อได้รับ load มากไปย่อมทำให้สนามแม่เหล็กอ่อนลงไปมากนั่นคือความเร็วของมอเตอร์ก็จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นๆอย่างไม่มีเสถียรภาพ (instability) และทำให้มอเตอร์วิ่งเกินเลขไป ซึ่งจะทำความเสียหายกับมอเตอร์ในการทำให้มอเตอร์

เริ่มหมุนต้องทำการลัดวงจรสนามอนุกรมทั้งนี้เพราะขณะเริ่มงานมอเตอร์ก็กระแสไฟมากดังนั้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

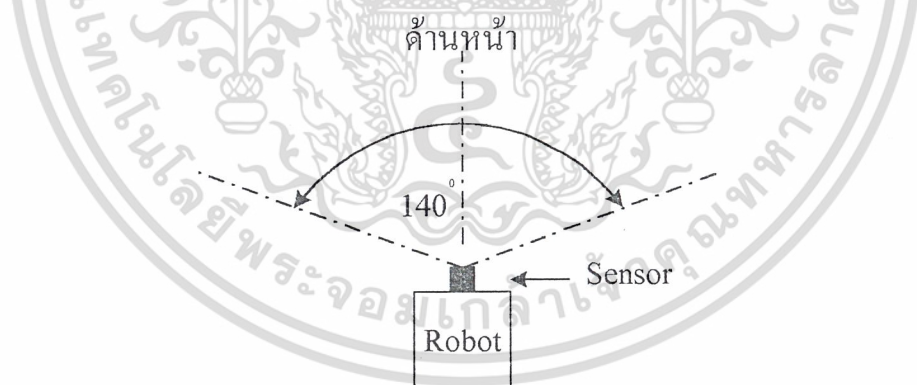
บทที่ 5

หลักการการทำงานของหุ่นยนต์เปิด

หุ่นยนต์เปิดเป็นหุ่นยนต์ชนิดขับเคลื่อนด้วยล้อหรือเรียกว่า Mobile Robot ซึ่งจะวิ่งเข้าหาตัวแม่อย่างอัตโนมัติ โดยใช้แสงอินฟราเรดจากตัวแม่เป็นตัวส่ง หรือทำตัวเป็นเป้าหมายให้กับตัวหุ่นยนต์โดยหุ่นยนต์เปิดนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด ซึ่งใช้เบอร์ AT89C51 ของบริษัท ATMEL ซึ่งมีข้อดีคือมีหน่วยความจำโปรแกรมแบบ EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Flash Memory ซึ่งสามารถลบด้วยไฟฟ้าได้โดยใช้เวลา 10ms เท่านั้นและสามารถลบแล้วเขียนใหม่ได้ถึง 1000 ครั้ง

5.1 การตรวจจับแสงจากตัวแม่

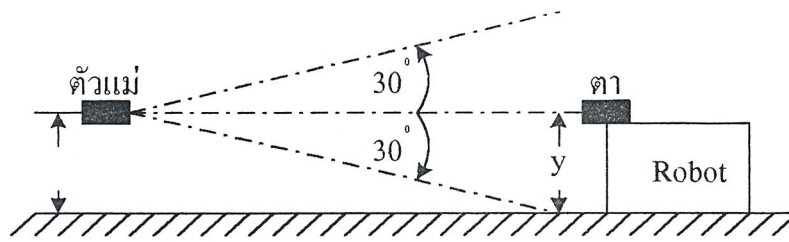
การทำงานของหุ่นยนต์เปิดเริ่มจากการสแกนหาแหล่งที่มาของแสงอินฟราเรดซึ่งส่งออกมาจากตัวแม่โดยที่ส่วนหัวของหุ่นยนต์เปิดนั้นจะติดตั้งเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่ที่ตรวจจับเฉพาะแสงอินฟราเรดเท่านั้นและทำหน้าที่เป็นตาของหุ่นยนต์เปิดด้วยโดยวางอยู่บนสเต็ปปีงมอเตอร์ที่สามารถหมุนซ้ายหรือขวาเพื่อสแกนหาตัวแม่ซึ่งสเต็ปปีงมอเตอร์นี้สามารถเคลื่อนที่ได้ประมาณ 140 องศาของด้านหน้าตัวหุ่นยนต์เปิดดังรูปที่ 5.1



ด้านหลัง

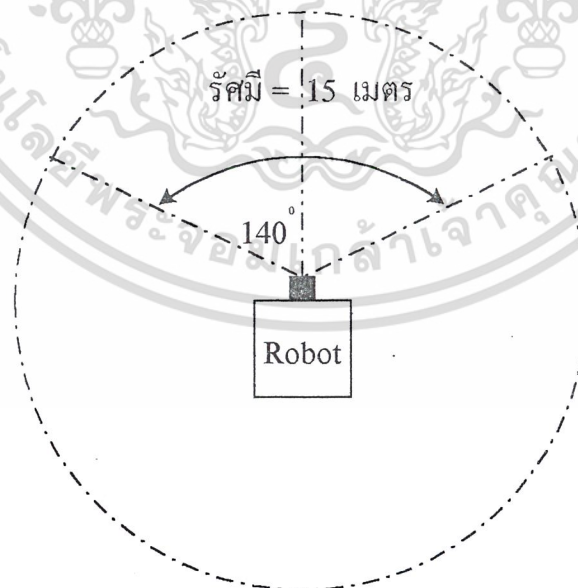
รูปที่ 5.1 แสดงมุมในการสแกนเมื่อมองจากด้านบน

และเนื่องจากได้ใช้มอเตอร์ในการสแกนเพียงตัวเดียวจึงทำให้หุ่นยนต์เปิดสามารถสแกนในแนวนานกับพื้นขึ้นมาให้เท่ากับความสูงของเซนเซอร์ แต่ไม่จำเป็นต้องทำกันพอดีเนื่องจากมุมในการส่งแสงอินฟราเรดของตัวแม่มีความกว้างในแนวตั้งประมาณ 60 องศา ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงมุมการกระจายแสงของตัวแม่

แสงอินฟราเรดที่ส่งออกมาจากตัวแม่นั้นมีความถี่ประมาณ 30 Hz และมอดูเลต (Modulate) ด้วยความถี่ ประมาณ 38 KHz ซึ่งเป็นวิธีการส่งข้อมูลแบบ PCM (Pulse Code Modulator) สาเหตุที่ใช้ความถี่ 38 KHz ก็คือตัวรับแสงอินฟราเรดหรือตาของหุ่นยนต์เปิดสามารถตอบสนองต่อความถี่นี้ได้ดีที่สุดเพราะเป็น Infrared Receiver Modul ส่วนค่าความถี่ 30 Hz นั้นจากการทดลองพบว่าถ้าใช้ ค่าความถี่ประมาณ 30 Hz จะทำให้ได้ระยะทางในการตรวจจับแสงของตัวรับไกลที่สุด ซึ่งจะทำให้หุ่นยนต์เปิดสามารถทำงานได้พื้นที่กว้างขึ้นจากการทดลองพบว่าสามารถตรวจจับแสงได้ไกลที่สุดประมาณ 7 เมตร เมื่ออยู่ในห้องทำงานจะได้ไกลสุดประมาณ 3 เมตร เมื่ออยู่กลางแจ้งซึ่งระยะทางที่รับได้จะขึ้นกับความสว่างของแสงบริเวณรอบๆข้างมากจะทำให้ระยะทางในการตรวจจับแสงจากตัวแม่น้อยลง และในที่มืดสนิทจะได้ระยะทางมากกว่า 15 เมตร



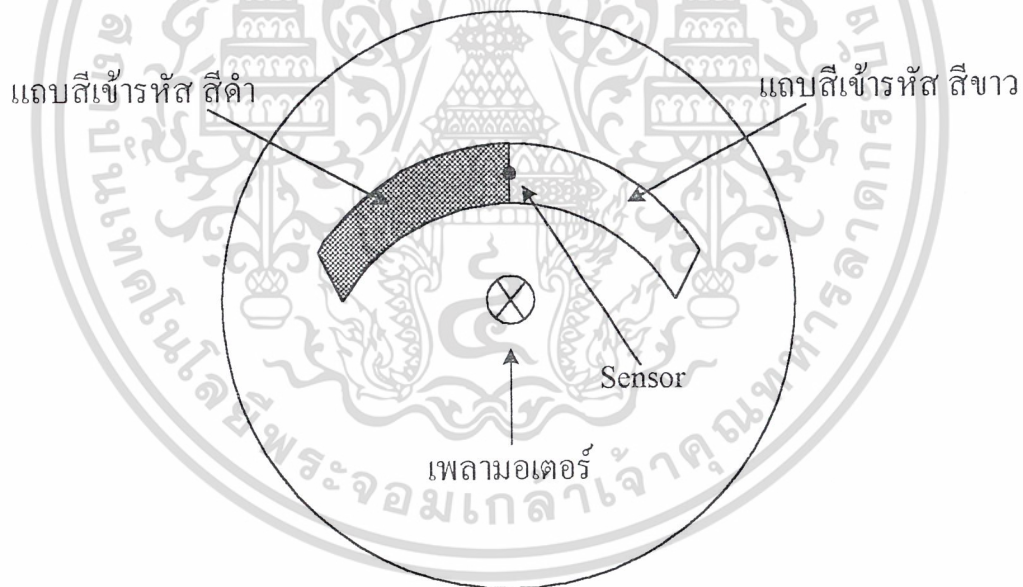
รูปที่ 5.3 แสดงพื้นที่ ๆ หุ่นยนต์สามารถทำงานได้

สำหรับรายละเอียดของตัวรับแสงอินฟราเรดดูได้ในหัวข้อตัวรับแสงอินฟราเรด ซึ่งจะมีรายละเอียดและบล็อกไดอะแกรมการทำงานภายในเมื่อตัวรับแสงอินฟราเรดรับแสงได้แล้วก็จะทำถอดรหัสข้อ

มูล 30 Hz ออกมาแล้วส่งให้วงจร CPU เพื่อตัดสินใจว่าจะทำอะไรต่อจากนี้ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนอื่น ๆ ที่เป็น 38 KHz เข้ามาแต่ไม่มี ความถี่ 30 Hz CPU ก็จะไม่สนใจและจะทำการสแกนต่อไปจนครบ 360° แล้วจึงหยุดการทำงานซึ่งในความเป็นจริงอาจจะให้ทำอย่างอื่นได้ แต่ในโครงการนี้เพียงเพื่อให้เป็นต้นแบบเท่านั้น

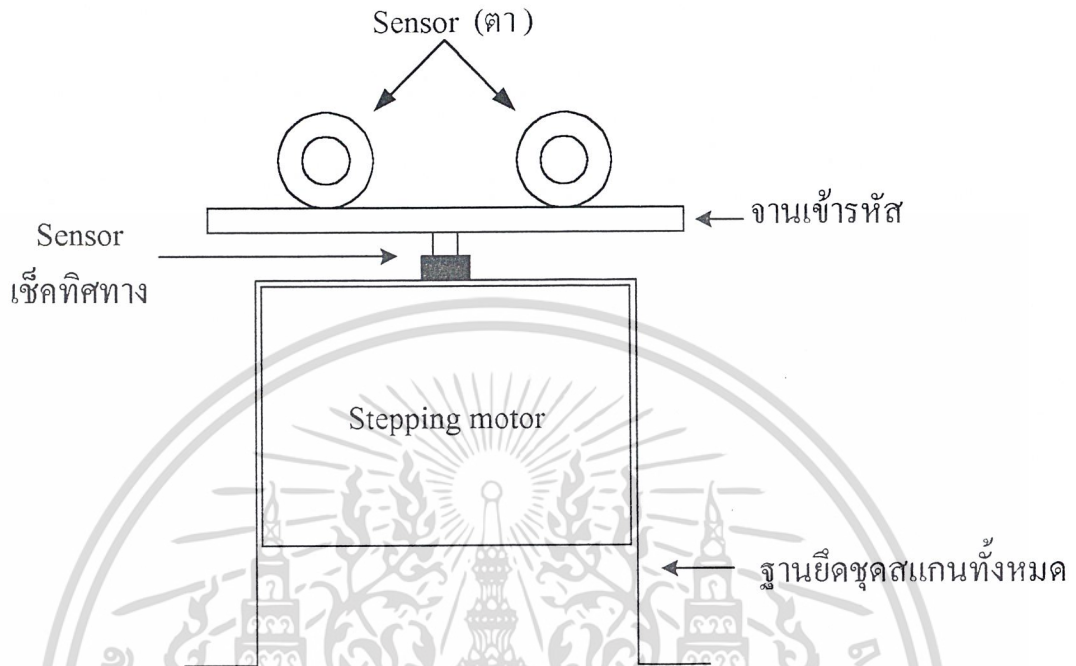
5.2 การหาทิศทางของตำแหน่งตัวแม่

หลังจากที่หุ่นยนต์เปิดสแกนหาตัวแม่เจอแล้วและตรวจสอบแล้วว่าเป็นแสงส่งมาจากตัวแม่จริงๆ(30Hz)ที่ไม่ใช่สัญญาณรบกวนจากนั้นหุ่นยนต์เปิดจะทำการเช็คทิศทางของตำแหน่งตัวแม่โดยการตรวจสอบสัญญาณที่ได้จากตัวเข้ารหัส (Encoder)ซึ่งติดตั้งอยู่บนstepping motorและเป็นฐานรองรับตาของหุ่นยนต์เปิดด้วยโดยตัวเข้ารหัสเพื่อหาทิศทางของตัวแม่จะใช้สัญญาณลอจิกศูนย์หรือหนึ่งเพื่อแทนตำแหน่งทางซ้ายหรือขวาของตัวหุ่นยนต์โดยจะเช็คความแตกต่างของสีพื้นของตัวเข้ารหัส ดังรูปที่ 5.4



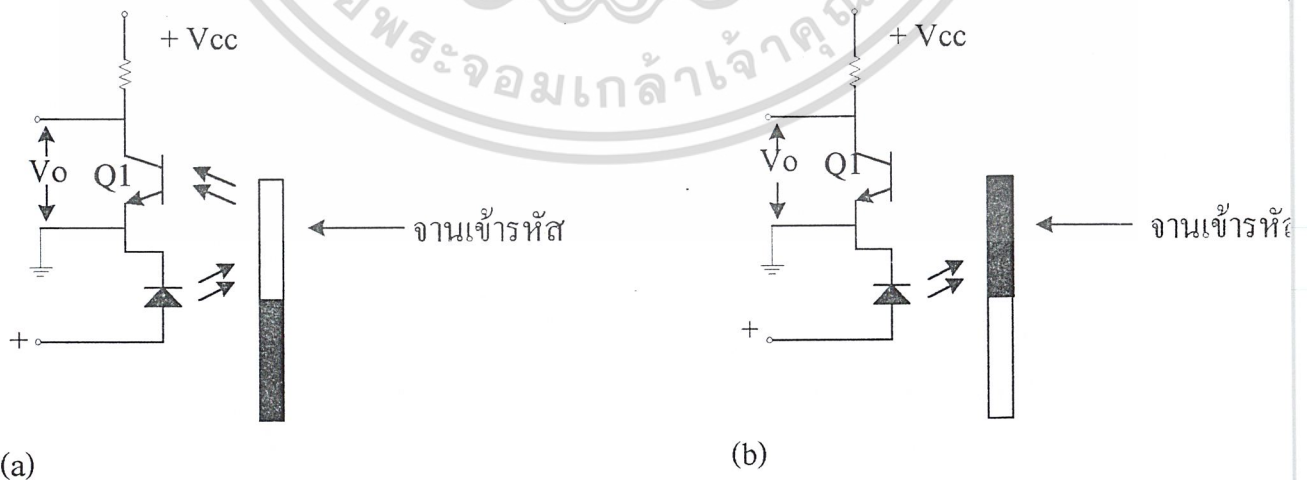
รูปที่ 5.4 งานเข้ารหัสเพื่อหาทิศทางซ้ายหรือขวาเมื่อมองจากด้านล่าง สำหรับ Sensor ที่ใช้เช็คสีว่าขาวหรือดำนั้นจะเป็นชนิดรับและส่งแสงในตัวเองซึ่งเป็นขนาดเล็กวางอยู่กับที่ได้งานเข้ารหัส เมื่อมองจากด้านหน้าของหุ่นยนต์จะเห็น ดังรูปที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงการวางตำแหน่งของ sensor เซ็คทิสทางกับจานเข้ารหัส

หลักการการทำงานของ sensor ตัวหาทิศทางนั้นจะอาศัยหลักการสะท้อนของแสง ซึ่งเมื่อส่งแสงออกไปกระทบกับพื้นสีดำแสงจะถูกดูดกลืนทำให้ไม่มีแสงสะท้อนกลับมาที่ตัวรับแต่ถ้าแสงที่ส่งออกไปตกกระทบกับพื้นสีขาวก็จะทำให้แสงสะท้อนกลับมาที่ตัวรับซึ่งความแตกต่างของสีพื้นนี้เราจะแทนด้วยลอจิกศูนย์หรือหนึ่ง ดังรูปที่ 5.6 ข้างล่าง

