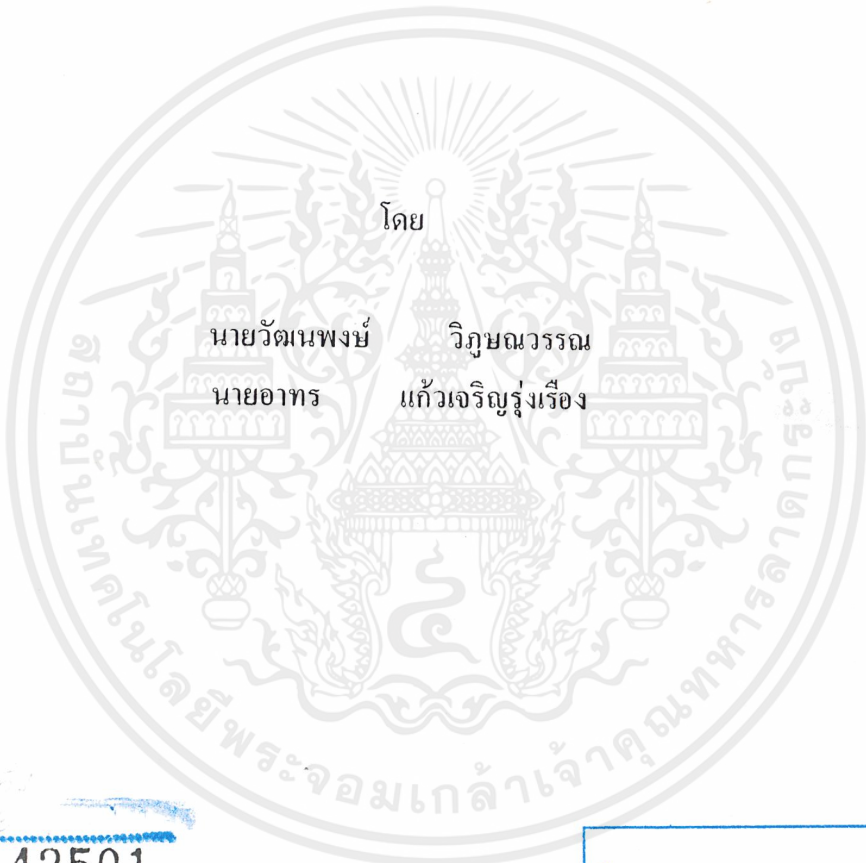


แขนกล

ROBOT ARM



โดย

นายวัฒนพงษ์

วิบูลยวรรณ

นายอาทร

แก้วเจริญรุ่งเรือง

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 42501
วัน, เดือน, ปี 24 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนกล
ROBOT ARM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แขนกล

ROBOT ARM

ผู้จัดทำ

1. นายวัฒนพงษ์ วิญญาวรณ 40010714
2. นายอาทร แก้วเจริญรุ่งเรือง 40010994


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์เทพจิตร์ เชยโสภา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แขนกล
ROBOT ARM

วัฒนพงษ์ วิษณุวรรณ
อาทร แก้วเจริญรุ่งเรือง
อ. เทพจิตร เขยโกคา
อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษา ออกแบบและจัดสร้างแขนกลทั้งด้านซอฟต์แวร์โปรแกรม และด้านฮาร์ดแวร์ของแขนกล รายงานฉบับนี้ได้นำเสนอการจัดสร้างส่วนประกอบทางกล เช่น ฐาน แขน ข้อมือ และวงจรควบคุมการทำงานต่างๆ เช่น วงจรจับมอเตอร์ วงจรไมโครโปรเซสเซอร์ จากนั้นประกอบขึ้นเป็น โครงสร้างแขนกลและทำการควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

Abstract

This thesis concerns a design and construction for Robot Arm. The report proposes mechanism of Robot Arm such as base, hand, tool and electronic parts such as microprocessor circuit and drive control hardware. All parts are assembled and controlled by MCS – 51 microcontroller.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการวิเคราะห์และควบคุมหุ่นยนต์ (Fundamental of Robotic Analysis and Control)	2
2.1.1 การแบ่งแยกประเภทหุ่นยนต์ (Robot Classification)	2
2.1.2 ลักษณะเฉพาะของหุ่นยนต์ (Robot Specification)	6
2.1.3 End Effector	11
2.1.4 Direct Kinematics : The Arm Equation	12
2.2 โครงสร้างของระบบควบคุมแขนกล	13
2.2.1 ส่วนตรวจจับ (Sensor & Encoder)	13
2.2.2 หน่วยประมวลผลกลางและควบคุม	13
2.2.3 วงจรจับมอเตอร์	13
2.3 อุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้หลักการตัดแสง (Interruption Sensor)	13
2.4 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	14
2.4.1 การแยกประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	15
2.4.2 พื้นฐานของระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	15
บทที่ 3 โครงสร้างและการออกแบบ	18
3.1 โครงสร้างและการออกแบบทางกล	18
3.1.1 การออกแบบโครงสร้างส่วนฐาน	18
3.1.2 การออกแบบโครงสร้างส่วนแขน	19
3.1.3 การออกแบบโครงสร้างส่วนกริปเปอร์	19
3.2 โครงสร้างและการออกแบบส่วนอิเล็กทรอนิกส์	24
3.2.1 วงจรควบคุมการทำงาน	24
3.2.2 วงจรจับมอเตอร์	26
3.2.3 วงจรเซ็นโคดเดอร์ (Encoder)	27
3.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานและส่วนติดต่อกับผู้ใช้	28

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	30
4.1 การทดลอง	30
4.2 ผลการทดลอง	31
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	31
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	32
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	32
5.2 แนวทางในการพัฒนา	33
ภาคผนวก ก.	
ภาคผนวก ข.	
บรรณานุกรม	
กิตติกรรมประกาศ	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียน	3
รูปที่ 2.2 หุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอก	4
รูปที่ 2.3 หุ่นยนต์พิกัดทรงกลม	4
รูปที่ 2.4 หุ่นยนต์ SCARA	5
รูปที่ 2.5 หุ่นยนต์ข้อต่อหมุน	5
รูปที่ 2.6 ระยะที่เอื้อถึงและสโตรคของหุ่นยนต์ทรงกระบอก	7
รูปที่ 2.7 yaw – pitch – roll ของ tool	7
รูปที่ 2.8 ลำดับการหมุน	8
รูปที่ 2.9 ระบบ YPR	9
รูปที่ 2.10 ระบบ RPY	10
รูปที่ 2.11 แขนกลที่มีลักษณะเป็น link	12
รูปที่ 3.1 ลักษณะโครงสร้างของแขนกล	20
รูปที่ 3.2 ลักษณะโครงสร้างส่วนฐาน	20
รูปที่ 3.3 ลักษณะโครงสร้างของแขนส่วนล่าง	21
รูปที่ 3.4 ลักษณะโครงสร้างของแขนส่วนบน	22
รูปที่ 3.5 ลักษณะโครงสร้างของกริปเปอร์	23
รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมการทำงาน	25
รูปที่ 3.7 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	26
รูปที่ 3.8 วงจรเซ็นโคดเดอร์	27
รูปที่ 3.9 ส่วนโปรแกรมวิซวลเบสิก	28
รูปที่ 4.1 โปรแกรมรับค่ามุมของแขนแต่ละท่อน	30

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดของข้อต่อหุ่นยนต์	2
ตารางที่ 2.2 ขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์ (Robot work envelopes) ที่ขึ้นอยู่กับแกนหลัก	3
ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของหุ่นยนต์ (Robot Characteristics)	6
ตารางที่ 2.4 การเคลื่อนที่แบบ yaw , pitch และ row	9



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันนี้ หุ่นยนต์ นับได้ว่ามีบทบาทสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ประเภท โดยทั่วไปแล้วถ้ากล่าวถึงหุ่นยนต์คนทั่วไปมักจะคิดถึงเรื่องหุ่นยนต์ที่มีรูปร่างลักษณะเหมือนมนุษย์ สามารถคิดและทำงานได้ด้วยตนเอง แต่ที่จริงแล้ว คำว่า Robotics ตามคำนิยามของ Robotics Industrial Association และ Robotics Institute of America นั้นหมายถึง เครื่องยนต์ที่ประกอบกันขึ้นมาเพื่อทำงานบางอย่างแทนมนุษย์ สามารถควบคุมได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และสามารถที่จะเปลี่ยนการทำงานให้ทำงานอย่างอื่นได้

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นโครงการการสร้างแขนกล (Robot Arm) ที่มีวัตถุประสงค์ของโครงการดังนี้ คือ

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีวิชา Robotics และสร้างต้นแบบแขนกล
2. เพื่อศึกษาและควบคุมการทำงานของแขนกลด้วยคอมพิวเตอร์
3. นำความรู้ที่ได้จากการศึกษา ทดลอง ไปประยุกต์ใช้งานและวางแนวทางพัฒนาต่อไป

โดยมีการระบุข้อกำหนด เป้าหมายของโครงการแขนกลนี้ คือ สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนได้ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) โดยมีการส่งสัญญาณควบคุมวงจรมอเตอร์ มีการรับสัญญาณป้อนกลับจากเซนเซอร์ (Sensor) ไปประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และสามารถกำหนดค่าในการทำงานโดยผู้ใช้งานทางคอมพิวเตอร์ได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมจะใช้เบอร์ AT89S8252 ส่งสัญญาณควบคุมการทำงานด้วยพอร์ตขนาน (Parallel Port) และรับสัญญาณป้อนกลับทางพอร์ตขนานและไทม์คOUNTER (Timer Counter) วงจรมอเตอร์จะใช้ไอซี L293D ในการขับโดยต่อเป็นวงจรมอเตอร์ (Bridge) ทำให้สามารถควบคุมทิศทางการหมุนได้ มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนจะใช้ ดีซีมอเตอร์ (DC Motor) ขนาด 24 V ในการขับเคลื่อน ในส่วนของวงจรรีเ็นโคเดอร์ (Encoder) จะใช้เซ็นเซอร์ที่ใช้หลักการตัดแสงวัตรอบที่หมุนไปของมอเตอร์

สำหรับการควบคุมการทำงานจะเป็นแบบเปิด-ปิด (On-Off Control) โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานเป็นภาษาแอสเซมบลี (Assembly) และโปรแกรมในส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้จะเขียนด้วยภาษาวิซวลเบสิก (Visual Basic) โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดมุมการทำงานของแขนในส่วนต่าง ๆ ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการวิเคราะห์และควบคุมหุ่นยนต์ (Fundamental of Robotic Analysis and Control)

หุ่นยนต์ (Robot) คืออุปกรณ์ทางกลที่ควบคุมด้วยซอฟต์แวร์ โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับ End - effectors ของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ตามโปรแกรมในพื้นที่การทำงาน (Workspace) เพื่อทำการเคลื่อนย้ายวัตถุ



2.1.1 การแบ่งแยกประเภทหุ่นยนต์ (Robot Classification)

1. เทคโนโลยีการขับเคลื่อน (Drive Technologies)

พิจารณาจากคันท่าตั้งที่ใช้ขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ ที่นิยมมี 2 แบบคือ การขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าและขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก แขนกลส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นแบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (DC Servo Motor) ดีซีสเต็ปมอเตอร์ (DC Stepping Motor) ในการเคลื่อนย้ายวัตถุที่ต้องการความเร็วสูง มักนิยมใช้แบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก

2. รูปร่างของขอบเขตการทำงาน (Work Envelope Geometries)

ขอบเขตการทำงานสุทธิ (Gross Work Envelope) หมายถึงขอบเขตในปริภูมิสามมิติที่ข้อมือของแขนกลสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งนั้นได้ เราจะเรียกแกนของ 3 ข้อต่อแรกของแขนกลว่า แกนหลัก (Major axe) ซึ่งใช้ในการพิจารณาค่าแนวของข้อมือ ส่วนแกนของข้อต่อที่เหลือเรียกว่า แกนรอง (Minor axe) ใช้กำหนดลักษณะการวางตัวหรือหมุน (Orientation) ของ tool ดังนั้นรูปร่างของขอบเขตการทำงานจึงพิจารณาได้จาก ลำดับชนิดของข้อต่อที่ใช้ใน 3 แกนแรก ข้อต่อมีหลายแบบแต่ที่เป็นพื้นฐานและนิยมใช้มี 2 แบบ

ชนิด	เครื่องหมาย	สัญลักษณ์	การเคลื่อนที่
ข้อต่อหมุน (Revolute)	R		แบบหมุนรอบแกน
ข้อต่อเลื่อน (Prismatic)	P		เชิงเส้นตามแนวแกน

ตารางที่ 2.1 ชนิดของข้อต่อหุ่นยนต์

การรวมกันของข้อต่อหมุน (R) และข้อต่อเลื่อน (P) ใน 3 แกนหลัก ก่อให้เกิดรูปทรงการเคลื่อนที่หลายรูปแบบ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงเฉพาะรูปแบบที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแขนกล ข้อต่อหมุน (R) จะวิเคราะห์ยากกว่าแบบข้อต่อเลื่อน (P) ดังนั้นยังมีข้อต่อหมุนมาก แขนกลก็จะยิ่งซับซ้อนมากขึ้น

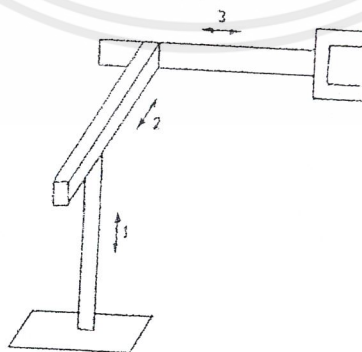
Robot	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Total revolute
Cartesian	P	P	P	0
Cylindrical	R	P	P	1
Spherical	R	R	P	2
SCARA	R	R	P	2
Articulated	R	R	R	3

P = prismatic , R = revolute

ตารางที่ 2.2 ขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์ (Robot work envelopes) ที่ขึ้นอยู่กับแกนหลัก

ชนิดของหุ่นยนต์ แบ่งตามลักษณะขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์ (Robot work envelopes) ได้เป็น 5 ชนิด

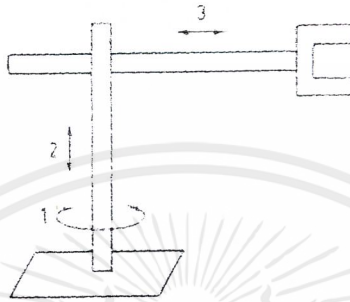
1. หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian – coordinate robot) หรือหุ่นยนต์พิกัดฉาก (Rectangular – coordinate robot) ตัวย่อลักษณะ PPP ดังรูปที่ 2.1 โดยข้อมือจะเลื่อน ขึ้น – ลง , เข้า – ออก และ เดินหน้า – หลัง ทำให้พื้นที่การทำงานมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมมุมฉาก



รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียน

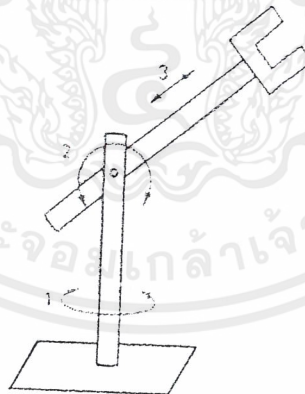
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอก (Cylindrical – coordinate robot) สัญลักษณ์ RPP ดังรูปที่ 2.2 สามารถเคลื่อนที่ขึ้นข้างบนได้ตามแกนตั้งที่เป็นแกนหลัก สามารถเคลื่อนที่เข้า ออกตามแนวรัศมี และแขนหมุนรอบแกนตั้งจากกับฐานได้ พื้นที่การทำงานจึงเป็นแบบทรงกระบอก



รูปที่ 2.2 หุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอก

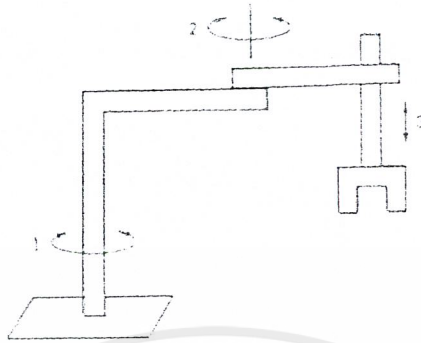
3. หุ่นยนต์พิกัดทรงกลม (Spherical – coordinate robot) สัญลักษณ์ RRP ดังรูปที่ 2.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแขนจะสามารถยกขึ้นลงได้ในแนวตั้งโดยยกทำมุมกับฐาน แขนสามารถหมุนได้รอบแกนแนวตั้งของฐาน พื้นที่การทำงานเป็นแบบทรงกลม



รูปที่ 2.3 หุ่นยนต์พิกัดทรงกลม

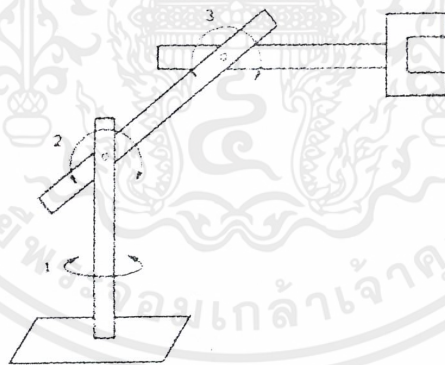
4. หุ่นยนต์ SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) ดังรูปที่ 2.4 มีลักษณะคล้ายหุ่นยนต์พิกัดทรงกลม มีสัญลักษณ์ RRP แต่แกนทั้ง 3 จะอยู่ในแนวตั้ง โดยข้อที่ 2 ทำให้แขนหมุนรอบแกนตั้งในแนวนอน เหมือนการหมุนของข้อแรก ภาพตัดขวางในแนวนอนของพื้นที่การทำงานค่อนข้างซับซ้อนขึ้นอยู่กับข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของสองแกนแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 หุ่นยนต์ SCARA

5. หุ่นยนต์ข้อต่อหมุน (Articulate – coordinate robot) หรือเรียก Revolute robot สัญลักษณ์ RRR ทั้ง 3 ข้อเป็นแบบข้อต่อหมุน หุ่นยนต์แบบนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับแขนของมนุษย์มากที่สุด มีข้อหมุนต่างๆ เหมือนกัน ดังนั้นพื้นที่การทำงานจึงสามารถที่จะทำงานได้ในทุกตำแหน่งในระยะความยาวของแขน



รูปที่ 2.5 หุ่นยนต์ข้อต่อหมุน

ข้อดี - ข้อเสียของหุ่นยนต์แต่ละชนิดนี้แตกต่างกันออกไป เพราะลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน แต่ถ้ามองในแง่ของการทำงานที่เป็นแบบซ้ำๆ ที่เดิมตลอด หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียนจะสามารถทำงานได้ดีกว่า คือสามารถเคลื่อนที่ไปหาเป้าหมายโดยมีความผิดพลาดน้อยที่สุด แต่ถ้ามองในแง่การเข้าถึงวัตถุ ชนิดพิกัดทรงกลมและข้อต่อหมุนจะสามารถเข้าถึงวัตถุได้มากกว่า

2.1.2 ลักษณะเฉพาะของหุ่นยนต์ (Robot Specification)

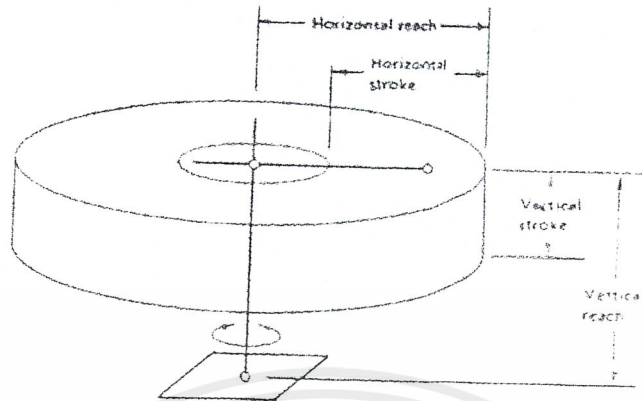
นอกจากเกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการแบ่งประเภทของหุ่นยนต์ดังกล่าวมาแล้ว ยังมีลักษณะบางอย่างที่ช่วยผู้ใช้ในการเลือกหุ่นยนต์ที่ต้องการ ลักษณะต่างๆ เหล่านี้แสดงดังตารางที่ 2.3

คุณลักษณะ (Characteristics)	หน่วย (Unit)
จำนวนแกน	-
ความสามารถในการยกน้ำหนัก	Kg
ความเร็วสูงสุด , เวลาครบรอบ	mm / sec
ระยะเอื้อมถึงและสโตรค	mm
การหมุนของเครื่องมือ	Deg
การชำรุดตำแหน่งเดิม	Mm
ความละเอียดและความแม่นยำ	Mm
สภาวะแวดล้อมการทำงาน	-

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของหุ่นยนต์ (Robot Characteristics)

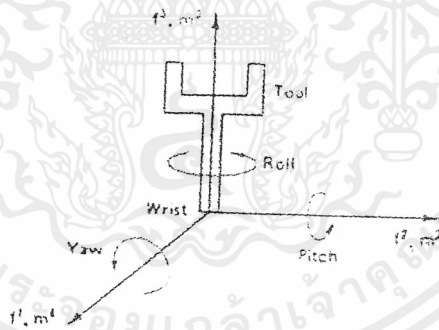
ระยะที่เอื้อมถึงและสโตรค (Reach and Stroke) เป็นการวัดขนาดของพื้นที่ทำงาน (Work Envelop) อย่างคร่าวๆ ระยะที่เอื้อมถึงในแนวนอน (Horizontal Reach) คือระยะทางตามแนวรัศมีที่มากที่สุดที่ข้อมือสามารถไปถึงโดยวัดจากแกนแนวตั้งที่ทำให้หุ่นยนต์หมุน สโตรคแนวนอน (Horizontal Stroke) คือระยะทางตามแนวรัศมีทั้งหมดที่ข้อมือสามารถไปได้ ดังนั้นระยะที่เอื้อมถึงในแนวนอน ลบด้วยสโตรคแนวนอน คือ ระยะทางตามแนวรัศมีที่น้อยที่สุดที่ข้อมือสามารถไปถึงได้โดยวัดจากแกนฐานซึ่งมีค่าเป็นบวกเสมอ จึงได้ว่า $Stroke \leq Reach$

ตัวอย่างเช่น ระยะที่เอื้อมถึงในแนวนอน (Horizontal Reach) ของหุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอกก็คือรัศมีของทรงกระบอก อันนอกของพื้นที่การทำงาน ในขณะที่ สโตรคแนวนอน (Horizontal Stroke) คือผลต่างระหว่างรัศมีของทรงกระบอกอันในและอันนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ระยะที่เอื้อมถึงและสโตรคของหุ่นยนต์ทรงกระบอก

การหมุนของ tool (Tool Orientation) ในขณะที 3 แกนหลักใช้ในการพิจารณารูปทรงของพื้นที่การทำงาน แกนที่เหลือจึงใช้ในการพิจารณาการหมุนของ tool ถ้ามีแกนอิสระ 3 แกนก็ทำให้ tool หมุนได้อย่างไม่จำกัดในขอบเขต 3 มิติ การระบุลักษณะการหมุนของ tool จะใช้ระบบ yaw – pitch – roll (YPR) ดังรูปที่ 2.7



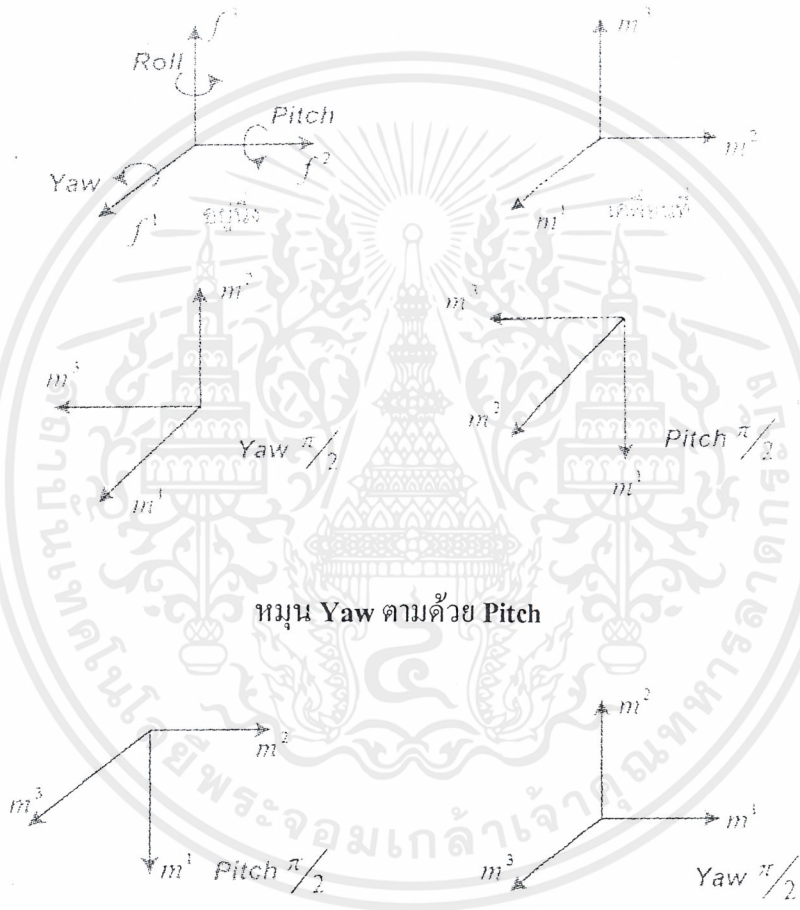
รูปที่ 2.7 yaw – pitch – roll ของ tool

ในการระบุการหมุน จะติดโครงพิกัด tool $M = \{ m^1, m^2, m^3 \}$ ไว้ที่ tool และโครงนี้จะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับ tool ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แกน m^3 ขนานอยู่ในแนวเดียวกับแกนของ tool และชี้ออกจากข้อมือ แกน m^3 ขนานกับทิศทางที่ปลายนิ้วของ tool เลื่อนปิด – เปิด ส่วนแกน m^1 เป็นไปตามกฎมือขวาของโครงพิกัด M

การเคลื่อนที่แบบ yaw – pitch – row จะกระทำตามลำดับกับแกนที่อยู่หนึ่ง เมื่อเริ่มต้นโครงพิกัดเคลื่อนที่ของ tool M จะทับอยู่กับโครงพิกัดอยู่นิ่งของข้อมือ $F = \{ f^1, f^2, f^3 \}$ ซึ่งติดอยู่ที่ส่วนปลายของปลายแขน (Forearm) yaw คือการหมุน tool รอบแกนข้อมือ f^1 , pitch คือการหมุน tool เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบแกนข้อมือ f^2 , roll คือการหมุน tool รอบแกนข้อมือ f^3 ในแต่ละกรณีมุมบวกเกิดจากการหมุนทวนเข็มนาฬิกาโดยมองจากปลายแกนเข้าหาจุดกำเนิด

ลำดับของการหมุน yaw , pitch , row มีความสำคัญมาก เพราะมีผลต่อดัชนีการวางตัวสุดท้ายของ tool ตัวอย่างเช่น หมุน yaw ไป 90° ตามด้วย pitch 90° จะมีดัชนีการวางตัวสุดท้ายต่างกับการหมุน pitch 90° ไป แล้วตามด้วย yaw 90° เป็นต้น



หมุน Pitch ตามด้วย Yaw

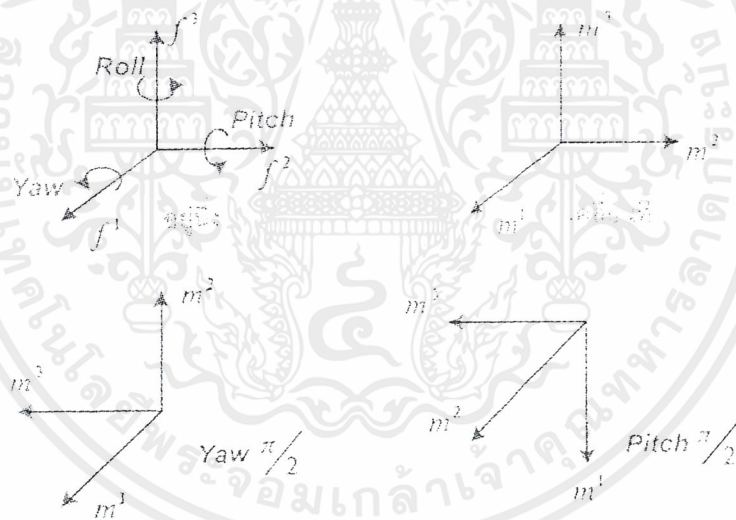
รูปที่ 2.8 ลำดับการหมุนแกน

การกำหนด YPR ตามลำดับการหมุนแสดงดังตารางที่ 2.4

ขั้นตอน	การอธิบาย	แกน
1	Yaw	f^1
2	Pitch	f^2
3	Roll	f^3

ตารางที่ 2.4 การเคลื่อนที่แบบ yaw , pitch และ row

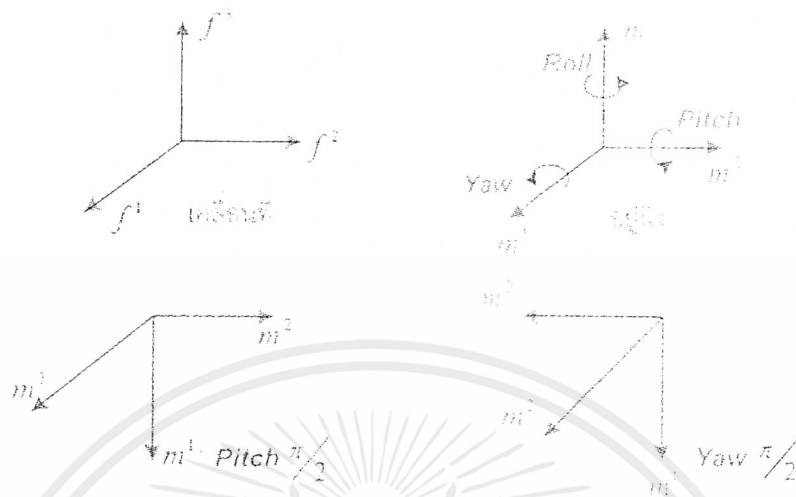
อีกวิธีหนึ่งที่ใช้ระบบการหมุนคือ ระบบลำดับการหมุนย้อนลำดับกับ YPR และคิดเทียบกับ โครงพิกัดเคลื่อนที่ของ tool M แทนที่โครงพิกัดอยู่นิ่งของข้อมือ F ดังรูปที่ 2.10 โดยเริ่มแรก roll คือการหมุนรอบแกน m^3 , pitch คือการหมุนรอบแกน m^2 , yaw คือการหมุนรอบแกน m^1 การคิดลักษณะนี้เรียกว่า เป็นระบบ RPY จะให้ผลลัพธ์เหมือนกับแบบ YPR



หมุน Yaw ตามด้วย Pitch

รูปที่ 2.9 ระบบ YPR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมุน Pitch ตามด้วย Yaw

รูปที่ 2.10 ระบบ RPY

ความแม่นยำของการเคลื่อนที่ ความสำคัญประการหนึ่งของการสร้างหุ่นยนต์คือความแม่นยำในการทำงาน ซึ่งความแม่นยำนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 อย่าง

1. Spatial Resolution คือช่วงการเคลื่อนที่ที่มีระยะทางสั้นที่สุดที่หุ่นยนต์แต่ละตัวสามารถที่จะทำได้ ซึ่ง Spatial Resolution นี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการคือ

1.) ระบบการควบคุม (Control System) ระบบการควบคุมนี้จะรวมถึงการวัดสัญญาณป้อนกลับของหุ่นยนต์ด้วย

2.) ความคลาดเคลื่อนเชิงกล (Mechanical inaccuracy) ของหุ่นยนต์แต่ละตัวขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อหมุน (joint) และข้อต่อ (link) และระบบคั่นกำลังของหุ่นยนต์ตัวนั้นด้วย

2. Accuracy คือตัวที่แสดงถึงความสามารถของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่เข้าใกล้จุดเป้าหมายตามที่เรารั้ง Accuracy สามารถที่จะกำหนดให้อยู่ในเทอมของ Spatial Resolution ได้ทั้งนี้เพราะว่าการเคลื่อนที่ที่เข้าใกล้จุดเป้าหมาย ก็ต้องขึ้นกับช่วงของการเคลื่อนที่ที่มีความละเอียดมากน้อยเพียงใด ในการทำงานเราต้องวางจุดที่เราต้องการให้หุ่นยนต์ทำงานอยู่ระหว่างกลางของตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ทั้งนี้เพราะว่าความคลาดเคลื่อนเชิงกล มีผลต่อความแม่นยำของหุ่นยนต์ ความแม่นยำของหุ่นยนต์กำหนดให้เท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะทางการเคลื่อนที่ที่สั้นที่สุดของหุ่นยนต์ที่สามารถทำได้ โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่อไปนี้

1.) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์ ถ้าแขนทำงานในพื้นที่การทำงานจะมีความแม่นยำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าเมื่อแขนออกนอกพื้นที่การทำงาน

- 2.) วงรอบการทำงาน ถ้าวงรอบการทำงานเป็นวงรอบที่แน่นอนความแม่นยำจะมีมากขึ้น
- 3.) นำหนักที่ได้รับ ถ้าหุ่นยนต์ทำงานโดยการรับน้ำหนักมากๆ ความแม่นยำจะลดลง
3. Repeatability คือความสามารถของหุ่นยนต์ในการกลับมาทำงานซ้ำที่เดิม หลายๆ ครั้งได้ เนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น Backlash ในเฟืองและความยืดหยุ่น (Flexibility) ของส่วนต่างๆ ซึ่งมักทำให้เกิดความผิดพลาดใน Repeatability

2.1.3 End Effector

End Efftor หรือ “มือ” ของหุ่นยนต์นี้เป็นอุปกรณ์ที่หุ่นยนต์ใช้ทำงานจริง (ส่วนแขนนั้นใช้เพื่อเลื่อนตำแหน่ง “มือ” นี้ให้ไปอยู่ในจุดที่ต้องการเท่านั้น) งานที่ส่วนนี้ทำก็อาทิเช่น การจับชิ้นส่วน การบัดกรีตามจุด การพ่นสี ฯลฯ ดังนั้นลักษณะของส่วนนี้จึงต่างกันออกไป สุดแท้แต่จินตนาการของผู้ออกแบบ ซึ่งต้องออกแบบให้เหมาะกับงาน แต่ถ้าจะมีการแบ่งกันเป็นชนิดแล้ว “ End Effector ” นี้จะออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ แบบมือจับ (Gripper) แบบมือที่เป็นอุปกรณ์ (Tool as End Effector)

1. Gripper

Gripper นี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จับชิ้นส่วนหรือเครื่องมือ โดยการออกแบบมีได้หลายลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น

- 1.) แบบมือคีบ (อาศัยแรงเสียดทานในการจับ) ใช้งานได้กับวัสดุทุกประเภท แต่หากเป็นวัสดุบอบบางอาจต้องมีอุปกรณ์อื่นช่วยเสริม
- 2.) แบบ Suction Cup อาศัยคุณสมบัติการทำให้เกิดสภาพสุญญากาศ เป็นตัวดึงชิ้นงาน ใช้ได้กับวัสดุผิวเรียบเท่านั้น
- 3.) แบบ ตะขอ (Hook) สำหรับเกี่ยวยกของ เช่น ของที่อยู่บนสายพาน ฯลฯ
- 4.) แบบ ตัก (Scoop) สำหรับการลำเลียงของที่เป็นของเหลวหรือฝุ่นผง

2. มือที่เป็นอุปกรณ์ (Tool as End Effector)

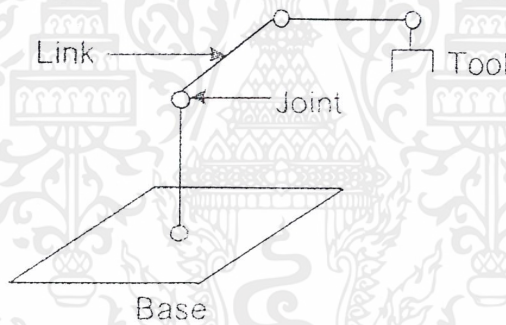
เนื่องจาก Gripper มีข้อจำกัด ใช้ได้เฉพาะกับงานหยิบจับวัสดุเท่านั้น แต่การใช้งานของหุ่นยนต์มีขอบเขตกว้างขวาง จึงได้มีการออกแบบอุปกรณ์ใช้งานติดเข้าไปในส่วนปลายหรือส่วนมือนี้เพื่อใช้ในการทำงานโดยอาจจะเป็นอุปกรณ์ที่ติดตายหรืออาจถอดเปลี่ยนได้ ก็แล้วแต่การออกแบบ ตัวอย่างของมือที่เป็นอุปกรณ์นี้มีมากมาย อาทิเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตีคูอุปกรณ์เชื่อมเฉพาะจุด (Spot Welding Gun)
 - ตีคูอุปกรณ์พ่นสี (Spray Paint Gun)
 - ตีคูอุปกรณ์สว่าน (Drilling Spindle)
- ฯลฯ

2.1.4 Direct Kinematics : The Arm Equation

แขนกลมีลักษณะเป็นวัตถุเกร็ง (Rigid body) เป็น link หลายๆ อันนำมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันโดยใช้ข้อต่อ ดังรูปที่ 2.11 ปลายข้างหนึ่งของ link ริมสุดจะติดแน่นกับฐานส่วนปลายของ link อีกอันที่อยู่คนละด้านจะเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ปลายข้างที่เคลื่อนที่นี้จะต่อเข้ากับเครื่องมือ (Tool or End – effector) ตามปกติข้อต่อ 2 ชนิดที่ใช้เชื่อมต่อ links คือข้อต่อหมุน (Revolute joint) และข้อต่อเลื่อน (Prismatic joint)



รูปที่ 2.11 แขนกลที่มีลักษณะเป็น links

จุดประสงค์คือ การควบคุมทั้งตำแหน่งและการหมุนของเครื่องมือในระนาบสามมิติ เพื่อที่โปรแกรมให้เครื่องมือเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้และใช้ในการเคลื่อนย้ายวัตถุในพื้นที่ทำงานโดยการโปรแกรมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือนี้ จำเป็นจะต้องคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้อต่อกับตำแหน่งและการหมุนของอุปกรณ์ ซึ่งเรียกว่า ปัญหา Direct Kinematics โดยนิยามดังนี้

ปัญหา Direct Kinematics คือการกำหนดเวกเตอร์ของตัวแปรข้อต่อ (Joint Variables) ของแขนกลโดยแยกตามลักษณะข้อต่อเป็น

- ข้อต่อหมุน ตัวแปรได้แก่ ค่าองศาการหมุนรอบแกนข้อต่อ
- ข้อต่อเลื่อน ตัวแปรได้แก่ ระยะการเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนข้อต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วทำการคำนวณหาตำแหน่ง (Position) และการหมุน (Orientation) ของเครื่องมือเทียบกับ
โครงฟิสิกส์ที่ติดอยู่กับฐานของแขนกล

2.2 โครงสร้างของระบบควบคุมแขนกล

สามารถแบ่งโครงสร้างของระบบออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

2.2.1 ส่วนตรวจจับ (Sensor & Encoder)

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบที่มีการป้อนกลับ ตัวตรวจจับที่ใช้กันมากในระบบควบคุมเช่น โปเทนทิโอมิเตอร์ (Potentiometer), ออปติคัล เอ็นโคเดอร์ (Optical encoder) เป็นต้น โดยสัญญาณอนาล็อกจากส่วนตรวจจับนี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล หลังจากนั้นจะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลกลางต่อไป

2.2.2 หน่วยประมวลผลกลางและควบคุม ได้แก่ คอมพิวเตอร์ (Computer) หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของแขนกล โดยหน่วยประมวลผลกลางและควบคุมนี้จะรับสัญญาณป้อนกลับจากส่วนตรวจจับมาใช้ในการประมวลผล แล้วส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของแขนกลต่อไป

2.2.3 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ เป็นวงจรที่ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้แขนกลเกิดการเคลื่อนไหว มอเตอร์จะถูกติดตั้งสำหรับควบคุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่าง ๆ ของแขนกล โดยวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์จะได้รับสัญญาณควบคุมการทำงานจากหน่วยประมวลผลกลางและควบคุม

2.3 อุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้หลักการตัดแสง (Interruption Sensor)

ส่วนประกอบที่สำคัญของตัวตรวจจับแบบนี้คือ แอลอีดีอินฟราเรด (LED Infrared) และโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) โดยจะจัดวางตำแหน่งของแอลอีดีอินฟราเรดและโฟโตทรานซิสเตอร์ให้หันหน้าเข้าหากันโดยให้มีช่องว่างแคบ ๆ ลำแสงอินฟราเรดจากแอลอีดีจะส่งผ่านช่องว่างมากระทบกับทรานซิสเตอร์ ทำให้ทำงานตลอดเวลา แต่เมื่อใดที่มีวัตถุทึบแสงมาตัดผ่านในช่องว่าง จะทำให้แสงที่กระทบกับโฟโตทรานซิสเตอร์ขาดหายไปและทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์หยุดการทำงานทันที

การใช้งานตัวตรวจจับแบบนี้จะต้องใช้ร่วมกับงานเข้ารหัสที่มีขนาดพอเหมาะและไม่บิดเบี้ยวเพื่อ เพื่อป้องกันการเสียดสีระหว่างงานเข้ารหัสและตัวตรวจจับในช่องแคบ งานเข้ารหัสที่ใช้จะเป็นวัตถุทึบแสงและมีการเจาะรูเป็นช่องเพื่อให้แสงผ่านได้เป็นช่วง ๆ การทำงานของตัวตรวจจับแบบนี้ใช้หลักการตัดแสงจะให้ความแม่นยำสูงเพราะไม่ต้องอาศัยการสะท้อนแสง แต่ก็มีข้อเสีย
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ ไม่สามารถทำงานในพื้นที่ที่มีแสงสว่างมาก ๆ ได้ เพราะแสงจากแหล่งอื่นจะตกกระทบโฟโตทรานซิสเตอร์จนไม่สามารถตรวจจับแสงได้ เพื่อแก้ไขปัญหานี้อุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้หลักการตัดแสงจะต้องมีชิลด์ (Shield) เพื่อป้องกันแสงจากแหล่งภายนอกด้วย

2.4 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(DC Motor) เป็นทรานสดิวเซอร์ (Transducer) แรงบิด ซึ่งมี การออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษ คือ แรงบิดของเพลามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ (Armature Current) แรงบิดของเพลามอเตอร์จะได้จากผล ระหว่างสนามแม่เหล็กและขอลวดตัวนำ หลักการในที่นี่กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างฟิลด์ (Field) ที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลากับกระแสเท่ากับ

$$T = K \phi I$$

เมื่อ T คือแรงบิดของเพลามีหน่วยเป็น นิวตัน - เมตร (N - m)

ϕ คือเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber)

I คือกระแส มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (Ampere)

K คือค่าคงที่

ดังนั้นแรงบิดของเพลาก็จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดโวลต์เตจ (Voltage) ตกคร่อมตัวมันเอง โวลต์เตจนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลามอเตอร์และด้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เตจย้อนกลับนี้และความเร็วของเพลามอเตอร์ คือ

$$E = K \phi \omega$$

เมื่อ E คือโวลต์เตจย้อนกลับ emf มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt)

ϕ คือเส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เวเบอร์

ω คือความเร็วของมอเตอร์ มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที (radian / sec)

K คือค่าคงที่

2.4.1 การแยกประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาร์มเจอร์ การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

ถ้าเราจะพิจารณาแยกประเภทตามลักษณะการออกแบบโครงสร้างอาร์มเจอร์สามารถแยกออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาร์มเจอร์เป็นแกนเหล็ก
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาร์มเจอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาร์มเจอร์เป็นขดลวดหมุน

นอกจากนี้ยังมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดพิเศษอีกแบบหนึ่งคือ แบบไม่มีแปรงถ่าน ซึ่งมีหลักการทางเทคโนโลยีเหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดมีแปรงถ่านยกเว้น การคอมมิวเตชัน (Commutation) กระทำโดยเทคนิคทางอิเล็กทรอนิกส์แทนที่จะกระทำโดยวิธีการทางเชิงกล

2.4.2 พื้นฐานของระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบคอนโทรลดิซิมมิลาร์ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน คือ

1. ตัวคอนโทรลเลอร์
2. วงจรไดรเวอร์หรือเพาเวอร์แอมพลิไฟ (Power Amplifier)
3. ฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์ (Feedback Transducer) หรือเซ็นโสดเซอร์
4. ดิซิมมิลาร์และโหลด (Load)

ตัวคอนโทรลเลอร์ เป็นส่วนของระบบที่ทำให้เกิดสัญญาณคอนโทรลไปยังดิซิมมิลาร์และโหลด คอนโทรลเลอร์ที่ให้สัญญาณคอนโทรลเป็นสัญญาณอนาลอก เราเรียกว่าอนาลอกคอนโทรลเลอร์ (Analog Controller) ส่วนคอนโทรลเลอร์ที่ให้สัญญาณคอนโทรลเป็นสัญญาณดิจิทัล เราเรียกว่าดิจิทัลคอนโทรลเลอร์ (Digital Controller)

วงจรไดรเวอร์ (Driver) เป็นส่วนประกอบของระบบที่อยู่ระหว่างตัวคอนโทรลเลอร์กับดีซีมอเตอร์และโหลด มีหน้าที่ปรับรูปและขยายสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะป้อนเข้าไปขับดีซีมอเตอร์และโหลดวงจรไดรเวอร์ส่วนใหญ่ ได้แก่ เพาเวอร์แอมพลิไฟซึ่งอาจแบ่งย่อยออกเป็นลิเนียร์เพาเวอร์แอมพลิไฟ (Linear Power Amplifier) และพัลส์วิดโมดูเลชันแอมพลิไฟ (PWM Amplifier)

ฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์หรือเอ็นโคดเดอร์ เป็นส่วนที่รับรู้หรือดีเท็คสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการ โดยไม่มีผลของการโหลดคิง (Loading) สัญญาณที่ดีเท็คได้นี้จะป้อนกลับไปเปรียบกับสัญญาณอ้างอิงเพื่อให้ได้สัญญาณเออเรอร์ (Error) ฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ อนุลอกทรานสดิวเซอร์ (Analog Transducer) คือสิ่งประดิษฐ์ใช้เปลี่ยนพลังงานรูปหนึ่งให้เป็นสัญญาณอนุลอก ได้แก่ ทาโคเซนเซอร์ โพเทนทิโอมิเตอร์ เป็นต้น ส่วนฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์อีกแบบหนึ่งคือดิจิตอลทรานสดิวเซอร์ (Digital Transducer) เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานรูปหนึ่งให้เป็นสัญญาณดิจิตอล

ดีซีมอเตอร์และโหลด คือระบบที่ถูกคอนโทรลหรือส่วนที่ออกแรงทำงานซึ่งจะเป็นเครื่องจักรกล (ดีซีมอเตอร์) หรืออะไรก็ตามที่ให้ตัวแปร ดีซีมอเตอร์ในที่นี้เป็นแบบแม่เหล็กถาวรที่มีคุณสมบัติการทำงานสูง มีอาร์เมเจอร์อินดักแต้นซ์และแรงเฉื่อยของโรเตอร์ต่ำ

2.4.3 ลักษณะการควบคุมของระบบดีซีมอเตอร์

ระบบการคอนโทรลดีซีมอเตอร์สามารถที่จะจำแนกลักษณะการคอนโทรลออกได้เป็น 2 แบบ คือระบบอนุลอกคอนโทรลและระบบดิจิตอลคอนโทรล ในโครงการนี้ใช้ลักษณะการควบคุมแบบดิจิตอล จึงขออธิบายแต่ระบบดิจิตอลคอนโทรล

ระบบดิจิตอลคอนโทรล

ระบบดิจิตอลคอนโทรล คือ ระบบที่คอนโทรลเลอร์มีฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์เป็นดิจิตอลทรานสดิวเซอร์ซึ่งสามารถวัดค่าไดนามิกควาเรียเบิล (Dynamic Variable) ออกเป็นสัญญาณดิจิตอลหรือในรูปของสัญญาณแอนโคดคิงของไบนารี (Binary Encoding) คือ สัญญาณเอาต์พุตของดิจิตอลทรานสดิวเซอร์จะเป็นโค้ดไบนารีป้อนกลับไปยังตัวดิจิตอลคอนโทรลเลอร์เพื่อคอนโทรลให้คุณสมบัติการทำงานของระบบเป็นไปตามที่ต้องการ

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมของระบบดิจิทัลคือซีมเตอร์คอนโทรลมีดังนี้

- เครื่องจักรกล NC
- หุ่นยนต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม
- ระบบการป้องกันกระดาษของไลน์ปรีนเตอร์
- อินคริเม้นท์เทปเร็คคอร์ดเดอร์
- เครื่องอ่านและปรูเทป
- เครื่องอ่านและปรูคาร์ด
- ระบบการขับเคลื่อนเทปในเครื่องคอมพิวเตอร์
- คอนโทรลเครื่องในเวิร์คโพรเซสเซอร์
- คอนโทรลถือพิมพ์ในเวิร์คโพรเซสเซอร์
- แร็นคัมแอ็คเซ็คติสค์เอ็มโมรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โครงสร้างและการออกแบบ

3.1 โครงสร้างและการออกแบบทางกล

แขนกลที่ประกอบขึ้นในการทดลองนี้เป็นแขนกลแบบอาร์คิอูเดด แต่ฐานของแขนกลไม่สามารถเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนและข้อมือไม่สามารถเคลื่อนที่ในลักษณะสกรูได้ ดังนั้นจะมีการเคลื่อนที่ 3 ดีกรีออฟฟรียดอม (ไม่รวมกริปเปอร์) การทำงานของแขนกลจึงทำงานในลักษณะระนาบที่ตั้งฉากกับพื้นได้เพียงระนาบเดียว โดยมีคันท้ำกำลังมาจากดีซีมอเตอร์ 3 ตัว และใช้โซลินอยด์ (Solinoid) 1 ตัวเพื่อควบคุมการบีบของมือ

สำหรับวัสดุที่ใช้ในการประกอบแขนกลจะใช้อลูมิเนียม เหล็ก และพลาสติกอาคิลิกในแต่ละตำแหน่งตามความเหมาะสมในการรับแรงและวัสดุที่หาได้ ที่ข้อต่อแต่ละช่วงจะมีการติดตั้งลูกปืนแบริ่งเพื่อให้การหมุนของแขนมีความเป็นอิสระ ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ใช้ในการประกอบแขนกลประกอบด้วย

- โช้ความยาวต่าง ๆ และเฟืองโช้ขนาดต่าง ๆ
- ดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร
- เฟือง โช้แบบที่มีระยะพิท 0.2 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่าง ๆ
- ลิมิทสวิตช์ (Limit Switch) 3 ตัว ใช้เพื่อจำกัดขอบเขตการเคลื่อนที่ของแขนกล
- โซลินอยด์ 1 ตัว ใช้ในการบีบจับของมือ

ในการออกแบบแขนกลสามารถแบ่งรายละเอียดออกเป็น 3 ส่วน คือ

3.1.1 การออกแบบโครงสร้างส่วนฐาน

โครงสร้างส่วนฐานมีโครงสร้างที่ทำจากเหล็กหนาขนาด 3 มิลลิเมตรประกอบเป็นส่วนฐานและใช้เหล็กฉากขนาดต่าง ๆ เพื่อยกมอเตอร์ขึ้นติดตั้งในตำแหน่งที่ต้องการ ภายในส่วนฐานจะประกอบด้วยมอเตอร์ 3 ตัว และชุดเฟืองขับ เฟืองโช้ และโช้สำหรับส่งกำลัง 3 ชุด เพื่อขับเคลื่อนแขนท่อนล่าง แขนท่อนบน และการเคลื่อนที่ขึ้นลงของส่วนของกริปเปอร์ โดยการขับเคลื่อนแขนท่อนล่างจะส่งกำลังโดยใช้เฟืองขับที่มีอัตราทด 1:2.2 (เฟืองขนาด 30 ฟันต่อ 68 ฟัน) ในการขับเคลื่อนแขนท่อนบนจะส่งกำลังผ่านแขนท่อนล่าง โดยใช้เฟืองขับและเฟืองโช้ประกอบกัน เฟืองขับมีอัตราทด 1:2.1 (เฟืองขนาด 30 ฟันต่อ 65 ฟัน) ส่วนการขับเคลื่อนกริปเปอร์จะใช้เฟืองโช้ในการส่งกำลังผ่านแขนท่อนล่างและแขนท่อนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

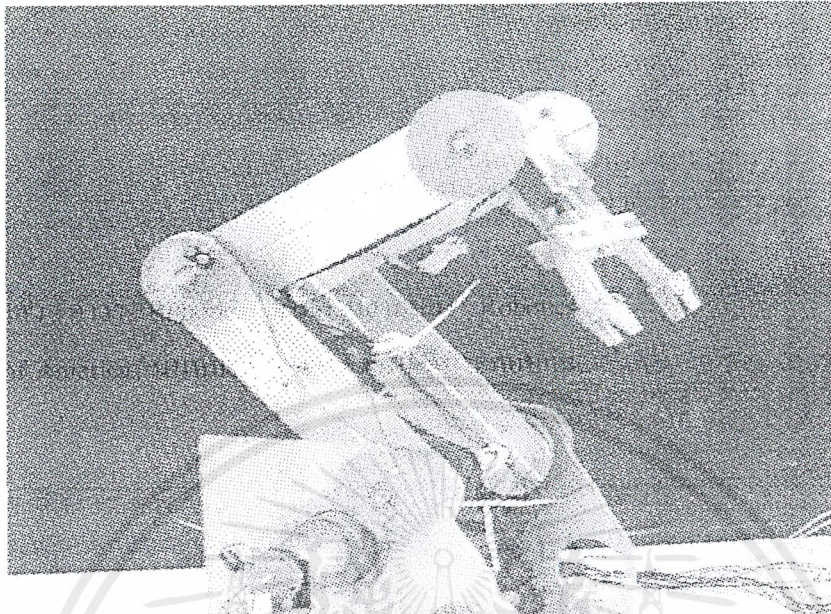
3.1.2 การออกแบบโครงสร้างส่วนแขน

โครงสร้างส่วนแขนจะทำจากอลูมิเนียมเพื่อให้มีน้ำหนักเบา โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมหนาขนาด 3 มิลลิเมตร โครงสร้างส่วนแขนจะแบ่งออกเป็นแขนท่อนบนและแขนท่อนล่าง โดยแขนท่อนล่างจะมีชุดเฟืองโซ่และโซ่ส่งกำลังไปขับเคลื่อนแขนท่อนบน และมีชุดส่งกำลังไปยังแขนท่อนบน และแขนท่อนบนจะมีชุดส่งกำลังไปขับเคลื่อนกริปเปอร์ขึ้นลง

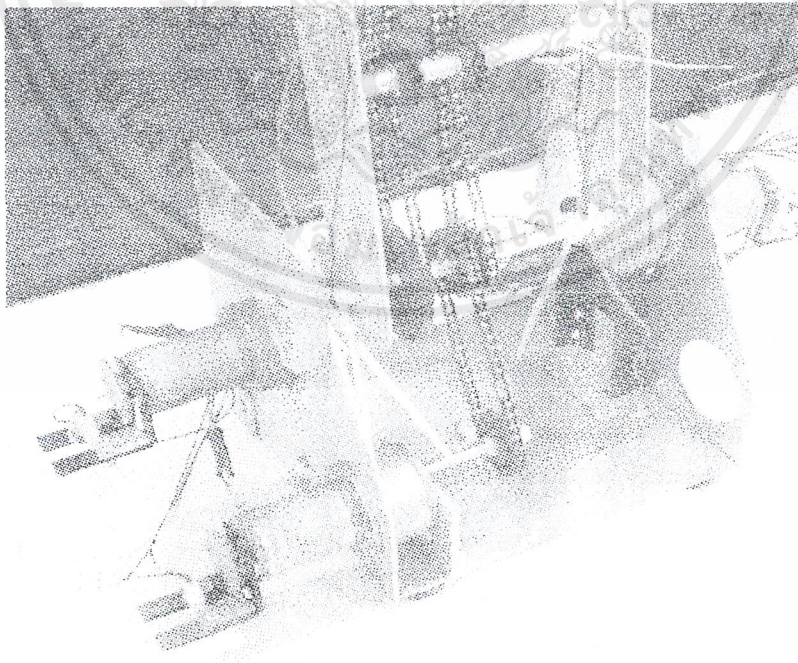
3.1.3 การออกแบบโครงสร้างส่วนกริปเปอร์

โครงสร้างส่วนกริปเปอร์จะทำจากพลาสติกมีลักษณะดังรูปที่ 3.5 โดยกริปเปอร์จะทำงานในลักษณะบีบจับชิ้นงาน การบีบตัวของกริปเปอร์จะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแกนโซลินอยด์ในลักษณะดึงเข้าเมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าและการคลายตัวของกริปเปอร์จะเกิดจากการเคลื่อนที่ในลักษณะดันออกเมื่อหยุดป้อนกระแสไฟฟ้า (แกนโซลินอยด์จะถูกดันออกด้วยสปริง) โดยที่กริปเปอร์ของแขนกลนี้ไม่สามารถควบคุมแรงบีบได้ จะมีน้ำหนักในการบีบค่าหนึ่ง ดังนั้นจะใช้ในการบีบจับวัตถุที่มีลักษณะแข็งและไม่เปลี่ยนรูปได้เท่านั้น