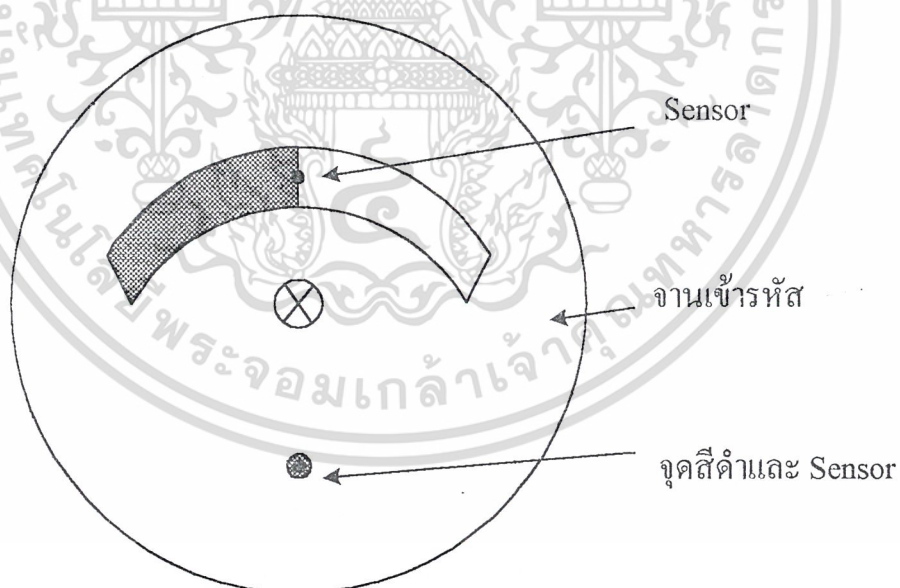


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัย (a) พื้นสีขาว (b) พื้นสีดำ รูปที่ 5.6 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป(a)จะเห็นว่าแสงตกกระทบกับพื้นสีขาวทำให้มีแสงสะท้อนกลับมาที่ Q_1 ซึ่งเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ จะทำให้ Q_1 อยู่ในสภาวะ ON และจะได้ V_o มีประมาณศูนย์โวลต์หรือเป็นลอจิก “0” ในขณะที่รูป b) แสงตกกระทบกับพื้นสีดำจะทำให้ไม่มีแสงสะท้อนกลับมาที่ Q_1 เป็นผลให้ Q_1 อยู่ในสภาวะ OFF และจะได้ V_o ประมาณ V_{cc} หรือเป็นลอจิก “1” ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างตัวเซนเซอร์กับงานเข้ารหัสด้วยซึ่งในโครงงานนี้ใช้ระยะห่างประมาณ 1mm

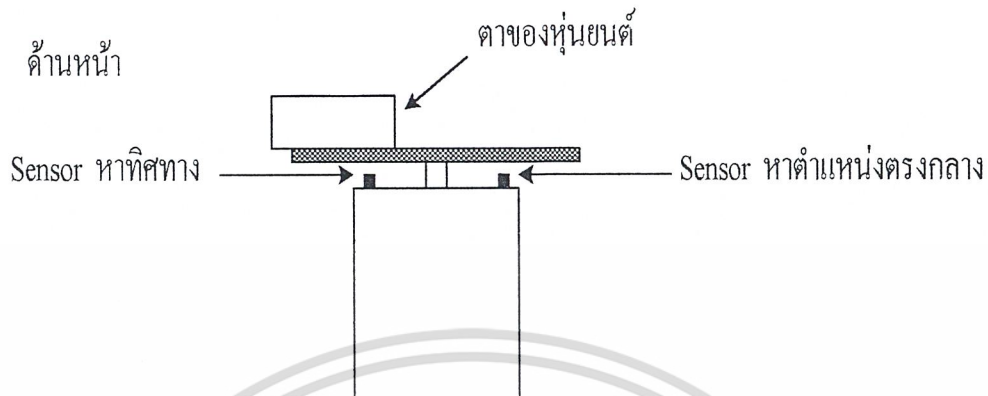
5.3 การเคลื่อนที่เข้าหาตัวแม่

หลังจากที่ตัวหุ่นยนต์เปิดสแกนพบทิศทางการของตำแหน่งตัวแม่ว่าอยู่ทางซ้ายหรือขวาของหุ่นยนต์แล้วก็จะทำการเลี้ยวให้ตัวหุ่นยนต์ให้อยู่ในแนวที่พร้อมจะวิ่งตรงไปเพื่อเข้าหาตัวแม่ โดยขณะที่ตัวหุ่นยนต์เลี้ยวนั้นตาของหุ่นยนต์ก็จะทำการถือคตำแหน่งของตัวแม่ไว้ตลอดเวลาจนกระทั่งแนวการมองของหุ่นยนต์อยู่ในแนวการมองของตาหุ่นยนต์กับตัวหุ่นยนต์ว่าอยู่ในแนวเดียวกันหรือไม่นี้จะใช้หลักการสะท้อนแสงเหมือนกับการหาทิศทางของตัวแม่จากหัวข้อที่ผ่านมาแต่ต่างกันตรงที่เราจะใช้จุดสีดำที่อยู่ใต้งานเข้ารหัสซึ่งอยู่ตรงกลางทางด้านหลังของงานเข้ารหัสเป็นตัวบอกตำแหน่งแก่ sensor ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 แสดงตำแหน่งของจุดสีดำที่ใช้บอกตำแหน่งตรงกลาง

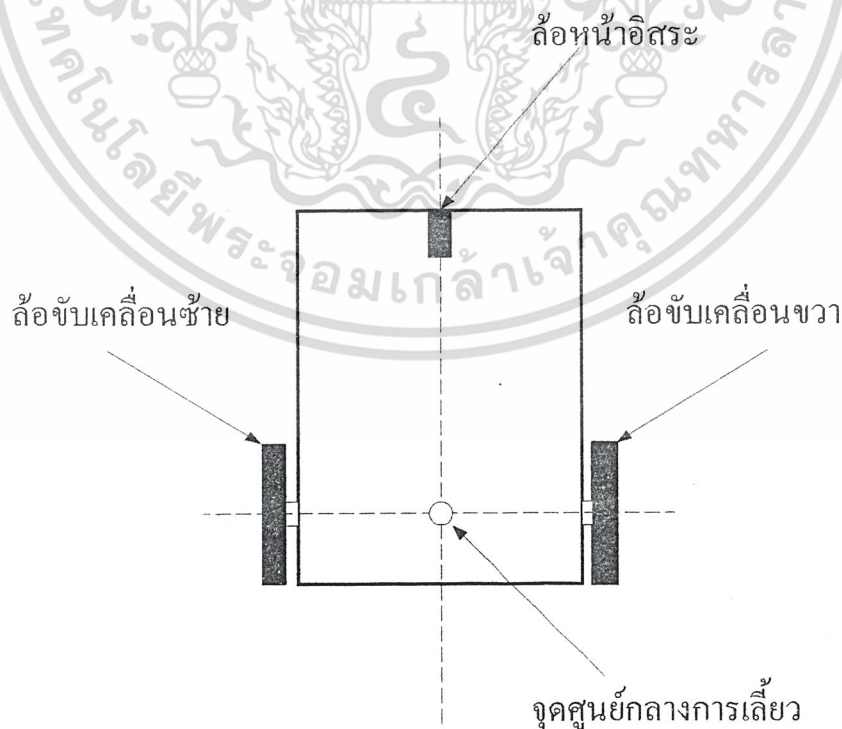
จากรูปที่ 5.7 ที่ผ่านมาจะเห็นว่า Sensor ทั้ง 2 คือทั้งตัวหาทิศทางและตัวหาตำแหน่งตรงกลางจะวางอยู่ในแนวเดียวกับรูตรงกลางของงานเข้ารหัส



รูปที่ 5.8 ตำแหน่งการวาง Sensor ทั้ง 2 เมื่อมองด้านข้าง

5.4 การขับเคลื่อนหุ่นยนต์

การขับเคลื่อนหุ่นยนต์นั้นในโครงงานนี้ให้ DC motor 12V ขับโดยใช้ทรานซิสเตอร์ และกลับทางหมุนโยการใช้ Relay ส่วนในการทำให้ตัวหุ่นยนต์เลี้ยวซ้ายหรือขวาได้นั้นเราใช้หลักการที่ว่าล้อ 2 ล้อหมุนด้วยความเร็วเท่ากันแต่ทิศทางต่างกันซึ่งการเลี้ยวแบบนี้มีข้อดีคือมีรัศมีการเลี้ยว น้อยมากเพราะมีจุดศูนย์กลางการเลี้ยวอยู่ระหว่างล้อที่ใช้ขับเคลื่อนทั้ง 2 ดังรูปที่ 5.9



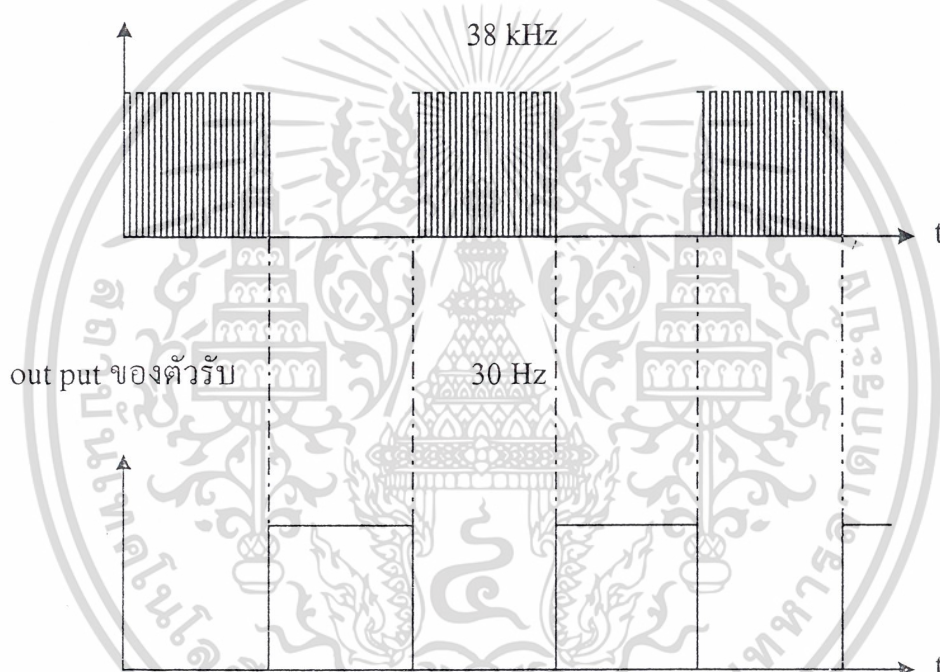
รูปที่ 5.9 แสดงจุดศูนย์กลางของการเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การทำงานของตัวแม่

ตัวแม่มีหน้าส่งแสงอินฟราเรดที่มีความถี่ประมาณ 30 Hz แล้วมอดูเลตด้วยความถี่ 38 KHz ซึ่งเป็นความถี่แสงอินฟราเรดที่ตัวหุ่นยนต์สามารถที่จะรับได้โดยการส่งสัญญาณประเภทรีโมทคอนโทรล สัญญาณที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 5.10 ข้างล่าง

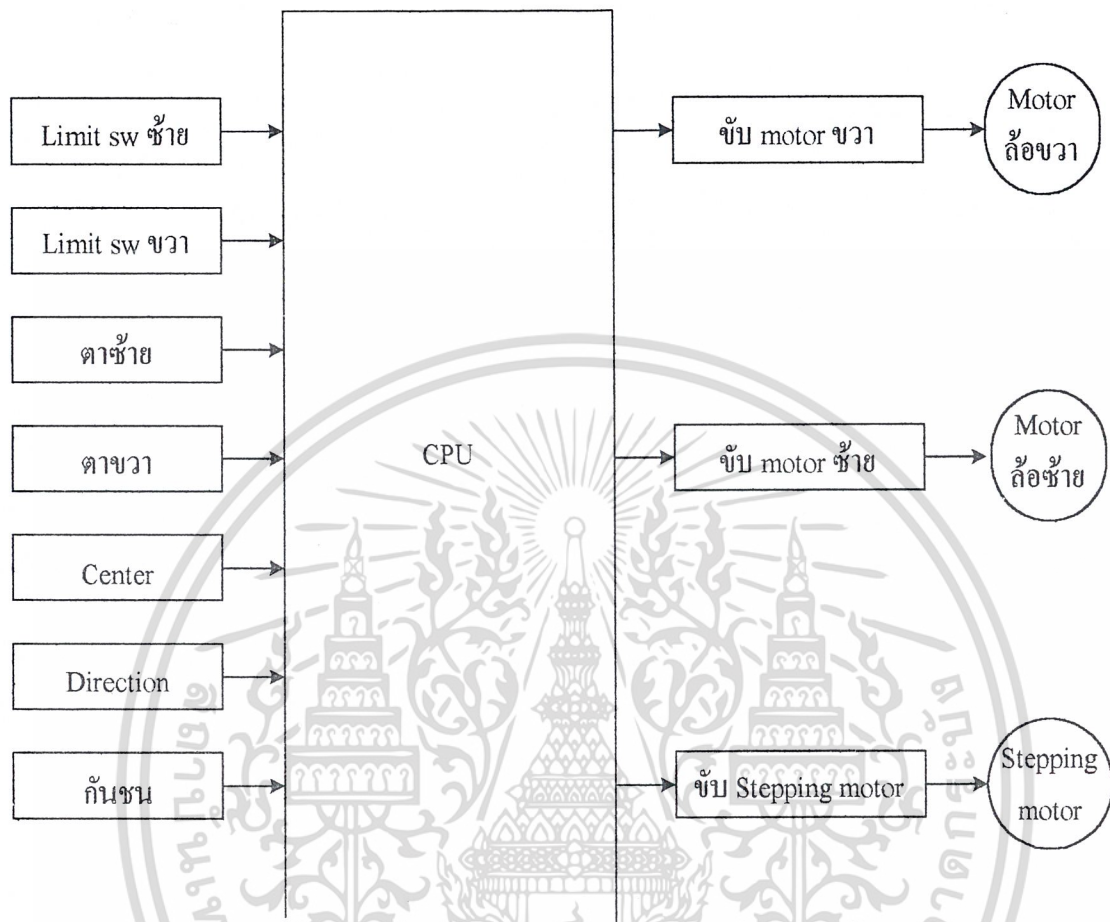
out put ของตัวส่ง



รูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณที่ตัวรับและตัวส่ง

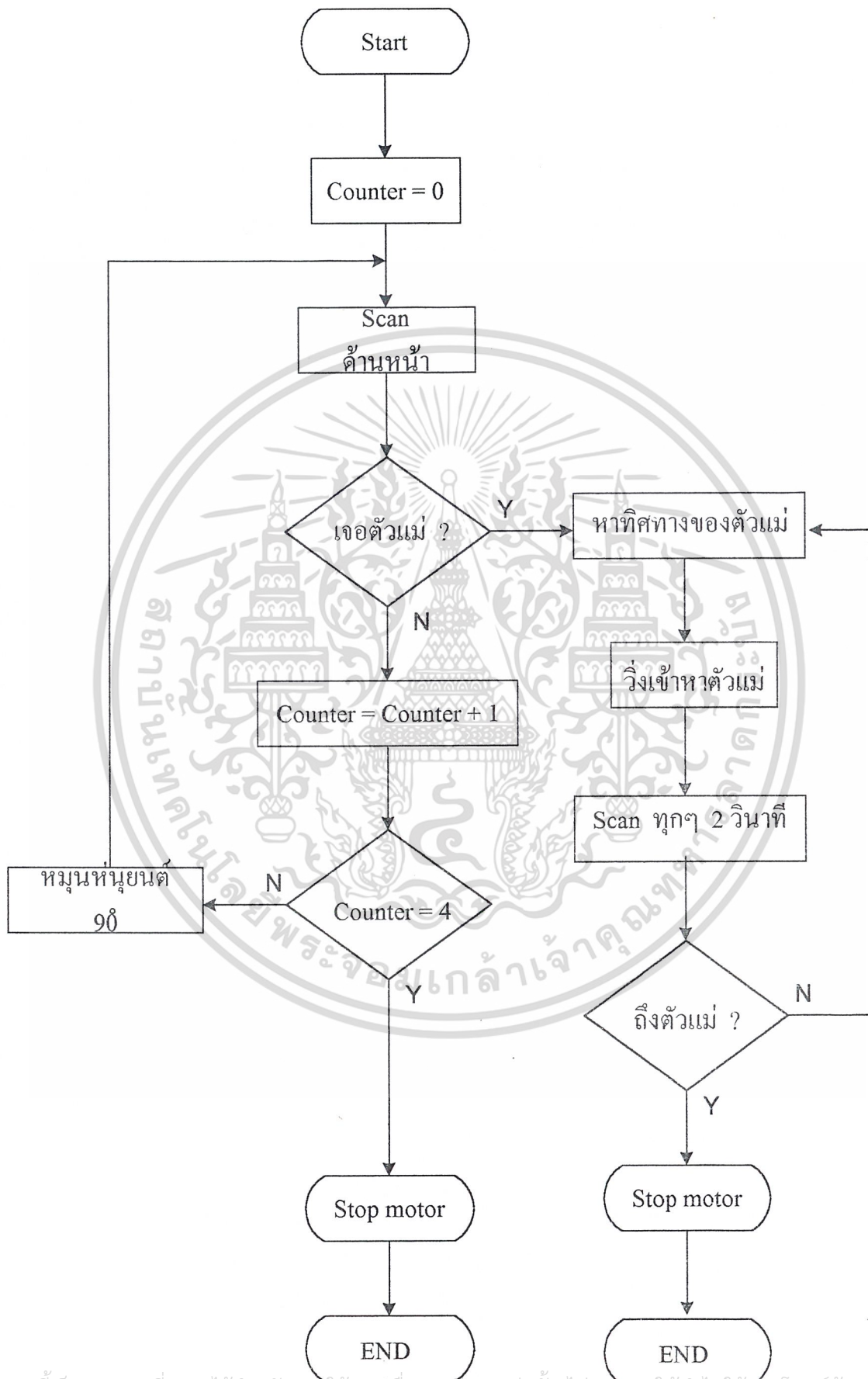
สำหรับในตัวแม่นั้นจะใช้ LED แบบอินฟราเรดเพื่อทำหน้าที่กำเนิดแสงอินฟราเรดตามความถี่ของ Pulse ที่มีความถี่ที่ป้อนให้โดยถ้าต้องการให้ส่งแสงได้ไกลขึ้นก็ควรจะใช้มากกว่าหนึ่งตัว แต่ในที่นี้ให้เพียง 3 ตัวเท่านั้นตัวแม่สามารถเอาไปวางไว้ที่ไหนก็ได้ซึ่งระยะทางจะถูกจำกัดโดยปริมาณแสงที่ตัวรับสามารถรับได้และแสงรบกวนจากที่อื่นจากการทำงานของแต่ละส่วนเราสามารถแสดงได้ดัง Block Diagram ข้างล่าง รวมถึงโฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงาน ดังรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