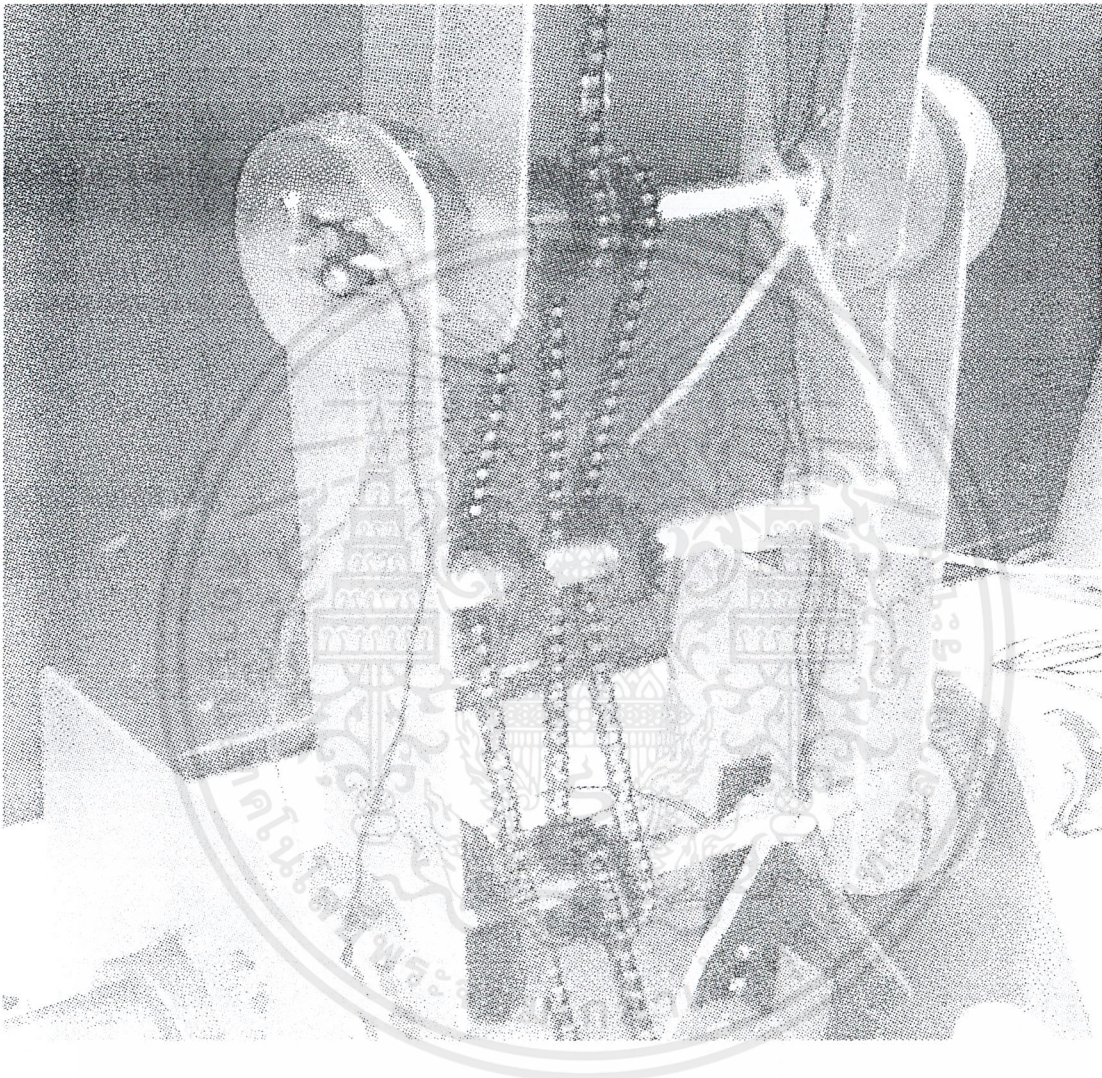


รูปที่ 3.1 ลักษณะโครงสร้างของแชนกล



รูปที่ 3.2 ลักษณะโครงสร้างส่วนฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



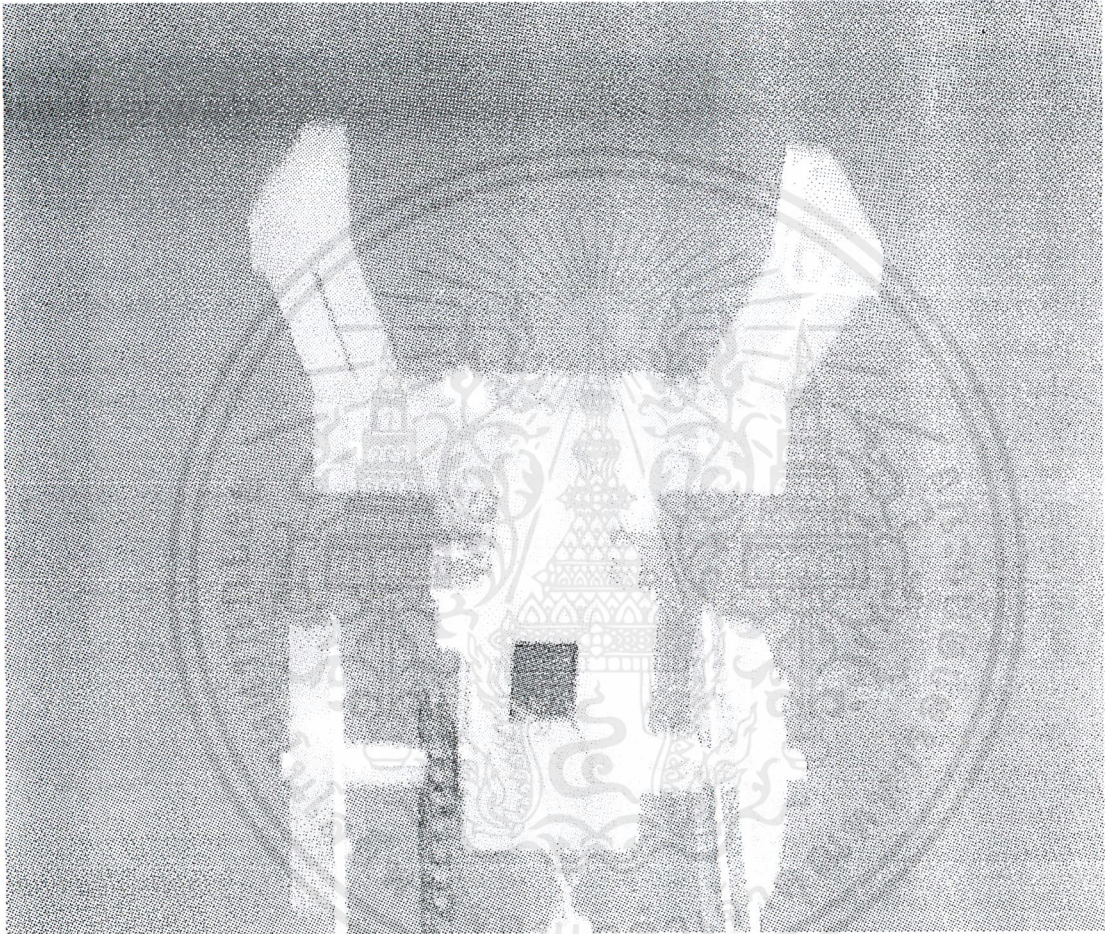
รูปที่ 3.3 ลักษณะ โครงสร้างของแขนส่วนล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ลักษณะ โครงสร้างของแขนส่วนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ลักษณะ โครงสร้างของกริปเปอร์

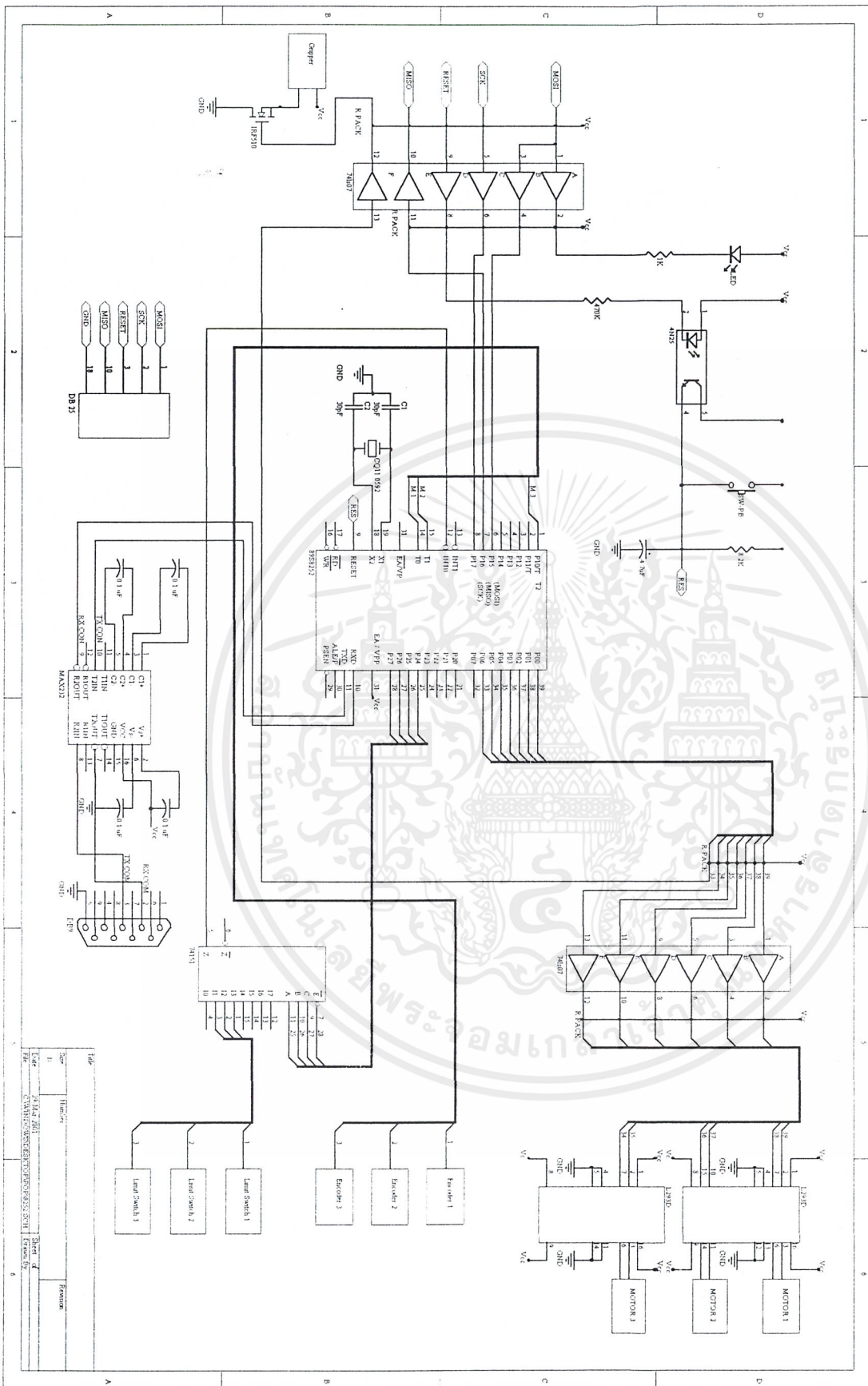
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 โครงสร้างและการออกแบบส่วนอิเล็กทรอนิกส์

3.2.1 วงจรควบคุมการทำงาน

เป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของแขนกล โดยควบคุมมุมและทิศทางการทำงานของมอเตอร์ ตัวคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานใช้เบอร์ AT89S8252 โดยจะส่งสัญญาณควบคุมการทำงานของดีซีมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว ทางพอร์ตขนาน (Parallel Port) ที่บิต P0.0 ถึง บิต P0.5 โดยบิต P0.0 และ P0.1 ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ตัวที่ 1 ที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนแขนท่อนล่าง บิต P0.2 และ P0.3 ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ตัวที่ 2 ที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนแขนท่อนบน บิต P0.4 และ P0.5 ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ตัวที่ 3 ที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนกริปเปอร์ และสัญญาณควบคุมการบีบจับของมือที่บิต P0.6 โดยสัญญาณควบคุมทั้งหมดจะต้องผ่านบัฟเฟอร์ (Buffer) เบอร์ 74ls07 เพื่อส่งสัญญาณไปยังวงจรขับมอเตอร์และควบคุมการบีบจับต่อไป

เนื่องจากการควบคุมการทำงานของแขนกลนี้จะมีการรับค่าสัญญาณป้อนกลับสำหรับการนับจากเอ็นโคเดอร์และค่าอินเทอร์รัปต์จากลิมิตสวิทช์อย่างละ 3 ค่า โดยที่ตัวคอนโทรลเลอร์จะมีไทเมอร์เคานเตอร์ (Timer / Counter) 3 ตัวซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน แต่คอนโทรลเลอร์สามารถรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกได้เพียง 2 ค่า ดังนั้นจึงใช้วิธีการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่ละตัว เพื่อให้แขนกลทำงานทีละส่วน (แขนท่อนบน, แขนท่อนล่าง และกริปเปอร์) โดยใช้ดาต้าซีเล็คเตอร์ (Data Selector) เบอร์ 74ls151 เพื่อรับสัญญาณจากลิมิตสวิทช์มาทำงานทีละค่าตามส่วนของแขนกลที่ทำงาน คอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณเลือกจากพอร์ตขนาน บิต P2.5 ถึง P2.7 ไปยังดาต้าซีเล็คเตอร์ เพื่อเลือกสัญญาณ 1 ใน 3 จากลิมิตสวิทช์

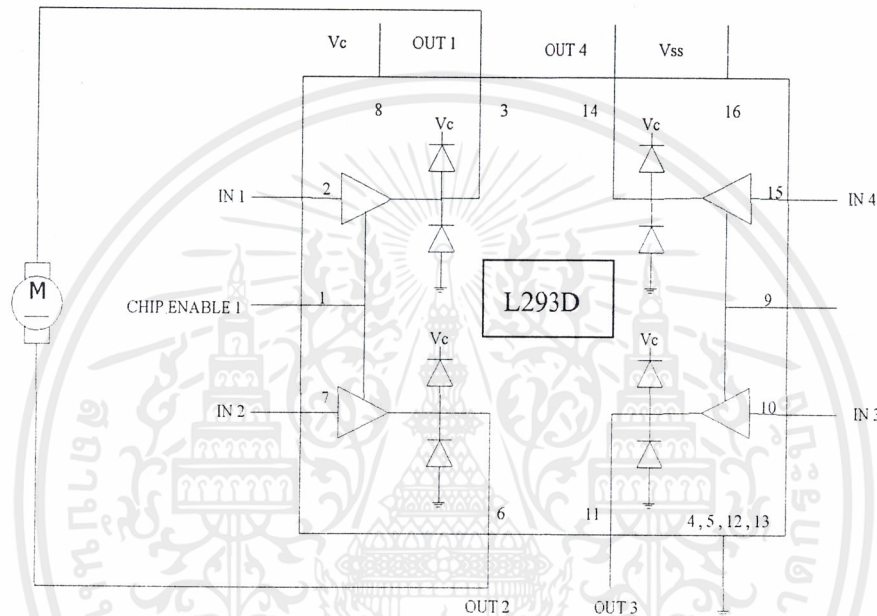


รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วงจรขับมอเตอร์

วงจรที่ใช้ขับเคลื่อนและควบคุมทิศทางมอเตอร์ในการทดลองนี้จะใช้ไอซีเบอร์ L293D (Push-Pull Four Channel Driver With Diodes) ซึ่งเป็นวงจร Driver โดยที่ไอซี 1 ตัวจะมี 4 channel นำ 2 channel มาต่อเป็นวงจรบริดจ์กับมอเตอร์มีลักษณะดังรูปที่ 3.7 โดยที่ภายในไอซีจะมีแคตมปีไดโอดต่ออยู่แล้ว

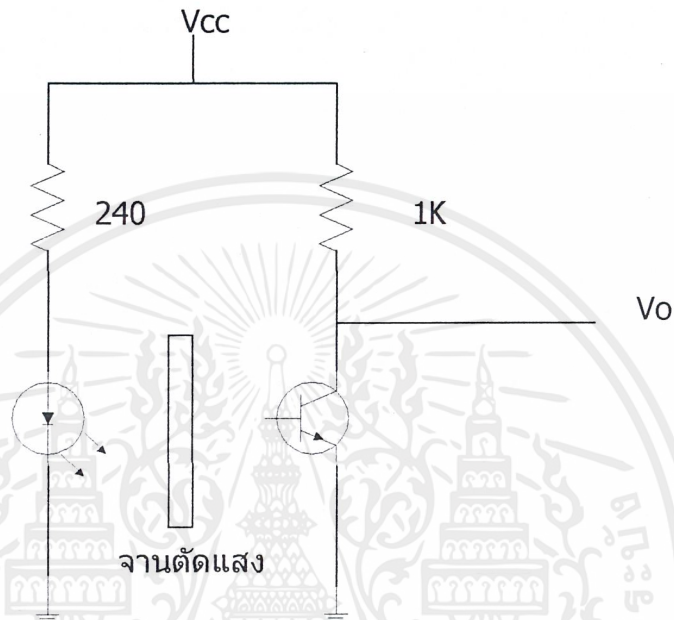


รูปที่ 3.7 วงจรขับมอเตอร์ที่ใช้ไอซีเบอร์ L293D

จากรูปที่ 3.7 เมื่อมีสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีสถานะสูงมาที่ขา 2 ของไอซี และที่ขา 7 มีสถานะต่ำจะทำให้มีแรงดันตกคร่อมมอเตอร์มีค่าเท่ากับ V_c และเมื่อมีสัญญาณสถานะสูงมาที่ขา 2 และที่ขา 7 มีสถานะต่ำจะทำให้แรงดันตกคร่อมมอเตอร์ $-V_c$ ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตรงกันข้ามกับกรณีแรก แต่ในกรณีที่สัญญาณที่ขาทั้งสองมีสถานะเหมือนกันไม่ว่าจะเป็นสถานะสูงหรือต่ำ แรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์จะเป็นศูนย์ ทำให้มอเตอร์ไม่หมุน

3.2.3 วงจรเอ็นโคเดอร์ (Encoder)

วงจรเอ็นโคเดอร์ที่ใช้ในการวัดจำนวนรอบของมอเตอร์ เพื่อบอกตำแหน่งของแกนกลในแกนต่าง ๆ ในการทดลองนี้ใช้วงจรเอ็นโคเดอร์ที่ใช้หลักการตัดแสง โดยวงจรมีประกอบด้วย แอลอีดีอินฟราเรดและโฟโตทรานซิสเตอร์และตัวต้านทานต่อลักษณะดังรูปที่ 3.8



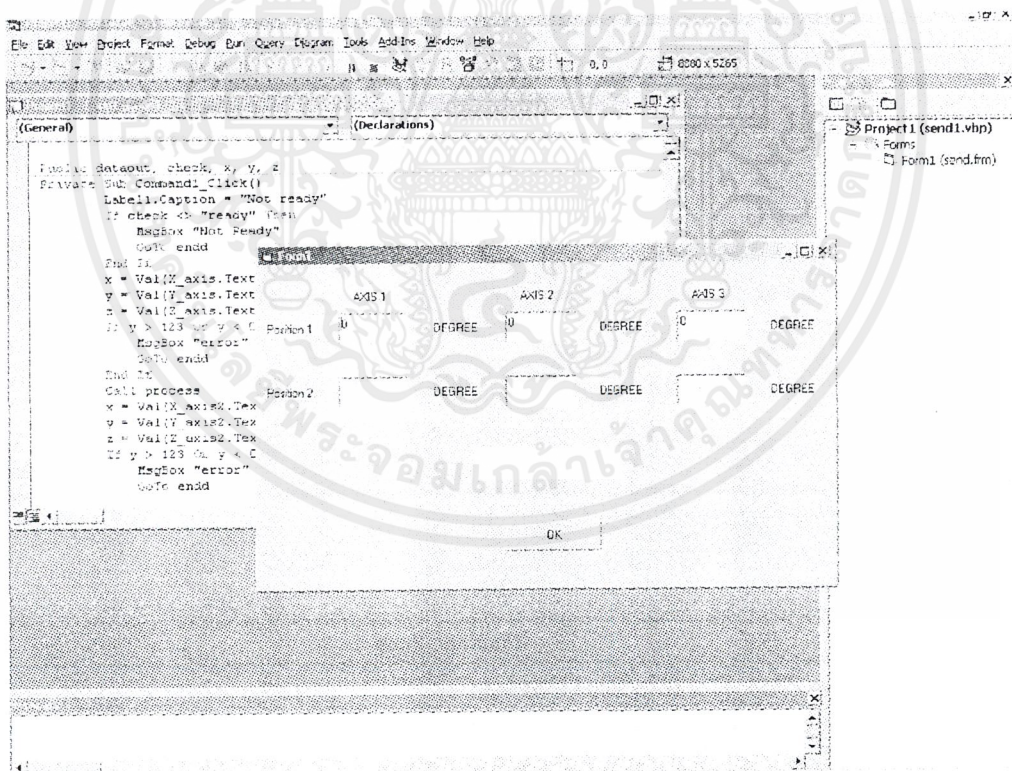
รูปที่ 3.8 วงจรเอ็นโคเดอร์

เมื่อจานกั้นแสงตัดผ่านช่องว่างระหว่างแอลอีดีอินฟราเรดและโฟโตทรานซิสเตอร์ แสงจากแอลอีดีอินฟราเรดจะถูกกั้นทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน ค่า V_o ที่ได้จะมีค่าเท่ากับ V_{cc} แต่เมื่อจานกั้นแสงหมุนไปจนถึงบริเวณที่ยอมให้แสงจากแอลอีดีอินฟราเรดสามารถผ่านไปกระทบกับโฟโตทรานซิสเตอร์ได้ โฟโตทรานซิสเตอร์จะทำงานทำให้ค่า V_o ที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 0 V . ดังนั้นเมื่อจานกั้นแสงที่มีการเจาะรูหมุนตัดผ่านช่องว่างจะทำให้เกิดพัลส์สัญญาณที่มีจำนวนขึ้นอยู่กับการรอบของมอเตอร์ที่หมุนไป จึงนำค่าที่ได้ไปใช้ในการควบคุมจำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์

3.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานและส่วนติดต่อกับผู้ใช้

โปรแกรมสำหรับการควบคุมการทำงานของแขนกลในการทดลองนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ โปรแกรมที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้เพื่อกำหนดค่าการทำงานที่ต้องการผ่านทางคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกล โดยโปรแกรมที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้จะใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก (Visual Basic) ในการเขียนโปรแกรม ส่วนโปรแกรมควบคุมการทำงานของแขนกลจะทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นจะเขียนเป็นภาษาแอสเซมบลีของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252

รูปแบบของโปรแกรมที่ออกแบบสำหรับติดต่อกับผู้ใช้จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.9 โดยที่ POINT 1 จะแทนตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการจะหยิบจับ POINT 2 จะแทนตำแหน่งที่ต้องการจะวางวัตถุ ในแต่ละช่องของ POINT 1 และ POINT 2 จะประกอบด้วย AXIS 1 คือค่ามุมที่ต้องการให้แขนท่อนล่างหรือแกน 1 เคลื่อนที่ไป AXIS 2 คือค่ามุมที่ต้องการให้แขนท่อนบนหรือแกน 2 เคลื่อนที่ไป AXIS 3 คือค่ามุมที่ต้องการให้ส่วนของกริปเปอร์เคลื่อนที่ไป



รูปที่ 3.9 ส่วนโปรแกรมวิซวลเบสิก

โปรแกรมนี้จะรับค่าที่ได้จากการกำหนดโดยผู้ใช้ แล้วนำมาประมวลผลเพื่อให้ได้จำนวนสัญญาณพัลส์ที่ต้องการในแต่ละแกนและแต่ละตำแหน่ง หลังจากนั้นจะส่งค่าจำนวนพัลส์ที่ได้ผ่านทางพอร์ตอนุกรมไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกล

ในส่วนโปรแกรมสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีส่วนที่ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม เมื่อได้รับข้อมูลที่จำเป็นมาทั้งหมดแล้ว โปรแกรมจะไปทำงานในส่วนควบคุมการเคลื่อนที่

ในการรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องต่อสัญญาณเข้ากับ RX และ TX โดยที่ขา RX ใช้ในการรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ และขา TX ใช้ในการส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ สำหรับอัตราในการรับส่งข้อมูล (Baud Rate) จะใช้ค่า 9600 โดยทำงานในโหมด 0 (8-Bit Shift Register) โดยค่าเหล่านี้จะต้องกำหนดไว้ภายในโปรแกรมที่ใช้สำหรับควบคุมการรับส่งข้อมูล



บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

ในการทำงานของแขนกลในการทดลองนี้ แขนกลจะทำงานในระนาบเดียว โดยเป็นระนาบที่ตั้งฉากกับพื้น โปรแกรมที่เขียนขึ้นสำหรับการควบคุมการทำงานจะรับค่ามุมที่ต้องการให้แก่แต่ละแกนของแขนกลเคลื่อนที่จากผู้ใช้ หลังจากนั้นแขนกลจะทำงานโดยเริ่มจากจะเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงก่อนถ้าตำแหน่งเริ่มต้น ไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งอ้างอิง แขนกลจะเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งที่ 1 ที่ผู้ใช้กำหนดค่าไว้แล้วจะบีบจับวัตถุที่ตำแหน่งนี้ ก่อนที่แขนกลจะเคลื่อนที่ไปวางวัตถุที่ตำแหน่งที่ 2 แขนกลจะเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงก่อนเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ไปตำแหน่งที่ 2 มีความผิดพลาดมาก เนื่องจากที่ตำแหน่งที่ 1 จะมีความผิดพลาดของตำแหน่งอยู่ก่อนแล้ว เมื่อแขนกลเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งที่ 2 และวางวัตถุแล้ว จะเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิง เพื่อรอกการทำงานต่อไป

โดยการใส่ค่ามุมของแขนแต่ละท่อนในตารางโปรแกรมการทำงานดังรูปที่ 4.1 เพื่อดูการทำงานของแขนกล โดยเฉพาะแขนท่อนที่ 2 ลองใส่ค่ามุมที่มากกว่า 33 องศาและน้อยกว่า 33 องศาการทำงานจะต้องไม่เหมือนกันเพื่อป้องกันความเสียหายของแขนกล

	AXIS 1	AXIS 2	AXIS 3	
Position 1	0	0	0	DEGREE
Position 2				DEGREE

OK

รูปที่ 4.1 โปรแกรมรับค่ามุมของแขนแต่ละท่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

ในขั้นต้นของการทดลองได้มีการออกแบบแขนกลให้เป็นแบบ อาร์ติคูลेटโรบอท แต่เนื่องจากมีชิ้นส่วนบางส่วนที่ไม่สามารถจัดหาได้ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงแบบของแขนกล แขนกลที่จัดสร้างขึ้นจะไม่สามารถหมุนส่วนฐานได้และที่มีข้อจับไม่สามารถหมุนในลักษณะสกรูได้

มอเตอร์ที่ใช้จะมีเฟืองทดในตัว ทุกตัวมีอัตราทดรอบแกนต่อรอบมอเตอร์เท่ากับ 1 ต่อ 108.85 และวงจรเอนโคเดอร์จะให้สัญญาณพัลส์ 4 พัลส์ต่อรอบมอเตอร์ ในแต่ละแกนจะมีลักษณะดังนี้

1. แขนท่อนล่างหรือแกน 1 มีอัตราทดเฟืองขับ 1 : 2.2 ดังนั้น จำนวนสัญญาณพัลส์ต่อการหมุนแกน 1 รอบเท่ากับ $4 * 108.85 * 2.2 = 986.88$ พัลส์ หรือ สัญญาณ 1 พัลส์จะทำให้แกน 1 หมุนไป $360 / 986.88 = 0.36$ องศา หรือ 1 องศาต่อ 2.74 พัลส์
2. แขนท่อนบนหรือแกน 2 มีอัตราทดเฟืองขับ 1 : 2.1 ดังนั้น จำนวนสัญญาณพัลส์ต่อการหมุนแกน 1 รอบเท่ากับ $4 * 108.85 * 2.1 = 943.34$ พัลส์ หรือ สัญญาณ 1 พัลส์จะทำให้แกน 2 หมุนไป $360 / 943.34 = 0.38$ องศา หรือ 1 องศาต่อ 2.62 พัลส์
3. ส่วนกริปเปอร์หรือแกน 3 มีอัตราทดเฟืองขับ 1 : 1 ดังนั้น จำนวนสัญญาณพัลส์ต่อการหมุนแกน 1 รอบเท่ากับ $4 * 108.85 = 435.39$ พัลส์ หรือ สัญญาณ 1 พัลส์จะทำให้แกน 2 หมุนไป $360 / 435.39 = 0.82$ องศา หรือ 1 องศาต่อ 1.21 พัลส์

จากการทดลองกำหนดค่ามุมการเคลื่อนที่ของแกนต่าง ๆ พบว่าแขนกลสามารถเคลื่อนที่ตามโปรแกรมการทำงานที่ได้กำหนดไว้ได้ถูกต้องขั้นตอน แต่ในมุมการเคลื่อนที่ที่แขนกลเคลื่อนที่ไปยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่พบความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่มีสาเหตุมาจาก

1. เนื่องจากแขนกลทำและประกอบขึ้นด้วยมือทั้งหมด ทำให้มีความผิดพลาดของการประกอบเกิดขึ้น เช่น โช้ที่ใช้ส่งกำลังไม่ถึง การสีกกร่อนของวัสดุเนื่องจากการถอดประกอบ รูที่เจาะสำหรับใส่น็อตยึดไม่ตรง ฯ
2. เนื่องจากไม่ได้มีการป้อนแรงดันให้กับมอเตอร์ในขณะที่แกนหยุดนิ่ง ทำให้น้ำหนักของแขนและวัตถุที่หิบบจับมีผลต่อตำแหน่งของปลายกริปเปอร์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษา ทดลองและจัดสร้าง โครงการนี้แบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนโครงสร้าง และการออกแบบทางกล ส่วนโครงสร้างและการออกแบบทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และส่วน โปรแกรมควบคุมการทำงาน,รูปแบบการทำงานของแขนกล

ส่วนโครงสร้างและการออกแบบทางกล สร้างขึ้นจากวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ตามความเหมาะสมและจากที่สามารถหาได้ โดยประกอบด้วย

1. ส่วนของกริปเปอร์ ใช้พลาสติกอะคริลิกประกอบขึ้นเป็นกริปเปอร์ บีบจับโดยโซลินอยด์ ปัญหาที่พบคือ พลาสติกไม่มีความทนทานมาก ทำให้รับแรงในการบีบได้ไม่มาก และความคิดพลาดทางกลในการสร้าง ทำให้โครงสร้างมีลักษณะที่ไม่เที่ยงตรง
2. แขนและฐาน ใช้แผ่นเหล็กและอลูมิเนียมประกอบเป็นโครงสร้าง โดยโครงสร้างไม่ซับซ้อน แต่ก็ประสบปัญหาในด้านอุปกรณ์ในการสร้าง และความไม่เที่ยงตรงของงานที่ทำได้
3. ส่วนประกอบทางกลอื่น ๆ เช่น เฟือง,สายพาน มักจะหาขนาดที่ต้องการไม่ได้และหาซื้อได้ยาก ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงแบบทางกลที่ออกแบบไว้ โดยเฉพาะเฟืองขนาดใหญ่ที่ใช้สำหรับการหมุนแขนกลส่วนฐานไม่สามารถหาได้ ทำให้แขนกลไม่สามารถหมุนแกนฐานได้

ส่วนโครงสร้างและการออกแบบทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย

1. ดีซีมอเตอร์ โดยปัญหาที่พบคือไม่สามารถหามอเตอร์แบบที่มีเอ็นโคเดอร์ในตัวได้ และมอเตอร์หาซื้อได้ยาก
2. เซ็นเซอร์และวงจรเอ็นโคเดอร์ เลือกใช้เซ็นเซอร์ที่ใช้หลักการตัดแสง เนื่องจากอุปกรณ์มีราคาถูก ปัญหาที่พบคือต้องติดจานตัดแสงกับมอเตอร์ที่ยังไม่ได้ห่อหุ้มแต่ มอเตอร์ที่สามารถหาได้ไม่มีแกนให้ติดจานตัดแสงจึงต้องใช้วัสดุอื่นติดเข้ากับแกนและใส่จานเข้าไป ทำให้จานตัดแสงหมุนได้ไม่ตรงเท่าที่ควร
3. วงจรควบคุมต่าง ๆ ได้แก่วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับมอเตอร์ ปัญหาที่พบคือ การต่อวงจรที่ผิดพลาด ทำให้การทำงานล่าช้า

5.2 แนวทางในการพัฒนา

1. ที่มุมที่ต่างกันของแกนกลจะใช้กำลังในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันถ้าพัฒนาให้สามารถควบคุมการหมุนของมอเตอร์แบบ PWM จะสามารถควบคุมแรงของมอเตอร์ที่มุมต่าง ๆ ได้
2. การเพิ่มแกนการทำงานให้มากขึ้นจะสามารถเคลื่อนที่ในลักษณะที่แตกต่างกันได้มากขึ้น ซึ่งประโยชน์ในการทำงานจะมากขึ้น
3. พัฒนาให้สามารถควบคุมแรงในการบีบจับของกริปเปอร์
4. พัฒนาส่วนของโปรแกรมให้สามารถทำงานได้หลากหลายขึ้น เช่นกำหนดตำแหน่งที่ต้องการเป็นพิกัด X, Y, Z



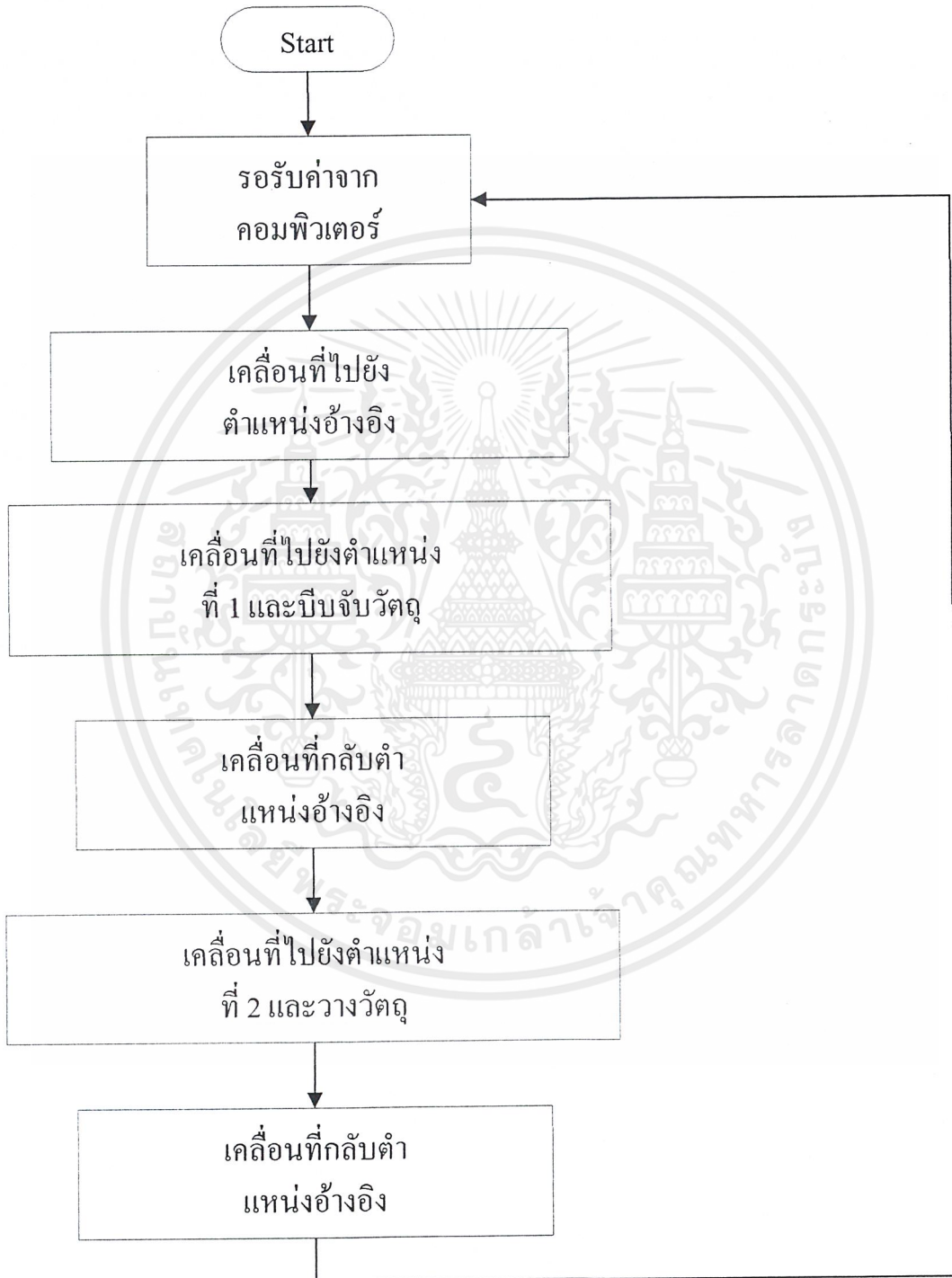


ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

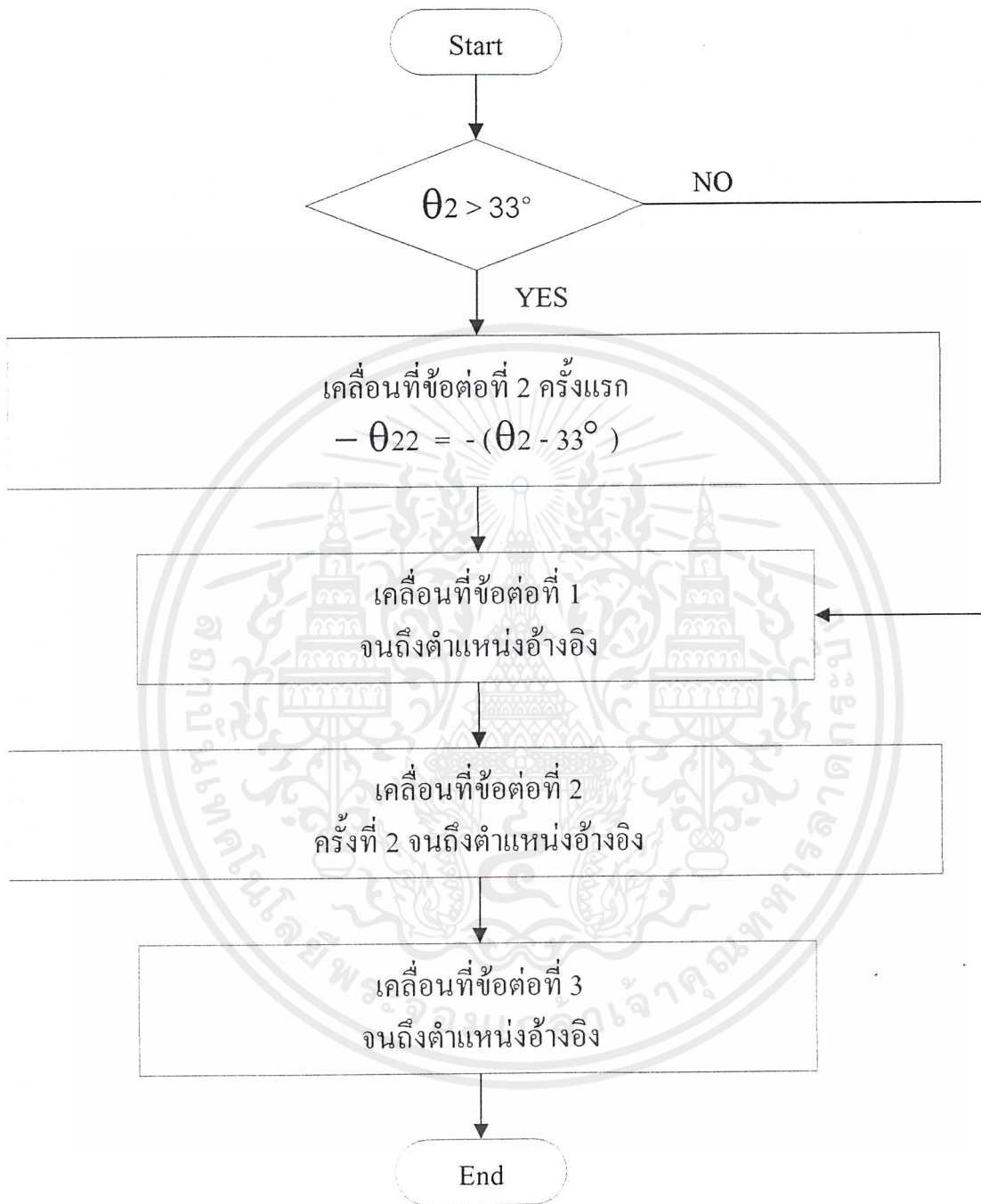
ภาคผนวก ก.

Flowchart แสดงการทำงานของแขนกล

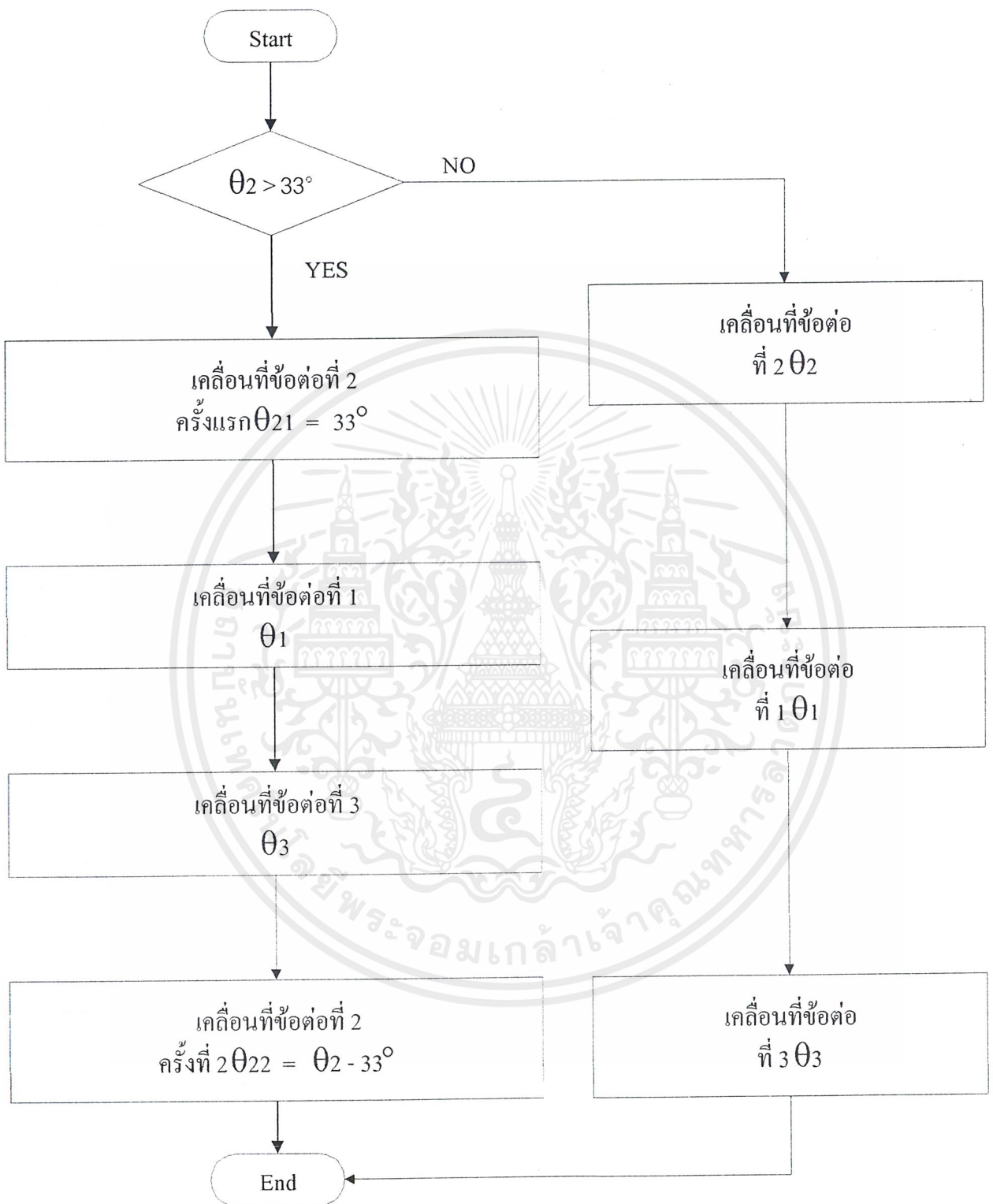


Flowchart โปรแกรมการทำงานหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Flowchart โปรแกรมย่อย การเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิง



Flowchart โปรแกรมย่อย การเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง (เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด)

1. แขนท่อนล่าง

ครั้งที่	มุม 30องศา	% Error	มุม 60องศา	% Error	มุม 90องศา	% Error
1	32	6.66	67	11.66	98	8.88
2	32	6.66	67	11.66	97	7.77
3	33	10	67	11.66	97	7.77
4	34	13.33	69	15	100	11.11
5	32	6.66	67	11.66	97	7.77
6	32	6.66	68	13.33	98	8.88
7	30	0	65	8.33	96	6.66
8	31	3.33	66	10	97	7.77
9	29	3.33	65	8.33	97	7.77
10	29	3.33	65	8.33	96	6.66
ค่าเฉลี่ย	31.4	5.996	66.6	10.996	97.3	8.1

2. แขนท่อนบน

ครั้งที่	มุม 30องศา	% Error	มุม 60องศา	% Error	มุม 90องศา	% Error
1	31	3.33	60	0	93	3.33
2	30	0	61	3.33	92	2.22
3	31	3.33	61	3.33	92	2.22
4	31	3.33	60	0	93	3.33
5	30	0	60	0	93	3.33
6	32	6.66	62	6.66	92	2.22
7	32	6.66	61	3.33	92	2.22
8	31	3.33	62	6.66	91	1.11
9	31	3.33	62	6.66	94	4.44
10	30	0	62	6.66	92	2.22
ค่าเฉลี่ย	30.9	2.997	61.1	3.663	92.4	2.664

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.กริปเปอร์

ครั้งที่	มุม 30องศา	% Error	มุม 60องศา	% Error	มุม 90องศา	% Error
1	32	6.66	64	6.66	85	5.55
2	33	9.99	62	3.33	85	5.55
3	33	9.99	66	10	85	5.55
4	35	16.66	63	5	84	6.66
5	32	6.66	63	5	85	5.55
6	33	9.99	64	6.66	84	6.66
7	32	6.66	64	5	85	5.55
8	33	9.99	63	5	85	5.55
9	34	13.33	64	6.66	84	6.66
10	35	16.66	65	8.33	84	6.66
ค่าเฉลี่ย	33.2	10.659	63.8	6.164	84.6	5.994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

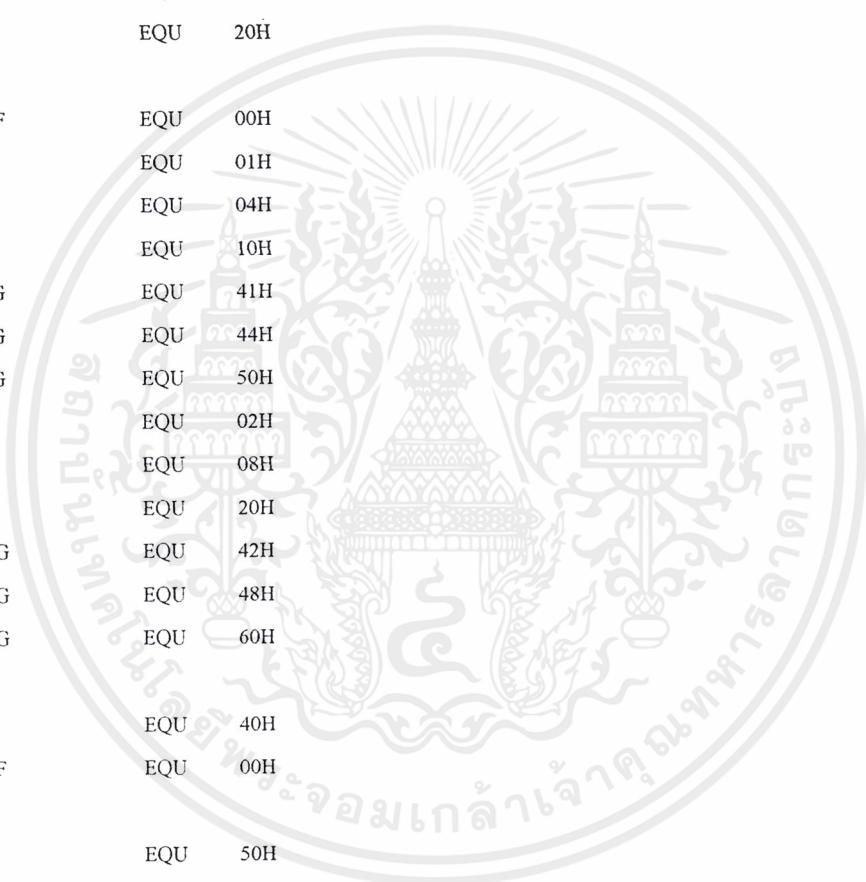


ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

LPORT	EQU	0A0H
MPORT	EQU	80H
INTBIT	EQU	00H
LOFF	EQU	80H
LIM1	EQU	00H
LIM2	EQU	10H
LIM3	EQU	20H
MOFF	EQU	00H
M1F	EQU	01H
M2F	EQU	04H
M3F	EQU	10H
M1FG	EQU	41H
M2FG	EQU	44H
M3FG	EQU	50H
M1B	EQU	02H
M2B	EQU	08H
M3B	EQU	20H
M1BG	EQU	42H
M2BG	EQU	48H
M3BG	EQU	60H
GON	EQU	40H
GOFF	EQU	00H
A1H	EQU	50H
A1L	EQU	51H
A2H1	EQU	52H
A2L1	EQU	53H
A2H2	EQU	54H
A2L2	EQU	55H
A3H	EQU	56H
A3L	EQU	57H
A1H_2	EQU	58H
A1L_2	EQU	59H
A2H1_2	EQU	5AH
A2L1_2	EQU	5BH



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

A2H2_2      EQU    5CH
A2L2_2      EQU    5DH
A3H_2       EQU    5EH
A3L_2       EQU    5FH
COUNT      EQU    60H
START       EQU    61H

```

```

ORG    0000H
LJMP   MAIN

```

```

ORG    0003H      ;INTERRUPT 0
JMP    IN0

```

```

ORG    000BH      ;TIMER 0
LJMP   T0INT

```

```

ORG    001BH      ;TIMER 1
LJMP   T1INT

```

```

ORG    002BH      ;TIMER 2
LJMP   T2INT

```

```

ORG    MAIN

```

```

----- MAIN -----

```

```

MAIN:      MOV    SP,#62H
           CALL  DELAY2
INI_SR:    MOV    SCON,#52H
           MOV    TMOD,#20H      ;SET T1
           MOV    TH1,#-3H
           SETB  TR1
           CALL  SEND
           MOV    P0,#00H
           MOV    COUNT,#00H

LOOP:     CALL  RECV
           INC   COUNT
           MOV   A,COUNT
           CJNE A,#10H,LOOP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LCALL MOTOR
```

```
MOV COUNT,#00H
```

```
CALL SEND
```

```
LJMP INI_SR
```

```
:-----MOTOR-----
```

```
MOTOR: SETB IE.7 ;ENABLE ALL INTERRUPT
MOV IE,#81H ;SET INT
SETB IT0 ;START INTERRUPT
MOV TMOD,#55H ;SET TO T1
MOV TCON,#05H ;SET INTERRUPT
MOV T2CON,#03H
MOV LPORT,#LOFF
MOV MPORT,#MOFF
LCALL INITIAL
LCALL POINT1
LCALL INITIAL2
LCALL POINT2
LCALL INITIAL3
MOV LPORT,#LOFF
MOV MPORT,#MOFF
RET
```

```
:-----SEND-----
```

```
SEND: JNB T1,S
CLR TI
MOV A,#00H
MOV SBUF,A
RET
```

```
:-----RECIVE-----
```

```
RECV: MOV A,#50H
ADD A,COUNT
MOV R0,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

WAIT1:      JNB     RI,$
            CLR     RI
            MOV     @R0,SBUF
RETIN:      RET

```

----- INITIAL -----

```

INITIAL:    LCALL   LIMIT11
            LCALL   DELAY
            LCALL   LIMIT12
            LCALL   DELAY
            LCALL   LIMIT13
            LCALL   DELAY
            RET

```

----- LIMIT 1 -----

```

LIMIT11:    SETB   INTBIT
            MOV    P2,#01H           ;SELECT L1 SET M1
            MOV    P0,#M1B          ;START M1 RE
            LCALL  WAIT
            MOV    P0,#MOFF:STOP M1
            MOV    P2,#80H          ;NOT SELECT
            RET

```

----- LIMIT 2 -----

```

LIMIT12:    SETB   INTBIT
            MOV    P2,#12H           ;SELECT L2 SET M2
            MOV    P0,#M2B          ;START M2 RE
            LCALL  WAIT
            MOV    P0,#MOFF:STOP M2
            MOV    P2,#80H          ;NOT SELECT
            RET

```

----- LIMIT 3 -----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LIMIT13:   SETB   INTBIT
            MOV    P2,#24H      ;SELECT L3 SET M3
            MOV    P0,#M3B      ;START M3 RE
            LCALL  WAIT
            MOV    P0,#MOFF;STOP M3
            MOV    P2,#80H      ;NOTSELECT
            RET

```

----- INITIAL 2 -----

```

INITIAL2:  MOV    A,A2H2
            CJNE   A,#0FFH.BANG22
            MOV    A,A2L2
            CJNE   A,#0FFH.BANG22

```

```

IN2:       LCALL  LIMIT21
            LCALL  DELAY
            LCALL  LIMIT22
            LCALL  DELAY
            LCALL  LIMIT23
            LCALL  DELAY
            RET

```

----- INITIAL 3 -----

```

INITIAL3:  MOV    A,A2H2_2
            CJNE   A,#0FFH.BANG22_2
            MOV    A,A2L2_2
            CJNE   A,#0FFH.BANG22_2

```

```

IN4:       LCALL  LIMIT11
            LCALL  DELAY
            LCALL  LIMIT12
            LCALL  DELAY
            LCALL  LIMIT13
            LCALL  DELAY
            RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-----BANG 22-----

```
BANG22:    MOV    TH1.A2H2
           MOV    TL1.A2L2
           SETB   INTBIT
           SETB   ET1
           SETB   TR1
           MOV    MPORT,#M2BG
           LCALL  WAIT
           MOV    MPORT,#GON
           LCALL  DELAY
           LJMP   IN2
```

-----BANG 22_2-----

```
BANG22_2:  MOV    TH1.A2H2_2
           MOV    TL1.A2L2_2
           SETB   INTBIT
           SETB   ET1
           SETB   TR1
           MOV    MPORT,#M2B
           LCALL  WAIT
           MOV    MPORT,#GOFF
           LCALL  DELAY
           LJMP   IN4
```

-----LIMIT 21-----

```
LIMIT21:   SETB   INTBIT
           MOV    P2,#01H      :SELECT L1 SET M1
           MOV    P0,#M1BG     :START M1 RE WITH GIP
           LCALL  WAIT
           MOV    P0,#GON      :STOP M1
           MOV    P2,#80H      :NOT SELECT
           RET
```

-----LIMIT 22-----

```
LIMIT22:   SETB   INTBIT
           MOV    P2,#12H      :SELECT L2 SET M2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    P0,#M2BG      ;START M2 RE WITH GRIP
LCALL  WAIT
MOV    P0,#GON       ;STOP M2
MOV    P2,#80H       ;NOT SELECT
RET

```

----- LIMIT 23 -----

```

LIMIT23:  SETB   INTBIT
MOV       P2,#24H      ;SELECT L3 SET M3
MOV       P0,#M3BG     ;START M3 RE
LCALL    WAIT
MOV       P0,#GON      ;STOP M3
MOV       P2,#80H     ;NOTSELECT
RET

```

----- POINT 1 -----

```

POINT1:  MOV     TH1,A2H1;MOVE M2
MOV     TL1,A2L1
SETB   INTBIT
SETB   ET1
SETB   TR1
MOV     MPORT,#M2F
LCALL  WAIT
LCALL  DELAY

MOV     TH0,A1H      ;MOVE M1
MOV     TL0,A1L
SETB   INTBIT
SETB   ET0
SETB   TR0
MOV     MPORT,#M1F
LCALL  WAIT
LCALL  DELAY

MOV     TH2,A3H      ;MOVE M3
MOV     TL2,A3L
SETB   INTBIT
SETB   ET2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    T2CON,#07H
MOV    MPORT,#M3F
LCALL  WAIT
LCALL  DELAY

MOV    A,A2H2      ;CHECK ANG22
CJNE  A,#0FFH,ANG22
MOV    A,A2L2
CJNE  A,#0FFH,ANG22

IN1:   MOV    MPORT,#GON
LCALL  DELAY
RET

```

----- POINT 1 -----

```

POINT2: MOV    TH1.A2H1_2      ;MOVE M2
MOV    TL1.A2L1_2
SETB  INTBIT
SETB  ET1
SETB  TR1
MOV    MPORT,#M2FG
LCALL  WAIT
MOV    MPORT,#GON
LCALL  DELAY

MOV    TH0.A1H_2      ;MOVE M1
MOV    TL0.A1L_2
SETB  INTBIT
SETB  ET0
SETB  TR0
MOV    MPORT,#M1FG
LCALL  WAIT
MOV    MPORT,#GON
LCALL  DELAY

MOV    TH2.A3H_2      ;MOVE M3
MOV    TL2.A3L_2
SETB  INTBIT
SETB  ET2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    T2CON,#07H
MOV    MPORT,#M3FG
LCALL  WAIT
MOV    MPORT,#GON
LCALL  DELAY

MOV    A,A2H2_2      :CHECK ANG22
CJNE   A,#0FFH,ANG22_1
MOV    A,A2L2_2
CJNE   A,#0FFH,ANG22_1

```

```

IN3:   MOV    MPORT,#GOFF
        LCALL  DELAY
        RET

```

----- ANG22 -----

```

ANG22: MOV    TH1,A2H2
        MOV    TL1,A2L2
        SETB  INTBIT
        SETB  ET1
        SETB  TR1
        MOV    MPORT,#M2F
        LCALL  WAIT
        LCALL  DELAY
        LJMP  IN1

```

----- T0 -----

```

T0INT: MOV    MPORT,#MOFF
        CLR   TR0
        CLR   ET0
        CLR   INTBIT
        RETI

```

----- T1 -----

```

T1INT: MOV    MPORT,#MOFF

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CLR    TR1
CLR    ET1
CLR    INTBIT
RETI
```

----- T2 -----

```
T2INT:  MOV    MPORT,#MOFF
        MOV    T2CON,#03H
        CLR    ET2
        CLR    INTBIT
        RETI
```

----- ANG22_1 -----

```
ANG22_1: MOV    TH1.A2H2_2
        MOV    TL1.A2L2_2
        SETB   INTBIT
        SETB   ET1
        SETB   TR1
        MOV    MPORT,#M2FG
        LCALL  WAIT
        MOV    MPORT,#GON
        LCALL  DELAY
        MOV    MPORT,#GOFF
        LCALL  DELAY
        LJMPL IN3
```

----- WAIT -----

```
WAIT:   JB     INTBIT,WAIT
        RET
```

----- INTO -----

```
INO:    CLR    INTBIT
        RETI
```

----- DELAY -----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DELAY:      MOV    R2,#30H
DDD:        MOV    R3.#179H
DD:         MOV    R4.#00H
            DJNZ   R4,S
            DJNZ   R3,DD
            DJNZ   R2,DDD
            RET
```

----- DELAY 2 -----

```
DELAY2:     MOV    R3,#0FFH
DEY:        MOV    R4,#0FFH
            DJNZ   R4,S
            DJNZ   R3,DEY
            RET
```

----- DELAY 3 -----

```
DELAY3:     MOV    R3.#0FFH
            DJNZ   R3,S
            RET
```

END



โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์

Public dataout, check, x, y, z

Private Sub Command1_Click()

Label1.Caption = "PLEASE WAIT ,SYSTEM IS OPERATING"

If check <> "ready" Then

MsgBox "Not Ready"

GoTo endd

End If

x = Val(X_axis.Text)

y = Val(Y_axis.Text)

z = Val(Z_axis.Text)

If y > 123 Or y < 0 Or x > 123 Or x < 0 Or z > 90 Or z < 0 Then

MsgBox "ERROR"

GoTo endd

End If

Call process

x = Val(X_axis2.Text)

y = Val(Y_axis2.Text)

z = Val(Z_axis2.Text)

If y > 123 Or y < 0 Or x > 123 Or x < 0 Or z > 90 Or z < 0 Then

MsgBox "ERROR"

GoTo endd

End If

Call process

check = "Not ready"

endd:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End If

End Sub

Private Sub process()

dataout = Int(x * 2.74)

Call send

If y <= 33 Then

dataout = Int(y * 2.62)

Call send

dataout = 0

Call send

Else

dataout = Int(33 * 2.62)

Call send

dataout = Int((y - 33) * 2.62)

Call send

End If

dataout = Int(z * 1.21)

Call send

End Sub

บรรณานุกรม

1. Pool, Harry H. “Fundamental of Robotic Engineering”, Van Nostrand Reinhold, USA, 1989.
2. Rosheim, Mark E. “Robot Evolution : The development of anthrobotic”, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1994.
3. Rucco, S.R., “Robot sensors and transducers”, Halsted Press, USA, 1987.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับความสำเร็จในโครงการแขนงกลนี้ เกิดขึ้นได้ด้วยความกรุณาของ อาจารย์เทพจิตร
เชย โภคา ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุก
ท่านที่ได้ให้ความรู้ในด้านวิชาการต่างๆ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมและวิศวกรรม
เครื่องกลที่ให้ความเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับทำโครงการชิ้นนี้มาโดยตลอด ขอขอบคุณ
เพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการและรายงานฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุน ส่งเสริมและให้กำลังใจมา
โดยตลอด

วิฒนพงษ์

วิภูษณวรรณ

อาทร

แก้วเจริญรุ่งเรือง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

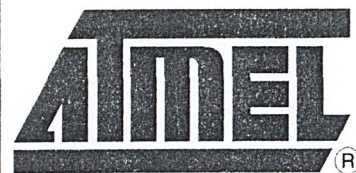
- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Downloadable Flash Memory
 - SPI Serial Interface for Program Downloading
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2K Bytes EEPROM
 - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
- 4V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Nine Interrupt Sources
- Programmable UART Serial Channel
- SPI Serial Interface
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Interrupt Recovery From Power-down
- Programmable Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power-off Flag

Description

The AT89S8252 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K bytes of downloadable Flash programmable and erasable read only memory and 2K bytes of EEPROM. The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip downloadable Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with downloadable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S8252 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89S8252 provides the following standard features: 8K bytes of downloadable Flash, 2K bytes of EEPROM, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, programmable watchdog timer, two data pointers, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S8252 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset.