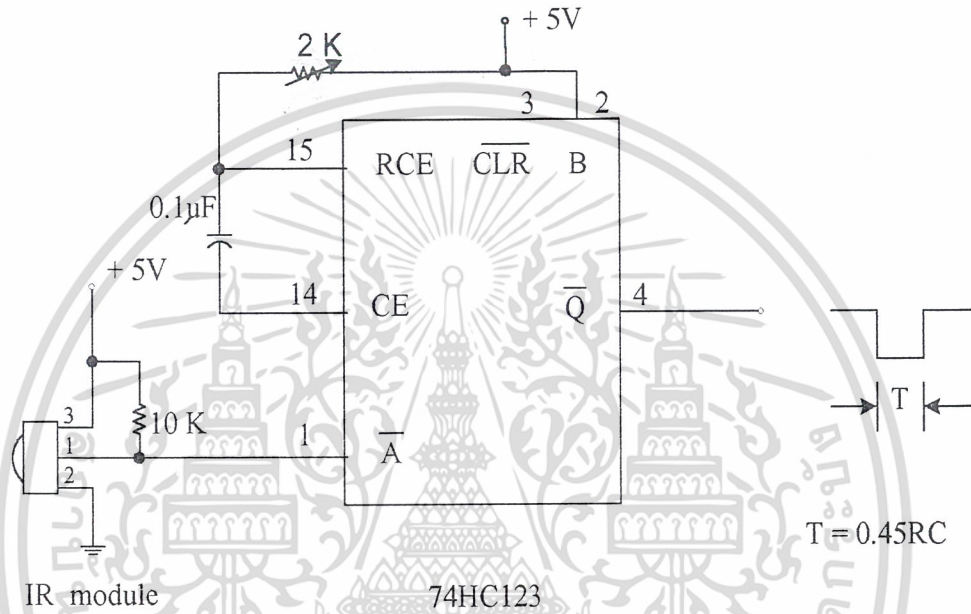
รูปที่ 5.11 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

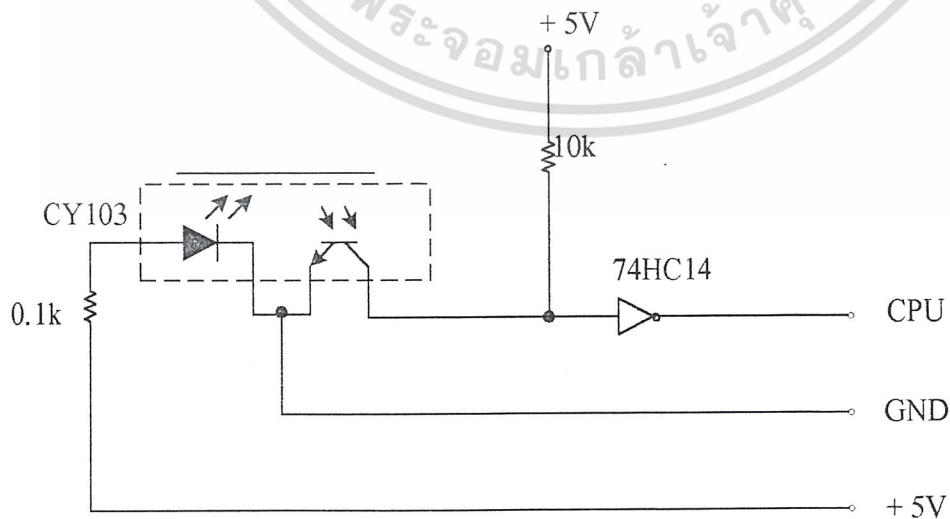


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
วงจรควบคุมในส่วนต่างๆ



รูปที่ 6.1 วงจรตาข่ายและขา



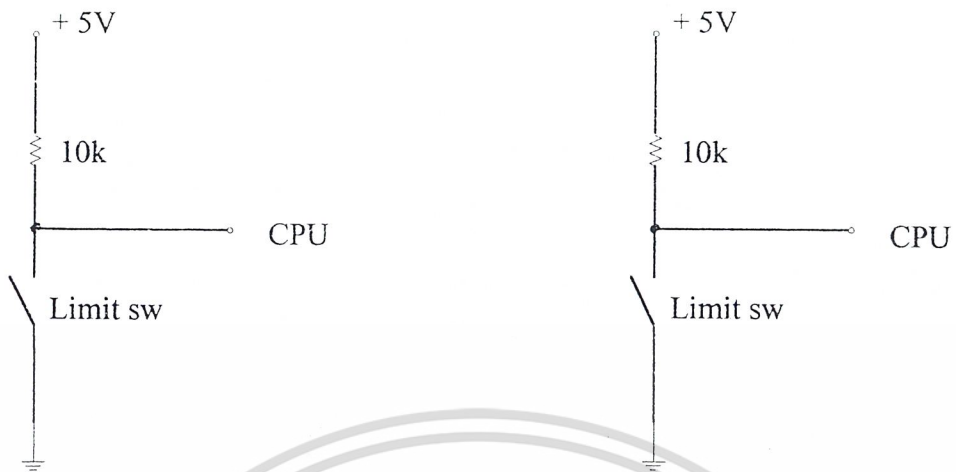
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 6.2 วงจร Sensor ชุดสแกนท่าทีศทางตัวแม่** เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 การทำงานของวงจรรับแสงอินฟราเรดหรือตาของหุ่นยนต์เปิด

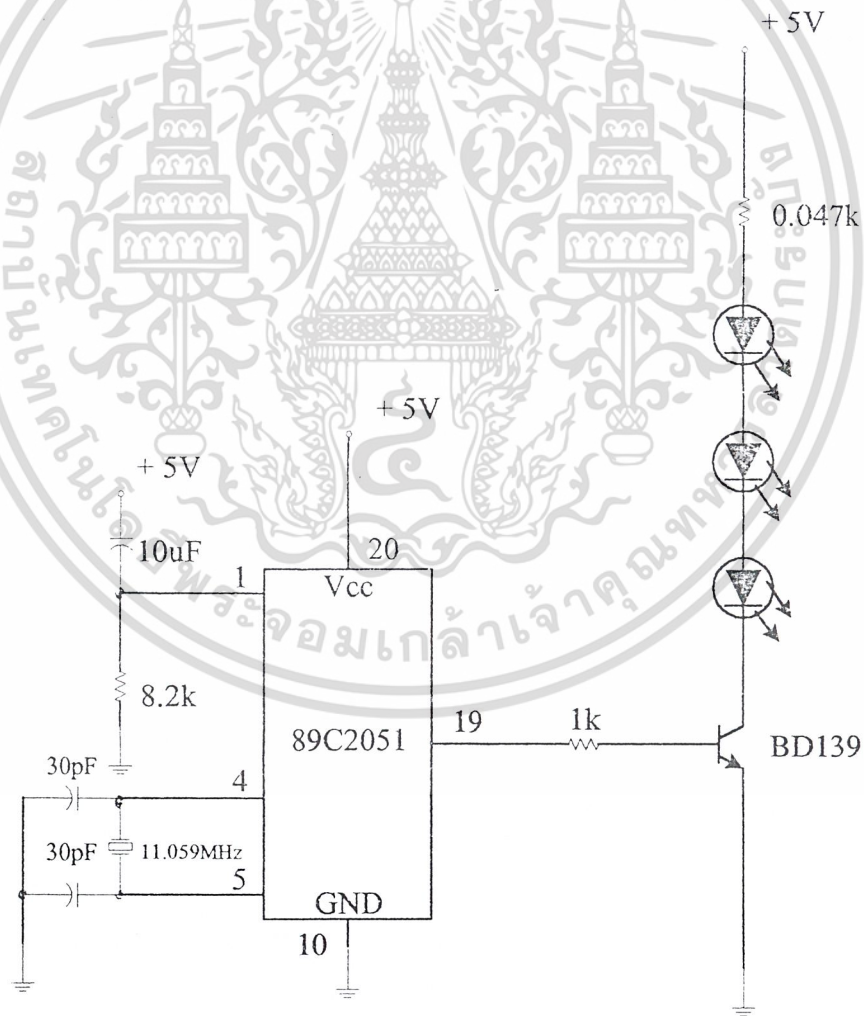
เมื่อ IR Module หรือตาของหุ่นยนต์เปิดได้รับแสงอินฟราเรดที่มีความถี่พาห์ 38 KHz และมอดูเลตด้วยความถี่ 30Hz ดังรูปที่ 6.1 จากนั้นจะมีสัญญาณที่ผ่านการดีมอดูเลตแล้วออกจากขาเอาต์พุทที่ขา 2 ของ IR Module ซึ่งจะมีแต่เฉพาะความถี่ 30 Hz เท่านั้นที่ผ่านไปได้ ดังรูปที่ 5.10 จากนั้นสัญญาณนี้จะไปเข้าวงจรโมโนสเตเบิลแบบทริกซ์ขา 1 โดยใช้ 74HC123 ทำหน้าที่นี้ ซึ่งถ้าสัญญาณที่เข้ามามีความถี่ 30 Hz คงที่จะได้สัญญาณที่ขาเอาต์พุทของวงจรโมโนสเตเบิลเป็นศูนย์ซึ่งซีพียูจะทราบทันทีว่าเป็นสัญญาณจากตัวแม่ สำหรับตัวด้านทาน 2 K แบบปรับค่าได้มีไว้สำหรับปรับสัญญาณเอาต์พุทของวงจรโมโนสเตเบิลให้เป็นศูนย์เมื่อมีสัญญาณมอดูเลตที่เราต้องการเข้าซึ่งในที่นี้ใช้ปรับให้อาต์พุทเป็นศูนย์เมื่อมีสัญญาณ 30 Hz เข้ามานั้นเองข้อเสียของวงจรมีคือถ้ามีความถี่มอดูเลตที่มากกว่า 30 Hz จะให้อาต์พุทเป็นศูนย์ตลอดแต่สามารถพัฒนาให้ดีขึ้นได้โดยใช้วงจรประเภท Band Pass Filter ซึ่งสามารถให้ความถี่เฉพาะที่เราต้องการผ่านไปได้เท่านั้น

6.2 การทำงานของวงจรหาทิศทางของตำแหน่งตัวแม่และตำแหน่งตรงกลางของตา

วงจรชุดนี้อาศัยการสะท้อนกลับและดูดกลืนแสงเมื่อแสงตกกระทบกับพื้นผิววัตถุที่มีสีต่างกันโดยใช้ Opto Transistor ที่มีตัวรับและตัวส่งในตัวเดียวกันดังรูปที่ 6.2 ในที่นี้ใช้เบอร์ CY103 คือเมื่อไฟโตไดโอดส่งแสงออกไปตกกระทบกับพื้นสีดำจะทำให้แสงถูกดูดกลืนทำให้ Photo Transistor ไม่ทำงานเนื่องจากไม่มีกระแสไหล(แสงที่สะท้อนกลับทำให้มีกระแสไหล)ซึ่งจะให้อาต์พุทที่ขา C ของ Photo Transistor เป็นลอจิก "1" และเมื่อผ่าน 74HC14 ซึ่งเป็น Not gate แบบ Schmitt trigger เพื่อทำให้ลอจิกศูนย์หรือลอจิกหนึ่งมีความแน่นอนก่อนไปเข้าซีพียู โดยกรณีพื้นสีขาวนี้จะได้ลอจิก "0" แล้วไปเข้าซีพียูแต่เมื่อแสงไปตกกระทบกับพื้นสีขาวจะทำให้แสงสะท้อนกลับเกือบหมดโดยขึ้นอยู่กับความขาวของพื้นถ้าพื้นสีที่แสงตกกระทบขาวมากจะให้แสงสะท้อนกลับมากและในทางกลับกัน ซึ่งแสงที่สะท้อนกลับนี้จะทำให้ Photo Transistor ทำงานเพราะมีกระแสไหลและได้อาต์พุทที่ขา C ของ Photo Transistor เป็นลอจิก "0" และเมื่อผ่าน Not gate จะได้ลอจิก "1" ไปเข้าซีพียู



รูปที่ 6.3 วงจร Limit Switch ชายและขวาของการสแกน



รูปที่ 6.4 วงจรกำเนิดสัญญาณอินฟราเรดของตัวแม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การทำงานของวงจรถ่ายสัญญาณอินฟราเรดของตัวแม่

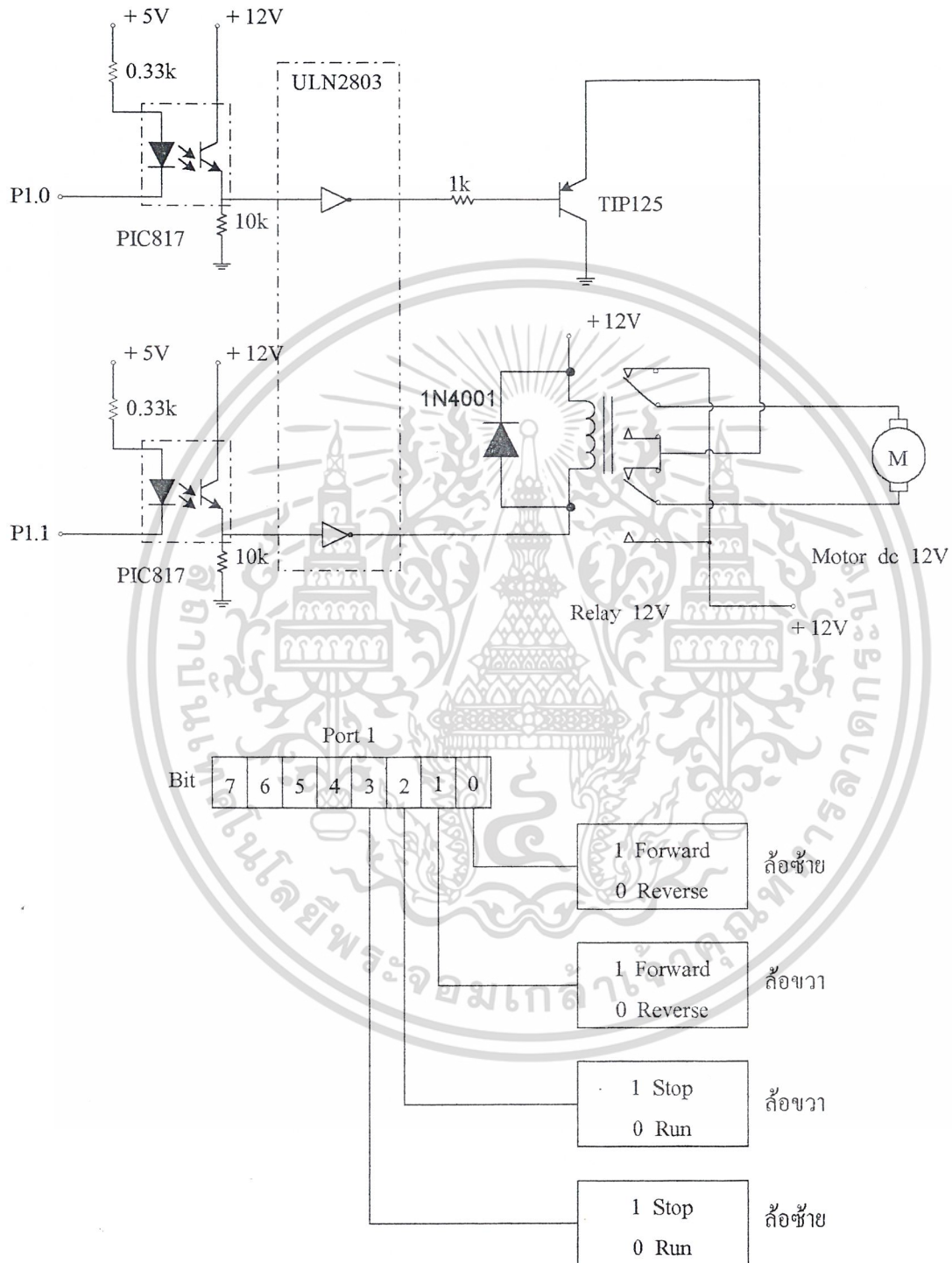
การกำเนิดสัญญาณอินฟราเรดของตัวแม่นั้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT892051 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กโดยการเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณพัลส์ ที่มีความถี่ 38 KHz และมอดูเลตด้วยความถี่ 30 Hz โดยส่งออกที่พอร์ท P1.7 แล้วใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD139 ทำหน้าที่ขับ LED Infrared อีกที่หนึ่งสาเหตุที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณพัลส์ ก็เพราะเราสามารถคำนวณความถี่ของ พัลส์ ได้แม่นยำว่าการใช้วงจรถ่ายสัญญาณอินฟราเรดที่วางจรรยาในรูปที่ 6.4 และโปรแกรมกำเนิดความถี่อยู่ในภาคผนวก ค

6.4 การทำงานของวงจรถ่ายมอเตอร์ล้อย้ายและล้อขวา

ในส่วนของการขับเคลื่อนตัวหุ่นยนต์นั้นจะใช้ DC Motor 12 V ทั้ง 2 ล้อโดยล้อซ้ายและล้อขวาถูกขับโดยทรานซิสเตอร์ TIP125 ทำหน้าที่เป็น Switch หรือเป็นตัวทำให้มอเตอร์เดินและหยุดเดินซึ่งทรานซิสเตอร์เบอร์นี้สามารถขับโหลดได้ถึง 8 A ถ้าติด Heat sink ซึ่งถูกควบคุมโดยพอร์ท P1.3 และ P1.2 สำหรับล้อซ้ายและล้อขวาตามลำดับ ดังรูปที่ 6.5 และรูปที่ 6.6 และไอโซเลตโดยใช้ Opto Transistor เบอร์ PIC817 เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่จะมารบกวนไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนการกลับทางหมุนนั้นใช้รีเลย์แบบ 2 คอนแทกเพื่อทำหน้าที่กลับขั้วไฟที่จ่ายให้กับ DC Motor 12 V ซึ่งควบคุมโดย P1.1 และ P1.0 สำหรับล้อขวาและล้อซ้ายตามลำดับ