The downloadable Flash can be changed a single byte at a time and is accessible through the SPI serial interface. Holding RESET active forces the SPI bus into a serial programming interface and allows the program memory to be written to or read from unless Lock Bit 2 has been activated.



8-bit Microcontroller with 8K Bytes Flash

AT89S8252

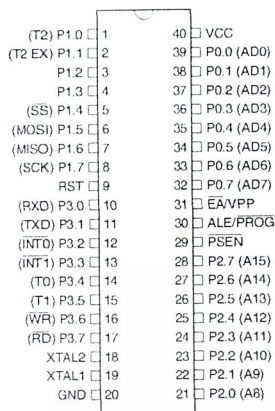
Rev. 0401E-02/00



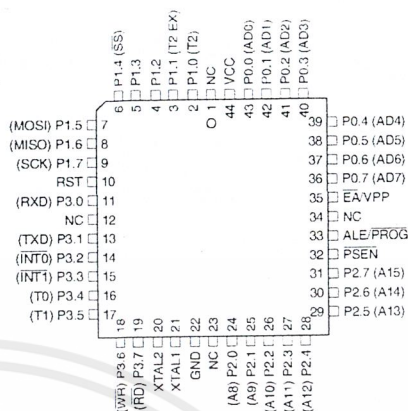
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Configurations

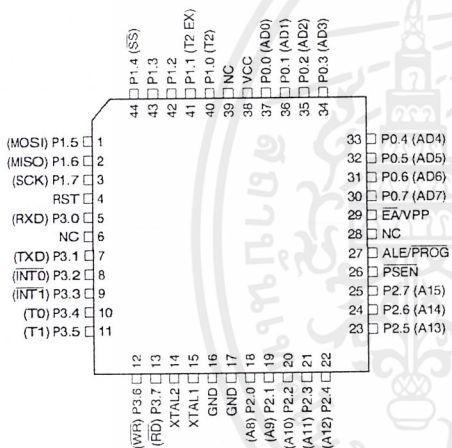
PDIP



PLCC



PQFP/TQFP



Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open drain bi-directional 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 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external

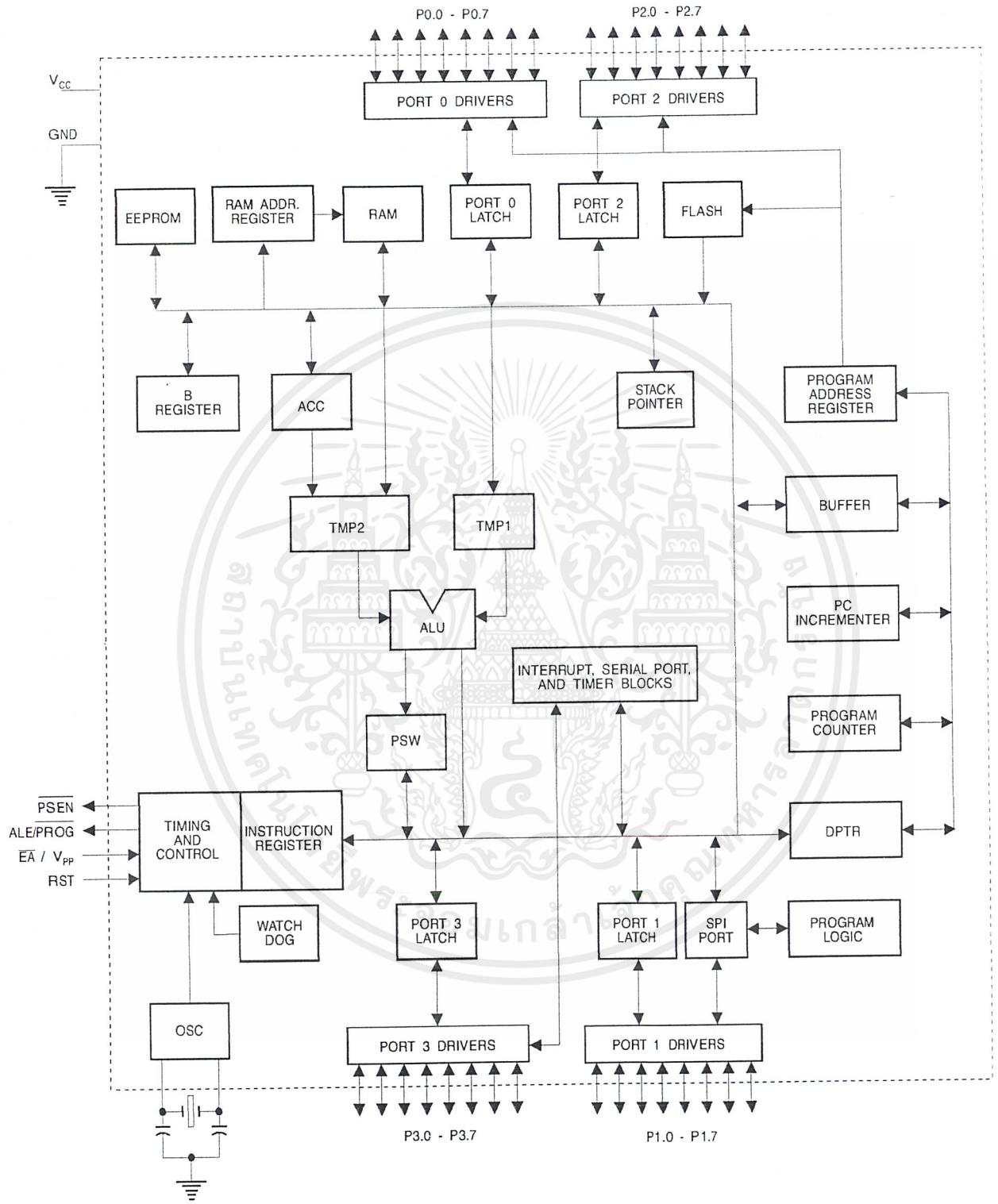
program and data memory. In this mode, P0 has internal pullups.

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 bi-directional 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.

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Some Port 1 pins provide additional functions. P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively.

Pin Description

Furthermore, P1.4, P1.5, P1.6, and P1.7 can be configured as the SPI slave port select, data input/output and shift clock input/output pins as shown in the following table.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)
P1.4	\overline{SS} (Slave port select input)
P1.5	MOSI (Master data output, slave data input pin for SPI channel)
P1.6	MISO (Master data input, slave data output pin for SPI channel)
P1.7	SCK (Master clock output, slave clock input pin for SPI channel)

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

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional 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, Port 2 uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

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

Port 3

Port 3 is an 8 bit bi-directional 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 AT89S8252, as shown in the following table.

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

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

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

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

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

PSEN

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

When the AT89S8252 is executing code from external program memory, \overline{PSEN} is activated twice each machine cycle, except that two \overline{PSEN} activations are skipped during each access to external data memory.

\overline{EA}/VPP

External Access Enable. \overline{EA} must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external pro-

gram 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 V_{CC} for internal program executions. This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{pp}) during Flash programming when 12-volt programming is selected.

XTAL1

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

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Table 1. AT89S8252 SFR Map and Reset Values

0F8H									0FFH
0F0H	B 00000000								0F7H
0E8H									0EFH
0E0H	ACC 00000000								0E7H
0D8H									0DFH
0D0H	PSW 00000000					SPCR 000001XX			0D7H
0C8H	T2CON 00000000	T2MOD XXXXXX00	RCAP2L 00000000	RCAP2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000			0CFH
0C0H									0C7H
0B8H	IP XX000000								0BFH
0B0H	P3 11111111								0B7H
0A8H	IE 0X000000		SPSR 00XXXXXX						0AFH
0A0H	P2 11111111								0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX							9FH
90H	P1 11111111						WMCON 00000010		97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000			8FH
80H	P0 11111111	SP 00000111	DP0L 00000000	DP0H 00000000	DP1L 00000000	DP1H 00000000	SPDR XXXXXXXX	PCON 0XXX0000	87H



Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in Table 1.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted

locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Timer 2 Registers Control and status bits are contained in registers T2CON (shown in Table 2) and T2MOD (shown in Table 9) for Timer 2. The register pair (RCAP2H, RCAP2L) are the Capture/Reload registers for Timer 2 in 16 bit capture mode or 16-bit auto-reload mode.

Table 2. T2CON—Timer/Counter 2 Control Register

T2CON Address = 0C8H						Reset Value = 0000 0000B		
Bit Addressable								
	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T $\bar{2}$	CP/RL $\bar{2}$
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0

Symbol	Function
TF2	Timer 2 overflow flag set by a Timer 2 overflow and must be cleared by software. TF2 will not be set when either RCLK = 1 or TCLK = 1.
EXF2	Timer 2 external flag set when either a capture or reload is caused by a negative transition on T2EX and EXEN2 = 1. When Timer 2 interrupt is enabled, EXF2 = 1 will cause the CPU to vector to the Timer 2 interrupt routine. EXF2 must be cleared by software. EXF2 does not cause an interrupt in up/down counter mode (DCEN = 1).
RCLK	Receive clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its receive clock in serial port Modes 1 and 3. RCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the receive clock.
TCLK	Transmit clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its transmit clock in serial port Modes 1 and 3. TCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the transmit clock.
EXEN2	Timer 2 external enable. When set, allows a capture or reload to occur as a result of a negative transition on T2EX if Timer 2 is not being used to clock the serial port. EXEN2 = 0 causes Timer 2 to ignore events at T2EX.
TR2	Start/Stop control for Timer 2. TR2 = 1 starts the timer.
C/T $\bar{2}$	Timer or counter select for Timer 2. C/T $\bar{2}$ = 0 for timer function. C/T $\bar{2}$ = 1 for external event counter (falling edge triggered).
CP/RL $\bar{2}$	Capture/Reload select. CP/RL $\bar{2}$ = 1 causes captures to occur on negative transitions at T2EX if EXEN2 = 1. CP/RL $\bar{2}$ = 0 causes automatic reloads to occur when Timer 2 overflows or negative transitions occur at T2EX when EXEN2 = 1. When either RCLK or TCLK = 1, this bit is ignored and the timer is forced to auto-reload on Timer 2 overflow.

Watchdog and Memory Control Register The WMCON register contains control bits for the Watchdog Timer (shown in Table 3). The EEMEN and EEMWE bits are used

to select the 2K bytes on-chip EEPROM, and to enable byte-write. The DPS bit selects one of two DPTR registers available.

Table 3. WMCON—Watchdog and Memory Control Register

WMCON Address = 96H				Reset Value = 0000 0010B				
	PS2	PS1	PS0	EEMWE	EEMEN	DPS	WDTRST	WDTEN
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0

Symbol	Function
PS2 PS1 PS0	Prescaler Bits for the Watchdog Timer. When all three bits are set to "0", the watchdog timer has a nominal period of 16 ms. When all three bits are set to "1", the nominal period is 2048 ms.
EEMWE	EEPROM Data Memory Write Enable Bit. Set this bit to "1" before initiating byte write to on-chip EEPROM with the MOVX instruction. User software should set this bit to "0" after EEPROM write is completed.
EEMEN	Internal EEPROM Access Enable. When EEMEN = 1, the MOVX instruction with DPTR will access on-chip EEPROM instead of external data memory. When EEMEN = 0, MOVX with DPTR accesses external data memory.
DPS	Data Pointer Register Select. DPS = 0 selects the first bank of Data Pointer Register, DP0, and DPS = 1 selects the second bank, DP1
WDTRST RDY/BSY	Watchdog Timer Reset and EEPROM Ready/Busy Flag. Each time this bit is set to "1" by user software, a pulse is generated to reset the watchdog timer. The WDTRST bit is then automatically reset to "0" in the next instruction cycle. The WDTRST bit is Write-Only. This bit also serves as the RDY/BSY flag in a Read-Only mode during EEPROM write. RDY/BSY = 1 means that the EEPROM is ready to be programmed. While programming operations are being executed, the RDY/BSY bit equals "0" and is automatically reset to "1" when programming is completed.
WDTEN	Watchdog Timer Enable Bit. WDTEN = 1 enables the watchdog timer and WDTEN = 0 disables the watchdog timer.

SPI Registers Control and status bits for the Serial Peripheral Interface are contained in registers SPCR (shown in Table 4) and SPSR (shown in Table 5). The SPI data bits are contained in the SPDR register. Writing the SPI data register during serial data transfer sets the Write Collision bit, WCOL, in the SPSR register. The SPDR is double buffered for writing and the values in SPDR are not changed by Reset.

Interrupt Registers The global interrupt enable bit and the individual interrupt enable bits are in the IE register. In addition, the individual interrupt enable bit for the SPI is in the SPCR register. Two priorities can be set for each of the six interrupt sources in the IP register.

Dual Data Pointer Registers To facilitate accessing both internal EEPROM and external data memory, two banks of 16 bit Data Pointer Registers are provided: DP0 at SFR address locations 82H-83H and DP1 at 84H-85H. Bit DPS = 0 in SFR WMCON selects DP0 and DPS = 1 selects DP1. The user should always initialize the DPS bit to the appropriate value before accessing the respective Data Pointer Register.

Power Off Flag The Power Off Flag (POF) is located at bit_4 (PCON.4) in the PCON SFR. POF is set to "1" during power up. It can be set and reset under software control and is not affected by RESET.



Table 4. SPCR—SPI Control Register

SPCR Address = D5H					Reset Value = 0000 01XXB			
Bit	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0
7	6	5	4	3	2	1	0	

Symbol	Function
SPIE	SPI Interrupt Enable. This bit, in conjunction with the ES bit in the IE register, enables SPI interrupts: SPIE = 1 and ES = 1 enable SPI interrupts. SPIE = 0 disables SPI interrupts.
SPE	SPI Enable. SPI = 1 enables the SPI channel and connects \overline{SS} , MOSI, MISO and SCK to pins P1.4, P1.5, P1.6, and P1.7. SPI = 0 disables the SPI channel.
DORD	Data Order. DORD = 1 selects LSB first data transmission. DORD = 0 selects MSB first data transmission.
MSTR	Master/Slave Select. MSTR = 1 selects Master SPI mode. MSTR = 0 selects Slave SPI mode.
CPOL	Clock Polarity. When CPOL = 1, SCK is high when idle. When CPOL = 0, SCK of the master device is low when not transmitting. Please refer to figure on SPI Clock Phase and Polarity Control.
CPHA	Clock Phase. The CPHA bit together with the CPOL bit controls the clock and data relationship between master and slave. Please refer to figure on SPI Clock Phase and Polarity Control.
SPR0 SPR1	SPI Clock Rate Select. These two bits control the SCK rate of the device configured as master. SPR1 and SPR0 have no effect on the slave. The relationship between SCK and the oscillator frequency, F_{osc} , is as follows: SPR1SPR0 SCK = F_{osc} , divided by 0 0 4 0 1 16 1 0 64 1 1 128

Table 5. SPSR – SPI Status Register

SPSR Address = AAH					Reset Value = 00XX XXXXB			
Bit	SPIF	WCOL	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0	

Symbol	Function
SPIF	SPI Interrupt Flag. When a serial transfer is complete, the SPIF bit is set and an interrupt is generated if SPIE = 1 and ES = 1. The SPIF bit is cleared by reading the SPI status register with SPIF and WCOL bits set, and then accessing the SPI data register.
WCOL	Write Collision Flag. The WCOL bit is set if the SPI data register is written during a data transfer. During data transfer, the result of reading the SPDR register may be incorrect, and writing to it has no effect. The WCOL bit (and the SPIF bit) are cleared by reading the SPI status register with SPIF and WCOL set, and then accessing the SPI data register.

Table 6. SPDR – SPI Data Register

SPDR Address = 86H					Reset Value = unchanged			
Bit	SPD7	SPD6	SPD5	SPD4	SPD3	SPD2	SPD1	SPD0
7	6	5	4	3	2	1	0	

Data Memory – EEPROM and RAM

The AT89S8252 implements 2K bytes of on-chip EEPROM for data storage and 256 bytes of RAM. The upper 128 bytes of RAM occupy a parallel space to the Special Function Registers. That means the upper 128 bytes have the same addresses as the SFR space but are physically separate from SFR space.

When an instruction accesses an internal location above address 7FH, the address mode used in the instruction specifies whether the CPU accesses the upper 128 bytes of RAM or the SFR space. Instructions that use direct addressing access SFR space.

For example, the following direct addressing instruction accesses the SFR at location 0A0H (which is P2).

```
MOV 0A0H, #data
```

Instructions that use indirect addressing access the upper 128 bytes of RAM. For example, the following indirect addressing instruction, where R0 contains 0A0H, accesses the data byte at address 0A0H, rather than P2 (whose address is 0A0H).

```
MOV @R0, #data
```

Note that stack operations are examples of indirect addressing, so the upper 128 bytes of data RAM are available as stack space.

The on-chip EEPROM data memory is selected by setting the EEMEN bit in the WMCON register at SFR address location 96H. The EEPROM address range is from 000H to 7FFH. The MOVX instructions are used to access the EEPROM. To access off-chip data memory with the MOVX instructions, the EEMEN bit needs to be set to “0”.

The EEMWE bit in the WMCON register needs to be set to “1” before any byte location in the EEPROM can be written. User software should reset EEMWE bit to “0” if no further EEPROM write is required. EEPROM write cycles in the serial programming mode are self-timed and typically take 2.5 ms. The progress of EEPROM write can be monitored by reading the RDY/BSY bit (read-only) in SFR WMCON. RDY/BSY = 0 means programming is still in progress and RDY/BSY = 1 means EEPROM write cycle is completed and another write cycle can be initiated.

In addition, during EEPROM programming, an attempted read from the EEPROM will fetch the byte being written with the MSB complemented. Once the write cycle is completed, true data are valid at all bit locations.

Programmable Watchdog Timer

The programmable Watchdog Timer (WDT) operates from an independent oscillator. The prescaler bits, PS0, PS1 and PS2 in SFR WMCON are used to set the period of the Watchdog Timer from 16 ms to 2048 ms. The available timer periods are shown in the following table and the

actual timer periods (at $V_{CC} = 5V$) are within $\pm 30\%$ of the nominal.

The WDT is disabled by Power-on Reset and during Power-down. It is enabled by setting the WDTEN bit in SFR WMCON (address = 96H). The WDT is reset by setting the WDTRST bit in WMCON. When the WDT times out without being reset or disabled, an internal RST pulse is generated to reset the CPU.

Table 7. Watchdog Timer Period Selection

WDT Prescaler Bits			Period (nominal)
PS2	PS1	PS0	
0	0	0	16 ms
0	0	1	32 ms
0	1	0	64 ms
0	1	1	128 ms
1	0	0	256 ms
1	0	1	512 ms
1	1	0	1024 ms
1	1	1	2048 ms

Timer 0 and 1

Timer 0 and Timer 1 in the AT89S8252 operate the same way as Timer 0 and Timer 1 in the AT89C51, AT89C52 and AT89C55. For further information, see the October 1995 Microcontroller Data Book, page 2-45, section titled, “Timer/Counters.”

Timer 2

Timer 2 is a 16 bit Timer/Counter that can operate as either a timer or an event counter. The type of operation is selected by bit C/T2 in the SFR T2CON (shown in Table 2). Timer 2 has three operating modes: capture, auto-reload (up or down counting), and baud rate generator. The modes are selected by bits in T2CON, as shown in Table 8.

Timer 2 consists of two 8-bit registers, TH2 and TL2. In the Timer function, the TL2 register is incremented every machine cycle. Since a machine cycle consists of 12 oscillator periods, the count rate is 1/12 of the oscillator frequency.

In the Counter function, the register is incremented in response to a 1-to-0 transition at its corresponding external input pin, T2. In this function, the external input is sampled during S5P2 of every machine cycle. When the samples show a high in one cycle and a low in the next cycle, the count is incremented. The new count value appears in the register during S3P1 of the cycle following the one in which



the transition was detected. Since two machine cycles (24 oscillator periods) are required to recognize a 1-to-0 transition, the maximum count rate is 1/24 of the oscillator frequency. To ensure that a given level is sampled at least once before it changes, the level should be held for at least one full machine cycle.

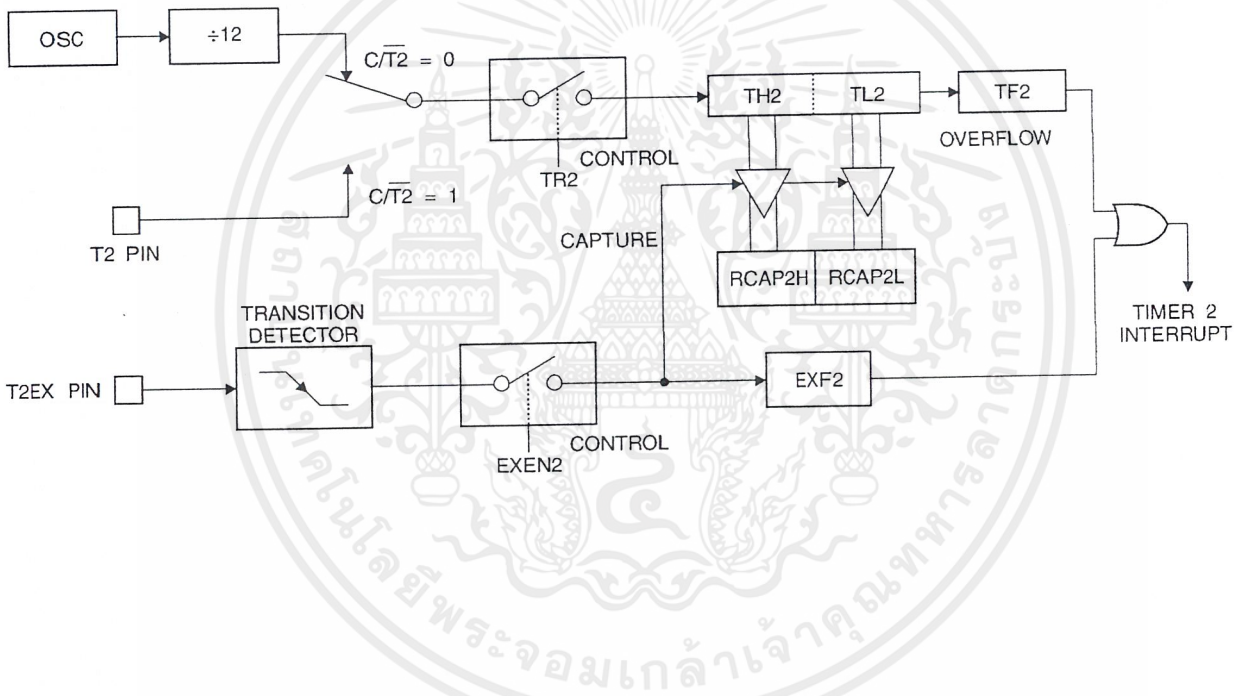
Capture Mode

In the capture mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 is a 16 bit timer or counter which upon overflow sets bit TF2 in T2CON. This bit can then be used to generate an interrupt. If EXEN2 = 1, Timer 2 performs the same operation, but a 1-to-0 transition at external input T2EX also causes the current value in TH2 and TL2 to be captured into RCAP2H and RCAP2L, respectively. In addition, the transition at T2EX causes bit EXF2 in T2CON to be set. The EXF2 bit, like TF2, can generate an interrupt. The capture mode is illustrated in Figure 1.

Table 8. Timer 2 Operating Modes

RCLK + TCLK	CP/RL2	TR2	MODE
0	0	1	16-bit Auto-reload
0	1	1	16-bit Capture
1	X	1	Baud Rate Generator
X	X	0	(Off)

Figure 1. Timer 2 in Capture Mode



Auto-reload (Up or Down Counter)

Timer 2 can be programmed to count up or down when configured in its 16 bit auto-reload mode. This feature is invoked by the DCEN (Down Counter Enable) bit located in the SFR T2MOD (see Table 9). Upon reset, the DCEN bit is set to 0 so that timer 2 will default to count up. When DCEN is set, Timer 2 can count up or down, depending on the value of the T2EX pin.

Figure 2 shows Timer 2 automatically counting up when DCEN = 0. In this mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 counts up to 0FFFFH and then sets the TF2 bit upon overflow. The overflow also causes the timer registers to be reloaded with the 16 bit value in RCAP2H and RCAP2L. The values in RCAP2H and RCAP2L are preset by software. If EXEN2 = 1, a 16 bit reload can be triggered either by an overflow or

by a 1-to-0 transition at external input T2EX. This transition also sets the EXF2 bit. Both the TF2 and EXF2 bits can generate an interrupt if enabled.

Setting the DCEN bit enables Timer 2 to count up or down, as shown in Figure 3. In this mode, the T2EX pin controls the direction of the count. A logic 1 at T2EX makes Timer 2 count up. The timer will overflow at 0FFFFH and set the TF2 bit. This overflow also causes the 16 bit value in RCAP2H and RCAP2L to be reloaded into the timer registers, TH2 and TL2, respectively.

A logic 0 at T2EX makes Timer 2 count down. The timer underflows when TH2 and TL2 equal the values stored in RCAP2H and RCAP2L. The underflow sets the TF2 bit and causes 0FFFFH to be reloaded into the timer registers.

The EXF2 bit toggles whenever Timer 2 overflows or underflows and can be used as a 17th bit of resolution. In this operating mode, EXF2 does not flag an interrupt.

Figure 2. Timer 2 in Auto Reload Mode (DCEN = 0)

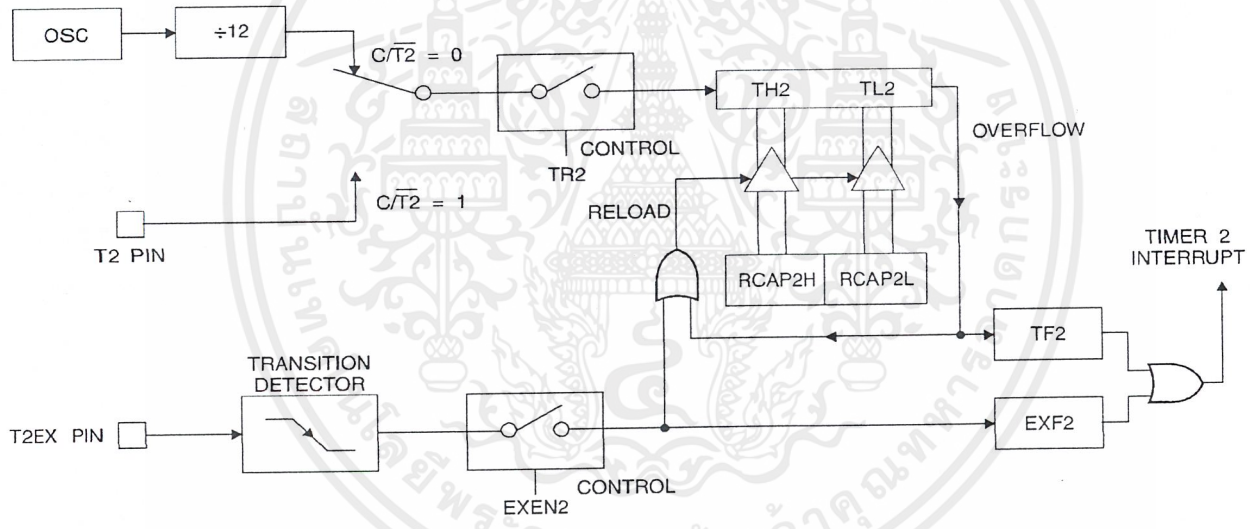


Table 9. T2MOD – Timer 2 Mode Control Register

T2MOD Address = 0C9H							Reset Value = XXXX XX00B	
Not Bit Addressable								
Bit	7	6	5	4	3	2	T2OE	DCEN
	-	-	-	-	-	-	1	0

Symbol	Function
-	Not implemented, reserved for future use.
T2OE	Timer 2 Output Enable bit.
DCEN	When set, this bit allows Timer 2 to be configured as an up/down counter.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 3. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 1)

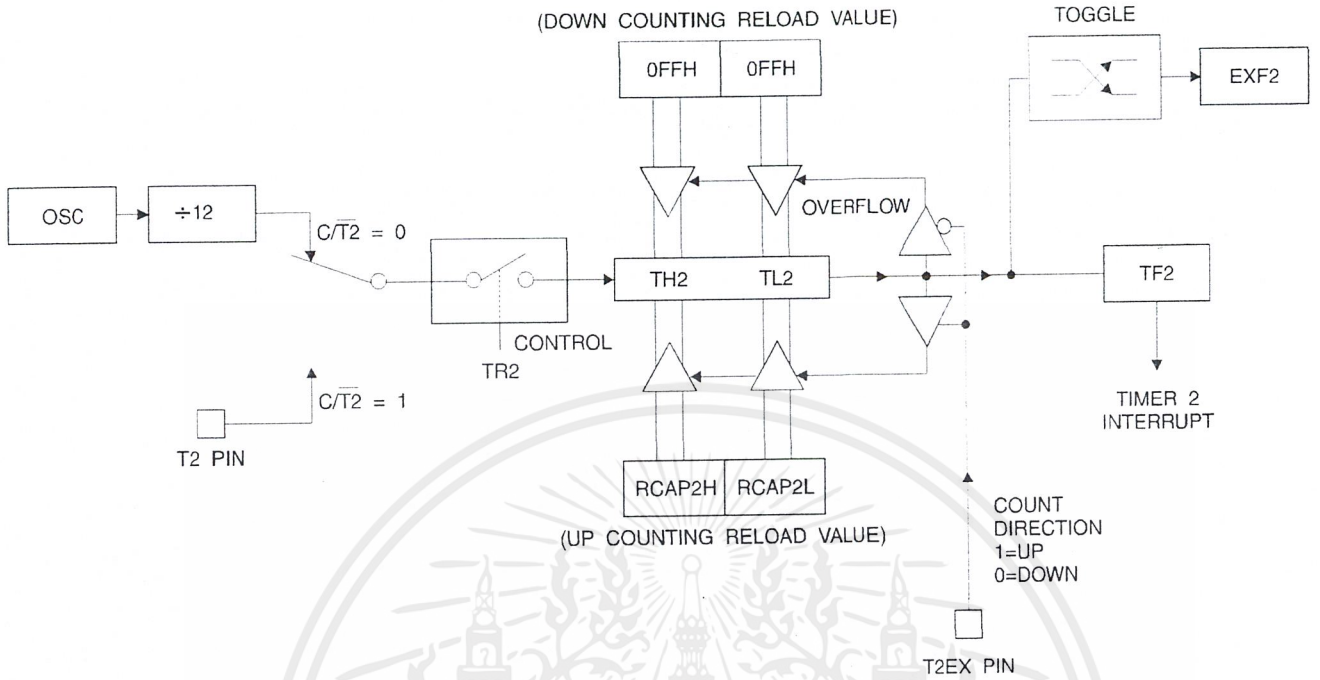
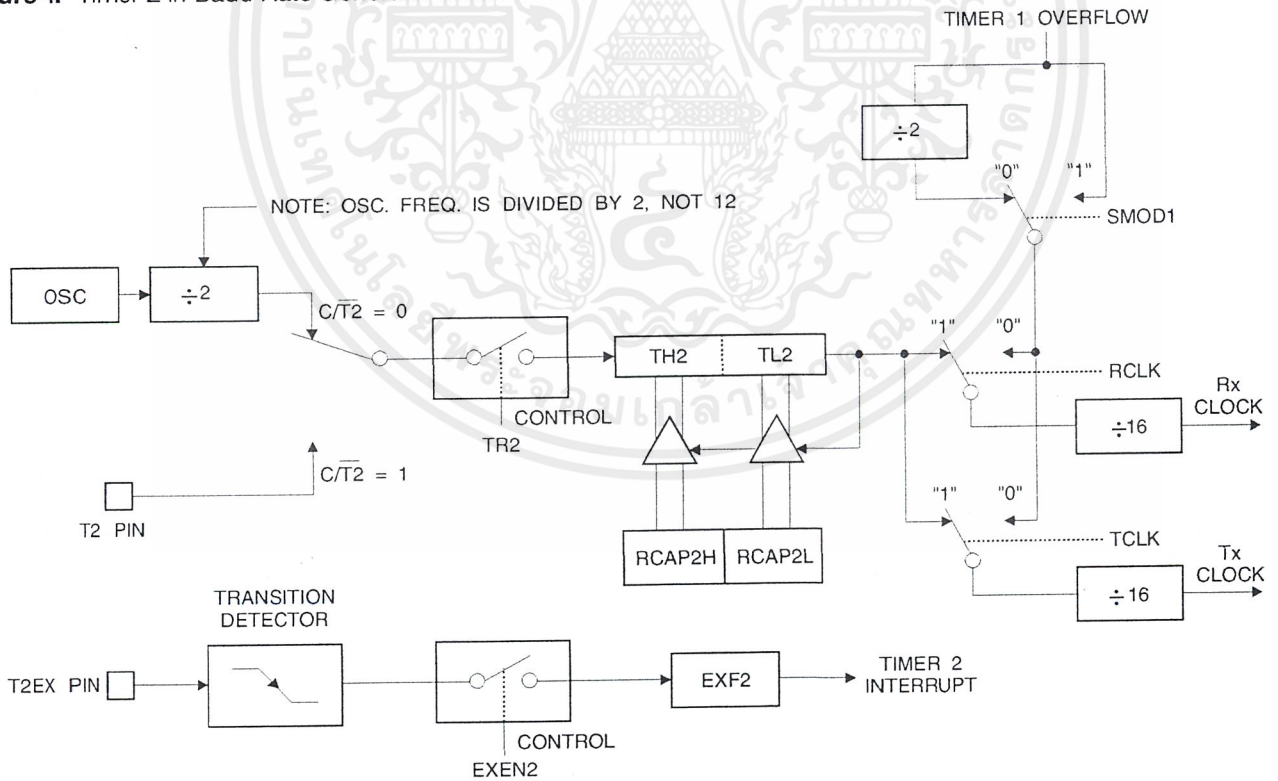


Figure 4. Timer 2 in Baud Rate Generator Mode



Baud Rate Generator

Timer 2 is selected as the baud rate generator by setting TCLK and/or RCLK in T2CON (Table 2). Note that the baud rates for transmit and receive can be different if Timer 2 is used for the receiver or transmitter and Timer 1 is used for the other function. Setting RCLK and/or TCLK puts Timer 2 into its baud rate generator mode, as shown in Figure 4.

The baud rate generator mode is similar to the auto-reload mode, in that a rollover in TH2 causes the Timer 2 registers to be reloaded with the 16 bit value in registers RCAP2H and RCAP2L, which are preset by software.

The baud rates in Modes 1 and 3 are determined by Timer 2's overflow rate according to the following equation.

$$\text{Modes 1 and 3 Baud Rates} = \frac{\text{Timer 2 Overflow Rate}}{16}$$

The Timer can be configured for either timer or counter operation. In most applications, it is configured for timer operation (CP/T2 = 0). The timer operation is different for Timer 2 when it is used as a baud rate generator. Normally, as a timer, it increments every machine cycle (at 1/12 the oscillator frequency). As a baud rate generator, however, it increments every state time (at 1/2 the oscillator frequency). The baud rate formula is given below.

$$\frac{\text{Modes 1 and 3}}{\text{Baud Rate}} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{32 \times [65536 - (\text{RCAP2H}, \text{RCAP2L})]}$$

where (RCAP2H, RCAP2L) is the content of RCAP2H and RCAP2L taken as a 16 bit unsigned integer.

Timer 2 as a baud rate generator is shown in Figure 4. This figure is valid only if RCLK or TCLK = 1 in T2CON. Note that a rollover in TH2 does not set TF2 and will not generate an interrupt. Note too, that if EXEN2 is set, a 1-to-0 transition in T2EX will set EXF2 but will not cause a reload from (RCAP2H, RCAP2L) to (TH2, TL2). Thus when Timer

2 is in use as a baud rate generator, T2EX can be used as an extra external interrupt.

Note that when Timer 2 is running (TR2 = 1) as a timer in the baud rate generator mode, TH2 or TL2 should not be read from or written to. Under these conditions, the Timer is incremented every state time, and the results of a read or write may not be accurate. The RCAP2 registers may be read but should not be written to, because a write might overlap a reload and cause write and/or reload errors. The timer should be turned off (clear TR2) before accessing the Timer 2 or RCAP2 registers.

Programmable Clock Out

A 50% duty cycle clock can be programmed to come out on P1.0, as shown in Figure 5. This pin, besides being a regular I/O pin, has two alternate functions. It can be programmed to input the external clock for Timer/Counter 2 or to output a 50% duty cycle clock ranging from 61 Hz to 4 MHz at a 16 MHz operating frequency.

To configure the Timer/Counter 2 as a clock generator, bit C/T2 (T2CON.1) must be cleared and bit T2OE (T2MOD.1) must be set. Bit TR2 (T2CON.2) starts and stops the timer.

The clock-out frequency depends on the oscillator frequency and the reload value of Timer 2 capture registers (RCAP2H, RCAP2L), as shown in the following equation.

$$\text{Clock Out Frequency} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{4 \times [65536 - (\text{RCAP2H}, \text{RCAP2L})]}$$

In the clock-out mode, Timer 2 rollovers will not generate an interrupt. This behavior is similar to when Timer 2 is used as a baud-rate generator. It is possible to use Timer 2 as a baud-rate generator and a clock generator simultaneously. Note, however, that the baud-rate and clock-out frequencies cannot be determined independently from one another since they both use RCAP2H and RCAP2L.



Figure 5. Timer 2 in Clock-out Mode

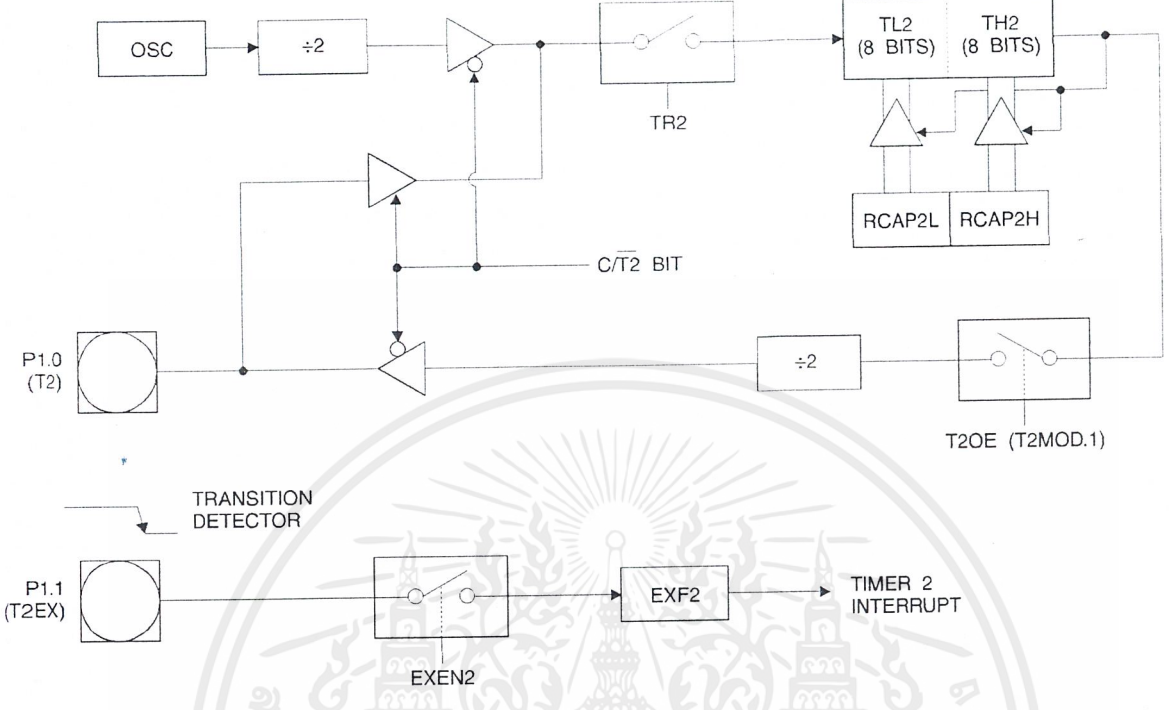
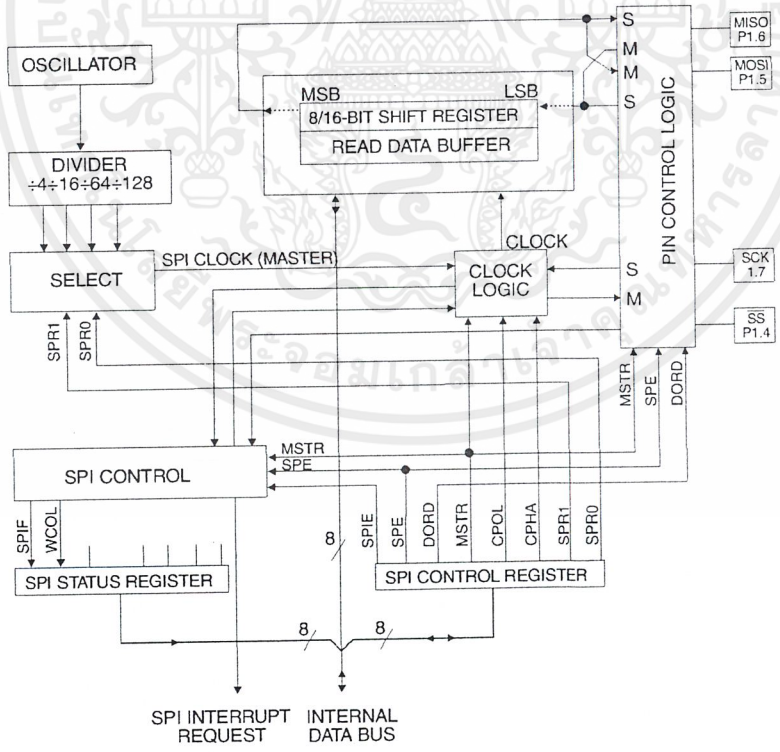


Figure 6. SPI Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UART

The UART in the AT89S8252 operates the same way as the UART in the AT89C51, AT89C52 and AT89C55. For further information, see the October 1995 Microcontroller Data Book, page 2-49, section titled, "Serial Interface."

Serial Peripheral Interface

The serial peripheral interface (SPI) allows high-speed synchronous data transfer between the AT89S8252 and peripheral devices or between several AT89S8252 devices. The AT89S8252 SPI features include the following:

- Full-Duplex, 3-Wire Synchronous Data Transfer
- Master or Slave Operation
- 1.5 MHz Bit Frequency (max.)
- LSB First or MSB First Data Transfer
- Four Programmable Bit Rates
- End of Transmission Interrupt Flag

Figure 7. SPI Master-slave Interconnection

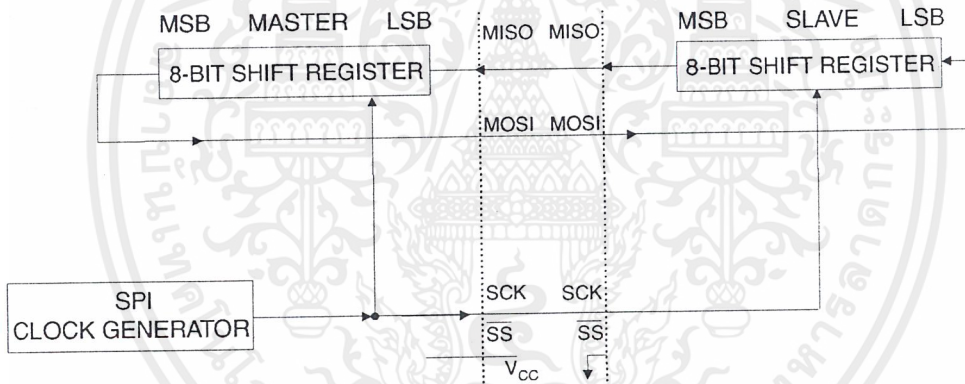
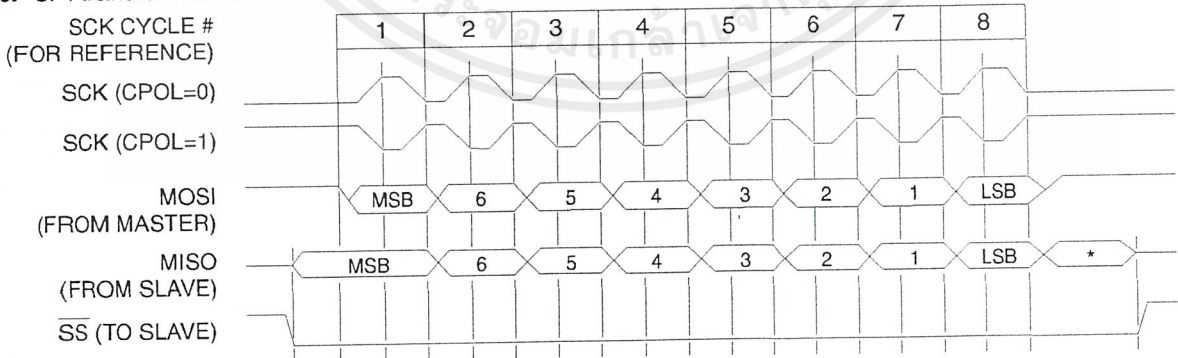


Figure 8. SPI transfer Format with CPHA = 0



*Not defined but normally MSB of character just received

- Write Collision Flag Protection
- Wakeup from Idle Mode (Slave Mode Only)

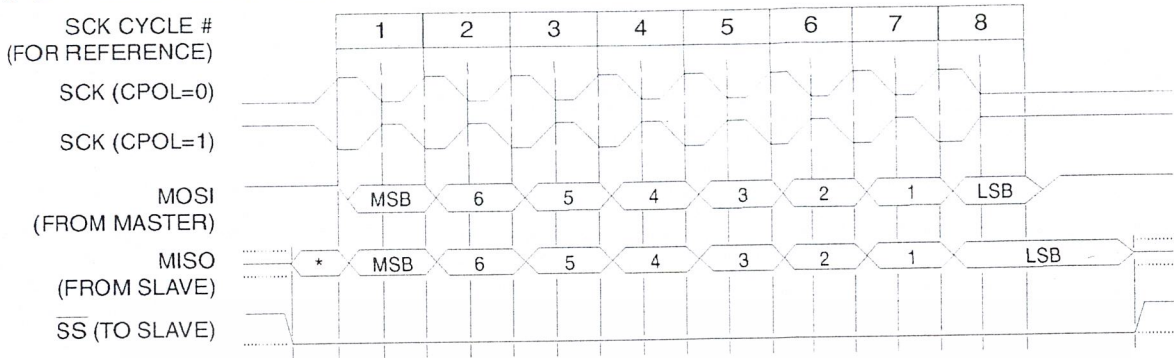
The interconnection between master and slave CPUs with SPI is shown in the following figure. The SCK pin is the clock output in the master mode but is the clock input in the slave mode. Writing to the SPI data register of the master CPU starts the SPI clock generator, and the data written shifts out of the MOSI pin and into the MOSI pin of the slave CPU. After shifting one byte, the SPI clock generator stops, setting the end of transmission flag (SPIF). If both the SPI interrupt enable bit (SPIE) and the serial port interrupt enable bit (ES) are set, an interrupt is requested.

The Slave Select input, $\overline{SS}/P1.4$, is set low to select an individual SPI device as a slave. When $\overline{SS}/P1.4$ is set high, the SPI port is deactivated and the MOSI/P1.5 pin can be used as an input.

There are four combinations of SCK phase and polarity with respect to serial data, which are determined by control bits CPHA and CPOL. The SPI data transfer formats are shown in Figure 8 and Figure 9.



Figure 9. SPI Transfer Format with CPHA = 1



*Not defined but normally LSB of previously transmitted character

Interrupts

The AT89S8252 has a total of six interrupt vectors: two external interrupts ($\overline{INT0}$ and $\overline{INT1}$), three timer interrupts (Timers 0, 1, and 2), and the serial port interrupt. These interrupts are all shown in Figure 10.

Each of these interrupt sources can be individually enabled or disabled by setting or clearing a bit in Special Function Register IE. IE also contains a global disable bit, EA, which disables all interrupts at once.

Note that Table 10 shows that bit position IE.6 is unimplemented. In the AT89C51, bit position IE.5 is also unimplemented. User software should not write 1s to these bit positions, since they may be used in future AT89 products.

Timer 2 interrupt is generated by the logical OR of bits TF2 and EXF2 in register T2CON. Neither of these flags is cleared by hardware when the service routine is vectored to. In fact, the service routine may have to determine whether it was TF2 or EXF2 that generated the interrupt, and that bit will have to be cleared in software.

The Timer 0 and Timer 1 flags, TF0 and TF1, are set at S5P2 of the cycle in which the timers overflow. The values are then polled by the circuitry in the next cycle. However, the Timer 2 flag, TF2, is set at S2P2 and is polled in the same cycle in which the timer overflows.

Table 10. Interrupt Enable (IE) Register

(MSB)(LSB)							
EA	—	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
Enable Bit = 1 enables the interrupt.							
Enable Bit = 0 disables the interrupt.							
Symbol	Position	Function					
EA	IE.7	Disables all interrupts. If EA = 0, no interrupt is acknowledged. If EA = 1, each interrupt source is individually enabled or disabled by setting or clearing its enable bit.					
—	IE.6	Reserved.					
ET2	IE.5	Timer 2 interrupt enable bit.					
ES	IE.4	SPI and UART interrupt enable bit.					
ET1	IE.3	Timer 1 interrupt enable bit.					
EX1	IE.2	External interrupt 1 enable bit.					
ET0	IE.1	Timer 0 interrupt enable bit.					
EX0	IE.0	External interrupt 0 enable bit.					
User software should never write 1s to unimplemented bits, because they may be used in future AT89 products.							

Figure 10. Interrupt Sources

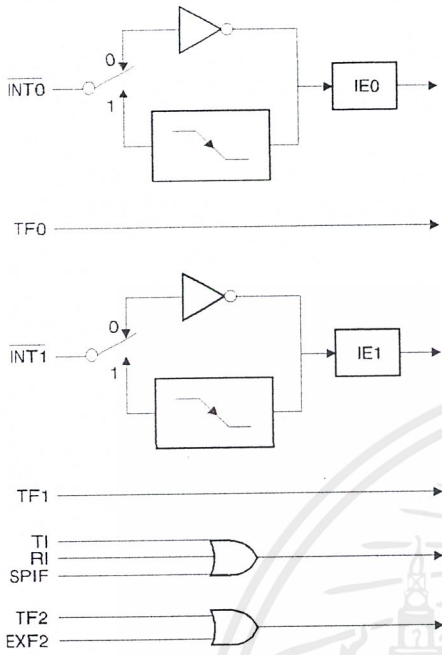
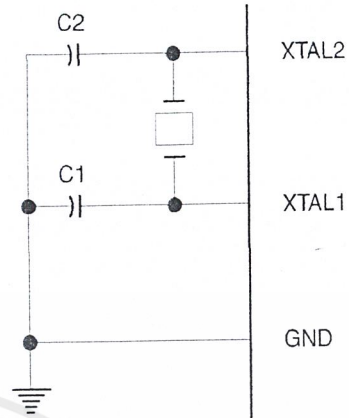
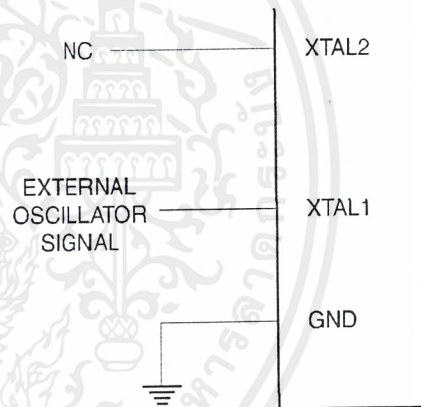


Figure 11. Oscillator Connections



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

Figure 12. External Clock Drive Configuration



Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier that can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 11. 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 12. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Figure 13. Programming the Flash/EEPROM Memory

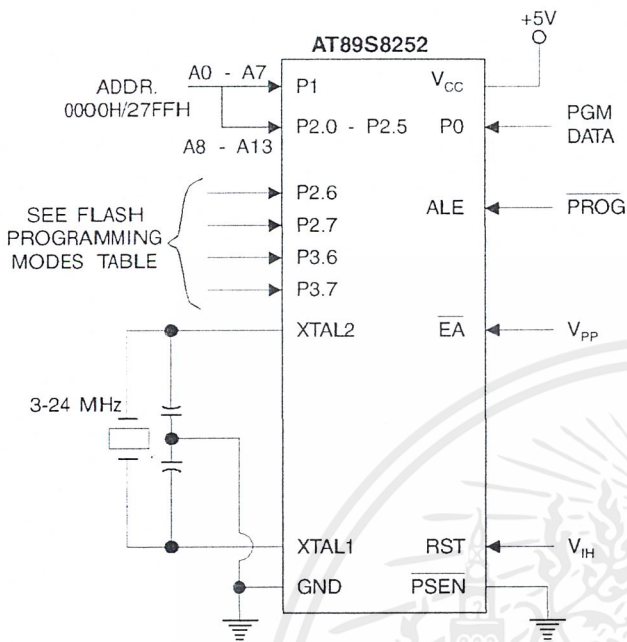


Figure 15. Flash/EEPROM Serial Downloading

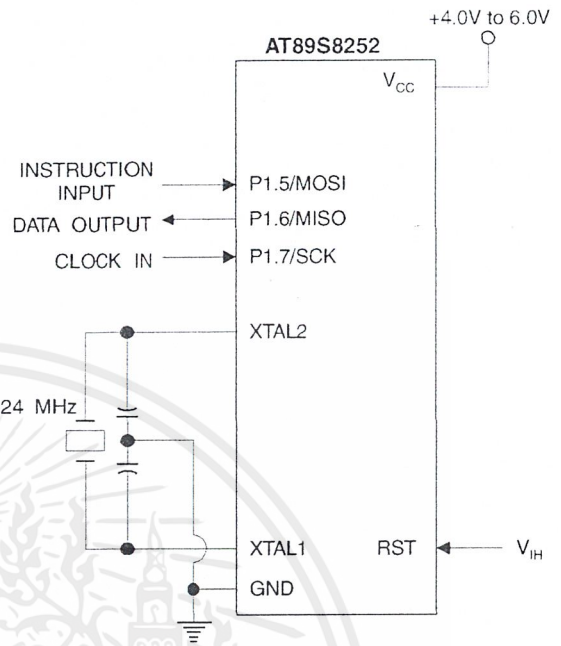
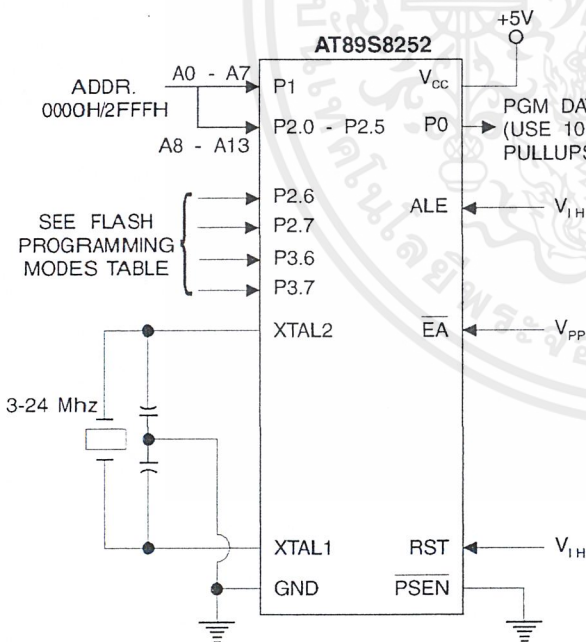


Figure 14. Verifying the Flash/EEPROM Memory



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flash Programming and Verification Characteristics – Parallel Mode

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

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



Absolute Maximum Ratings*

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

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

DC Characteristics

The values shown in this table are valid for $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C and $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$, unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low-voltage	(Except \overline{EA})	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IL1}	Input Low-voltage (\overline{EA})		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
V_{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IH1}	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.5	V
V_{OL1}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, \overline{PSEN})	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.5	V
V_{OH}	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, \overline{PSEN})	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
V_{OH1}	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	μA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port 0, \overline{EA})	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		25	mA
		Idle Mode, 12 MHz		6.5	mA
	Power-down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	μA

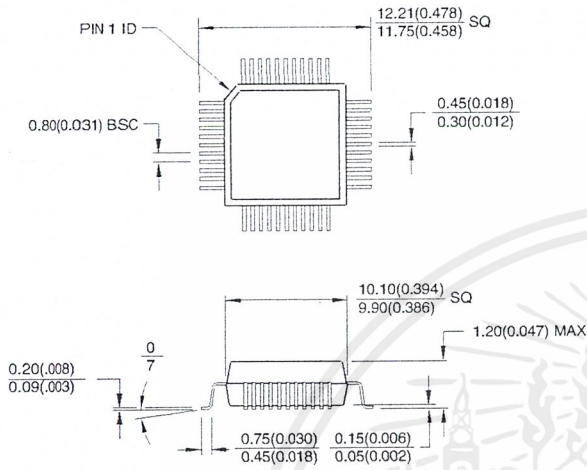
Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
 Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
 Maximum I_{OL} per 8-bit port:
 Port 0: 26 mA
 Ports 1, 2, 3: 15 mA

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 2V.