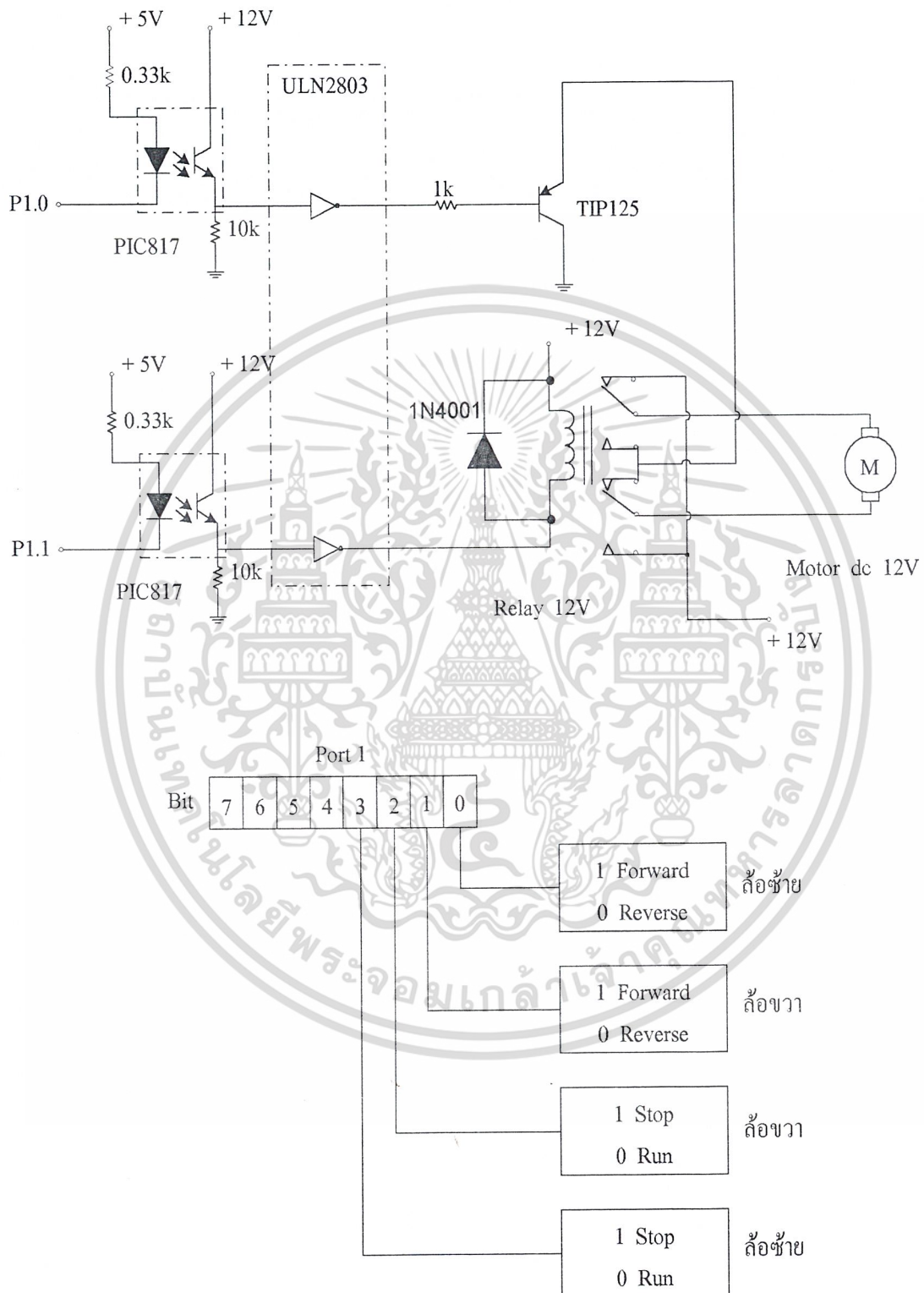
6.5 การทำงานของวงจรถ่ายสเต็ปมอเตอร์

การสแกนหาตำแหน่งของตัวแม่จะใช้สเต็ปมอเตอร์แบบ Unipolar แบบ 4 เฟส โดยใช้วิธีการขับแบบทีละเฟสซึ่งมีวงจรดังรูปที่ 6.7 โดยมีการไอโซเลตโดยใช้ PIC817 เช่นกัน และวงจรถ่ายนี้สามารถขับสเต็ปมอเตอร์ที่กินกระแสมากถึง 8 A ซึ่งการขับสเต็ปมอเตอร์นี้ถูกควบคุมโดยพอร์ท P2.0 ถึงพอร์ท P2.3 โดยเรียงลำดับจากเฟส A, B, C, และ D ตามลำดับและมีลำดับการขับแต่ละเฟสดังรูปที่ 6.8

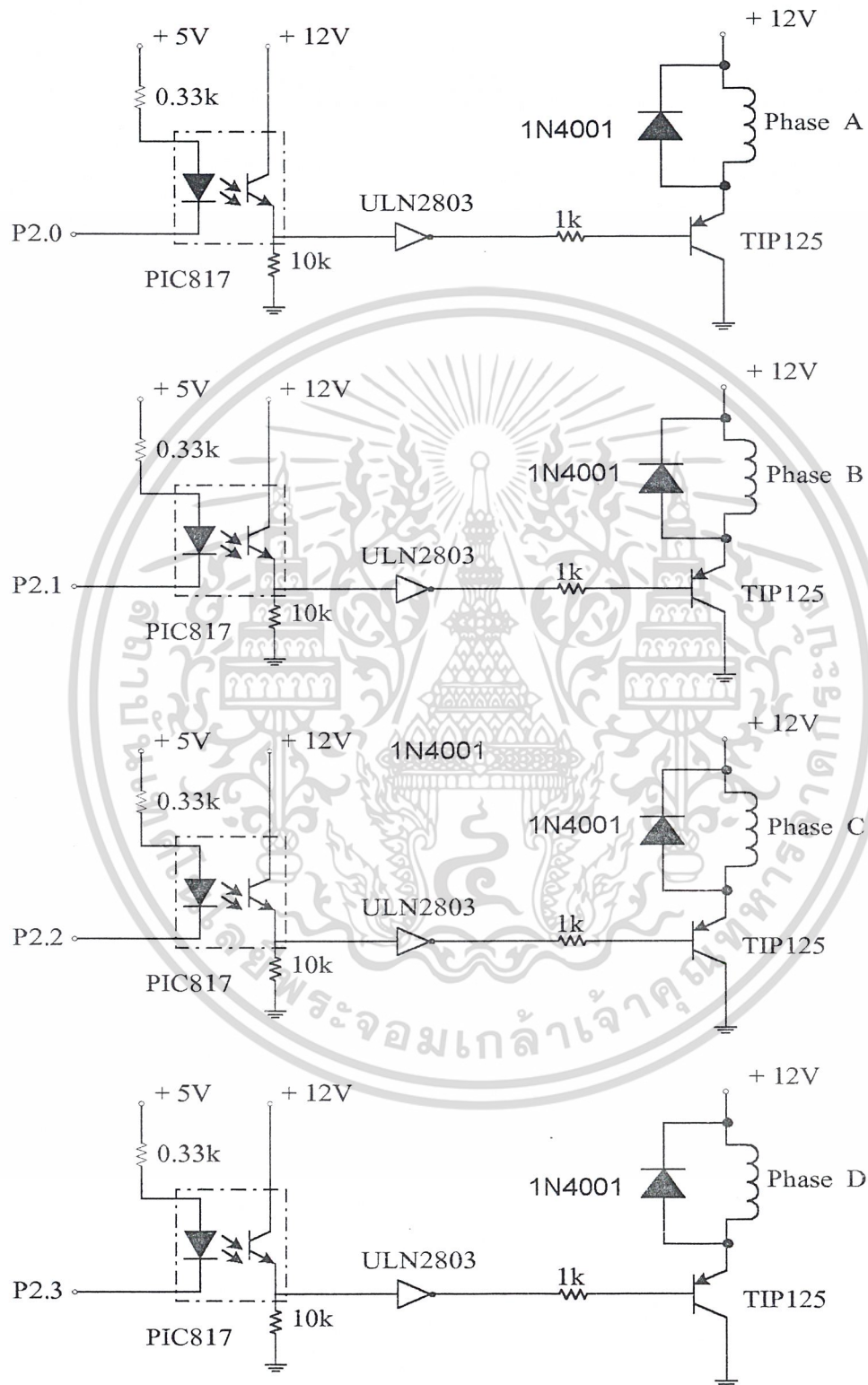


รูปที่ 6.5 วงจรขับมอเตอร์ล้อย้าย

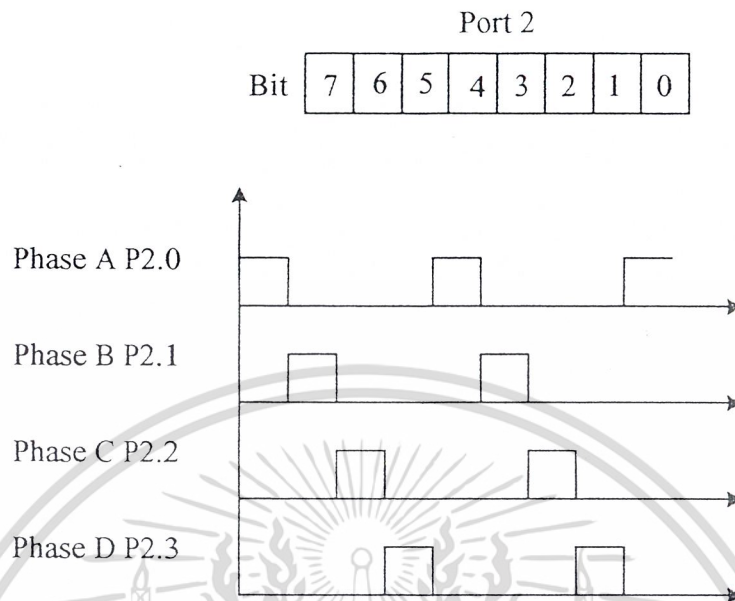
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ **รูปที่ 6.6 วงจรขับมอเตอร์ล้อขวา** และเผยแพร่ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 6.7 วงจรขับสเต็ปिंगมอเตอร์ เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

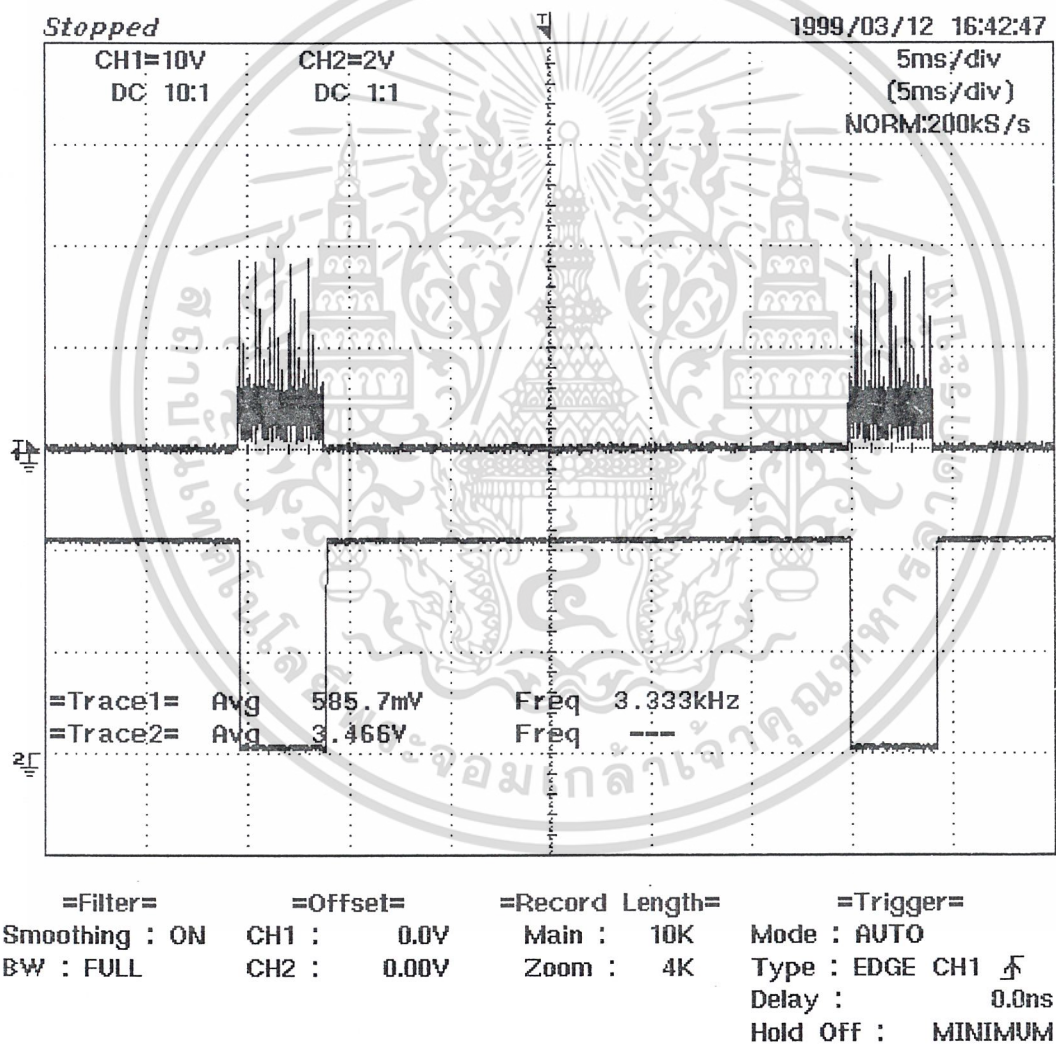


รูปที่ 6.8 แสดงลำดับการขับเตเฟสของสเตปป์มอเตอร์

6.6 รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลอง

6.6.1 เป็นการวัดรูปคลื่นของสัญญาณเอาต์พุตที่ตัวแม่และสัญญาณเอาต์พุตที่ IR Photo Module หรือตาของหุ่นยนต์เปิด โดยแสดงในรูปที่ 6.9 และมีรายละเอียดการวัดดังนี้

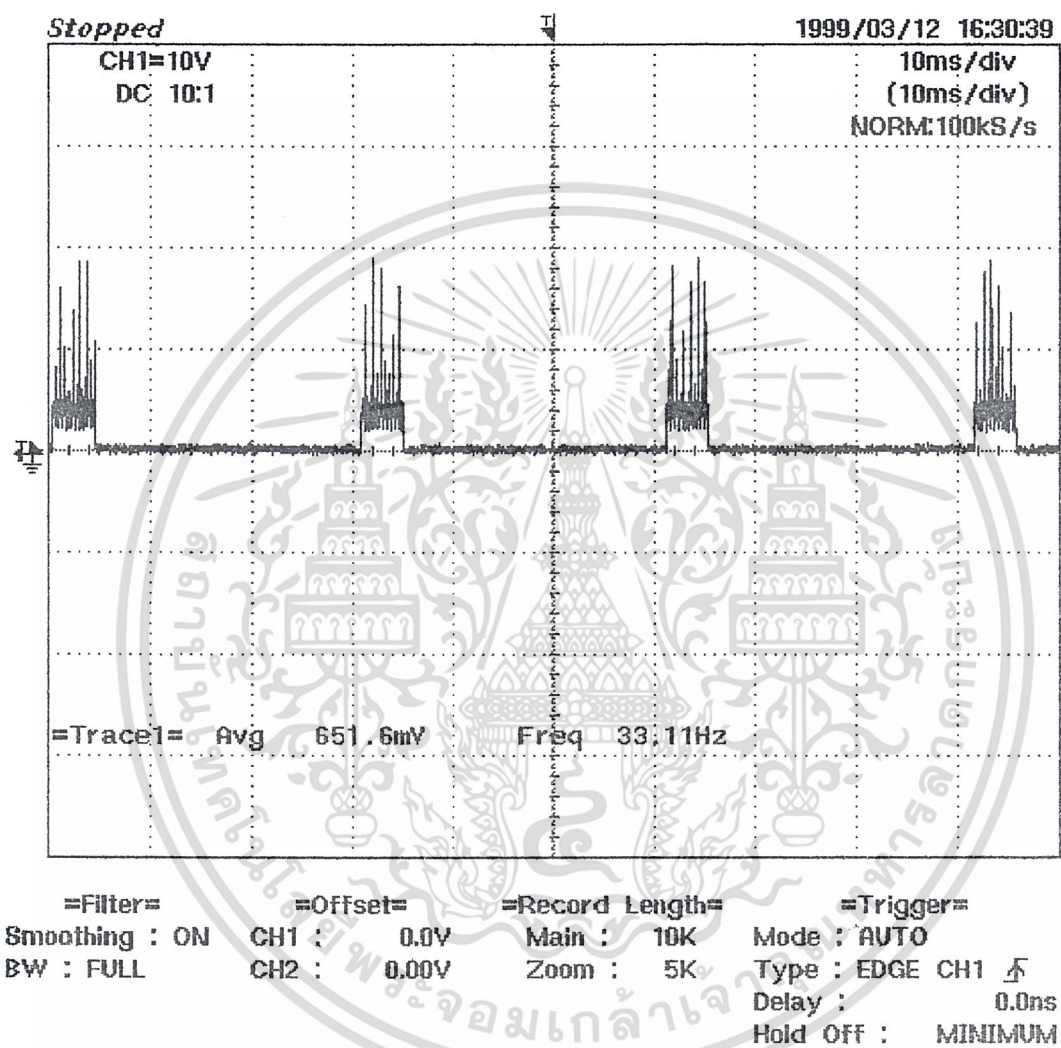
แชนเนล 1 โพรบคูณ 10 5 mS/DIV 10 V/DIV เป็นสัญญาณเอาต์พุตของตัวแม่
 แชนเนล 2 โพรบคูณ 1 5 mS/DIV 2 V/DIV เป็นสัญญาณเอาต์พุต IR Photo Module



รูปที่ 6.9 รูปสัญญาณของตัวรับและตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

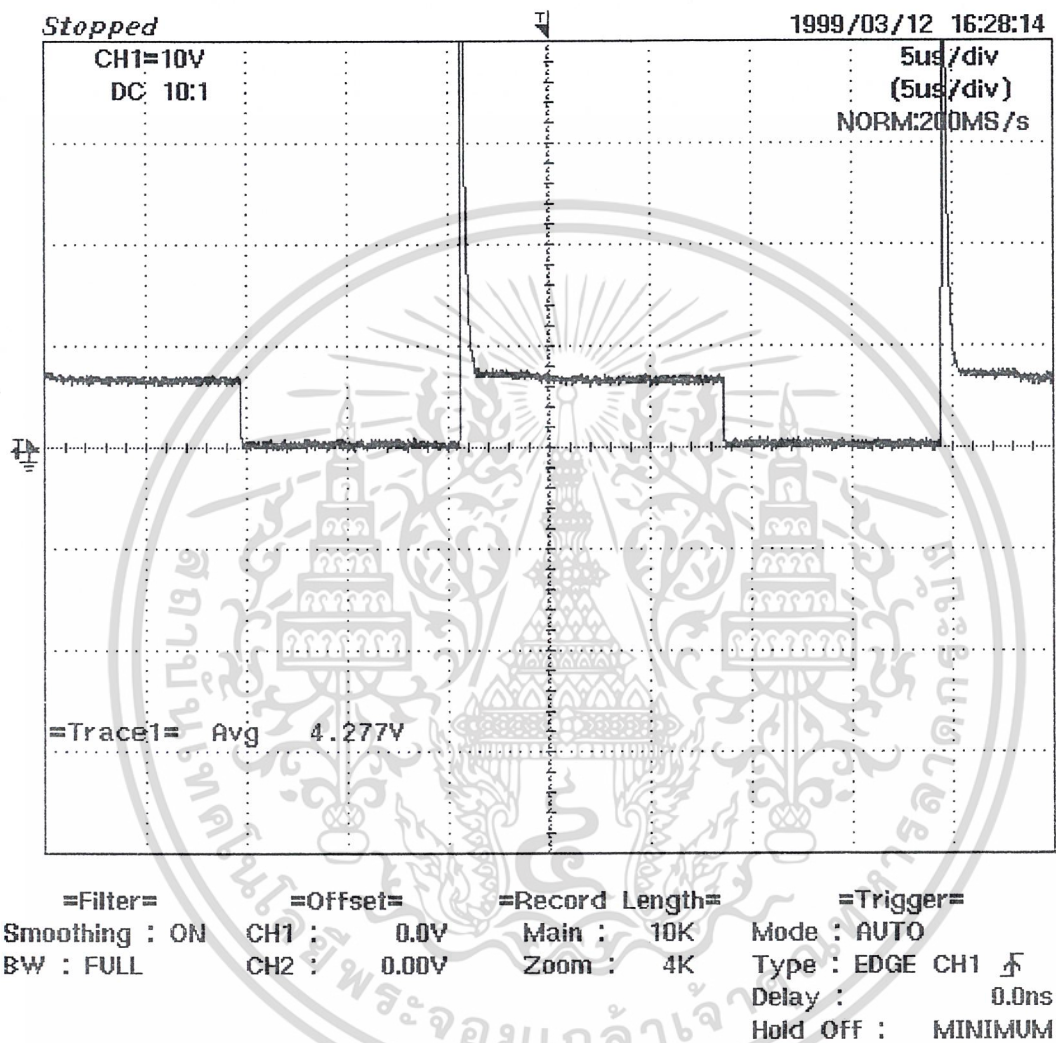
แชนเนล 1 โพรบคูณ 10 10 V/DIV 10mS/DIV



รูปที่ 6.10 รูปคลื่นสัญญาณมอดูเลตของตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แชนเนล 1 โพรบคูณ 10 10V/DIV 5uS/DIV



รูปที่ 6.11 รูปคลื่นสัญญาณพาหะของตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7 การใช้งานหุ่นยนต์เปิด

การใช้งานหุ่นยนต์เปิดมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1.เปิด Switch ทั้ง 2 ตัวที่ตัวหุ่นยนต์เปิดซึ่งอยู่ด้านล่างโดยผลัก Switch ไปด้านหน้า
- 2.วางตัวแม่ในตำแหน่งที่ต้องการให้หุ่นยนต์วิ่งเข้าหาโดยวางในระดับเดียวกับตาของหุ่นยนต์เปิด
- 3.เปิด Switch ที่ตัวแม่
- 4.กด Switch ที่กั้นชนหน้าตัวหุ่นยนต์ 1 ครั้ง จากนั้นหุ่นยนต์จะเริ่มการทำงานตาม Flow chart การทำงานทันที
- 5.ขณะที่หุ่นยนต์เปิดเคลื่อนที่แล้วชนกับวัตถุที่วางข้างหน้าจะทำให้การทำงานหยุดลงทันทีและถ้าต้องการให้เริ่มทำงานใหม่ให้กลับไปข้อ 1

6.8 ข้อจำกัดของโครงการนี้

- 1.ตัวหุ่นยนต์สามารถตรวจจับแสงจากตัวแม่ได้ภายในระยะทางประมาณ 7 เมตรเมื่ออยู่ในห้องทำงานต่างๆ ไปแต่สามารถตรวจจับแสงได้ไกลมากขึ้นถึง 15 เมตรเมื่อหุ่นยนต์ทำงานในที่มืด
- 2.หุ่นยนต์สามารถวิ่งได้เฉพาะพื้นที่เรียบเท่านั้น
- 3.ถ้าใช้ถ่านธรรมดาขนาด AA ทั่วไปเป็นแหล่งพลังงานให้กับหุ่นยนต์จะสามารถทำงานได้เป็นเวลาประมาณ 10 นาที

6.9 สรุปผลการทดลอง

1.ตัวหุ่นยนต์

- 1.1.กระแสขณะยังไม่เคลื่อนที่ 12.5 mA
- 1.2.กระแสขณะเคลื่อนที่ 570 mA
- 1.3.ความเร็วขณะเคลื่อนที่ 2.45 เมตรต่อวินาที
- 1.4.ความเร็วในการ scan แต่ละครั้งใช้เวลา 3 วินาที
- 1.5.ระยะตรวจจับแสงในห้องทำงานต่างๆไปประมาณ 7 เมตร
- 1.6.ระยะตรวจจับแสงในที่มืดประมาณ 15 เมตร
- 1.7.ระยะตรวจจับแสงกลางแจ้งประมาณ 5 เมตร
- 1.8.แบตเตอรี่ถ่านขนาด AA แบบธรรมดาจำนวน 10 ก้อนสามารถทำงานได้ประมาณ 10 นาที

- 1.9.แบตเตอรี่ถ่านขนาด AA แบบชาร์จได้ 800mAh สามารถทำงานได้ประมาณ 30 นาที

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ตัวส่ง

2.1.กระแสขณะทำงาน 20mA

2.2.ใช้ถ่าน 9V 1ก้อน

ปัญหาการทำโครงการ

- 1.เครื่องมือที่ใช้เช่น Oscilloscope ไม่สามารถยึดติดต่อกันได้โดยเฉพาะชนิดที่สามารถบันทึกสัญญาณได้
- 2.ปัญหาแสงรบกวนจากภายนอกซึ่งจะทำให้ระยะการทำงานของ Sensor ลดลง
- 3.ไม่สามารถหา Battery ที่มีความจุสูงแต่น้ำหนักเบาได้
- 4.Sensor ที่ใช้ยังมีราคาสูงซึ่งไม่ค่อยมีประสิทธิภาพในการตรวจจับแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4 Kbytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
Data Retention: 10 Years
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory Lock
- 128 x 8-Bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- Five Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low Power Idle and Power Down Modes

Description

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

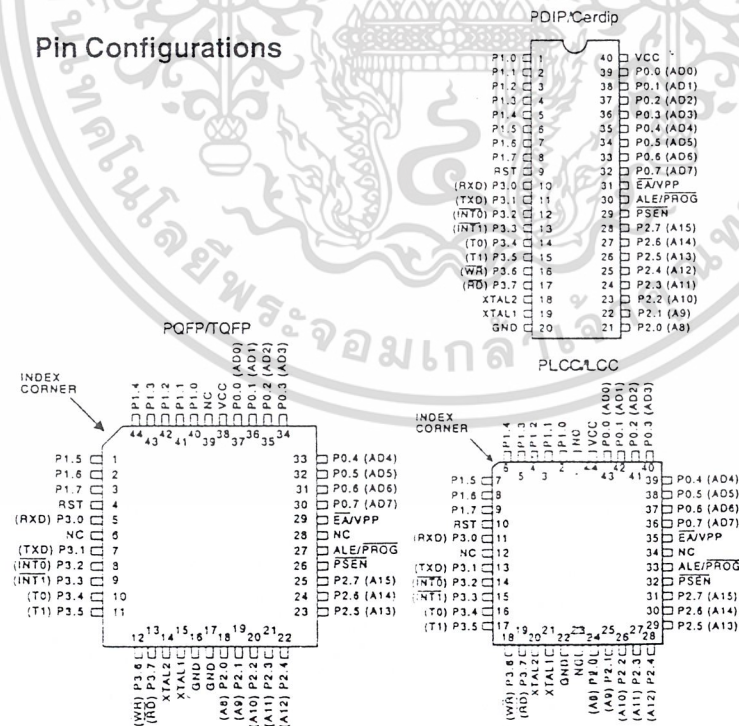
The AT89C51 provides the following standard features: 4 Kbytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five source two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is



8-Bit
Microcontroller
with 4 Kbytes
Flash

AT89C51

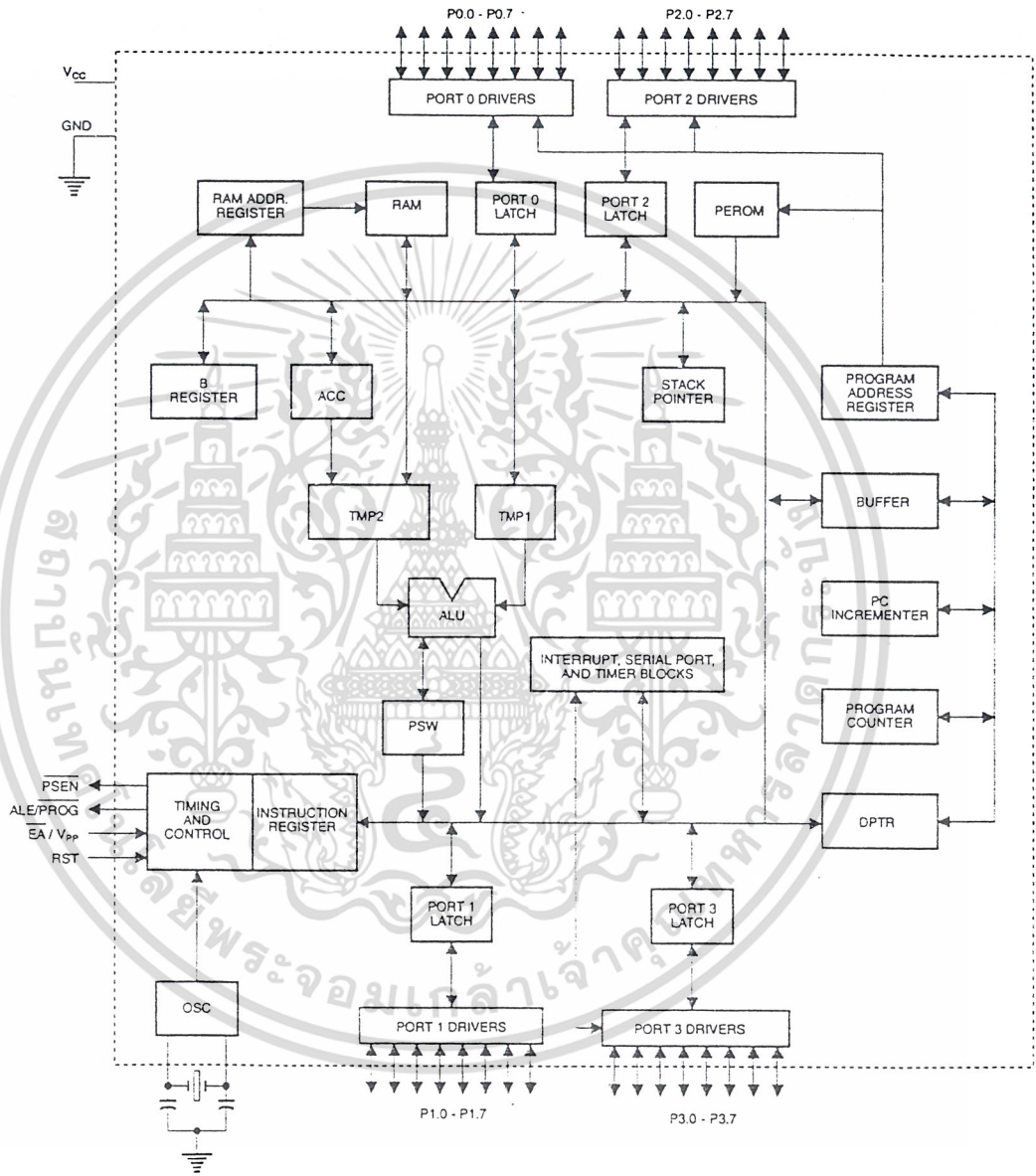
Pin Configurations



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Description (Continued)

designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

Vcc

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

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

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

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

Port 1

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

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

Port 2

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

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

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

Port 3

Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s

are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

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

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

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

RST

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

ALE/PROG

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

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

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

PSEN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

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

EA/Vpp

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

EA should be strapped to Vcc for internal program executions. This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (Vpp) during Flash programming, for parts that require 12-volt Vpp.

continued





Pin Description (Continued)

XTAL1

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

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

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 VCC is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Oscillator Characteristics

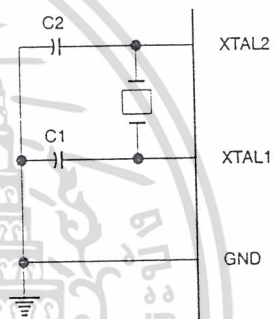
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected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

Idle Mode

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

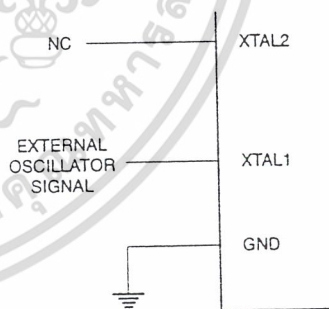
It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port 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.

Figure 1. Oscillator Connections



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

Figure 2. External Clock Drive Configuration



Status of External Pins During Idle and Power Down

Mode	Program Memory	ALE	PSEN	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power Down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power Down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

Program Memory Lock Bits

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

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the \overline{EA} pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up

without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of \overline{EA} be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Lock Bit Protection Modes

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

Programming the Flash

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

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

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

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

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

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.

4. Raise \overline{EA}/V_{pp} to 12 V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse ALE/PROG once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 μ s. Repeat steps 1 through 5, changing the address and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89C51 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 datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are 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. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

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

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

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





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

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

Programming Interface

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

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

Flash Programming Modes

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

Notes: 1. The signature byte at location 032H designates whether V_{PP} = 12 V or V_{PP} = 5 V should be used to enable programming.

2. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

Figure 3. Programming the Flash

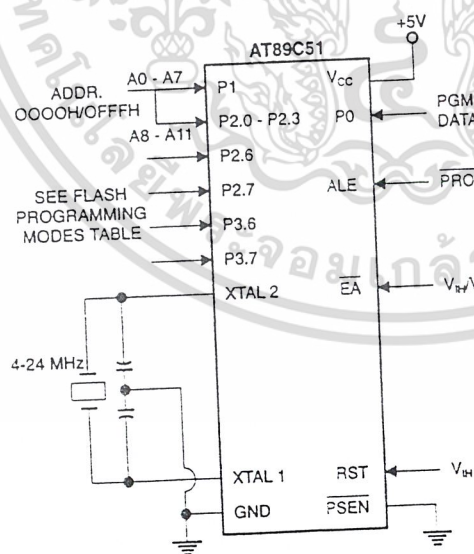
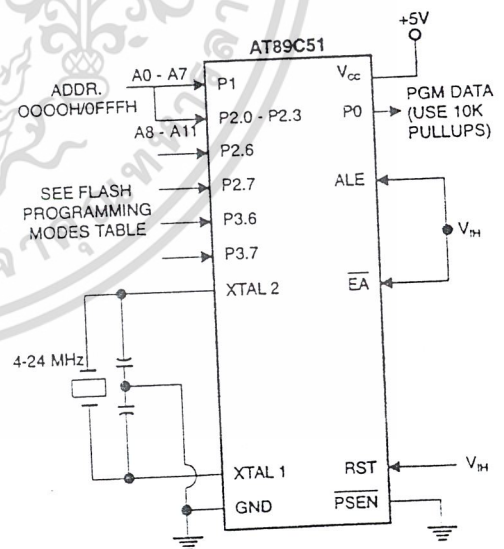


Figure 4. Verifying the Flash



Flash Programming and Verification Characteristics

TA = 21°C to 27°C, VCC = 5.0 ± 10%

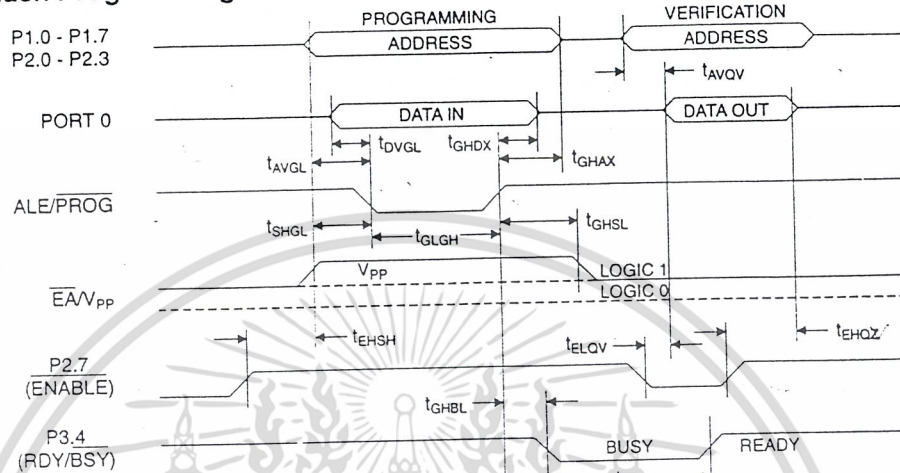
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
VPP ⁽¹⁾	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
IPP ⁽¹⁾	Programming Enable Current		1.0	mA
f/tCLCL	Oscillator Frequency	4	24	MHz
tAVGL	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48tCLCL		
tGHAX	Address Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48tCLCL		
tDVGL	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48tCLCL		
tGHDX	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48tCLCL		
tEHS	P2.7 ($\overline{\text{ENABLE}}$) High to Vpp	48tCLCL		
tSHGL	Vpp Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
tGHSL ⁽¹⁾	Vpp Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
tGLGH	PROG Width	1	110	μs
tAVQV	Address to Data Valid		48tCLCL	
tELQV	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		48tCLCL	
tEHQV	Data Float After $\overline{\text{ENABLE}}$	0	48tCLCL	
tGHBL	PROG High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		1.0	μs
tWC	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

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

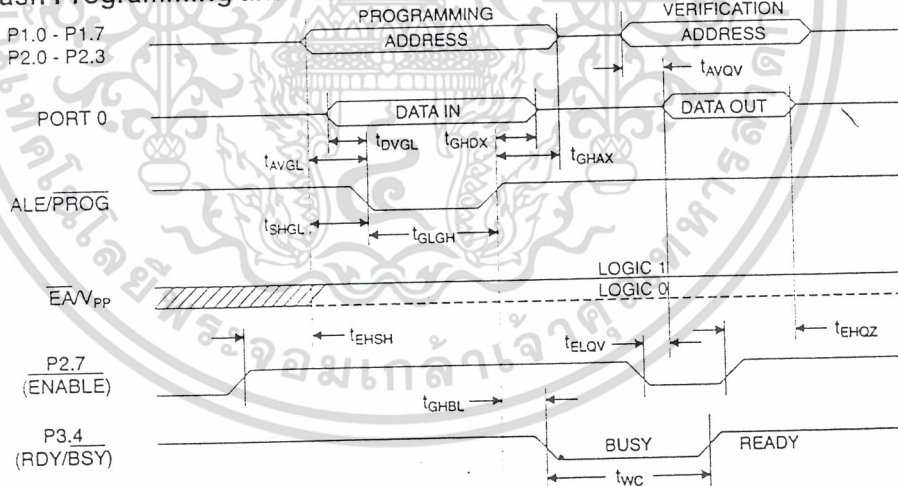




Flash Programming and Verification Waveforms - High Voltage Mode



Flash Programming and Verification Waveforms - Low Voltage Mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	-1.0 V to +7.0 V
Maximum Operating Voltage	6.6 V
DC Output Current.....	15.0 mA

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

D.C. Characteristics

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

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

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
 Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
 Maximum I_{OL} per 8-bit port:
 Port 0: 26 mA
 Ports 1,2,3: 15 mA
 Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA

If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
 2. Minimum V_{CC} for Power Down is 2 V.





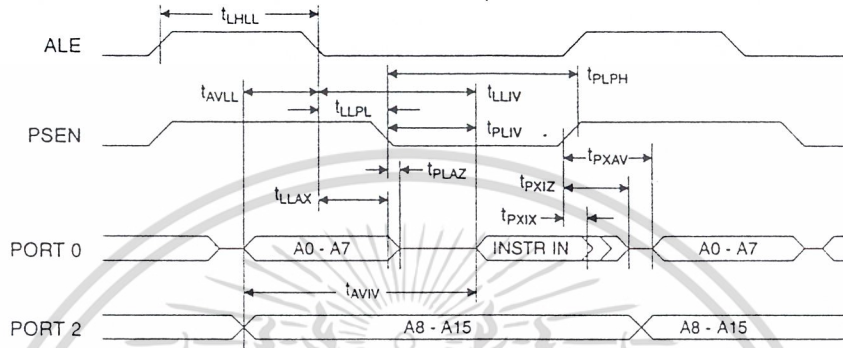
A.C. Characteristics

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

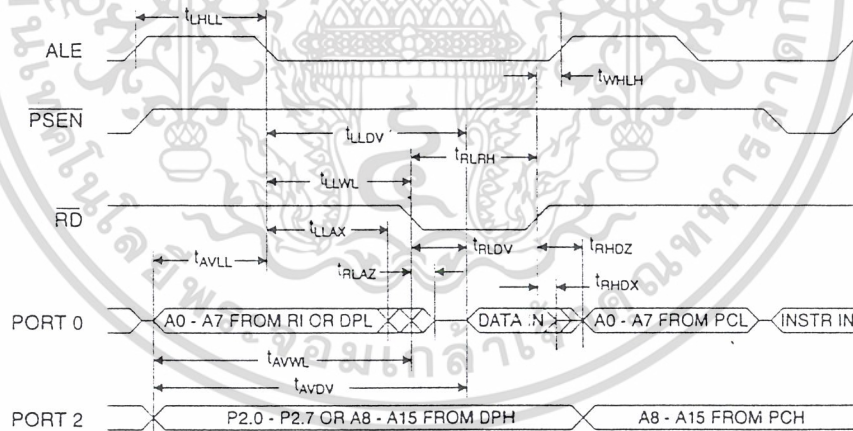
External Program and Data Memory Characteristics

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t/TCLCL	Oscillator Frequency			0	24	MHz
tLHLL	ALE Pulse Width	127		2tCLCL-40		ns
tAVLL	Address Valid to ALE Low	28		tCLCL-13		ns
tLLAX	Address Hold After ALE Low	48		tCLCL-20		ns
tLLIV	ALE Low to Valid Instruction In		233		4tCLCL-65	ns
tLLPL	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		tCLCL-13		ns
tPLPH	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		3tCLCL-20		ns
tPLIV	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		3tCLCL-45	ns
tpXIX	Input Instruction Hold After $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
tpXIZ	Input Instruction Float After $\overline{\text{PSEN}}$		59		tCLCL-10	ns
tpXAV	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		tCLCL-8		ns
tAVIV	Address to Valid Instruction In		312		5tCLCL-55	ns
tPLAZ	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
tRLRH	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		6tCLCL-100		ns
tWLWH	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		6tCLCL-100		ns
tRLDV	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		5tCLCL-90	ns
tRHDX	Data Hold After $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
tRHDZ	Data Float After $\overline{\text{RD}}$		97		2tCLCL-28	ns
tLLDV	ALE Low to Valid Data In		517		8tCLCL-150	ns
tAVDV	Address to Valid Data In		585		9tCLCL-165	ns
tLLWL	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	3tCLCL-50	3tCLCL+50	ns
tAVWL	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		4tCLCL-75		ns
tQVWX	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		tCLCL-20		ns
tQVWH	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		7tCLCL-120		ns
tWHQX	Data Hold After $\overline{\text{WR}}$	33		tCLCL-20		ns
tRLAZ	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
tWHLH	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	tCLCL-20	tCLCL+25	ns

External Program Memory Read Cycle

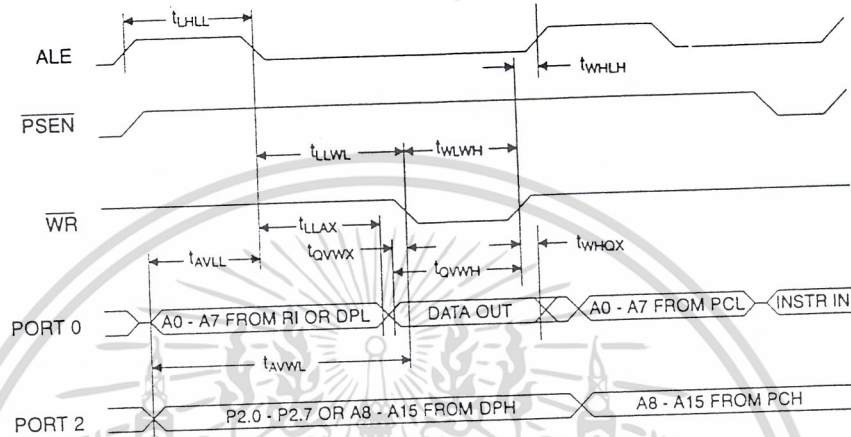


External Data Memory Read Cycle

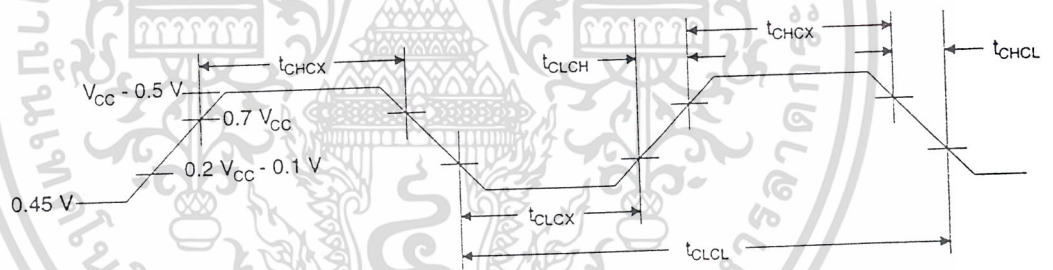




External Data Memory Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

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

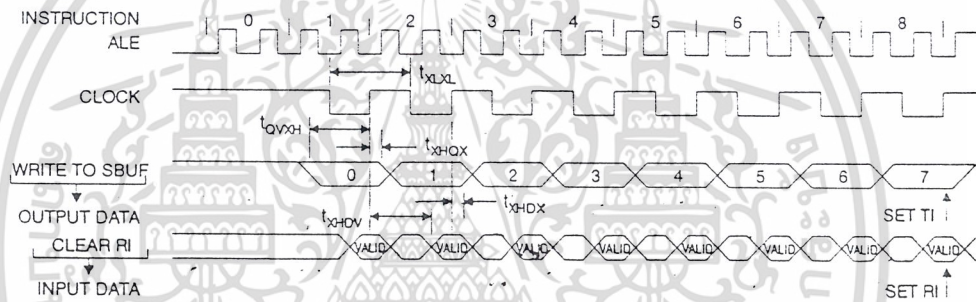
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

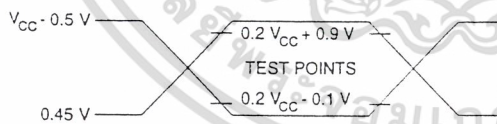
(V_{CC} = 5.0 V ± 20%; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	.12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t _{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		12t _{CLCL}		μs
t _{OVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		10t _{CLCL} -133		ns
t _{XHOX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		2t _{CLCL} -33		ns
t _{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t _{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		10t _{CLCL} -133	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

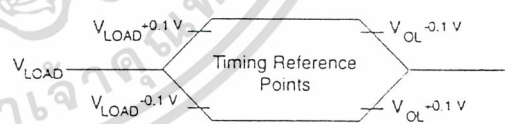


AC Testing Input/Output Waveforms ⁽¹⁾



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

Float Waveforms ⁽¹⁾



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





Ordering Information

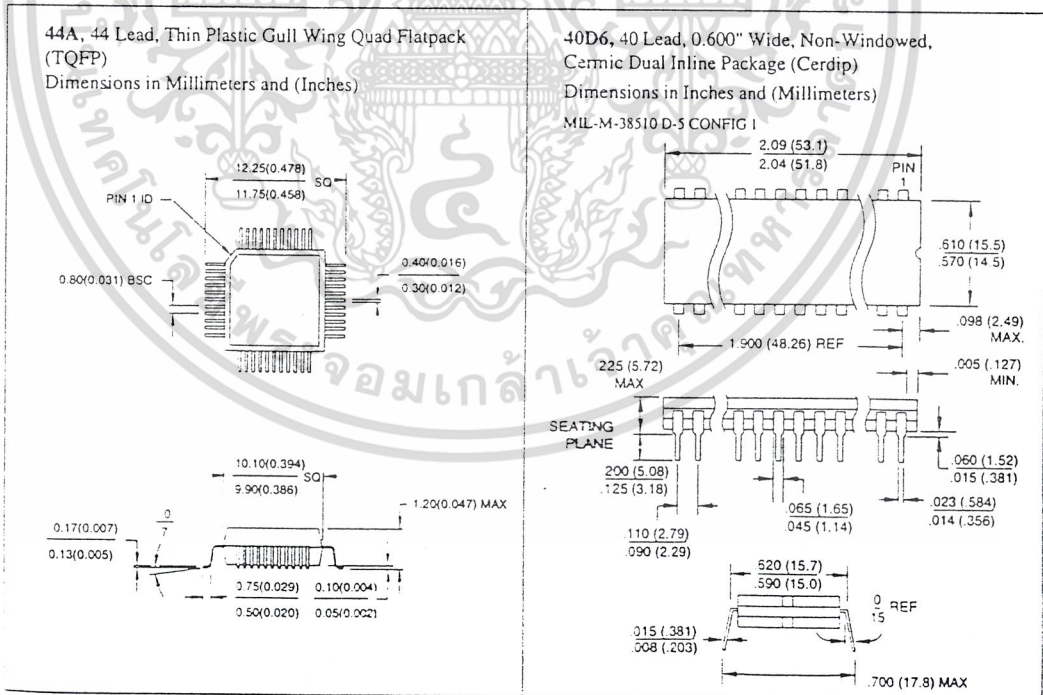
Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range	
12	5 V ± 20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-12JC	44J		
		AT89C51-12PC	40P6		
		AT89C51-12QC	44Q		
			AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C51-12JI	44J	
			AT89C51-12PI	40P6	
			AT89C51-12QI	44Q	
			AT89C51-12AA	44A	Automotive (-40°C to 125°C)
			AT89C51-12JA	44J	
			AT89C51-12PA	40P6	
			AT89C51-12QA	44Q	
5 V ± 10%		AT89C51-12DM	40D6	Military (-55°C to 125°C)	
		AT89C51-12LM	44L		
		AT89C51-12DM/883	40D6	Military/883C Class B, Fully Compliant (-55°C to 125°C)	
		AT89C51-12LM/883	44L		
16	5 V ± 20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-16JC	44J		
		AT89C51-16PC	40P6		
		AT89C51-16QC	44Q		
			AT89C51-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C51-16JI	44J	
			AT89C51-16PI	40P6	
			AT89C51-16QI	44Q	
			AT89C51-16AA	44A	Automotive (-40°C to 125°C)
			AT89C51-16JA	44J	
			AT89C51-16PA	40P6	
			AT89C51-16QA	44Q	
20	5 V ± 20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-20JC	44J		
		AT89C51-20PC	40P6		
		AT89C51-20QC	44Q		
		AT89C51-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)	
		AT89C51-20JI	44J		
		AT89C51-20PI	40P6		
		AT89C51-20QI	44Q		
24	5 V ± 20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-24JC	44J		
		AT89C51-24PC	44P6		
		AT89C51-24QC	44Q		
			AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C51-24JI	44J	
			AT89C51-24PI	44P6	
			AT89C51-24QI	44Q	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

Package Type	
44A	44 Lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
40D6	40 Lead, 0.600" Wide, Non-Windowed, Ceramic Dual Inline Package (Cerdip)
44J	44 Lead, Plastic J-Leaded Chip Carrier (PLCC)
44L	44 Pad, Non-Windowed, Ceramic Leadless Chip Carrier (LCC)
40P6	40 Lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44 Lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)

Packaging Information

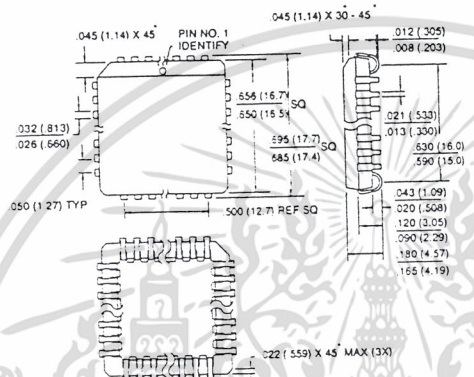


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

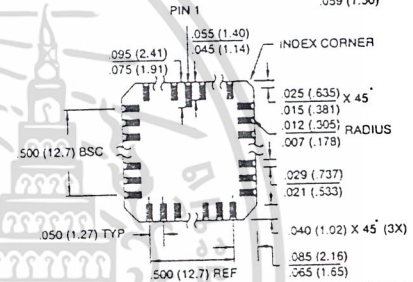
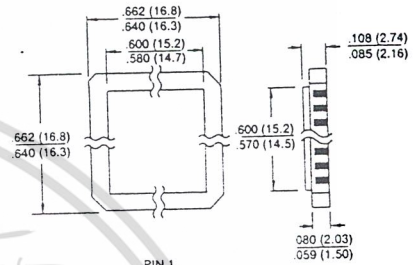


Packaging Information

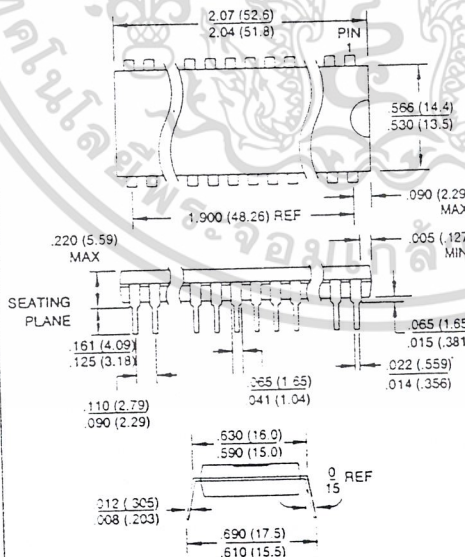
44J, 44 Lead, Plastic J-Leaded Chip Carrier (PLCC)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)
 JEDEC OUTLINE MO-047 AC



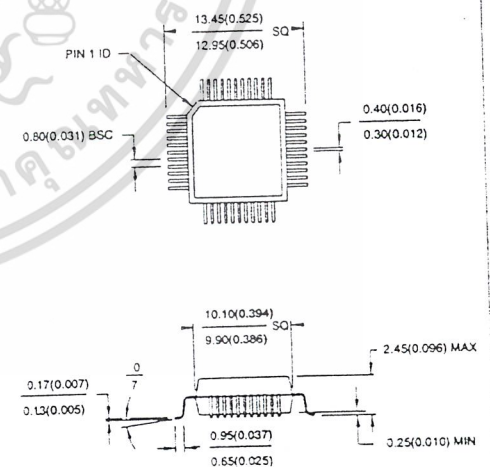
44L, 44 Pad, Non-Windowed, Ceramic Leadless Chip Carrier (LCC)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)



40P6, 40 Lead, 0.600" Wide, Plastic Dual In-Line Package (PDIP)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)



44Q, 44 Lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)
 Dimensions in Millimeters and (Inches)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

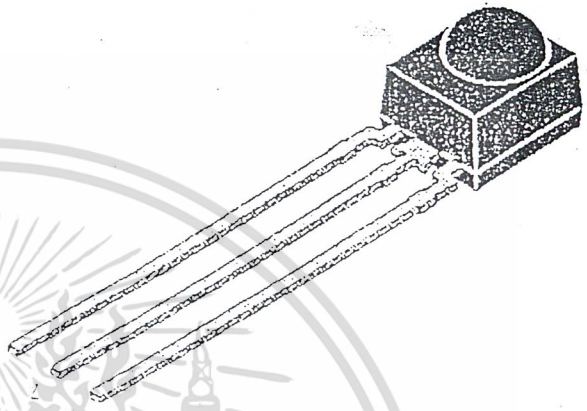
Photo Modules for PCM Remote Control Systems

Available types for different carrier frequencies

Type	f ₀	Type	f ₀
TSOP1830	30 kHz	TSOP1833	33 kHz
TSOP1836	36 kHz	TSOP1837	36.7 kHz
TSOP1838	38 kHz	TSOP1840	40 kHz
TSOP1856	56 kHz		

Description

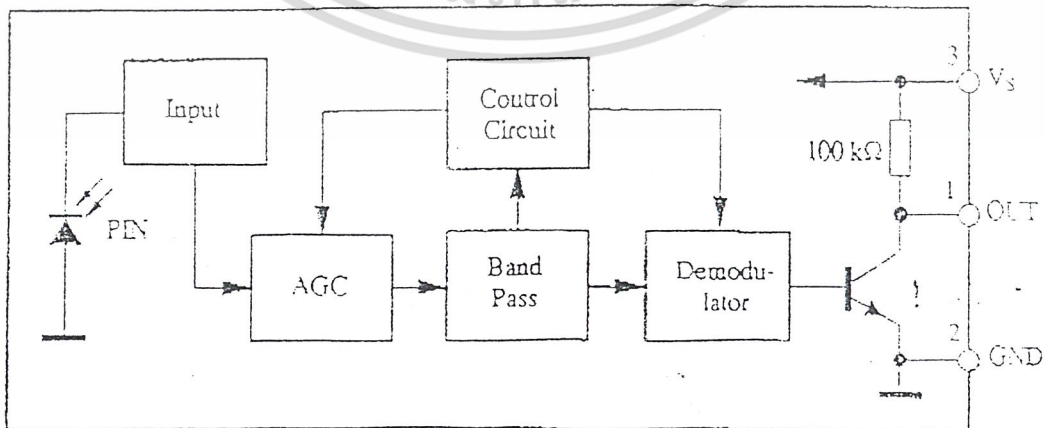
The TSOP18.. - series are miniaturized receivers for infrared remote control systems. PEN diode and preamplifier are assembled on lead frame, the epoxy package is designed as IR filter.
The demodulated output signal can directly be detected by a microprocessor. The main benefit is the reliable function even in disturbed ambient and the protection against uncontrolled output pulses.



Features

- Photo detector and preamplifier in one package
- Output active low
- Internal filter for PCM frequency
- Advanced immunity against ambient light
- Improved shielding against electric field disturbance
- 5-6 volt supply voltage, low power consumption
- TTL and CMOS compatibility
- Intelligent AGC

Block Diagram



2612225

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TSOP18..

Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$

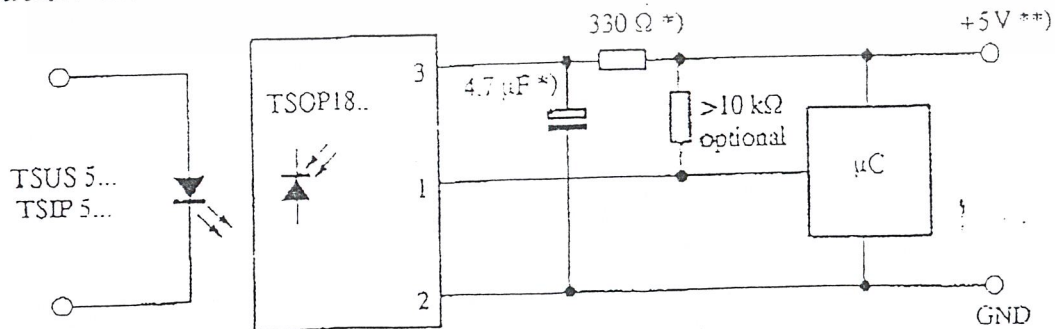
Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	(Pin 3)	V_S	-0.3...6.0	V
Supply Current	(Pin 3)	I_S	5	mA
Output Voltage	(Pin 1)	V_O	-0.3...6.0	V
Output Current	(Pin 1)	I_O	5	mA
Junction Temperature		T_j	100	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range		T_{stg}	-25...+85	$^{\circ}\text{C}$
Operating Temperature Range		T_{amb}	-25...+85	$^{\circ}\text{C}$
Power Consumption	$(T_{amb} \leq 85^{\circ}\text{C})$	P_{tot}	50	mW
Soldering Temperature	$t \leq 10\text{ s, 1 mm from case}$	T_{sd}	260	$^{\circ}\text{C}$

Basic Characteristics

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Current (Pin 3)	$V_S = 5\text{ V, } E_c = 0$	I_{SD}	0.9	1.2	1.3	mA
	$V_S = 5\text{ V, } E_c = 40\text{ klx, sunlight}$	I_{SH}		1.6		mA
Transmission Distance	$E_c = 0$, test signal see fig. 8. IR diode TSIP5201, $I_F = 300\text{ mA}$	d		30		m
Output Voltage Low (Pin 1)	$I_{OHL} = 0.5\text{ mA, } E_c = 0.7\text{ mW/m}^2$ $f = f_o$	V_{OSL}			250	mV
Irradiance (30 - 40 kHz)	Pulse width tolerance: $t_{pi} - 5/f_o < t_{po} < t_{pi} + 5/f_o$ test signal (see fig. 8)	$E_{c, min}$		0.4	0.5	mW/m^2
Irradiance (56 kHz)	Pulse width tolerance: $t_{pi} - 5/f_o < t_{po} < t_{pi} + 5/f_o$ test signal (see fig. 8)	$E_{c, min}$		0.5	0.7	mW/m^2
Irradiance		$E_{c, max}$	30			W/m^2
Directivity	Angle of half transmission distance	$\varphi_{1/2}$		± 45		deg

Application Circuit



86 12212

*) only necessary to suppress power supply disturbances

***) tolerated supply voltage range : $3\text{ V} < V_S < 6\text{ V}$

Typical Characteristics ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

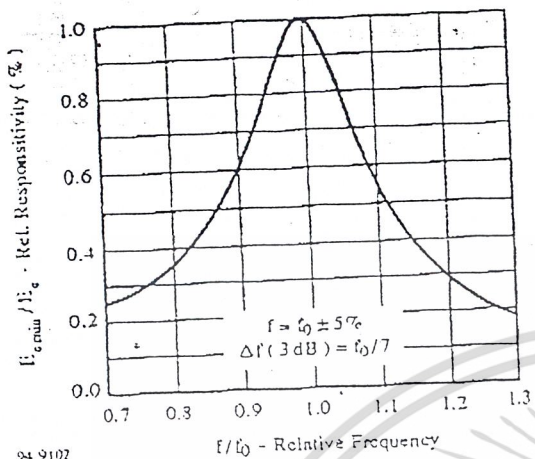


Figure 1. Frequency Dependence of Responsivity

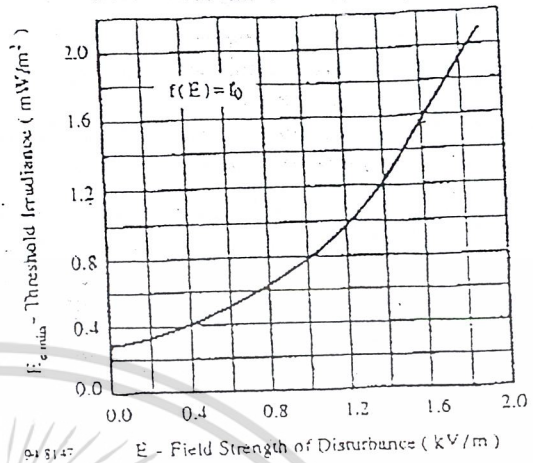


Figure 4. Sensitivity vs. Electric Field Disturbances

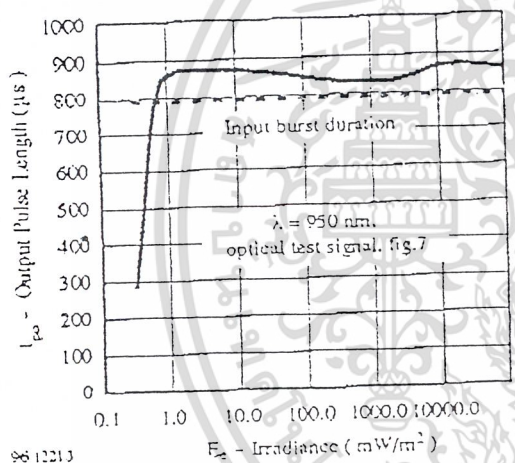


Figure 2. Sensitivity in Dark Ambient

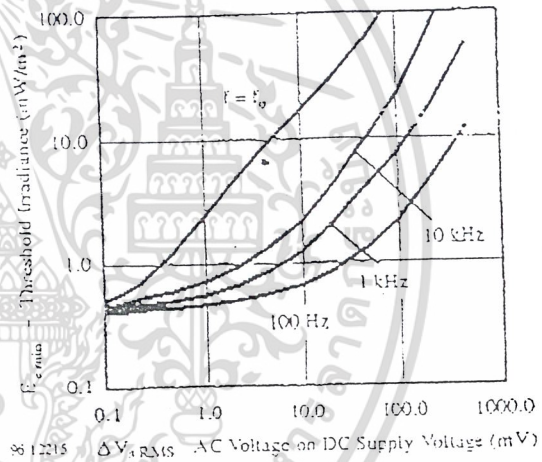


Figure 5. Sensitivity vs. Supply Voltage Disturbances

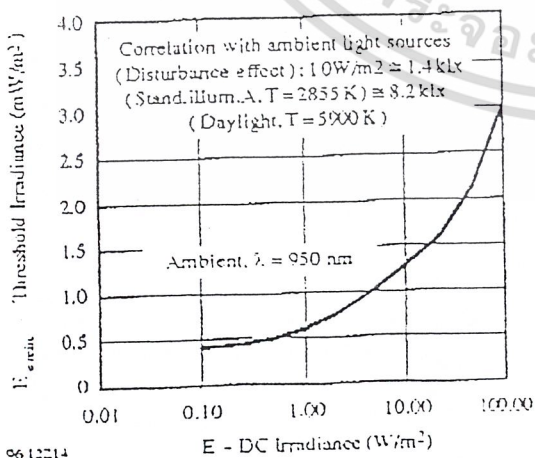


Figure 3. Sensitivity in Bright Ambient

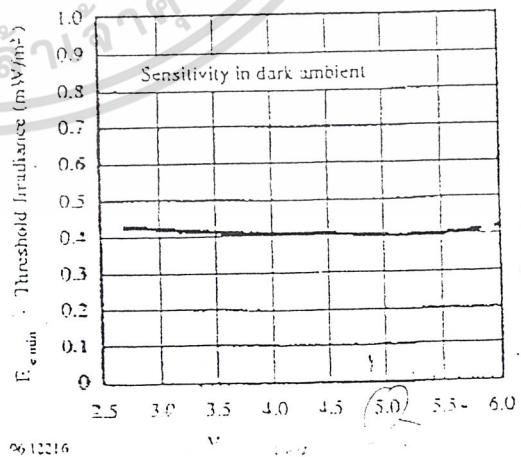


Figure 6. Sensitivity vs. Supply Voltage

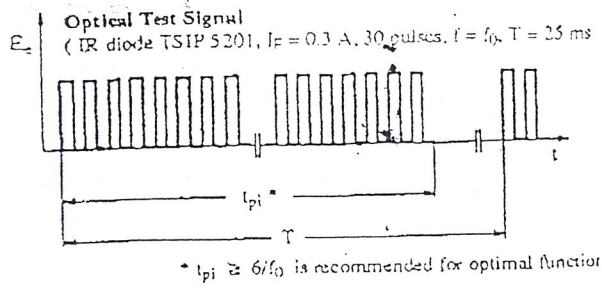


Figure 7. Output Function

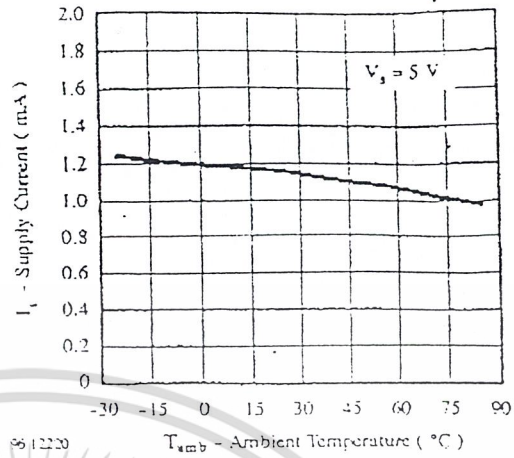


Figure 10. Supply Current vs. Ambient Temperature

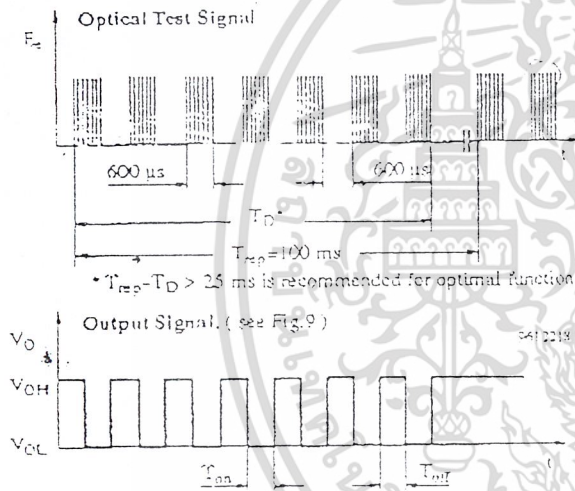


Figure 8. Output Function

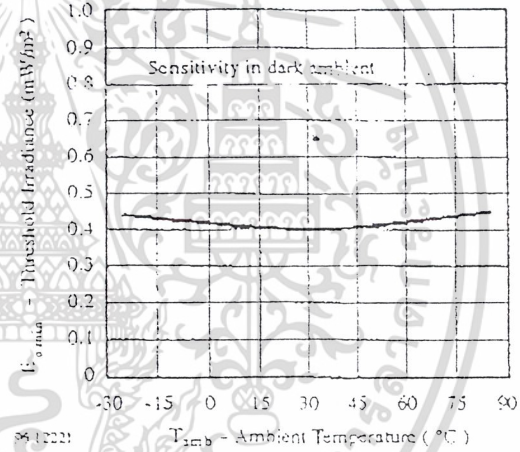


Figure 11. Sensitivity vs. Ambient Temperature

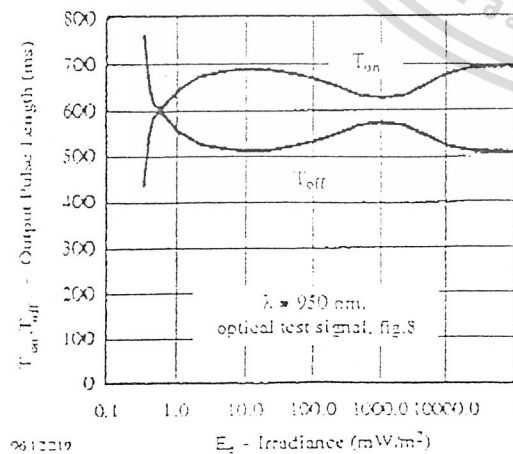


Figure 9. Output Pulse Diagram

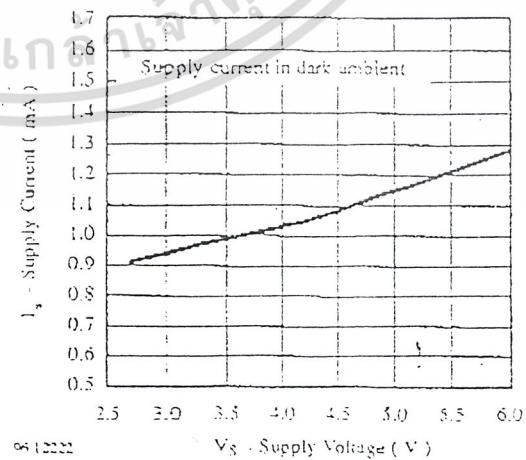
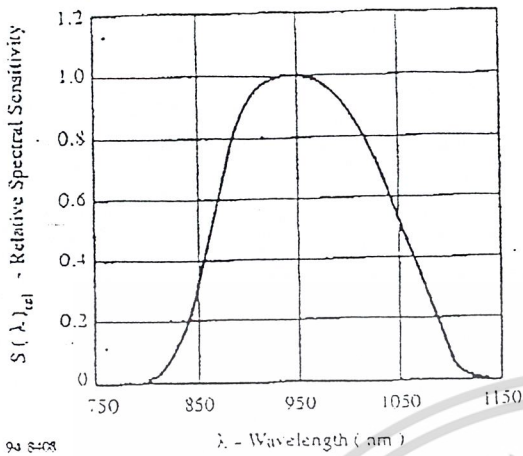
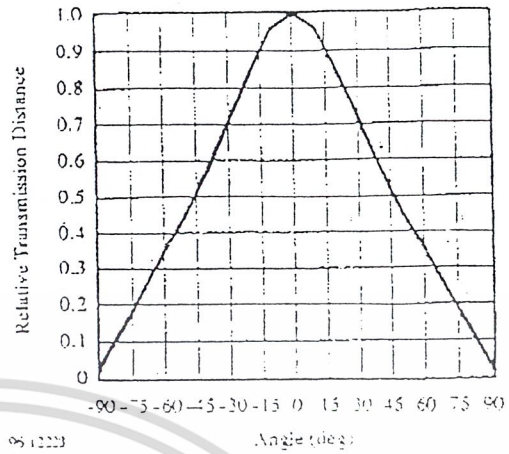


Figure 12. Supply Current vs. Supply Voltage



94 8488

λ - Wavelength (nm)

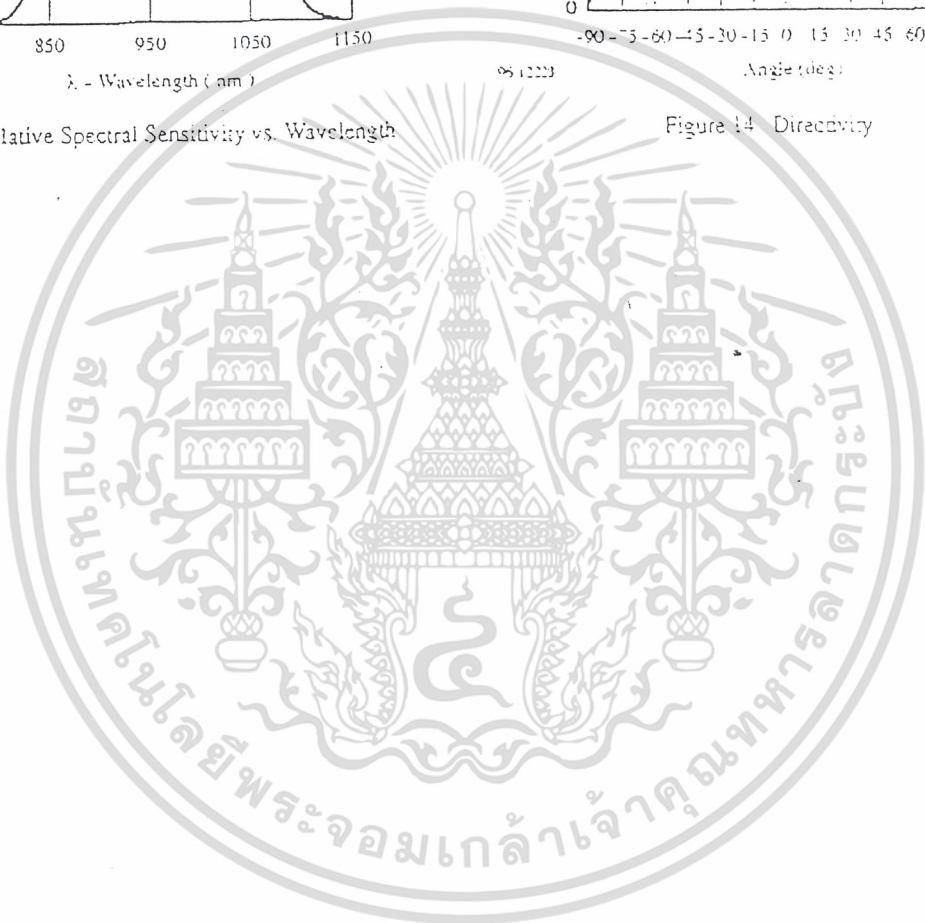


95 12223

Angle (deg)

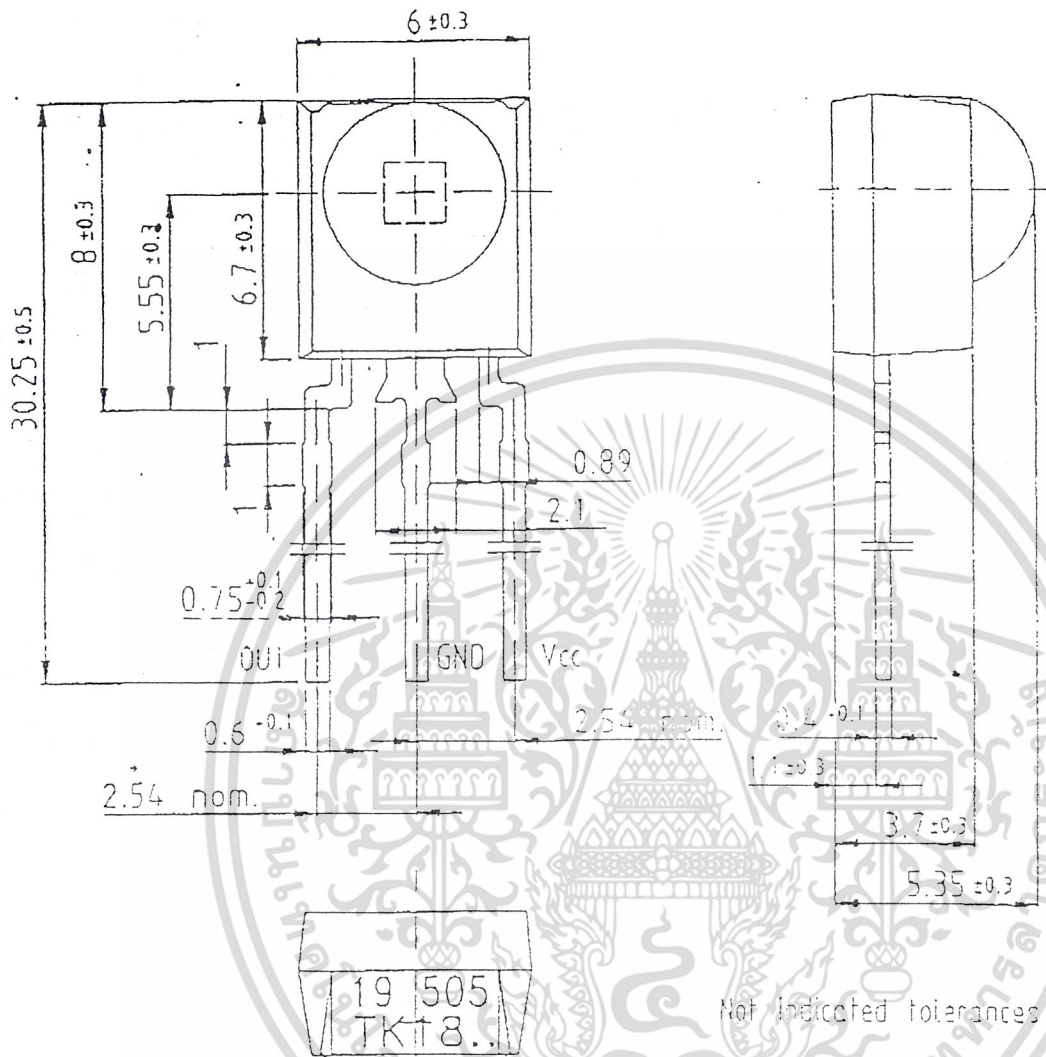
Figure 13. Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

Figure 14. Directivity

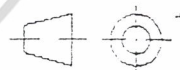


TSOP18..

Dimensions in mm



Not Indicated tolerances ±0.2



Technical drawings according to DIN specifications

TO REFLECTORS

Part No:SY-CR103

Absolute Maximum Ratings

FEATURES			
※ Compact size 4mm dia ceramic stem ※ (Filter effect to cut off visible light) ※ Consist of GaAS infrared LED & Si Phototransistor			
	SYMBOL	RATINGS	UNIT
INPUT			
Forward DC current	I_f	50	mA
Pulse forward current(*-1)	I_{fp}		A
Reverse voltage	V_r	6	V
OUTPUT			
Collector emitter voltage	BV_{ceo}	30	V
Emitter collector voltage	BV_{eco}	3	V
Power dissipation	P_c	75	mw
COUPLED			
Storage temperature	T_{str}	-25 ~ +100	°C
Operating temperature	T_{opr}	-20 ~ +80	°C
Lead Soldering temp.(5 sec)		250	°C

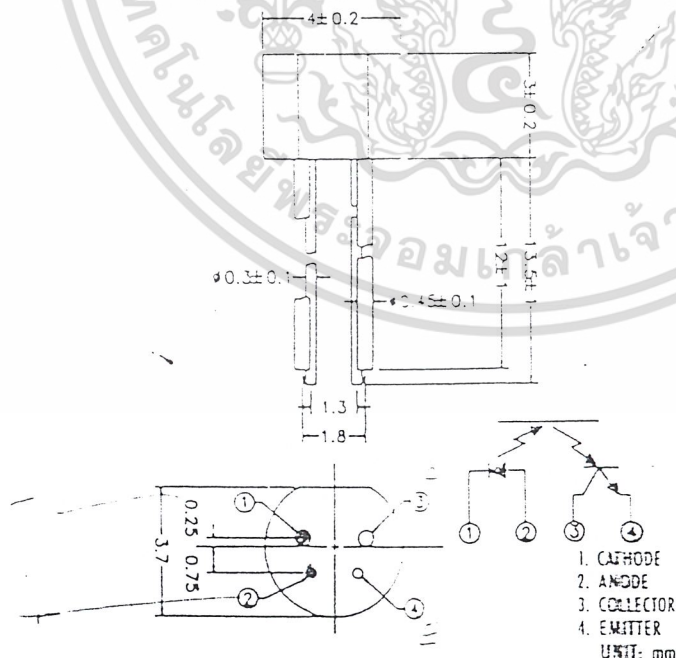
ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS

($T_a = 25^\circ C$)

	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	CONDITIONS	
INPUT						
Forward voltage	V_f	-	-	1.2	V	$I_f = 4mA$
Reverse leakage current	I_r	-	-	10	μA	$V_r = 6V$
OUTPUT						
Dark current	I_d	-	-	100	nA	$V_{ce} = 10V$ ($I_f = 0$)
Junction capacitance	C_j	-	-	-		
COUPLED						
Output current(*-2)	I_c	30	30	-	μA	$I_f = 4mA$ $V_{ce} = 2V$
Rise time	t_r	-	30	-	μSec	$V_{ce} = 2V$ $I_c = 100\mu A$
Fall time	t_f	-	25	-	μSec	$R_L = 1K \Omega$

NOTE: *-2 Reflected surface is white paper (reflectivity: 80% over)
Distance to reflected surface = 1.0mm

Package Dimension (Unit: mm)



ขอสงวนลิขสิทธิ์ในเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น บริษัทฯมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

STEPBUF EQU 40H ;STEPPING BUFFER
STACK EQU 10H ;SYSTEM STACK
RUN EQU 20H.0 ;RUN STATUS
COUNT EQU 30H ;COUNTER OF SC

```

```

ORG 0000H

```

```

MAIN: MOV SP,#STACK ;SYSTEM STACK
MOV STEPBUF,#0EEH ;INIT STEPPING MOTER
MOV COUNT,#00H

```

```

SETB P0.7
JB P0.7,$
M1: MOV A,COUNT
CJNE A,#04,SCAN
ACALL MST
SJMP $ ;STOP WORKING ROBOT

```

```

SCAN: SETB P0.0 ;CHECK LEFT EYE
JNB P0.0,M2 ;IF OK JUMP TO M2
ACALL STL
SETB P0.2
JB P0.2,M1

```

```

AAB: SETB P0.1
JNB P0.1,M3

```

```

II: ACALL STR
SETB P0.3
JB P0.3,AAB

```

```

TA: ACALL STL
SETB P0.4
JB P0.4,TA
INC COUNT

```

```

ACALL MTR

```

```

ACALL DELAY

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ACALL	MST
	SJMP	M1
M2:	SETB	P0.1
	JNB	P0.1,M4
	ACALL	STL
	SJMP	M2
M4:	SJMP	LOCK
M3:	SETB	P0.0
	JB	P0.0,M5
	ACALL	STR
	SJMP	M3
M5:	SJMP	LOCK
LOCK:	SETB	P0.0
	JNB	P0.0,L1
	SETB	P0.1
	JNB	P0.1,L2
	ACALL	SL
L1:	SETB	P0.1
	JNB	P0.1,CM
	ACALL	SL
	SJMP	L1
L2:	SETB	P0.0
	JNB	P0.0,CM
	ACALL	SR
	SJMP	L1
CM:	SETB	P0.4
	JNB	P0.4,GO
	SETB	P0.6
	JNB	P0.6,MR
	ACALL	MTL
	SJMP	LOCK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 MR: ACALL MTR
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                SJMP      LOCK
GO:            ACALL     MST
                ACALL     DBO
                ACALL     DBO
                ACALL     FOR
                ACALL     DELAY
                ACALL     MST
                MOV       COUNT,#00H
                LJMP      M1

```

```

;*****SCAN LEFT & RIGHT*****

```

```

SLR:           ACALL     STR
                SETB     P0.3
                JB       P0.3,SLR
                ACALL     FOR
SLR1:          ACALL     STL
                SETB     P0.2
                JB       P0.2,SLR1
                ACALL     REW
                SJMP      SLR

```

```

;*****FIND CENTER OF EYE*****

```

```

FCT:           ACALL     STR
                SETB     P0.3
                JB       P0.3,FCT
FCT1:          ACALL     STL
                SETB     P0.4
                JB       P0.4,FCT1
                RET

```

```

;***** ROBOT FORWARD *****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
FOR: ACALL DEL
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SETB P1.0
SETB P1.1
CLR P1.2
CLR P1.3
RET

***** RPBOT REWARD *****

REW: ACALL DEL
CLR P1.0
CLR P1.1
CLR P1.2
CLR P1.3
RET

***** ROBOT TURN LEFT *****

MTL: ACALL DEL
CLR P1.0
SETB P1.1
CLR P1.2
CLR P1.3
RET

***** ROBOT TURN RIGHT *****

MTR: ACALL DEL
SETB P1.0
CLR P1.1
CLR P1.2
CLR P1.3
RET

***** MOTER STOP *****

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
MST: SETB P1.2
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SETB      P1.3
RET
```

```
,***** STEPING TURN LEFT *****
```

```
STL:      PUSH      ACC
          MOV       A,STEPBUF
          MOV       P3,A
          RR        A
          MOV       STEPBUF,A
          ACALL    DESTEP
          POP      ACC
          RET
```

```
,***** STEPING TURN RIGHT *****
```

```
STR:      PUSH      ACC
          MOV       A,STEPBUF
          MOV       P3,A
          RL        A
          MOV       STEPBUF,A
          ACALL    DESTEP
          POP      ACC
          RET
```

```
,***** STEP TURN RIGHT FOR LOCK ****
```

```
SR:       PUSH      ACC
          MOV       A,STEPBUF
          MOV       P3,A
          RL        A
          MOV       STEPBUF,A
          ACALL    DT
          MOV       A,STEPBUF
          MOV       P3,A
```

```

RL      A
MOV     STEPBUF,A
ACALL  DT
POP     ACC
RET

```

;*****STEPING TURN LEFT FOR LOCK*****

```

SL:     PUSH     ACC
        MOV     A,STEPBUF
        MOV     P3,A
        RR     A
        MOV     STEPBUF,A
        ACALL  DT
        MOV     A,STEPBUF
        MOV     P3,A
        RR     A
        MOV     STEPBUF,A
        ACALL  DT
        POP     ACC
        RET

```

;*****DELAY FOR STOP*****

```

DELAY:  SETB    RS0
        MOV     R2,#0AH
D1:     MOV     R1,#4EH
D2:     MOV     R0,#00H
D3:     SETB    P0.7
        JNB    P0.7,STOP
        SJMP   D4
STOP:   ACALL  MST
        SJMP   S

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

D4:      DJNZ      R0,D3
         DJNZ      R1,D2
         DJNZ      R2,D1
         CLR       RS0
         RET

```

```

;*****DELAY FOR MOTER *****

```

```

DEL:     SETB      RS0
         MOV       R1,#0H
         DJNZ      R1,S
         CLR       RS0
         RET

```

```

;*****DELAY FOR STEPING SCAN*****

```

```

DESTEP:  SETB      RS0          ;USES REGISTER BLANK 1
         MOV       R0,#80H
DST:     MOV       R1,#30H
         DJNZ      R1,S
         DJNZ      R0,DST
         CLR       RS0          ;BACK TO USES REGISTER BLANK 0
         RET

```

```

;*****DELAY FOR STEPING LOCK*****

```

```

DT:      SETB      RS0
         MOV       R5,#50H
DT1:     MOV       R4,#20H
         DJNZ      R4,S
         DJNZ      R5,DT1
         CLR       RS0
         RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ;*****DELAY FOR DEBOUD SWITCH*****
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DBO :	SETB	RS0
	MOV	R7,#00
DB1:	MOV	R6,#00
	DJNZ	R6,\$
	DJNZ	R7,DB1
	CLR	RS0
	RET	
	END	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบุคคลต่อไปนี้ ผู้ซึ่งที่มีส่วนร่วมในการทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี

- คุณพ่อและคุณแม่ที่ให้ความกรุณาสับสนุนทางการศึกษาและคอยเป็นกำลังใจตลอดมา
- ผศ.ประภาย ไพสุวรรณ ที่ให้คำแนะนำในการทำโครงการนี้
- อ.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ที่ให้คำแนะนำในการทำโครงการนี้
- คุณ วลัยลักษณ์ ทะแพงพันธ์ ที่คอยให้กำลังใจ
- คุณ เฉลิมชาติ มานพ ที่กรุณาให้ยืมเครื่องพิมพ์
- รุ่นพี่และรุ่นน้องที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. สมยศ คุณรศณะปิยะ , “ การประยุกต์การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS- 51” , พิมพ์ครั้งที่ 2, 2541, หน้า 6-42.
2. รศ. สัมพันธ์ หาญชเล , “ เครื่องจักรกลไฟฟ้าเล่ม 2 ”, พิมพ์ครั้งที่ 1 , 2537 , หน้า 2/30 - 2/49.
3. รศ.ดร. โยชิน เปรมปราณีรช , “ สเตปมิ่งมอเตอร์ “, วิศวกรรมลาดกระบัง , ปีที่ 9 , ฉบับที่ 4 , 2532 , หน้า 45-56.
4. ผศ. พิชิต ถ้ายอง , “ เครื่องกลไฟฟ้า 1 , “ พิมพ์ครั้งที่ 3 , 2540 , หน้า 107-162.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้