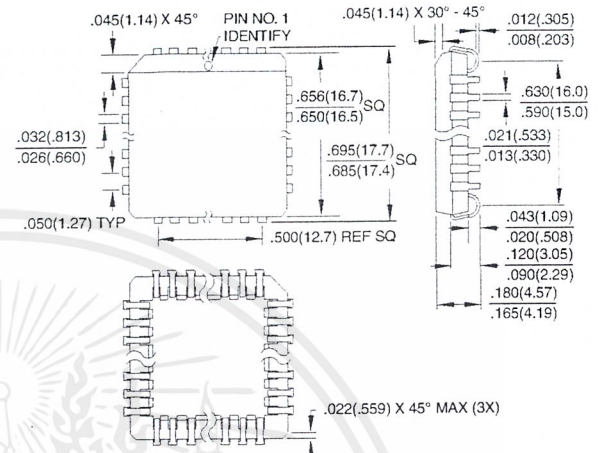
Packaging Information

44A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
 Dimensions in Millimeters and (Inches)*
 JEDEC STANDARD MS-026 ACB

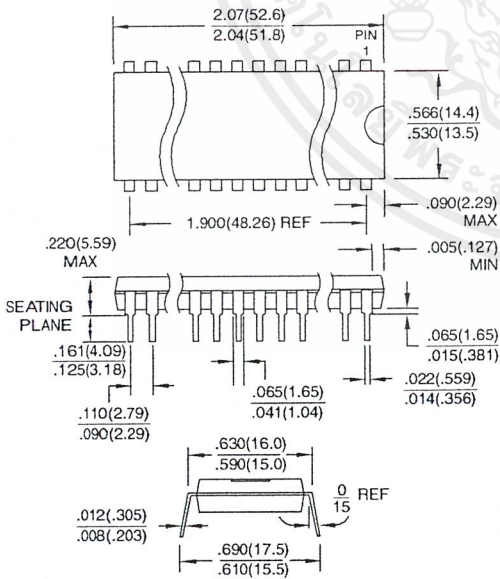


Controlling dimension: millimeters

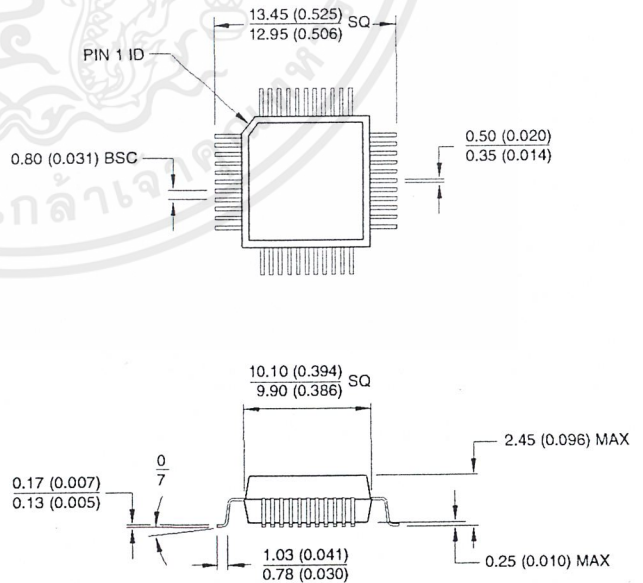
44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)
 JEDEC STANDARD MS-018 AC



40P6, 40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)



44Q, 44-lead, Plastic Quad Flat Package (PQFP)
 Dimensions in Millimeters and (Inches)*
 JEDEC STANDARD MS-022 AB



Controlling dimension: millimeters



DM74LS151 Data Selector/Multiplexer

General Description

This data selector/multiplexer contains full on-chip decoding to select the desired data source. The 'LS151 selects one-of-eight data sources. The 'LS151 has a strobe input which must be at a low logic level to enable these devices. A high level at the strobe forces the W output high, and the Y output low.

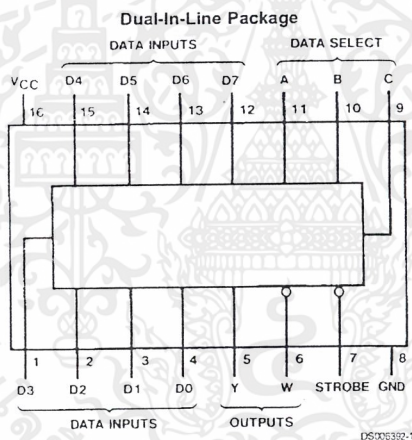
The 'LS151 features complementary W and Y outputs.

- Performs parallel-to-serial conversion
- Permits multiplexing from N lines to one line
- Also for use as Boolean function generator
- Typical average propagation delay time data input to W output 12.5 ns
- Typical power dissipation 30 mW

Features

- Select one-of-eight data lines

Connection Diagram



Order Number 54LS151DMQB, 54LS151FMQB, 54LS151LMQB,
DM54LS151J, DM54LS151W, DM74LS151M or DM74LS151N
See Package Number E20A, J16A, M16A, N16E or W16A

Truth Table

Inputs				Outputs	
Select			Strobe	Y	W
C	B	A	S		
X	X	X	H	L	H
L	L	L	L	D0	$\overline{D0}$
L	L	H	L	D1	$\overline{D1}$
L	H	L	L	D2	$\overline{D2}$
L	H	H	L	D3	$\overline{D3}$
H	L	L	L	D4	$\overline{D4}$
H	L	H	L	D5	$\overline{D5}$
H	H	L	L	D6	$\overline{D6}$
H	H	H	L	D7	$\overline{D7}$

H = High Level, L = Low Level, X = Don't Care
D0, D1...D7 = the level of the respective D input



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

Supply Voltage
Input Voltage
Operating Free Air Temperature Range

7V
7V

DM54LS and 54LS
DM74LS
Storage Temperature Range

-55°C to +125°C
0°C to +70°C
-65°C to +150°C

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	DM54LS151			DM74LS151			Units
		Min	Nom	Max	Min	Nom	Max	
V _{CC}	Supply Voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V _{IH}	High Level Input Voltage	2			2			V
V _{IL}	Low Level Input Voltage			0.7			0.8	V
I _{OH}	High Level Output Current			-0.4			-0.4	mA
I _{OL}	Low Level Output Current			4			8	mA
T _A	Free Air Operating Temperature	-55		125	0		70	°C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 2)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -18 mA			-1.5	V
V _{OH}	High Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max	DM54	2.5	3.4	V
		V _{IL} = Max, V _{IH} = Min	DM74	2.7	3.4	
V _{OL}	Low Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max	DM54	0.25	0.4	V
		V _{IL} = Max, V _{IH} = Min	DM74	0.35	0.5	
		I _{OL} = 4 mA, V _{CC} = Min	DM74	0.25	0.4	
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 7V			0.1	mA
I _{IH}	High Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.7V			20	µA
I _{IL}	Low Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V			-0.4	mA
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max	DM54	-20	-100	mA
		(Note 3)	DM74	-20	-100	
I _{CC}	Supply Current	V _{CC} = Max (Note 4)		6	10	mA

Note 2: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 3: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

Note 4: I_{CC} is measured with all outputs open, strobe and data select inputs at 4.5V, and all other inputs open.

Switching Characteristics

at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C

Symbol	Parameter	From (input) To (output)	R _L = 2 kΩ				Units
			C _L = 15 pF		C _L = 50 pF		
			Min	Max	Min	Max	
t _{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	Select (4 Levels) to Y		43		46	ns
t _{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	Select (4 Levels) to Y		30		36	ns
t _{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	Select (3 Levels) to W		23		25	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

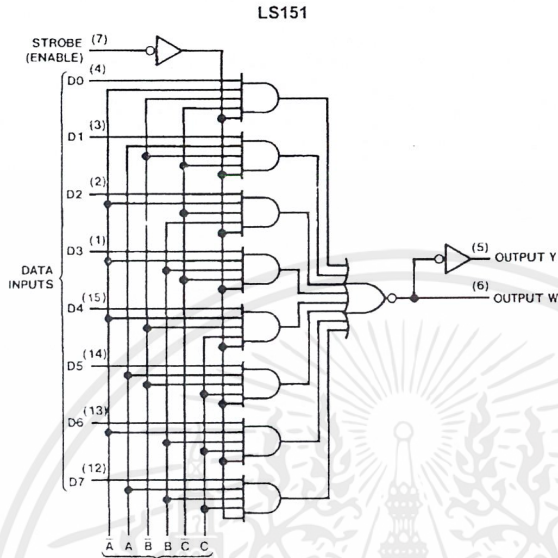
Switching Characteristics (Continued)

at $V_{CC} = 5V$ and $T_A = 25^\circ C$

Symbol	Parameter	From (Input) To (output)	$R_L = 2 k\Omega$				Units
			$C_L = 15 pF$		$C_L = 50 pF$		
			Min	Max	Min	Max	
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	Select (3 Levels) to W		32		40	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	Strobe to Y		42		44	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	Strobe to Y		32		40	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	Strobe to W		24		27	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	Strobe to W		30		36	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	D0 thru D7 to Y		32		35	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	D0 thru D7 to Y		26		33	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	D0 thru D7 to W		21		25	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	D0 thru D7 to W		20		27	ns

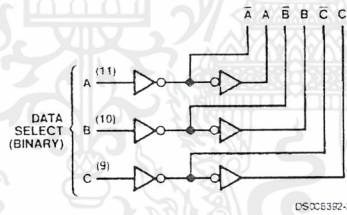
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Logic Diagram



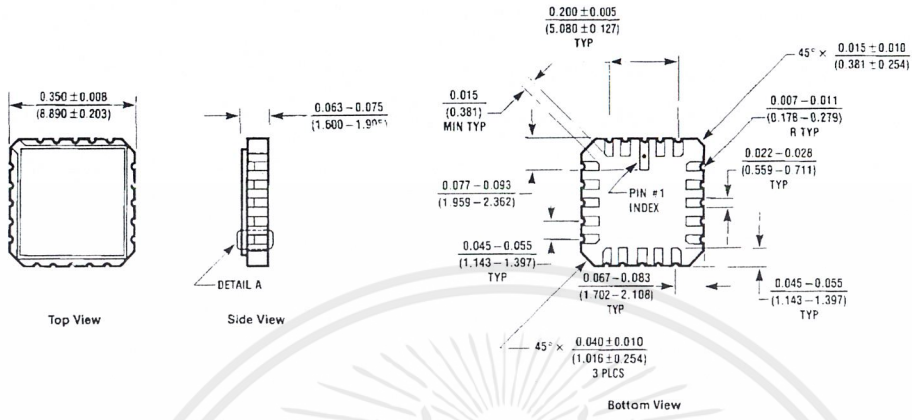
See Address Buffers to the Right

Address Buffers for 54LS151/74LS151

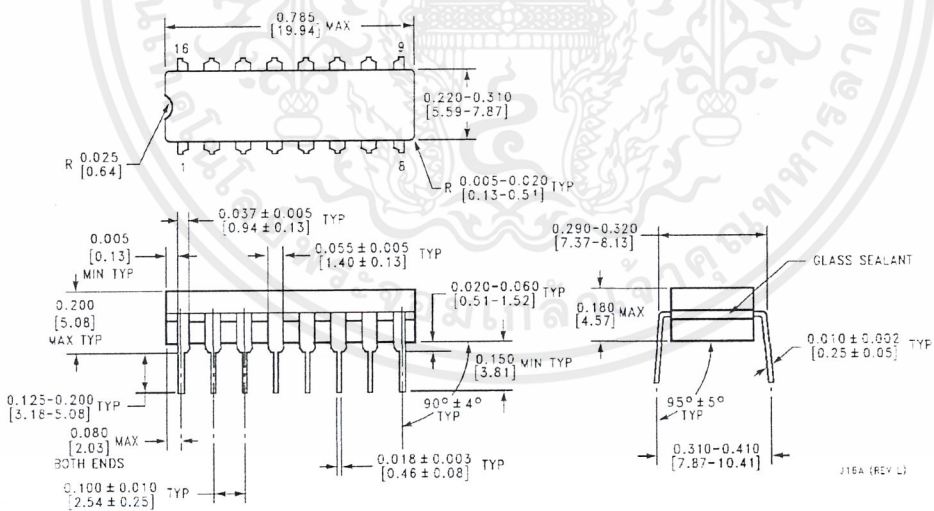


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



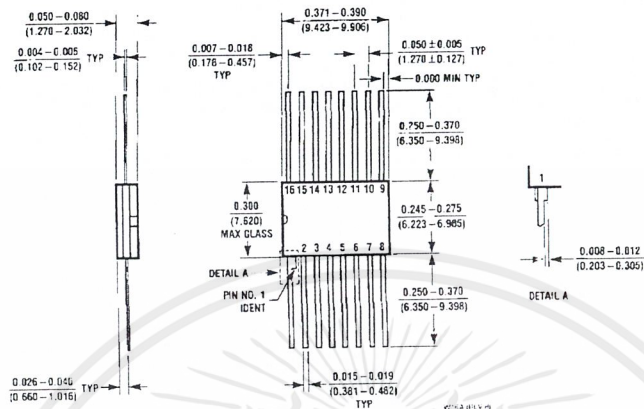
Ceramic Leadless Chip Carrier Package (E)
 Order Number 54LS151LMQB
 Package Number E20A



Ceramic Dual-In-Line Package (J)
 Order Number 54LS151DMQB or DM54LS151J
 Package Number J16A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



16-Lead Ceramic Flat Package (W)
Order Number 54LS151FMQB or DM54LS151W
Package Number W16A

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

Fairchild Semiconductor Corporation Americas
 Customer Response Center
 Tel: 1-888-522-5372

Fairchild Semiconductor Europe
 Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86
 Email: europe.support@nsc.com
 Deutsch Tel: +49 (0) 8 141-35-0
 English Tel: +44 (0) 1 793-85-68-56
 Italy Tel: +39 (0) 2 57 5631

Fairchild Semiconductor Hong Kong Ltd.
 13th Floor, Straight Block,
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.
 Tsimshatsui, Kowloon
 Hong Kong
 Tel: +852 2737-7200
 Fax: +852 2314-0061

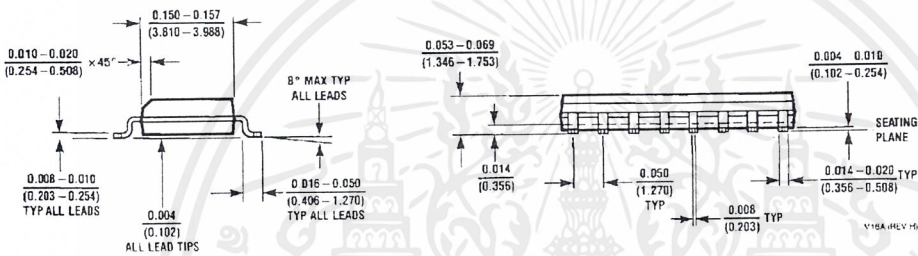
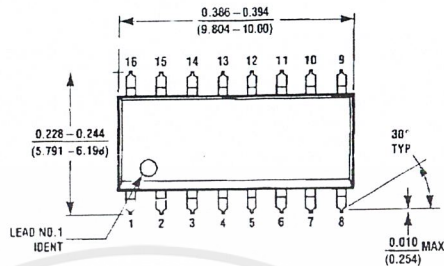
National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-3-5620-6175
 Fax: 81-3-5620-6179

www.fairchildsemi.com

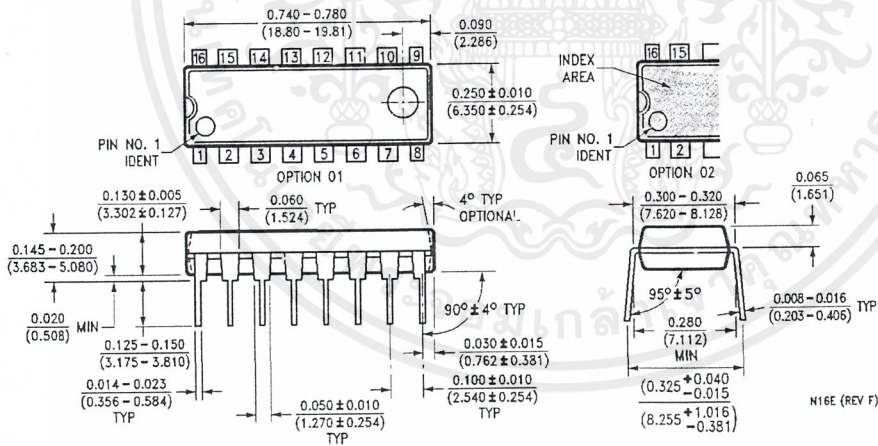
Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



16-Lead Small Outline Molded Package (M)
Order Number DM74LS151M
Package Number M16A



16-Lead Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number DM74LS151N
Package Number N16E

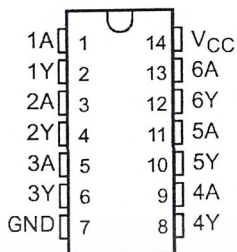
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54LS07, SN74LS07, SN74LS17 HEX BUFFERS/DRIVERS WITH OPEN-COLLECTOR HIGH-VOLTAGE OUTPUTS

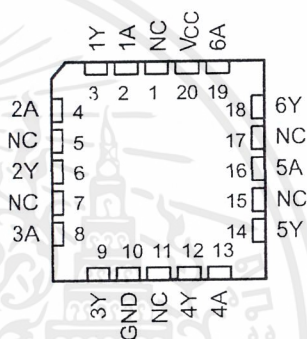
SDLS021A, D3517, MAY 1990—REVISED AUGUST 1991

- Converts TTL-Voltage Levels to MOS Levels
- High Sink-Current Capability
- Input Clamping Diodes Simplify System Design
- Open-Collector Driver for Indicator Lamps and Relays
- Package Options Include “Small Outline” Packages, Ceramic Chip Carriers, and Standard and Ceramic 300-mil DIPs

SN54LS07 . . . J PACKAGE
SN74LS07, SN74LS17 . . . D OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



SN54LS07 . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC - No internal connection

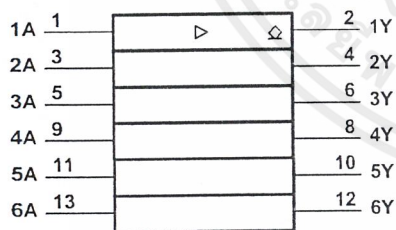
description

These monolithic hex buffers/drivers feature high-voltage open-collector outputs to interface with high-level circuits or for driving high-current loads. They are also characterized for use as buffers for driving TTL inputs. The 'LS07 has a rated output voltage of 30 V and the 'LS17 has a rated output voltage of 15 V. The maximum sink current is 30 mA for the SN54LS07 and 40 mA for the SN74LS07 and SN74LS17.

These circuits are compatible with most TTL families. Inputs are diode-clamped to minimize transmission-line effects, which simplifies design. Typical power dissipation is 140 mW and average propagation delay time is 12 ns.

The SN54LS07 is characterized over the full military temperature range of -55°C to 125°C . The SN74LS07 and SN74LS17 are characterized for operation from 0°C to 70°C .

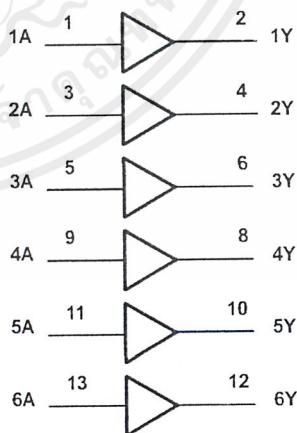
logic symbol†



† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.

Pin numbers shown are for D, J, and N packages.

logic diagram (positive logic)



PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

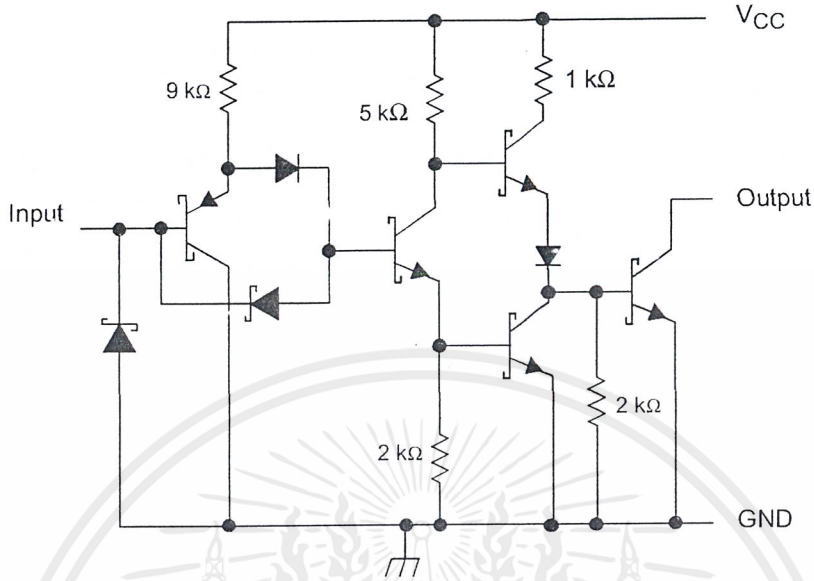
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1991, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54LS07, SN74LS07, SN74LS17 HEX BUFFERS/DRIVERS WITH OPEN-COLLECTOR HIGH-VOLTAGE OUTPUTS

schematic (each gate)



Resistor values shown are nominal.

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{CC}	7 V
Input voltage, V_I (see Note 1)	5.5 V
Output voltage, V_O (see Notes 1 and 2): SN54LS07, SN74LS07	30 V
SN74LS17	15 V
Operating free-air temperature range: SN54LS07	-55°C to 125°C
SN54LS07, SN74LS17	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. Voltage values are with respect to network ground terminal.

2. This is the maximum voltage that should be applied to any output when it is in the off state.

recommended operating conditions

		SN54LS07			SN74LS07 SN74LS17			UNIT		
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX			
V_{CC}	Supply voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V		
V_{IH}	High-level input voltage	2			2			V		
V_{IL}	Low-level input voltage	0.8			0.8			V		
V_{OH}	High-level output voltage	30			30			V		
		30			15					
I_{OL}	Low-level output current	30			40			mA		
T_A	Operating free-air temperature	-55			125			0	70	°C

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

SN54LS07, SN74LS07, SN74LS17 HEX BUFFERS/DRIVERS WITH OPEN-COLLECTOR HIGH-VOLTAGE OUTPUTS

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†		SN54LS07			SN74LS07 SN74LS17			UNIT
			MIN	TYP‡	MAX	MIN	TYP‡	MAX	
V_{IK}	$V_{CC} = \text{MIN}$,	$I_I = -12 \text{ mA}$			-1.5			-1.5	V
I_{OH}	$V_{CC} = \text{MIN}$,	$V_{IH} = 2 \text{ V}$	*LS07, $V_{OH} = 30 \text{ V}$			0.25			mA
			*LS17, $V_{OH} = 15 \text{ V}$			0.25			
V_{OL}	$V_{CC} = \text{MIN}$,	$V_{IL} = 0.8 \text{ V}$	$I_{OL} = 16 \text{ mA}$			0.4			V
			$I_{OL} = \text{MAX}^{\S}$			0.7			
I_I	$V_{CC} = \text{MAX}$,	$V_I = 7 \text{ V}$	1			1			mA
I_{IH}	$V_{CC} = \text{MAX}$,	$V_I = 2.4 \text{ V}$	20			20			μA
I_{IL}	$V_{CC} = \text{MAX}$,	$V_I = 0.4 \text{ V}$	-0.2			-0.2			mA
I_{CCH}	$V_{CC} = \text{MAX}$		14			14			mA
I_{CCL}	$V_{CC} = \text{MAX}$		45			45			mA

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values are at $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$.

§ $I_{OL} = 30 \text{ mA}$ for SN54 series parts and 40 mA for SN74 series parts.

switching characteristics, $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (see Note 3)

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{PLH}	A	Y	$R_L = 110 \Omega$,	$C_L = 15 \text{ pF}$		6	10	ns
t_{PHL}					19	30		

NOTE 3: Load circuit and voltage waveforms are shown in Section 1 of *TTL Logic Data Book*, 1988.

TEXAS
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES

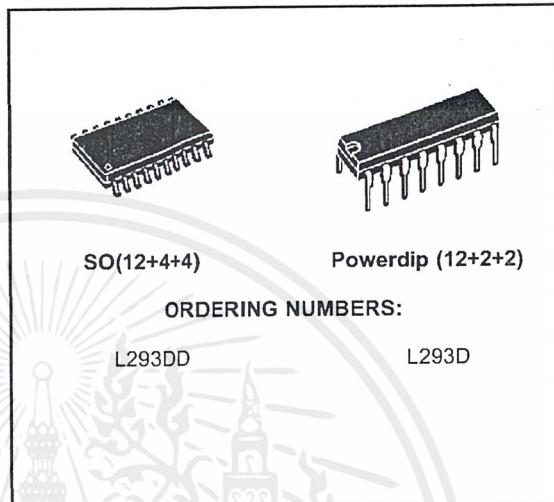
- 600mA OUTPUT CURRENT CAPABILITY PER CHANNEL
- 1.2A PEAK OUTPUT CURRENT (non repetitive) PER CHANNEL
- ENABLE FACILITY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)
- INTERNAL CLAMP DIODES

DESCRIPTION

The Device is a monolithic integrated high voltage, high current four channel driver designed to accept standard DTL or TTL logic levels and drive inductive loads (such as relays solenoids, DC and stepping motors) and switching power transistors.

To simplify use as two bridges each pair of channels is equipped with an enable input. A separate supply input is provided for the logic, allowing operation at a lower voltage and internal clamp diodes are included.

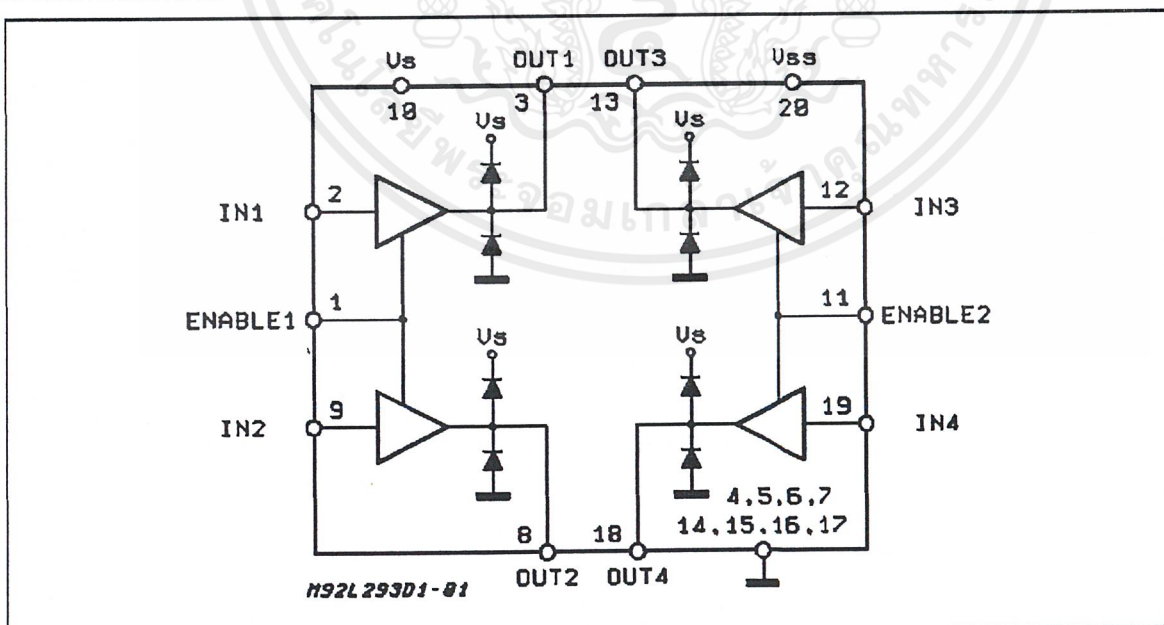
This device is suitable for use in switching applications at frequencies up to 5 kHz.



The L293D is assembled in a 16 lead plastic package which has 4 center pins connected together and used for heatsinking

The L293DD is assembled in a 20 lead surface mount which has 8 center pins connected together and used for heatsinking.

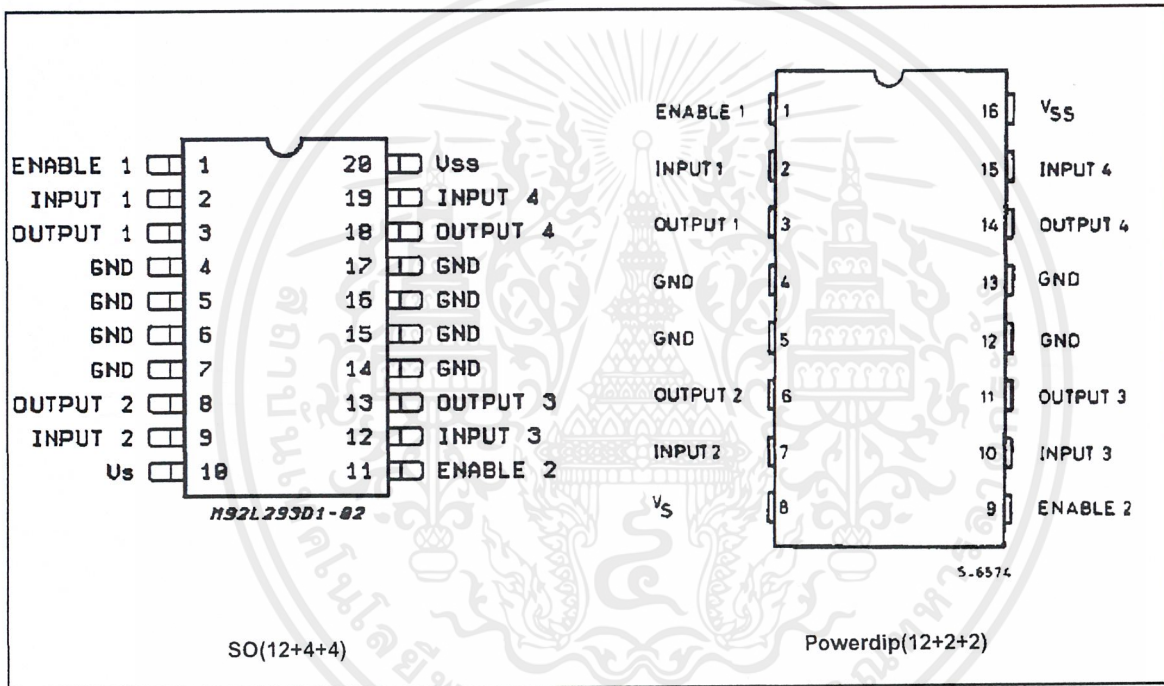
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _S	Supply Voltage	36	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage	36	V
V _i	Input Voltage	7	V
V _{en}	Enable Voltage	7	V
I _o	Peak Output Current (100 μs non repetitive)	1.2	A
P _{tot}	Total Power Dissipation at T _{pins} = 90 °C	4	W
T _{stg} , T _j	Storage and Junction Temperature	- 40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (Top view)



THERMAL DATA

Symbol	Description	DIP	SO	Unit
R _{th i-pins}	Thermal Resistance Junction-pins	max. -	14	°C/W
R _{th i-amb}	Thermal Resistance junction-ambient	max. 80	50 (*)	°C/W
R _{th j-case}	Thermal Resistance Junction-case	max. 14	-	

(*) With 6sq. cm on board heatsink.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (for each channel, $V_S = 24\text{ V}$, $V_{SS} = 5\text{ V}$, $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage (pin 10)		V_{SS}		36	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 20)		4.5		36	V
I_S	Total Quiescent Supply Current (pin 10)	$V_i = L$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$		2	6	mA
		$V_i = H$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$		16	24	mA
		$V_{en} = L$			4	mA
I_{SS}	Total Quiescent Logic Supply Current (pin 20)	$V_i = L$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$		44	60	mA
		$V_i = H$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$		16	22	mA
		$V_{en} = L$		16	24	mA
V_{IL}	Input Low Voltage (pin 2, 9, 12, 19)		-0.3		1.5	V
V_{IH}	Input High Voltage (pin 2, 9, 12, 19)	$V_{SS} \leq 7\text{ V}$	2.3		V_{SS}	V
		$V_{SS} > 7\text{ V}$	2.3		7	V
I_{iL}	Low Voltage Input Current (pin 2, 9, 12, 19)	$V_{iL} = 1.5\text{ V}$			-10	μA
I_{iH}	High Voltage Input Current (pin 2, 9, 12, 19)	$2.3\text{ V} \leq V_{iH} \leq V_{SS} - 0.6\text{ V}$		30	100	μA
V_{enL}	Enable Low Voltage (pin 1, 11)		-0.3		1.5	V
V_{enH}	Enable High Voltage (pin 1, 11)	$V_{SS} \leq 7\text{ V}$	2.3		V_{SS}	V
		$V_{SS} > 7\text{ V}$	2.3		7	V
I_{enL}	Low Voltage Enable Current (pin 1, 11)	$V_{enL} = 1.5\text{ V}$		-30	-100	μA
I_{enH}	High Voltage Enable Current (pin 1, 11)	$2.3\text{ V} \leq V_{enH} \leq V_{SS} - 0.6\text{ V}$			± 10	μA
$V_{CE(sat)H}$	Source Output Saturation Voltage (pins 3, 8, 13, 18)	$I_O = -0.6\text{ A}$		1.4	1.8	V
$V_{CE(sat)L}$	Sink Output Saturation Voltage (pins 3, 8, 13, 18)	$I_O = +0.6\text{ A}$		1.2	1.8	V
V_F	Clamp Diode Forward Voltage	$I_O = 600\text{ nA}$		1.3		V
t_r	Rise Time (*)	0.1 to 0.9 V_O		250		ns
t_f	Fall Time (*)	0.9 to 0.1 V_O		250		ns
t_{on}	Turn-on Delay (*)	0.5 V_i to 0.5 V_O		750		ns
t_{off}	Turn-off Delay (*)	0.5 V_i to 0.5 V_O		200		ns

(*) See fig. 1.

TRUTH TABLE (one channel)

Input	Enable (*)	Output
H	H	H
L	H	L
H	L	Z
L	L	Z

Z = High output impedance
 (*) Relative to the considered channel

Figure 1: Switching Times

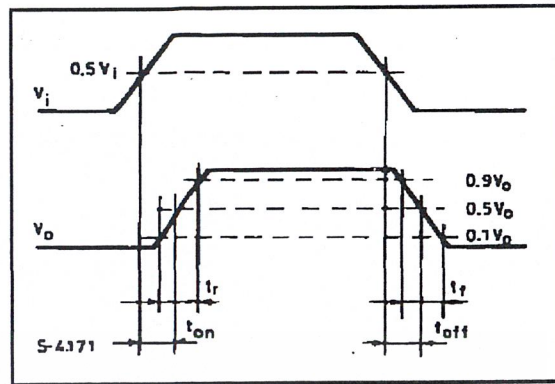
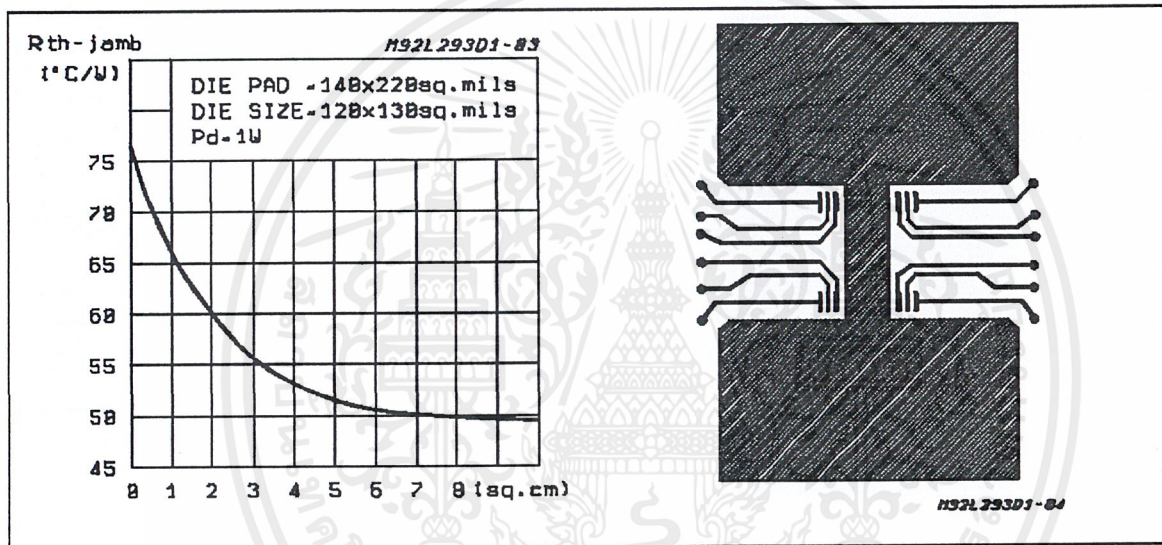
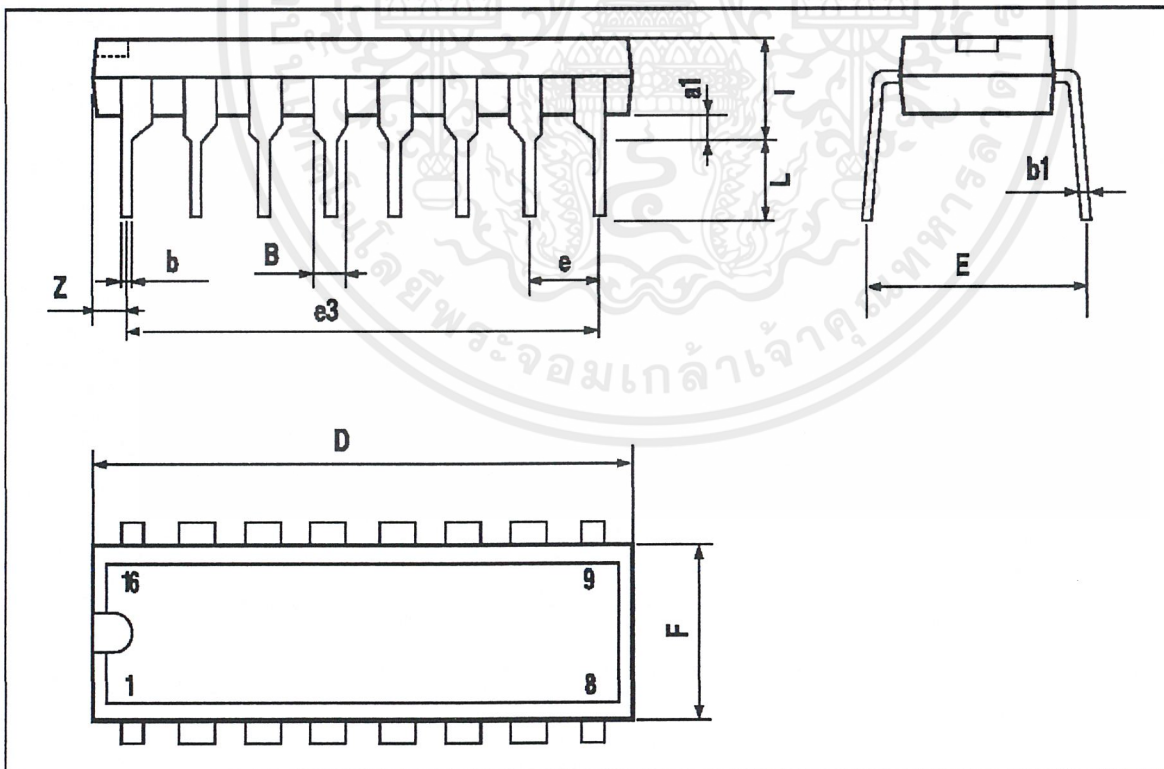


Figure 2: Junction to ambient thermal resistance vs. area on board heatsink (SO12+4+4 package)



POWERDIP16 PACKAGE MECHANICAL DATA

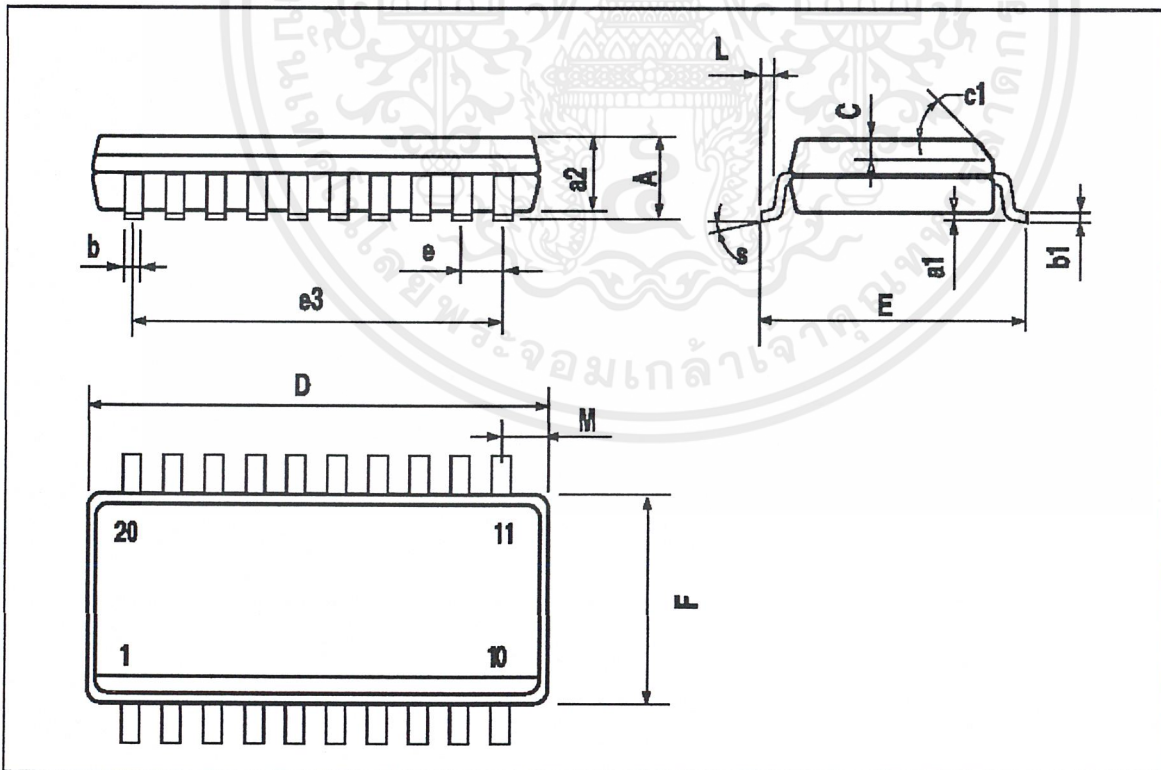
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.85		1.40	0.033		0.055
b		0.50			0.020	
b1	0.38		0.50	0.015		0.020
D			20.0			0.787
E		8.80			0.346	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.10			0.280
l			5.10			0.201
L		3.30			0.130	
Z			1.27			0.050



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SO20 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			2.65			0.104
a1	0.1		0.2	0.004		0.008
a2			2.45			0.096
b	0.35		0.49	0.014		0.019
b1	0.23		0.32	0.009		0.013
C		0.5			0.020	
c1		45			1.772	
D		1	12.6		0.039	0.496
E	10		10.65	0.394		0.419
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
F		1	7.4		0.039	0.291
G	8.8		9.15	0.346		0.360
L	0.5		1.27	0.020		0.050
M			0.75			0.030
S			8° (max.)			





+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

General Description

The MAX220-MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where $\pm 12V$ is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than $5\mu W$. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

Applications

Portable Computers
Low-Power Modems
Interface Translation
Battery-Powered RS-232 Systems
Multidrop RS-232 Networks

Features

Superior to Bipolar

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering Information continued at end of data sheet.

*Contact factory for dice specifications.

Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value (μF)	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.1	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package



Maxim Integrated Products 1

For free samples and the latest literature, visit www.maxim-ic.com or phone 1-800-998-8800. For small orders, phone 1-800-835-8769.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX220/222/232A/233A/242/243

Supply Voltage (V _{CC})	-0.3V to +6V	20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	..440mW
Input Voltages		16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C)	...696mW
T _{IN}	-0.3V to (V _{CC} - 0.3V)	16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	.....762mW
R _{IN} (Except MAX220)	±30V	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	.....762mW
R _{IN} (MAX220)	±25V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	....800mW
T _{OUT} (Except MAX220) (Note 1)	±15V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	.....640mW
T _{OUT} (MAX220)	±13.2V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)	.....800mW
Output Voltages		18-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	.....842mW
T _{OUT}	±15V	Operating Temperature Ranges	
R _{OUT}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	MAX2_AC_, MAX2_C_	.....0°C to +70°C
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND	Continuous	MAX2_AE_, MAX2_E_	.....-40°C to +85°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		MAX2_AM_, MAX2_M_	.....-55°C to +125°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	....842mW	Storage Temperature Range	.....-65°C to +160°C
18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	....889mW	Lead Temperature (soldering, 10sec)	.....+300°C

Note 1: Input voltage measured with T_{OUT} in high-impedance state, $\overline{\text{SHDN}}$ or V_{CC} = 0V.

Note 2: For the MAX220, V+ and V- can have a maximum magnitude of 7V, but their absolute difference cannot exceed 13V.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243

(V_{CC} = +5V ±10%, C1-C4 = 0.1μF, MAX220, C1 = 0.047μF, C2-C4 = 0.33μF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
RS-232 TRANSMITTERS						
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to GND	±5	±8		V	
Input Logic Threshold Low			1.4	0.8	V	
Input Logic Threshold High	All devices except MAX220	2	1.4		V	
	MAX220: V _{CC} = 5.0V	2.4				
Logic Pull-Up/Input Current	All except MAX220, normal operation		5	40	μA	
	$\overline{\text{SHDN}}$ = 0V, MAX222/242, shutdown, MAX220		±0.01	±1		
Output Leakage Current	V _{CC} = 5.5V, $\overline{\text{SHDN}}$ = 0V, V _{OUT} = ±15V, MAX222/242		±0.01	±10	μA	
	V _{CC} = $\overline{\text{SHDN}}$ = 0V, V _{OUT} = ±15V		±0.01	±10		
Data Rate			200	116	kb/s	
Transmitter Output Resistance	V _{CC} = V+ = V- = 0V, V _{OUT} = ±2V	300	10M		Ω	
Output Short-Circuit Current	V _{OUT} = 0V	±7	±22		mA	
RS-232 RECEIVERS						
RS-232 Input Voltage Operating Range				±30	V	
RS-232 Input Threshold Low	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R _{2IN}	0.8	1.3	V	
		MAX243 R _{2IN} (Note 2)	-3			
RS-232 Input Threshold High	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R _{2IN}		1.8	2.4	V
		MAX243 R _{2IN} (Note 2)		-0.5	-0.1	
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX243, V _{CC} = 5V, no hysteresis in shdn.	0.2	0.5	1	V	
	MAX243		1			
RS-232 Input Resistance		3	5	7	kΩ	
TTL/CMOS Output Voltage Low	I _{OUT} = 3.2mA		0.2	0.4	V	
TTL/CMOS Output Voltage High	I _{OUT} = -1.0mA	3.5	V _{CC} - 0.2		V	
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V _{OUT} = GND	-2	-10		mA	
	Shrinking V _{OUT} = V _{CC}	10	30			

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

(V_{CC} = +5V ± 10%, C₁–C₄ = 0.1μF, MAX220, C₁ = 0.047μF, C₂–C₄ = 0.33μF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
TTL/CMOS Output Leakage Current	SHDN = V _{CC} or EN = V _{CC} (SHDN = 0V for MAX222), 0V ≤ V _{OUT} ≤ V _{CC}			±0.05	±10	μA
EN Input Threshold Low	MAX242			1.4	0.8	V
EN Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5		5.5	V
V _{CC} Supply Current (SHDN = V _{CC}), Figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220		0.5	2	mA
		MAX222/232A/233A/242/243		4	10	
	3kΩ load both inputs	MAX220		12		
		MAX222/232A/233A/242/243		15		
Shutdown Supply Current	MAX222/242	T _A = +25°C		0.1	10	μA
		T _A = 0°C to +70°C		2	50	
		T _A = -40°C to +85°C		2	50	
		T _A = -55°C to +125°C		35	100	
SHDN Input Leakage Current	MAX222/242				±1	μA
SHDN Threshold Low	MAX222/242			1.4	0.8	V
SHDN Threshold High	MAX222/242		2.0	1.4		V
Transition Slew Rate	C _L = 50pF to 2500pF, R _L = 3kΩ to 7kΩ, V _{CC} = 5V, T _A = +25°C, measured from +3V to -3V or -3V to +3V	MAX222/232A/233A/242/243	6	12	30	V/μs
		MAX220	1.5	3	30	
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t _{PHLT}	MAX222/232A/233A/242/243		1.3	3.5	μs
		MAX220		4	10	
	t _{PLHT}	MAX222/232A/233A/242/243		1.5	3.5	
		MAX220		5	10	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (normal operation), Figure 2	t _{PHLR}	MAX222/232A/233A/242/243		0.5	1	μs
		MAX220		0.6	3	
	t _{PLHR}	MAX222/232A/233A/242/243		0.6	1	
		MAX220		0.8	3	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (shutdown), Figure 2	t _{PHLS}	MAX242		0.5	10	μs
	t _{PLHS}	MAX242		2.5	10	
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t _{ER}	MAX242		125	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t _{DR}	MAX242		160	500	ns
Transmitter-Output Enable Time (SHDN goes high), Figure 4	t _{ET}	MAX222/242, 0.1μF caps (includes charge-pump start-up)		250		μs
Transmitter-Output Disable Time (SHDN goes low), Figure 4	t _{DT}	MAX222/242, 0.1μF caps		600		ns
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLT} - t _{PLHT}	MAX222/232A/233A/242/243		300		ns
		MAX220		2000		
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLR} - t _{PLHR}	MAX222/232A/233A/242/243		100		ns
		MAX220		225		

Note 3: MAX243 R_{2OUT} is guaranteed to be low when R_{2IN} is ≥ 0V or is floating.

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

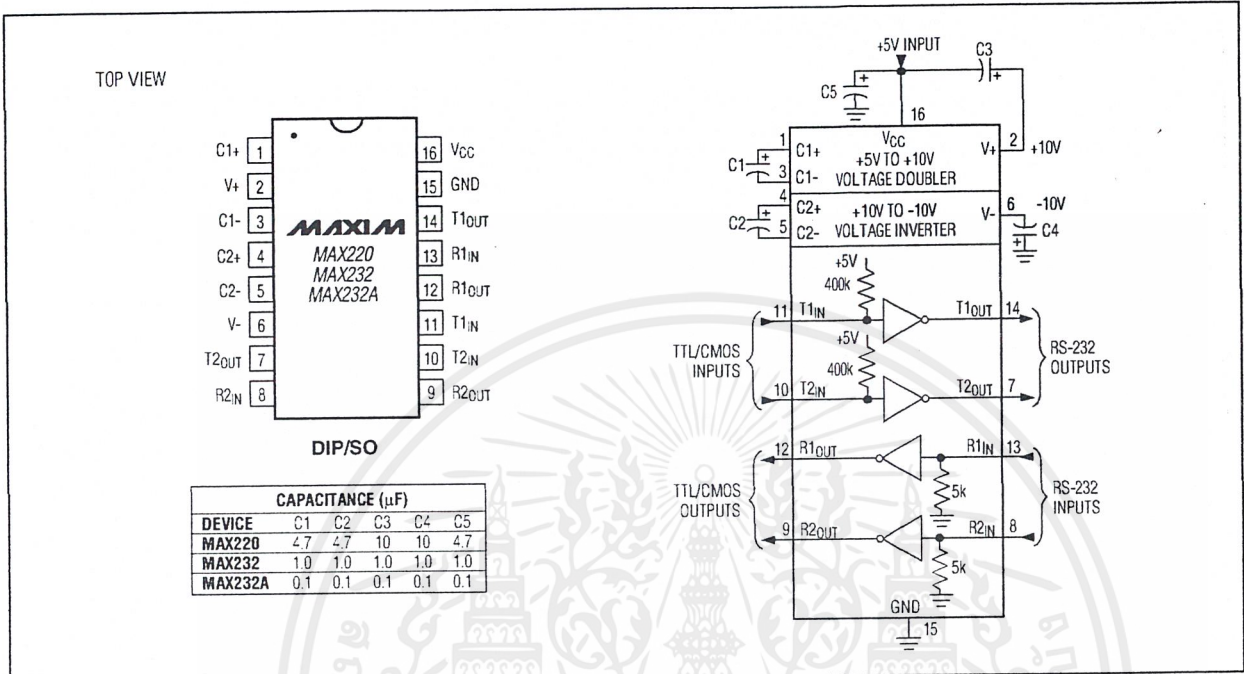


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

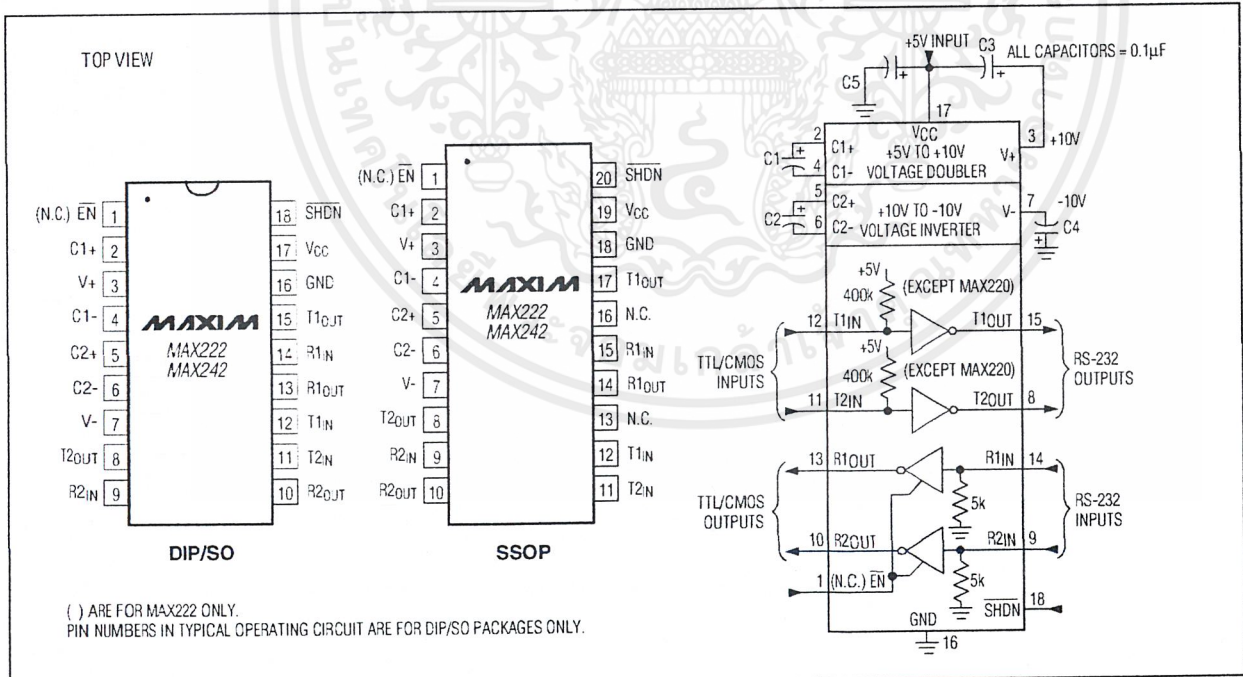


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit