

แขนกล  
(Robot Arm)



โดย

นายกานต์ วิชาญญแพทย์ 41014021

นายชนวัฒน์ ชุณหวิกลิต 41014088

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สุมิตร พนาอุดมทรัพย์

ปฏิญยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 45738  
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2544

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แขนกล

ROBOT ARM

ผู้จัดทำ

1. นายกานต์ วิริญญแพทย์ รหัสประจำตัว 41014021

2. นายชนวัฒน์ ชุณหวิกสิต รหัสประจำตัว 41014088



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ สุमितร์ พนาอุดมทรัพย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แขนกล

นายกานต์ วิริญญแพทย์

นายชนวัฒน์ ชุณหวิภิกสิต

อาจารย์ สุमितร พนาอุดมทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมระบบควบคุม) ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นำเสนอโครงการแขนกล สำหรับงานอุตสาหกรรม โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำทฤษฎีหุ่นยนต์มาประยุกต์ในการใช้งานจริง แขนกลที่สร้างขึ้น แบ่งการทำงานเป็น 2 ระบบ คือ ระบบบังคับด้วยมือ และระบบอัตโนมัติ คณะผู้จัดทำหวังว่าโครงการแขนกลนี้จะถูกพัฒนา และนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เป็นระบบอัตโนมัติอย่างแพร่หลายต่อไป

### ABSTRACT

This project is a part of Bachelor Degree of Engineering (Control Engineering) curriculum of King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang and presents the Robot Arm for assembly line work in 2 mode , manual and automatic mode. For purpose that applying the Robotics Theory to render Arm. We hope that, in the future, Robot Arm will be developed and widely used in automation industry.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
สารบัญรูป	iii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงาน	1
1.3 องค์ประกอบของโครงการ	1
1.4 ความหมายของแขนงกล	2
1.5 แขนงกลอุตสาหกรรม	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	10
2.1 การแบ่งประเภทของแขนงกล	10
2.2 คีเนมาติกส์ และไดนามิกส์	17
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51	21
2.4 การนำพอร์ตมาใช้งาน	24
2.5 การสื่อสารข้อมูลอนุกรม	25
2.6 การใช้งาน 8255 กับ 8951	27
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	34
บทที่ 4 การทดลอง ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง	35
4.1 ค่าคุณสมบัติของแขนงกลที่สร้างขึ้น	35
4.2 การทดลอง	37
4.3 การออกแบบการทดลอง	39
4.4 ตารางผลการทดลอง	39
4.5 สรุปผลการทดลอง	41
กิตติกรรมประกาศ	
ภาคผนวก	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูปภาพ

บทที่ 1	บทนำ	
รูปที่	1.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ทั้ง 6 ระดับชั้นความเร็วของหุ่นยนต์	3
	1.2 ลักษณะของมือจับแบบต่างๆ	5
	1.3 ลักษณะของมือจับที่เป็นอุปกรณ์แบบต่างๆ	6
	1.4 ลักษณะของเวิร์คเซลล์	7
	1.5 ลักษณะการสั่งงานแบบลีดทรีโดยอาศัยโรบอทซีมูเลเตอร์	8
บทที่ 2	ทฤษฎี	
รูปที่	2.1 แขนกลที่มีลักษณะคล้ายแขนมนุษย์	11
	2.1-ก แกนทรี โรบอท	12
	2.1-ข เวิร์คเอนเวลลอปของแกนทรีโรบอท	12
	2.2-ก ไชเลนดริคคอลล โรบอท	13
	2.2-ข เวิร์คเอนเวลลอปของไชเลนดริคคอลลโรบอท	13
	2.3-ก สเฟียร์คอลล โรบอท	14
	2.3-ข เวิร์คเอนเวลลอปของสเฟียร์คอลลโรบอท	14
	2.4-ก สการ่า โรบอท	15
	2.4-ข เวิร์คเอนเวลลอปของสการ่าโรบอท	15
	2.5-ก อาร์ทิกิวเลท โรบอท	16
	2.5-ข เวิร์คเอนเวลลอปของอาร์ทิกิวเลทโรบอท	16
	2.6 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 51	22
	2.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณแบบที่ทีแอล	26
	2.8 ความหมายของบิตภายในไบต์ข้อมูลควบคุมสำหรับ 8255	28
	2.9 แผนภาพวงจรแสดงการเชื่อมต่อระหว่าง 8255 กัย 8951	29
บทที่ 4	การทดลอง ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง	
รูปที่	4.1 ลิงค์-โคออดิเนทไดอะแกรม	35

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันมีการนำแขนกลมาทำงานแทนมนุษย์กันมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศไทย มีหลายบริษัทได้นำแขนกลเข้ามาช่วยในงานอุตสาหกรรม ซึ่งแขนกลดังกล่าว ส่วนใหญ่ยังต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศทำให้มีราคาสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตสินค้าสูงไปด้วย การเลือกใช้แขนกลที่ผลิตภายในประเทศจะช่วยให้ต้นทุนการผลิตสินค้าถูกลง ดังนั้นจึงควรที่จะมีการขยายการศึกษาและการค้นคว้าเกี่ยวกับแขนกลให้มากขึ้น เพื่อที่จะสามารถนำแขนกลไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ในงานอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสม และสิ้นเปลืองงบการลงทุนให้น้อยที่สุด โดยที่ใช้มันสมองของคนไทย

งานหลายประเภท มีลักษณะการทำงานที่ซ้ำๆกัน โดยเฉพาะงานการประกอบชิ้นงาน ซึ่งไม่ได้มีความซับซ้อนมากนัก น่าจะสามารถใช้เครื่องจักรมาทำงานแทนมนุษย์ได้ และเครื่องจักรที่ว่านี้จะต้องผลิตผลงานได้อย่างสม่ำเสมอ และมีคุณภาพเป็นมาตรฐานเดียวกัน จึงมีความคิดที่จะนำความรู้ที่ได้เรียนมาในด้านวิศวกรรมมาเพื่อแก้ปัญหา ในที่สุดจึงเลือกที่จะใช้แขนกลมาเป็นหัวข้อในการทำโครงงานครั้งนี้

การตัดสินใจเลือกทำโครงงานนี้ก็เพื่อที่จะศึกษาพื้นฐานหลักการทำงานของแขนกล โดยให้แขนกลประกอบชิ้นงานสมมติได้อย่างถูกต้อง มีการทำงานแบบอัตโนมัติ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงงานแขนกลชิ้นนี้จะทำให้เกิดแนวคิดที่จะพัฒนาแขนกลให้สามารถทำงานอื่นๆ ตามที่ต้องการได้ รวมถึงการเพิ่มความสามารถในการทำงานที่ซับซ้อนขึ้นต่อไปในอนาคต

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของงาน

คือ เพื่อแสดงให้เห็นถึงการนำทฤษฎีของแขนกล (Robot Arm) แบบ SCARA มาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม

#### 1.3 องค์ประกอบของโครงงาน

โครงงานนี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ Software และ Hardware

##### Software

คือ ใช้โปรแกรมในส่วนของคำสั่งให้กับแขนกล

##### Hardware

ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

##### 1. คอมพิวเตอร์

๒. การ์ดอินเตอร์เฟซ (interface card) ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51 (MCS-51) ต่อเพิ่มพอร์ตด้วย 8255 จากนั้นจึงแปลงสัญญาณเป็นอนาล็อก ด้วยวงจรถูเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงจรตัวควบคุมแบบพีไอ (PI-Controller)
4. วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง
5. แขนกล

#### 1.4 ความหมายของแขนกล

แขนกล (หุ่นยนต์) หรือ ภาษาอังกฤษเขียนว่า Robot มาจากบทละครของ นายคาเรล คาเปก (Karel Capek) นักแต่งนิยายชาว เช็ก เรื่อง R.U.R (Rossum's Universal Robots) ซึ่งหมายถึงคนงานคำจำกัดความของ หุ่นยนต์

" an automatically controlled, reprogrammable, multipurpose, manipulator programmable in three or more axes which may be either fixed in place or mobile for use in industrial automation application"

หุ่นยนต์ คือ เครื่องจักรที่ถูกควบคุมอัตโนมัติ สามารถเขียนโปรแกรมใหม่ได้ ใช้งานเอนกประสงค์ โปรแกรมการเคลื่อนที่ที่จะต้องสามารถโปรแกรมให้เคลื่อนที่ได้อย่างน้อย 3 แกนหรือมากกว่า หุ่นยนต์อาจจะยึดอยู่กับที่หรือ ย้ายตำแหน่ง (Mobile) เพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม

#### 1.5 แขนกลอุตสาหกรรม

หุ่นยนต์อุตสาหกรรมนั้น หากจะนิยามสั้นๆก็จะกล่าวได้ว่า คือ เครื่องมือชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถทำงานได้ตามคำสั่ง โดยลักษณะของงานจะเป็นการจัดการโดยอาศัยความสามารถเฉพาะตัว คือ สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแน่นอน

ตัวอย่างของงานที่ใช้หุ่นยนต์ช่วยงาน มีมากมายอาทิเช่น การประกอบชิ้นส่วน การพ่นสี การเชื่อม ฯลฯ โดยตำแหน่งที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปปฏิบัติงานนั้นจะยังคงที่ตลอดเวลาและสามารถทำงานซ้ำๆได้หลายครั้ง โดยไม่มีการผิดพลาด จนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงคำสั่ง การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมนี้ หลักการจะคล้ายกับการทำงานของอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยคำสั่งเชิงตัวเลข (numerical control machine) ในลักษณะของการทำงาน การป้อนกลับ (feedback) ฯลฯ แต่จุดที่ต่างกันก็คือ การสั่งงานหรือการโปรแกรมหุ่นยนต์นี้จะทำโดยตรง ไม่ต้องผ่านเทปกระดาษ โดยมีแนวโน้มว่าจะมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กเพิ่มขึ้น เพราะสามารถควบคุมได้ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ทำให้มีความยืดหยุ่นสูง

##### 1.5.1 คุณสมบัติเฉพาะของหุ่นยนต์

ในการทำงานของหุ่นยนต์แต่ละตัว มีขีดความสามารถไม่เหมือนกัน ซึ่งหุ่นแต่ละชนิดของการออกแบบมีความถนัดไม่เท่ากัน

1.5.1.1 หุ่นยนต์ที่มีความละเอียดสูง ซึ่งใช้มอเตอร์ไฟฟ้า (electric motor) มาสร้างหุ่นยนต์ ใช้ในงานผลิตที่ต้องการความละเอียดสูง และมีความแม่นยำมากๆ เช่น ผลิตไอซี

1.5.1.2 หุ่นยนต์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น หุ่นยนต์ในระบบต่างๆ เช่น ระบบการขุดเจาะ, ยกน้ำหนัก ฯลฯ มีการออกแบบจากไฮดรอลิก (hydraulic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.1.3 หุ่นยนต์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและหุ่นยนต์ทั่วไป มีความสามารถไม่สูงนัก เช่น ระบบการกำหนดเป้าหมายต่างๆ เช่น เลื่อนเป้า, จัดลำดับเหล็กในการตัดของเลื่อยไฟฟ้า เป็นต้น มีการออกแบบจากนิวแมติก (pneumatic)

## 1.5.2 ข้อเสียของหุ่นยนต์แบบต่าง ๆ

1.5.2.1 ระบบมอเตอร์ไฟฟ้า มีการออกแบบยุ่งยาก ซับซ้อน

1.5.2.2 ระบบไฮดรอลิก มีความคลาดเคลื่อนสูง

1.5.2.3 ระบบนิวแมติก ใช้ในงานละเอียดได้ไม่ดีเท่าที่ควรและใช้รับน้ำหนักมากๆได้ไม่ดี

## 1.5.3 รายละเอียดการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ

1.5.3.1 การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (vertical transverse) โดยการยกทั้งแขนขึ้น หรือยกลงตามแนวตั้ง

1.5.3.2 การเคลื่อนที่ตามแนวรัศมี (radial transverse) เป็นการยืดหดในส่วนมือออกจากแกน

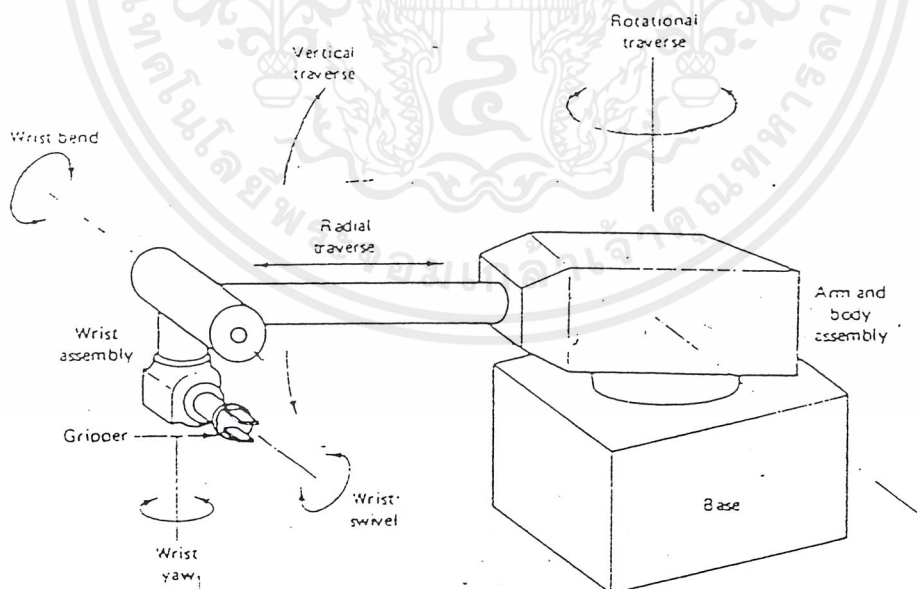
1.5.3.3 การหมุน (rotation transverse) เป็นการหมุนรอบแกน

ในส่วนข้อมือ จะแบ่งออกเป็นอีก 3 อย่างคือ

1.5.3.3.1 การหมุนของข้อมือ (wrist swivel) ดูรูปที่ 1.1 ประกอบ

1.5.3.3.2 การบิดของข้อมือ (wrist bend) เช่น การยกของขึ้นลง ดูรูป 1.1 ประกอบ

1.5.3.3.3 การหันเหข้อมือ (wrist yaw) โดยหันไปทางซ้ายหรือขวา ดูรูปที่ 1.1 ประกอบ



รูปที่ 1.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ทั้ง 6 ระดับชั้นความเร็วของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.5.4 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมนี้ จะคล้ายกับการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ใน เครื่องจักรเอ็นซี ที่กล่าวคือมีได้ 2 ลักษณะคือ การเคลื่อนที่จากจุดไปจุด (point to point) และแบบต่อเนื่อง (continuous path) โดยแบบแรกจะเป็นการกำหนดตำแหน่ง (เริ่มต้นถึงสิ้นสุด) ให้กับหุ่นยนต์เพื่อให้มันเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง โดยไม่สนใจว่าจะใช้เส้นทางไหน ซึ่งหุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ สามารถนำไปใช้ในงานประเภท หยิบ จับ ยกของ หรืองานเชื่อมตามจุด (spot welding) ฯลฯ ส่วนแบบต่อเนื่องหรือแบบคอนทัวร์ (contour) นี้ แนวทางการเคลื่อนที่จะกำหนดแน่นอน ดังนั้น จึงใช้ได้กับงานที่อาศัยแนวทางการเคลื่อนที่ด้วย เช่น การพ่นสีชิ้นส่วน การเชื่อมแบบต่อเนื่อง (arc welding) ฯลฯ โดยแบบหลังนี้จำเป็นต้องใช้หน่วยความจำในการสั่งงานมากกว่าแบบแรก

#### 1.5.5 คุณสมบัติอื่นๆของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมทั่วไป

ลักษณะของระบบขับ (drive system)

1.5.5.1 ระบบไฮดรอลิก ซึ่งเป็นระบบที่ง่ายต่อการดูแลรักษา ทนทาน และการเคลื่อนที่ได้เร็ว

1.5.5.2 ระบบมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นระบบที่ใช้สเต็ปมอเตอร์ (stepping motor) หรือเซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) เป็นตัวไปควบคุมการเคลื่อนที่ส่วนต่างๆ หุ่นยนต์ที่ใช้ระบบนี้จะมีกำลังไม่สูงเหมือนแบบแรก แต่จะมีความละเอียด ไม่ว่าจะในแง่ของจะตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไป หรือการทำซ้ำจะดีกว่า

1.5.5.3 ระบบนิวแมติก ระบบนี้จะใช้กับหุ่นยนต์ขนาดเล็ก อีกทั้งระบบไม่ยุ่งยาก

#### 1.5.6 เอ็นเอฟเฟ็กเตอร์ (End effector)

เอ็นเอฟเฟ็กเตอร์ หรือ "มือ" ของหุ่นยนต์นี้ เป็นอุปกรณ์ที่หุ่นยนต์ใช้ทำงานจริง (ส่วนแขนนั้นใช้เพื่อเคลื่อนตำแหน่งมือนี้นี้ ให้ไปอยู่ในจุดที่ต้องการเท่านั้น) งานที่ส่วนนี้ทำก็มีอาทิเช่น การจับชิ้นส่วน การบัดกรีตามจุด การพ่นสี ฯลฯ ดังนั้นลักษณะของส่วนนี้จึงต่างกันออกไป สุดแต่เจตนาของผู้ออกแบบ ซึ่งต้องออกแบบให้เหมาะกับงาน แต่ถ้าจะมีการแบ่งกันเป็นชนิดแล้ว "เอ็นเอฟเฟ็กเตอร์" นี้จะแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ แบบมือจับ (grripper) และแบบมือที่เป็นอุปกรณ์ (tool as end effector)

##### 1.5.6.1 แบบมือจับ

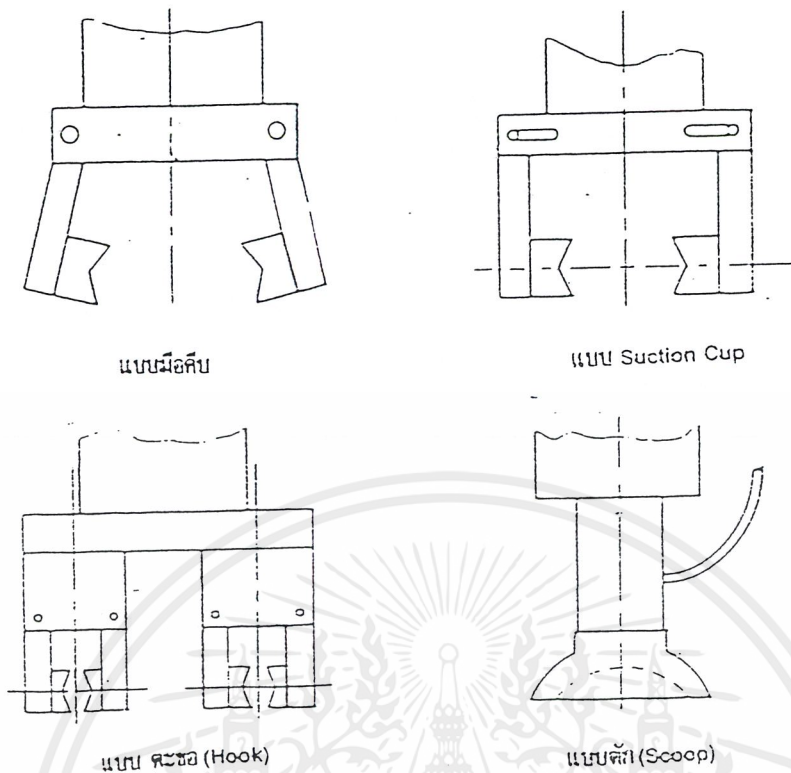
แบบมือจับ นี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จับชิ้นส่วนหรือเครื่องมือ โดยการออกแบบมีได้หลายลักษณะทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น

1.5.6.1.1 แบบมือคีบ (อาศัยแรงเสียดทานในการจับ) ใช้งานได้กับวัสดุทุกประเภท แต่หากเป็นวัสดุบอบบางอาจต้องมีอุปกรณ์เสริม

1.5.6.1.2 แบบซัคชันคัพ (Suction cup) อาศัยคุณสมบัติการทำให้เกิดสภาพสุญญากาศ เป็นตัวดึงชิ้นงาน ใช้งานได้กับวัสดุผิวเรียบเท่านั้น

1.5.6.1.3 แบบตะขอ (hook) สำหรับเกี่ยวยกของ เช่น ของที่อยู่บนสายพาน ฯลฯ

1.5.6.1.4 แบบตัก (scoop) สำหรับการลำเลียงของที่เป็นของเหลวหรือฝุ่นผง

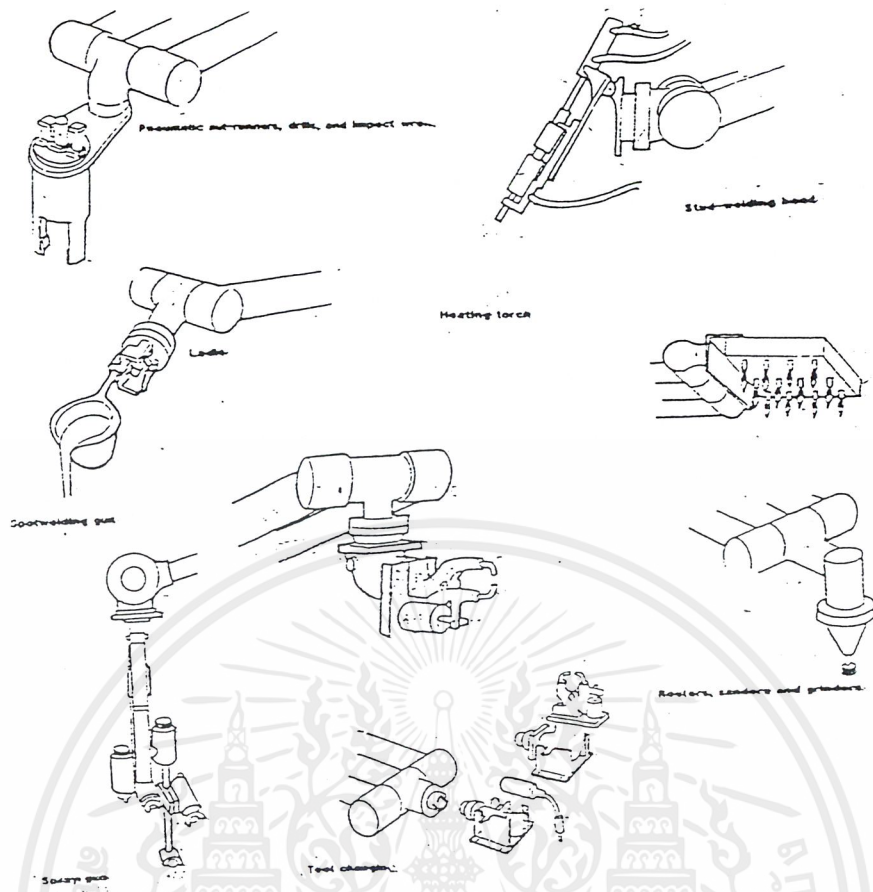


รูปที่ 1.2 ลักษณะของมือจับแบบต่างๆ

### 1.5.7 มือที่เป็นอุปกรณ์ (Tool as End Effector)

เนื่องจากมือจับมีข้อจำกัด ใช้งานได้เฉพาะงานหยิบจับวัตถุเท่านั้น แต่การใช้งานของหุ่นยนต์มีขอบเขตกว้างขวาง จึงได้มีการออกแบบอุปกรณ์ใช้งาน ติดเข้าไปในส่วนปลายหรือส่วนมือนี้ เพื่อใช้ในการทำงาน โดยอาจจะเป็นอุปกรณ์ที่ติดตาย หรืออาจถอดเปลี่ยนได้ ก็แล้วแต่การออกแบบ ตัวอย่างของมือที่เป็นอุปกรณ์นี้มีมากมาย อาทิเช่น ติดอุปกรณ์เชื่อมเฉพาะจุด (spot welding gun), ติดอุปกรณ์พ่นสี (spray paint gun), ติดอุปกรณ์สว่าน (drilling spindle) ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

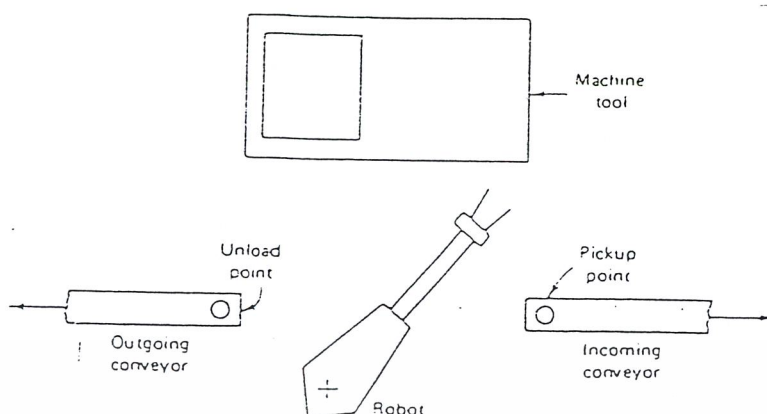


รูปที่ 1.3 ลักษณะของมือที่เป็นอุปกรณ์แบบต่างๆ

#### 1.5.8 การควบคุมการทำงานด้วยหุ่นยนต์

โดยปกติหุ่นยนต์อุตสาหกรรม มักจะทำงานเชื่อมกับระบบอื่นๆ เช่น ระบบสายพาน (ในกรณียกของขึ้น/ลง) เครื่องมือต่างๆ (ในการประกอบชิ้นงาน) ฯลฯ ซึ่งหมายความว่า การจะทำงานได้ต้องมีการควบคุมให้การทำงานของหุ่นยนต์และระบบข้างเคียงทำงานอย่างสอดคล้องกันได้ เพื่อให้งานมีลักษณะต่อเนื่อง ดังนั้นจึงต้องมีระบบควบคุมให้การทำงานแต่ละจุดได้จังหวะสอดคล้องกันทั้งระบบ ส่วนที่ไปควบคุมการทำงานนี้ เรียกว่า หน่วยควบคุม (workstation controller) และส่วนที่ถูกควบคุมทั้งหมด (อาทิเช่น หุ่นยนต์ ระบบสายพาน ระบบเครื่องมือ ฯลฯ) นี้เรียกว่า เวิร์คสเตชัน (Workstation) หรือ เวิร์คเซลล์ (Work Cell)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 ลักษณะของเวิร์คเซลล์

### 1.5.9 การสั่งงาน

การสั่งงานให้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมทำงานตามที่กำหนดนี้ อาจทำได้ในหลายลักษณะ คือ

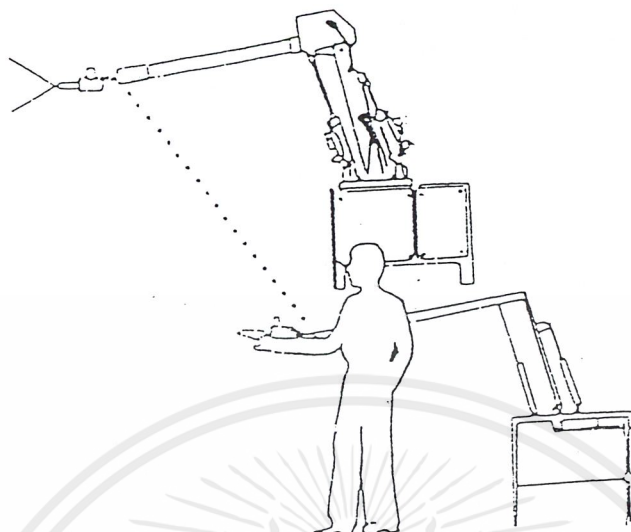
- แบบแมนวอล (manual)
- แบบลีดทรู (lead through)
- แบบการสั่งงานด้วยโปรแกรม

#### 1.5.9.1 การสั่งงานแบบแมนวอล

การสั่งงานแบบนี้เป็นการสั่งงานที่ง่ายที่สุด และใช้กันมากในการสั่งงานให้หุ่นยนต์ทำงานแบบจากจุดหนึ่งไปจุดหนึ่ง (point to point) โดยวิธีการจะเป็นการเคลื่อนที่แกนต่างๆไปยังตำแหน่งที่ต้องการโดยการกดปุ่มบังคับ ดังนั้นลักษณะนี้จึงคล้ายกับการเซตอัพ (set up) มากกว่าการโปรแกรม กล่าวคือ มีการเคลื่อนที่ไปยังจุดเริ่มต้นแล้วก็กำหนดค่าไว้ จากนั้นก็เคลื่อนไปยังตำแหน่งต่อไป แล้วกำหนดค่าไว้ ฯลฯ โดยค่าที่กำหนดไว้นี้จะเก็บไว้ในหน่วยความจำ เรียกออกมาใช้ได้ใ้ภายหลัง

#### 1.5.9.2 การสั่งงานแบบลีดทรู

การสั่งงานแบบนี้คล้ายๆกับการจับมือหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามแนวที่ต้องการในลักษณะที่เป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง แล้วจึงเก็บค่าตำแหน่งต่างๆที่เคลื่อนที่ไป แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้เนื่องจากข้อจำกัดในแง่เทคนิค (อาทิเช่น ระบบเกียร์ ฯลฯ) ดังนั้นจึงมีคอนคิ์ดคันอุปกรณซึ่งเลียนแบบแขนหุ่นยนต์โดยสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆได้ (ดังรูป 1.5) อุปกรณนี้มีชื่อเรียกว่าโรบอทซิมูเลเตอร์ (Robot Simulator) ซึ่งการทำงานก็ใช้หลักการข้างต้น การสั่งงานชนิดนี้ใช้มากในงานด้านการฟัสน์ซึ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ ฯลฯ



รูปที่ 1.5 ลักษณะการสั่งงานแบบลีดทูล์โดยอาศัยโรบอทซีมีเลเตอร์

#### 1.5.9.3 การสั่งงานด้วยโปรแกรม

การสั่งงานให้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมทำงานโดยใช้การเรียกโปรแกรมสั่งงานนี้ จะเป็นการให้ข้อมูลกับหุ่นยนต์เพื่อให้แขนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการและทำงานตามที่กำหนด โดยในปัจจุบันได้มีผู้เชี่ยวชาญภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อสั่งให้หุ่นยนต์ทำงานมากมายหลายภาษา โดยโปรแกรมจะถูกเขียนบนเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วส่งไปควบคุมหุ่นยนต์อีกต่อหนึ่ง

#### 1.4.9.4 การประยุกต์ใช้งาน

การใช้หุ่นยนต์ช่วยในงานอุตสาหกรรมนี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้น การตัดสินใจใช้หุ่นยนต์เหล่านี้จึงต้องพิจารณาเฉพาะงานที่จำเป็น เช่น

- งานที่อันตราย หรืองานที่คนทำไม่สะดวก เช่น บริเวณที่มีรังสี สารพิษ ฯลฯ
- งานที่ต้องทำซ้ำบ่อยๆ ซึ่งหากคนทำอาจผิดพลาดได้ง่าย
- ใช้ในงานที่ต้องการความสามารถเฉพาะ เช่น งานยกของหนัก งานที่ละเอียดสูง ฯลฯ
- ใช้ในงานที่ต้องทำต่อเนื่อง

ฯลฯ

โดยลักษณะของงานที่ใช้มากก็มีอาทิเช่น

- งานหยิบจับชิ้นวัตถุ
- งานเชื่อม
- งานพ่นสี
- การประกอบชิ้นงาน
- งานตรวจเช็ค (Inspection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้ในการวิจัยและพัฒนา

ฯลฯ

ข้อดีของการใช้หุ่นยนต์ก็มีมากมายอาทิเช่น

- ความปลอดภัย งานที่อันตรายสามารถใช้หุ่นยนต์ทำได้
- ความสม่ำเสมอของงานดี
- ใช้พลังงานน้อย เพราะไม่ต้องสนใจระบบถ่ายเทอากาศ เครื่องปรับอากาศก็ไม่จำเป็น
- เพิ่มประสิทธิภาพของงาน
- ใช้วัสดุน้อย เช่น งานพ่นสี จะทำอย่างคงเส้นคงวา ทำให้ประหยัดดี

ฯลฯ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 การแบ่งประเภทของแขนกล



เราสามารถแบ่งประเภทของแขนกล โดยพิจารณาจากพื้นฐานใหญ่ๆ ดังนี้

1. โครงสร้างภายนอกและการเคลื่อนที่ของแขนกล
2. ทางเดินของแขนกล ซึ่งขึ้นอยู่กับการควบคุมการเคลื่อนที่
3. ประสิทธิภาพของแขนกล

การพิจารณาแบ่งประเภทของแขนกลในขั้นนี้ เราจะอาศัยเฉพาะพื้นฐานข้อ 1. และข้อ 2. เท่านั้น แม้ว่าพื้นฐานข้อ 3. จะมีความสำคัญมากที่สุด แต่จะต้องอาศัยความรู้ทางด้านจลศาสตร์ (Kinematics) และพลศาสตร์ (Dynamics) ขั้นสูง ซึ่งยากต่อการทำความเข้าใจ การแบ่งประเภทแขนกลในระดับนี้ จึงจะไม่นำพื้นฐานข้อ 3. มาพิจารณา

การแบ่งประเภทของแขนกลโดยอาศัยการเคลื่อนที่และโครงสร้างภายนอก

ก่อนจะอธิบายชนิดของหุ่นยนต์ขออธิบายการทำงานของจุดต่อ (Joint) ของหุ่นยนต์ อุตสาหกรรมซึ่งในขั้นพื้นฐานมี 2 ชนิดด้วยกัน ดังนี้

ชนิด	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
Revolute (R)		เป็นการหมุนรอบแกน (Rotary)
Prismatic (P)		เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion)

จุดต่อ (Joint) ทั้งสองแบบเมื่อนำมาต่อเข้าด้วยกันอย่างน้อย 3 แกนหลักจะได้พื้นที่ทำงาน (Work envelope) ที่มีลักษณะแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถนำมาแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ได้ดังต่อไปนี้

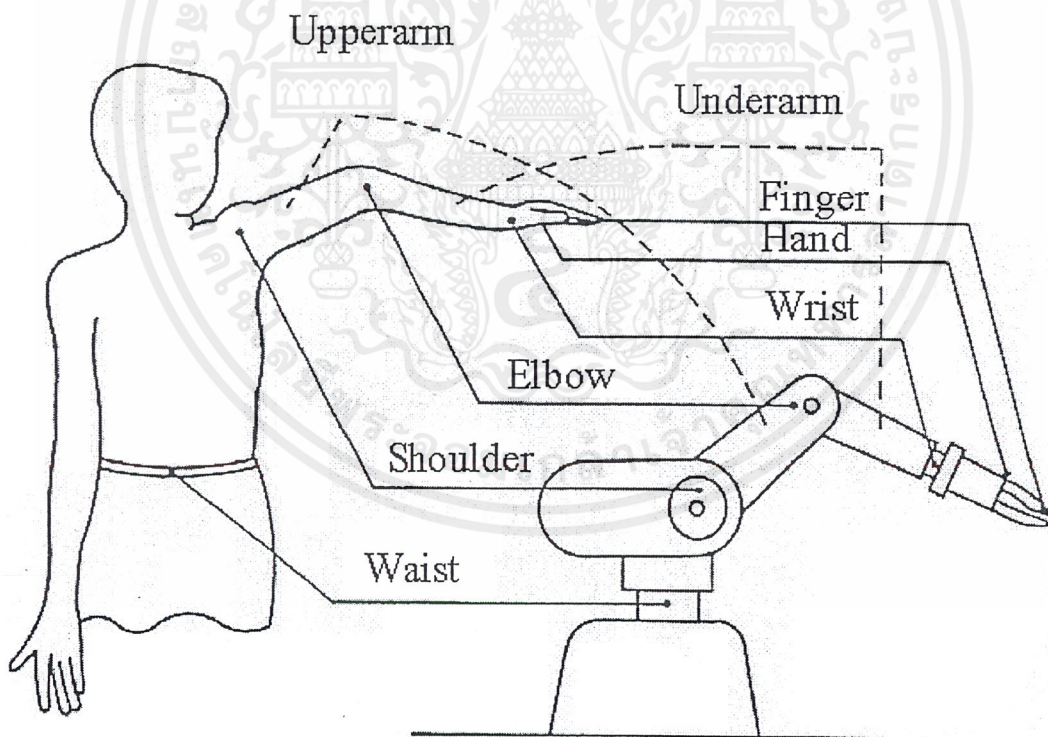
ชนิดของหุ่นยนต์	แกนที่ 1 (เอว)	แกนที่ 2 (ไหล่)	แกนที่ 3 (ข้อศอก)
Cartesian (gantry)	P	P	P
Cylindrical	R	P	P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ตามการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spherical (Polar)	R	R	P
SCARA	R	P	R
Articulated	R	R	R

R=Revolute, P=Prismatic

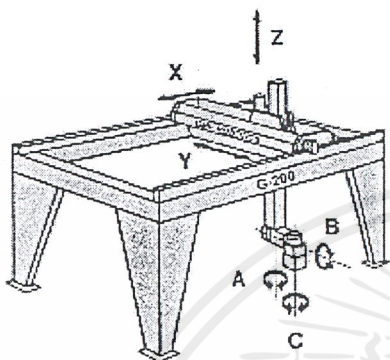
การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะเลียนแบบร่างกายของมนุษย์โดยจะเลียนแบบเฉพาะส่วนของร่างกายที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเท่านั้น นั่นคือช่วงแขนของมนุษย์ ดังนั้น บางคนอาจจะได้ยินคำว่าแขนกล ซึ่งก็หมายถึงหุ่นยนต์อุตสาหกรรม การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับแขนมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 2.1



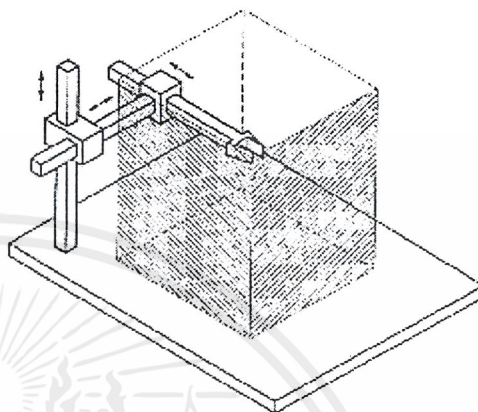
รูปที่ 2.1 แขนกลที่มีลักษณะคล้ายแขนมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Cartesian (gantry) Robot แกนทั้ง 3 ของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น (Prismatic) ถ้าโครงสร้างมีลักษณะคล้าย Overhead Crane จะเรียกว่าเป็นหุ่นยนต์ชนิด gantry แต่ถ้าหุ่นยนต์ไม่มีขาตั้งหรือขาเป็นแบบอื่น เรียกว่า ชนิด Cartesian



รูปที่ 2.1-a Gantry Robot



รูปที่ 2.1-b Work envelope of Gantry Robot

#### ข้อดี

- เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงทั้ง 3 มิติ
- การเคลื่อนที่สามารถทำความเข้าใจง่าย
- มีส่วนประกอบง่าย ๆ
- โครงสร้างแข็งแรงตลอดการเคลื่อนที่

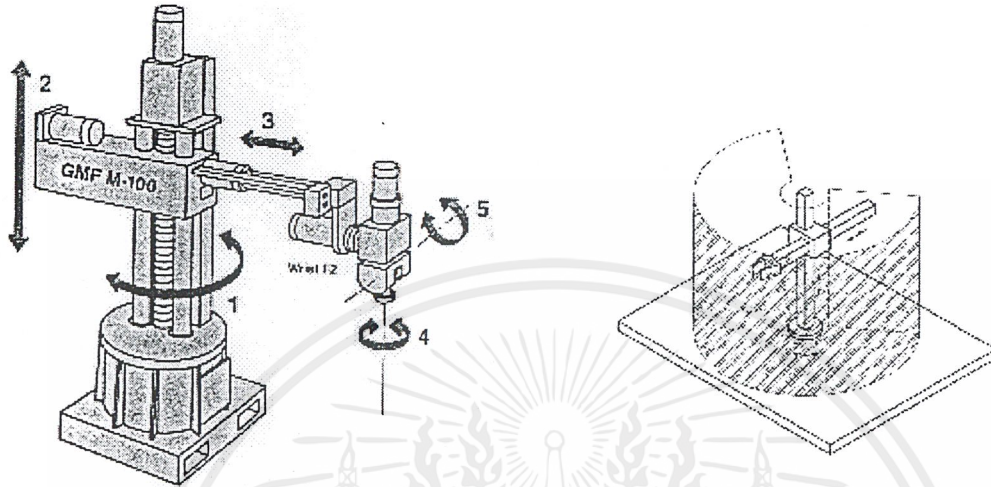
#### ข้อเสีย

- ต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก
- บริเวณที่หุ่นยนต์เข้าไปทำงานได้ จะเล็กกว่าขนาดของตัวหุ่นยนต์
- ไม่สามารถเข้าถึงวัตถุจากทิศทางข้างใต้ได้
- แกนแบบเชิงเส้นจะ Seal เพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลวได้ยาก

การประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากโครงสร้างมีความแข็งแรงตลอดแนวการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงเหมาะกับการเคลื่อนย้ายของหนัก ๆ หรือเรียกว่างาน Pick-and-Place เช่น ใช้โหลดชิ้นงานเข้าเครื่องจักร (Machine loading) , ใช้จัดเก็บชิ้นงาน (Stacking) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานประกอบ (Assembly) ที่ไม่ต้องการเข้าถึงในลักษณะที่มีมุมหมุน เช่น ประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และงาน Test ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 .Cylindrical หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีแกนที่ 2 (ไหล) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) เป็นแบบ prismatic ส่วนแกนที่ 1 (เอว) จะเป็นแบบหมุน (revolute) ทำให้การเคลื่อนที่ได้พื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงกระบอก ดังรูป



รูปที่ 2.2-a Cylindrical Robot

รูปที่ 2.2-b Work envelope of Cylindrical Robot

#### ข้อดี

- มีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน
- การเคลื่อนที่สามองเข้าใจได้ง่าย สามารถเข้าถึงเครื่องจักรที่มีการเปิด-ปิด หรือเข้าไปในบริเวณที่เป็นช่องหรือโพรงได้ง่าย (Loading) เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าเครื่อง CNC

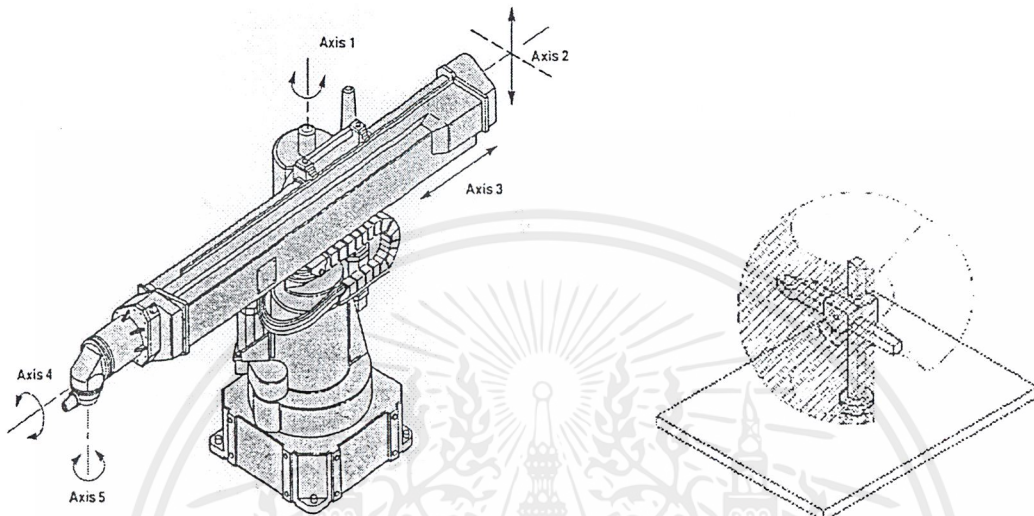
#### ข้อเสีย

- มีพื้นที่ทำงานจำกัด
- แกนที่เป็นเชิงเส้นมีความยุ่งยากในการ seal เพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลว

การประยุกต์ใช้งาน โดยทั่วไปจะใช้ในการหยิบยกชิ้นงาน (Pick-and-Place) หรือป้อนชิ้นงานเข้าเครื่องจักร เพราะสามารถเคลื่อนที่เข้าออกบริเวณที่เป็นช่องโพรงเล็ก ๆ ได้สะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Spherical Robot (Polar) มีสองแกนที่เคลื่อนในลักษณะการหมุน (Revolute Joint) คือแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 2 (ไหล่) ส่วนแกนที่ 3 (ข้อศอก) จะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ดังรูปที่ 2.3-a ซึ่งทำให้ได้พื้นที่การทำงาน ดังรูปที่ 2.3-b



รูปที่ 2.3-a Spherical Robot

รูปที่ 2.3-b Work envelope of Spherical Robot

#### ข้อดี

- มีปริมาตรการทำงานมากขึ้นเนื่องจากการหมุนของแกนที่ 2 (ไหล่)
- สามารถที่จะก้มลงมาจับชิ้นงานบนพื้นได้สะดวก

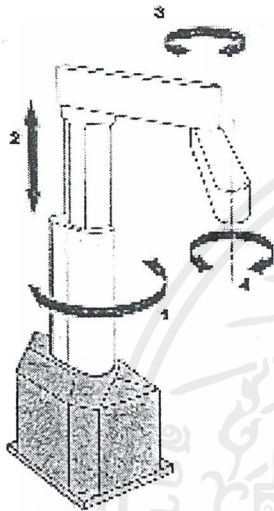
#### ข้อเสีย

- มีระบบพิกัด (Coordinate) และส่วนประกอบ ที่ซับซ้อน
- การเคลื่อนที่และระบบควบคุมมีความซับซ้อนขึ้น

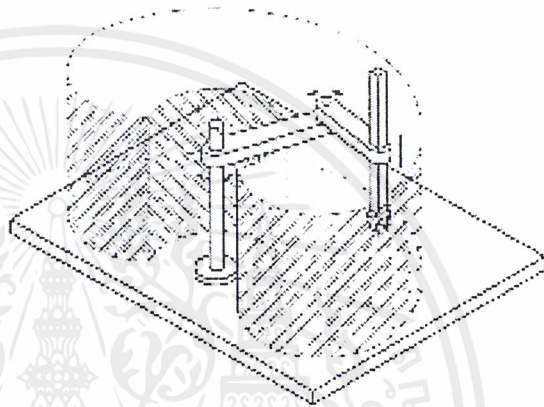
**การประยุกต์ใช้งาน** ใช้ในงานที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical) เพียงเล็กน้อย เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าออกจากเครื่องปั๊ม (Press) หรืออาจจะใช้งานเชื่อมจุด (Spot Welding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. SCARA Robot หุ่นยนต์ SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) จะมีลักษณะแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) หมุนรอบแกนแนวตั้ง และแกนที่ 2 จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลง (Prismatic) ดังรูปที่ 2.4-a ทำให้ได้พื้นที่การทำงานดัง รูปที่ 2.4-b หุ่นยนต์ SCARA จะเคลื่อนที่ได้รวดเร็วในแนวระนาบ และมีความแม่นยำสูง



รูปที่ 2.4-a Scara Robot



รูปที่ 2.4-b Work envelope of Scara Robot

#### ข้อดี

- สามารถเคลื่อนที่ในแนวระนาบ และขึ้นลงได้รวดเร็ว
- มีความแม่นยำสูง

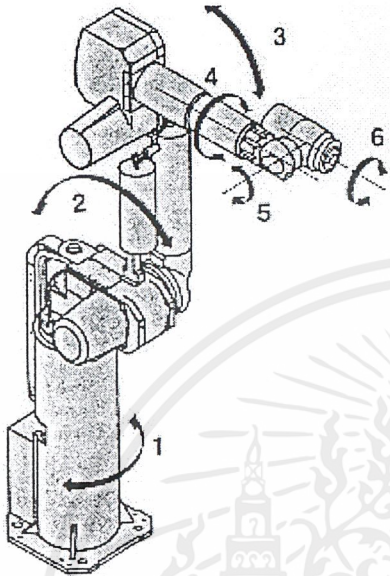
#### ข้อเสีย

- มีพื้นที่ทำงานจำกัด
- ไม่สามารถหมุน (rotation) ในลักษณะมุมต่างๆได้
- สามารถยกน้ำหนัก (Payload) ได้ไม่มากนัก

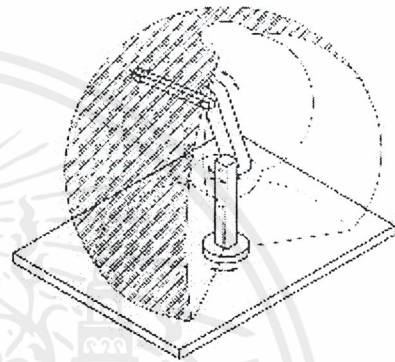
การประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและขึ้นลงได้รวดเร็วจึงเหมาะกับ งานประกอบชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่ง ต้องการความเร็วและการเคลื่อนที่ที่ไม่ต้องการ การหมุนมากนัก แต่จะไม่เหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนทางกล (Mechanical part) ซึ่งส่วนใหญ่การประกอบจะอาศัยการหมุน(rotation)ในลักษณะมุมต่างๆ นอกจากนี้ Scara robot ยังเหมาะกับงานตรวจสอบ (Inspection) งานบรรจุภัณฑ์ (Packaging)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Articulated Arm (Revolute) ทุกแกนการเคลื่อนที่จะเป็นแบบหมุน (Revolute) รูปแบบการเคลื่อนที่จะคล้ายกับแขนคน ซึ่งจะประกอบด้วยข้อมือ ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง ข้อมือ การเคลื่อนที่ทำให้ได้พื้นที่การทำงาน ดังรูปที่ 2.5-b



รูปที่ 2.5-a Articulated Robot



รูปที่ 2.5-b Work envelope of Articulated Robot

#### ข้อดี

- เนื่องจากทุกแกนจะเคลื่อนที่ในลักษณะ ของการหมุนทำให้มีความยืดหยุ่นสูงในการเข้าไปยังจุด ต่าง ๆ
- บริเวณข้อต่อ (Joint) สามารถ Seal เพื่อป้องกันฝุ่น ความชื้น หรือน้ำ ได้ง่าย
- มีพื้นที่การทำงานมาก
- สามารถเข้าถึงชิ้นงานทั้งจากด้านบน ด้านล่าง
- เหมาะกับการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นชุดขับเคลื่อน

#### ข้อเสีย

- มีระบบพิกัด (Coordinate) ที่ซับซ้อน
- การเคลื่อนที่และระบบควบคุมทำความเข้าใจได้ยากขึ้น
- ควบคุมให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear) ได้ยาก
- โครงสร้างไม่มั่นคงตลอดช่วงการเคลื่อนที่ เพราะบริเวณขอบ Work envelope ปลายแขนจะมีการสั่น ทำให้ความแม่นยำลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งาน หุ่นยนต์ชนิดนี้สามารถใช้งานได้กว้างขวางเพราะสามารถเข้าถึงตำแหน่งต่าง ๆ ได้ดี เช่น งานเชื่อม Spot Welding, Path Welding, งานยกของ, งานตัด, งานทากาว, งานที่มีการเคลื่อนที่ยาก ๆ เช่น งานพันสี งาน sealing ฯลฯ

## 2.2 คีเนมาติกส์และไดนามิกส์ (Robot Arm Kinematics and Dynamics)

คีเนมาติกส์อาร์ม (Kinematics Arm) เป็นวิธีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่และตำแหน่งของแขนกล โดยใช้จุดที่กำหนดเป็นจุดอ้างอิงการเคลื่อนที่ ทั้งนี้การวิเคราะห์หาการเคลื่อนที่แบบ คีเนมาติกส์อาร์ม จะไม่สนใจถึง แรง และ โมเมนต์ (Moment) ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ การวิเคราะห์แบบ คีเนมาติกส์ นี้ จะอธิบายการเคลื่อนที่และตำแหน่ง (The Spatical Displacement) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลาของแต่ละข้อต่อ (joint) โดยบอกถึงตำแหน่งและทิศทางของเอ็นเอฟเฟกเตอร์ของแขนกล โดยใช้จุดกำหนดเป็นจุดอ้างอิง

การวิเคราะห์แบบคีเนมาติกส์ มี 2 ประเภท

1. แบบ ไดเร็ค (Direct) หรือ ฟอว์เวิร์ดคีเนมาติกส์ (Forward Kinematics)
2. แบบ อินเวิร์ดคีเนมาติกส์ (Inverse Kinematics) หรือ อาร์มโซลูชัน (Arm Solution)

จากการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระต่อกันในแต่ละข้อต่อของแขนกล จึงต้องกำหนดเป้าหมายที่จะเคลื่อนที่ไป โดยอ้างอิงถึงจุดที่กำหนด (The Reference Coordinate Frame) การหาตัวแปรในแต่ละข้อต่อ อาจใช้วิธีเมตริกซ์แบบ 4 x 4 โฮโมจีนัส ทรานสฟอร์มเมชัน (Homogeneous Transformation Matrix) ในการอธิบายตำแหน่งความสัมพันธ์ระหว่างจุดหรือลิงค์ ข้างเคียงได้

โรบอทอาร์มไดนามิกส์ (Robot Arm Dynamics) เป็นการนำเอาสมการสูตรคณิตศาสตร์ มาอธิบายการเคลื่อนที่แบบไดนามิกส์ของแขนกล โดยอาศัยความรู้จากกฎทางฟิสิกส์ (Physical Law) เช่น กฎของนิวตัน และ ลากรองเกียนแมคคานิค (Lagrangian Mechanic)

### ทฤษฎีเกี่ยวกับ โรบอทอาร์มคีเนมาติกส์ (Robot Arm Kinematics)

แมคคานิคัล แมนิพูเลเตอร์ (A Mechanical Manipulator) แบบวงเปิด ของในแต่ละลิงค์ ซึ่งเชื่อมต่อกันโดยใช้ รีโวลูท (revolute) หรือ ข้อต่อพริสมาทิก (prismatic joint) โดยปลายลิงค์ ด้านหนึ่งจะยึดติดกับฐาน (Supporting Base) ในขณะที่ปลายอีกข้างถูกปล่อยให้อิสระและติดกับ เอ็นเอฟเฟกเตอร์ จากความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ของข้อต่อ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลิงค์ โดยจะอธิบายในรูปของตำแหน่งและทิศทาง ซึ่งอ้างอิงกับระบบพิกัดฟิกเรเฟอเรนซ์โคออดิเนต (Fixed Reference Coordinate System)

ทฤษฎีและการนำไปใช้จริงในคีเนมาติกส์

1. กรณีที่กำหนดตัวแปรการเคลื่อนที่ของแต่ละข้อต่อ เช่น มุมการเคลื่อนที่ (joint angle vector)  $q(t) = (q_1(t), q_2(t), \dots, q_n(t))^T$  เมื่อ  $n$  คือ จำนวนระดับของควมอิสระ (degree of freedom) และตัวแปรเรขาคณิตในแต่ละลิงค์ มาเพื่อหาตำแหน่งและทิศทางสุดท้ายของเอ็นเอฟเฟกเตอร์ ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ โดยอ้างอิงกับระบบพิกัดอ้างอิง (Reference Coordinate System) กรณีนี้เรียกว่า แบบไดเรกต์ หรือฟอร์เวิร์ดไคเนมาติกส์

2. กรณีที่กำหนดตำแหน่งและทิศทางของเอ็นเอฟเฟกเตอร์ ของการเคลื่อนที่ และกำหนดตัวแปรเรขาคณิต (Geometric parameters) ของแต่ละลิงค์มา เพื่อหาตัวแปรในการเคลื่อนที่ของแต่ละข้อต่อ เพื่อให้หุ่นยนต์ไปยังจุดที่ต้องการและมีตัวแปรที่ชุดที่ทำให้ไปยังจุดเดียวกันได้ วิธีนี้เรียกว่า แบบอินเวิร์ดไคเนมาติกส์ (The Inverse Kinematics (or Arm Solution))

#### ไดเรกต์ไคเนมาติก (The Direct Kinematics)

เวกเตอร์ และ เมตริกซ์ สามารถนำมาประยุกต์ อธิบายตำแหน่งปัจจุบันของตัวเชื่อม เมื่ออ้างอิงกับเฟรมเฟอเรนซ์เฟรม (Fixed Reference Frame) กับเรเฟอเรนซ์โคออดิเนตเฟรม (Reference Coordinate Frame) เมตริกซ์  $3 \times 3$  สามารถนำมาใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่แบบการหมุน (Rotation) ของบอดีแอทแทชเฟรม (The body-attached frame) กับ เรเฟอเรนซ์เฟรม (The reference frame) และ พิกัด โฮโมจีนัส (Homogeneous Coordinate) จะแทนเวกเตอร์ตำแหน่ง 3 มิติของการเคลื่อนที่ของเมตริกซ์แปลงโฮโมจีนัสขนาด  $4 \times 4$  (A  $4 \times 4$  Matrix Homogenous Transformations) จะอธิบายการทำงานแบบเลื่อน (Translational) และ หมุน (Rotate)

- เมตริกซ์การหมุน (Rotation Matrix)

เมตริกซ์การหมุนขนาด  $3 \times 3$  สามารถใช้แสดงตำแหน่งที่เคลื่อนที่ใน 3 มิติ โดยแสดงการหมุน พิกัดของ OUVW ซึ่งติดอยู่กับกรอบ และอ้างอิงกับพิกัด OXYZ ตามรูป 2.2

จุด P เป็นจุดที่สามารถแสดงตำแหน่งได้ทั้ง 2 พิกัด เป็น

$$P_{uvw} = (P_u, P_v, P_w)^T$$

$$\text{และ } P_{xyz} = (P_x, P_y, P_z)^T$$

จากความสัมพันธ์ของ 2 พิกัด ได้ว่า

$$P_{uvw} = R P_{xyz}$$

R คือ เมตริกซ์การแปลง

- พิกัดโฮโมจีนัส และ เมตริกซ์การแปลง

$$P = (WP_x, WP_y, WP_z, W)$$

W เป็น สเกลแฟกเตอร์ (Scale factor) สำหรับหุ่นยนต์

$$W = 1$$

พิกัดโฮโมจีนัส สามารถแทนจุดบนระนาบ 3 มิติ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการหา เมตริกซ์การแปลง ซึ่งประกอบด้วย การหมุน, การเลื่อน, สเกล และการแปลงเพอร์สเปกทีฟ (perspective transformation)

$$T = \left[ \begin{array}{c|c} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ \hline f_{1 \times 3} & 1 \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c|c} \text{เมตริกซ์} & \text{เมตริกซ์} \\ \text{การหมุน} & \text{ตำแหน่ง} \\ \hline \text{เปอร์สเปกทีฟ} & \text{สเกล} \end{array} \right]$$

เมตริกซ์การแปลงโฮโมจีนัสนี้ใช้แสดงตำแหน่งของจุดบนกรอบ OUVW โดนอ้างอิงกับพิกัด OXYZ เช่น

$$T_{x,\alpha} = \left[ \begin{array}{cccc} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_\alpha & -S_\alpha & 0 \\ 0 & S_\alpha & C_\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \quad \text{เป็นการหมุน OUVW ทำมุม } \alpha \text{ กับแกน X}$$

$$T_{y,\phi} = \left[ \begin{array}{cccc} C_\phi & 0 & S_\phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -S_\phi & 0 & C_\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \quad \text{เป็นการหมุน OUVW ทำมุม } \phi \text{ กับแกน Y}$$

$$T_{z,\theta} = \left[ \begin{array}{cccc} C_\theta & -S_\theta & 0 & 0 \\ S_\theta & C_\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \quad \text{เป็นการหมุน OUVW ทำมุม } \theta \text{ กับแกน Z}$$

$$S_\alpha = \sin \alpha, C_\alpha = \cos \alpha, S_\phi = \sin \phi, C_\phi = \cos \phi, S_\theta = \sin \theta, C_\theta = \cos \theta$$

เมตริกซ์การหมุนขนาด  $4 \times 4$  นี้เรียกว่า เมตริกซ์การหมุนโฮโมจีนัส (Homogeneous Rotation Matrix) พื้นฐานในการหมุน

$$T_{\text{tran}} = \left[ \begin{array}{cccc} 1 & 0 & 0 & dx \\ 0 & 1 & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการเลื่อนพิกัด OUVW ไป (dx, dy, dz) จากพิกัดอ้างอิง (OXYZ)  
 เมตริกซ์การเลื่อนขนาด 4 x 4 นี้เรียกว่า เมตริกซ์การเลื่อนโฮโมจีนัส (Homogeneous Translation Matrix) พื้นฐานการเลื่อน  
 จะได้ว่า

$$T_{k-1}^k = \begin{bmatrix} C\theta_k & -C\alpha_k S\theta_k & S\alpha_k S\theta_k & a_k C\theta_k \\ S\theta_k & C\alpha_k C\theta_k & -S\alpha_k C\theta_k & a_k S\theta_k \\ 0 & S\alpha_k & C\alpha_k & d_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- ตัวเชื่อม, ข้อต่อ และพารามิเตอร์

การกำหนดพิกัด (Coordinate) ของแต่ละข้อต่อ

1. แกน  $Z_{k-1}$  จะมีทิศทางไปตามการเคลื่อนที่ของข้อต่อที่ k
  2. แกน  $X_k$  จะตั้งฉากกับ  $Z_{k-1}$  และมีทิศพุ่งออก
  3. แกน  $Y_k$  จะเป็นไปตามกฎมือขวา (The Right Handed Coordinate System)
- การกำหนดค่าพารามิเตอร์ และตัวแปรต่าง ๆ ในแต่ละข้อต่อและตัวเชื่อม

1.  $\theta_k$  เป็นมุมจากแกน  $X_{k-1}$  กับ  $X_k$  โดยวัดรอบแกน  $Z_{k-1}$
2.  $d_k$  เป็นระยะระหว่างจุด origin ของ กรอบพิกัดที่ (k-1) ((i-1) coordinate frame) ตามแกน  $Z_{k-1}$  ถึง  $X_k$
3.  $a_k$  เป็นระยะระหว่างแกน  $Z_{k-1}$  ถึง  $X_k$  โดยวัดระยะตามแกน  $X_k$
4.  $\alpha_k$  เป็นมุมจากแกน  $Z_{k-1}$  กับ  $Z_k$  โดยวัดรอบแกน  $X_k$

- สมการคิเนแมติกส์ (Kinematics Equation) สำหรับการย้ายตำแหน่ง (Manipulator)

เมตริกซ์โฮโมจีนัส  $T_{k-1}^k$  เป็นการกำหนดตำแหน่งพิกัดที่ k อ้างอิงกับพิกัดฐาน (base coordinate)

$$T_0^k = T_0^1 T_1^2 \dots T_{k-1}^k$$

$$= \begin{bmatrix} R_0^k & P_0^k \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_0^k$  เป็นเวกเตอร์จากจุดกำเนิดของพิกัดฐาน ถึงจุดบนพิกัดที่  $k$

อินเวอร์สคิเนมาติก (The Inverse Kinematics)

ทฤษฎีนี้ไม่มีคำอธิบายในรูปทั่วไป ต้องแก้สมการเพื่อหาค่าตัวแปรแต่ละข้อต่อ ( $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ ) ของแขนกลนั้นๆเอง

$$w = \begin{bmatrix} w^1 \\ \text{---} \\ w^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p \\ \text{---} \\ [\exp(q_n/\pi)r^3] \end{bmatrix}$$

$w$  คือ ทูล-คอนฟิกเจอเรชั่นเวกเตอร์ (Tool-Configuration Vector)

$p$  คือ  $P_0^k$  ใน  $T_0^k$

$q_n$  คือ มุมโรลของทูล (Tool Roll Angle) รอบแกน Z

$r^3$  คือ คอลัมน์ที่ 3 ของ  $R_0^k$

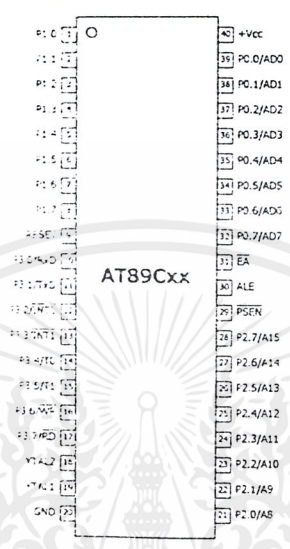
## 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51

คุณลักษณะพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ของบริษัทแอทเมเทล (AT89C51)

- หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- หน่วยประมวลผลสำหรับข้อมูลแบบบิต (Boolean Processor)
- หน่วยความจำโปรแกรมภายในแบบแฟลช 4 กิโลไบต์ สามารถลบและเขียนใหม่ได้ 1000 รอบ จึงสามารถใช้ งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดียวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุต และพอร์ตเอาต์พุต ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
- หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal RAM) 128 x 8-bit ไบต์
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบขนานจำนวน 32 เส้น ซึ่งสามารถแยกทำงานได้อย่างอิสระ
- วงจรนับ/จับเวลา ขนาด 16 บิต จำนวน 2 วงจร
- วงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)
- วงจรควบคุมการอินเตอร์รัปต์จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 6 ประเภท พร้อมการกำหนดลำดับความสำคัญได้ 2 ระดับ
- วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

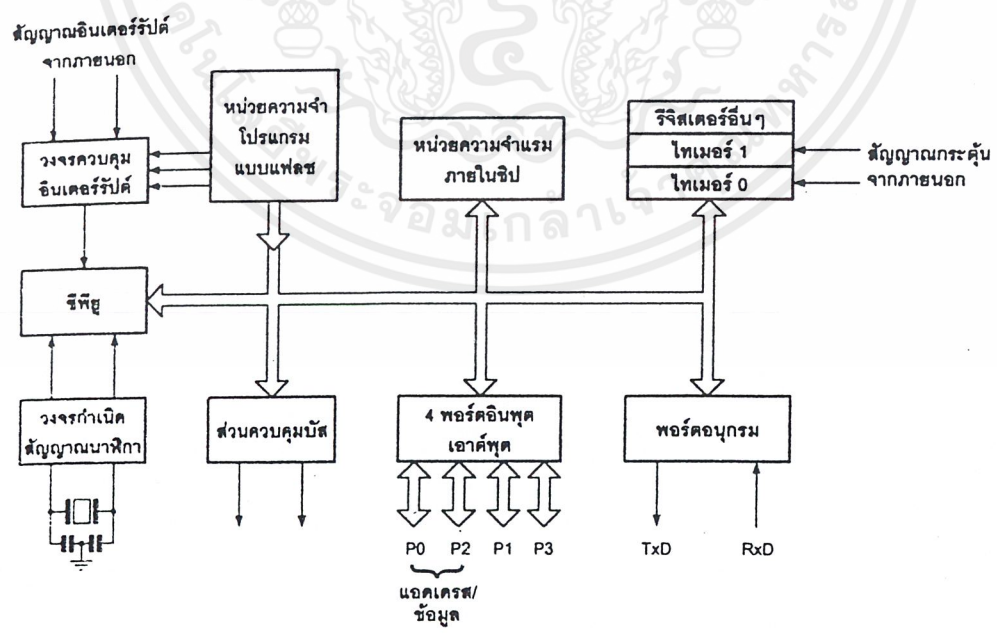
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ด้วยการให้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้อย่างดี
- ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ -51 ของผู้ผลิตอื่น ไม่ว่าจะเป็นอินเทล, ซีเมนส์ หรือดัลลัส



2.3.1 หน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ 51

ใช้เก็บข้อมูลและคำสั่งใช้งานต่าง ๆ ซึ่งแม้ว่าจะไม่มีการกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ข้อมูลเหล่านี้ก็ยังคงอยู่ไม่สูญหาย โดยแสดงโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ mcs-51 ดังนี้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Cxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.1 หน่วยความจำโปรแกรมภายใน

หน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่าง ๆ ที่จัดอยู่ภายในตระกูล 51 มีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมภายในแตกต่างกันออกไป เพื่อความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในลักษณะต่าง ๆ กัน

8951 และ 8952 มีหน่วยความจำแบบ ROM ขนาด 4 และ 8 กิโลไบต์ ตามลำดับ ประกอบอยู่ภายในไอซี และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในวงจรทางอุตสาหกรรมที่มีจำนวนการผลิตมาก เนื่องจากจะมีผลทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตต่อหน่วยลดลงได้มาก

### 2.3.1.2 หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เป็นการใช้อยู่นอกไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยอาจจะใส่ได้หลายประการ เช่น เป็นการทดลองทำระบบต้นแบบจำนวนน้อยหรืออาจต้องการลดต้นทุนการผลิต เพราะราคาของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบที่ไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในราคาจะต่ำกว่าแบบที่มีหน่วยความจำภายในมาก เป็นต้นในบางครั้งอาจมีสาเหตุมาจากความจำเป็นอื่น ๆ ที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ เช่น การที่หน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดความจุไม่เพียงพอกับการเก็บโปรแกรมหรืออาจจะเป็นว่าการที่ไอซีหน่วยความจำจะทำให้สามารถจัดหาเครื่องมือ (Tools) ช่วยการพัฒนา ระบบที่ใช้งานกันโดยแพร่หลายและราคาถูกได้ ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการพัฒนาระบบลงได้มาก เป็นต้น ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่าง ๆ สามารถขยายให้ใช้งานหน่วยความจำภายนอกได้ทั้งสิ้น โดยในกรณีที่หน่วยความจำโปรแกรมภายในอยู่แล้ว การอ้างตำแหน่งแอดเดรสที่มีทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอกนั้น จะต้องทำการพิจารณาระดับลอจิกของสัญญาณ EA ในขณะนั้นด้วย

### 2.3.2 หน่วยความจำข้อมูล

มีหน้าที่สำหรับเก็บข้อมูล หรือตัวแปรที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังประมวลผลโปรแกรมไว้เป็นการชั่วคราว โดยพื้นฐานแล้ว หน่วยความจำข้อมูลจัดว่าเป็นหน่วยความจำแรมสแตติก ดังนั้นเมื่อไม่มีการจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ ก็จะมีผลให้ข้อมูลที่จัดเก็บไว้ภายในหน่วยความจำสูญหายไป พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลของ 8951 สามารถมีได้สูงสุดไม่เกิน 64 กิโลไบต์และแยกเป็นสองลักษณะตามตำแหน่งที่ตั้งของหน่วยความจำนั้น คือ หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory) ซึ่งเป็นแรม ที่อยู่ภายในตัวของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เอง และหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory) ซึ่งเป็นการใช้ไอซีหน่วยความจำ RAM มาเพิ่มเติมเข้าไปในวงจร ลักษณะเดียวกับการนำไอซีอีพีรอมมาใช้งานเป็นหน่วยความจำโปรแกรมนั่นเอง

## 2.4 การนำพอร์ตมาใช้งาน

### 2.4.1 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล "1" มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของพีดีที่ใช้ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรถูลัพโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น "1" สามารถรับสัญญาณลอจิก "0" จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ใน วงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ต แล้วรอให้หน่วยประมวลผลกลางมาอ่านค่าไปเมื่อเป็นเช่นนี้ อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบแฟลชควรถูกกำหนดให้ทำงานในสภาวะลอจิก "0" จะดีและ

สะดวกสุด (ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก "0" แล้ว) และเนื่องจากที่ขาพอร์ต 0 ไม่มีวงจรถูลัพภายใน หากมีการนำพอร์ต 0 ไปใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตจะต้องต่อความต้านทานพูลอัพภายนอกเข้าที่ขาพอร์ต 0 ทุกขาด้วย

### 2.4.2 การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล "0" ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังวงจรถูลัพซึ่งก็จะส่งต่อไปขับพีดี ทำให้พีดีทำงาน ที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก "0" ขึ้น ในทางตรงกันข้าม หากต้องการส่งข้อมูล "1" ออกไป ก็ให้เขียนข้อมูล "1" ออกไปยังวงจรถูลัพ วงจรขับก็จะหยุดทำงาน ทำให้ที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรถูลัพภายในเกิดเป็นลอจิก "1" ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมาก เพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าเป็นเอาต์พุตจะไม่มีกรอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่กรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

เมื่อใช้งานพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเป็นพอร์ตเอาต์พุต แต่ละขา (หรือแต่ละบิต) ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสหรือที่เรียกว่า กระแสซอร์ส (Source Current) ได้สูงสุด 10 มิลลิแอมแปร์ และทุกขารวมกันในแต่ละพอร์ต (ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 มิลลิแอมแปร์สำหรับพอร์ต 0 และ 15 มิลลิแอมแปร์ สำหรับพอร์ต 1-3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตเอาต์พุตจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71 มิลลิแอมแปร์ ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงควรต่อวงจรถูลัพทางเอาต์พุตเพื่อช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 51แบบแฟลชสามารถอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตได้ 2 ลักษณะคืออ่านค่าจากพอร์ตโดยตรง และอ่านค่าจากวงจรถูลัพของแต่ละพอร์ต

ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น และขาอีมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวนั้นต่อลงกราวด์ หากมีการส่งข้อมูล "1" ไปยังทรานซิสเตอร์ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานสถานะลอจิกที่ขาพอร์ตจะเป็น "0" เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน จะเสมือนว่าขาพอร์ตนั้นถูกต่อลงกราวด์ ทำให้หากอ่านค่าลอจิกที่ขาพอร์ตจะได้ผลตรงกันข้ามกับที่ส่งออกมา แต่หากทำงานอ่านค่าลอจิกที่วงจรถูลัพจะได้ค่าที่ตรงกับค่าที่ต้องการส่งจริง ดังนั้น ในการอ่านค่าลอจิกพอร์ตจึงต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อด้วย

## 2.5 การสื่อสารข้อมูลอนุกรม

เป็นการรับ หรือส่งข้อมูลในลักษณะของบิตหรือของกลุ่มของบิต คราวละหนึ่งบิตเป็นลำดับเรื่อยไปจนสิ้นสุด การสื่อสารแบบนี้จะมีข้อแตกต่างจากการสื่อสารแบบขนานเป็นอย่างมาก เนื่องจากข้อมูลมีการโอนย้ายมาพร้อมกันจึงมีความจำเป็นต้องใช้จำนวนเส้นสัญญาณมากขึ้นตามจำนวนบิตของข้อมูลด้วย ในขณะที่การสื่อสารแบบอนุกรมนั้น ต้องการเส้นสัญญาณเพียงสองหรือสามเส้นเท่านั้น ดังนั้นการสื่อสารแบบขนาน จึงไม่เหมาะสมกับการสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกเป็นระยะทางไกล ๆ เพราะจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก

### 2.5.1 รูปแบบของข้อมูลอนุกรม

วิธีการที่จะทำให้ข้อมูลสื่อสารอนุกรมมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น จะใช้เวลาการเพิ่มเติมบิตข้อมูลบางอย่างรวมไปกับการส่งข้อมูลจริง ได้แก่

#### 1. บิตเริ่มต้น (Start Bit)

บิตเริ่มต้นมีหน้าที่สำหรับการบอกให้วงจรรีบตัวทางด้านรับ ทราบถึงตำแหน่งจุดเริ่มต้นของบิตข้อมูลกลุ่มใหม่ เพื่อที่จะทำการปรับจังหวะของสัญญาณการรับข้อมูลให้ตรงกัน โดยปกติแล้วค่าของบิตเริ่มต้นจะเป็นระดับลอจิกตรงข้ามกับระดับลอจิกของสภาวะของสายสื่อสาร ขณะเมื่อไม่มีการส่งข้อมูล (Idle State) ตัวอย่างเช่น หากสภาวะของสายเมื่อไม่มีข้อมูลเป็นลอจิกสูง บิตเริ่มต้นก็จะเป็นระดับลอจิกต่ำ เป็นต้น

#### 2. บิตแสดงสภาวะความเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ (Parity Bit)

บิตนี้มีหน้าที่เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และจะนำไปแทรกต่อท้ายบิตข้อมูล ค่าของบิตนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนค่าของบิตข้อมูลที่เป็น 1 ซึ่งจะเป็นไปได้สองลักษณะ คือ พาริตีคู่ (Even Parity) หรือ พาริตีคี่ (Odd Parity) การพิจารณาทางด้านรับถ้าข้อมูลที่รับเข้ามามีจำนวนข้อมูลเป็นจำนวนคู่ หรือคี่ ถ้าตรงกับพริตี้บิตแล้ว แสดงว่าข้อมูลที่รับเข้ามานี้ถูกต้อง

#### 3. บิตสุดท้าย (Stop Bit)

เป็นบิตที่เพิ่มเติมขึ้นเพื่อระบุถึงขอบเขตการสิ้นสุดของกลุ่มบิตข้อมูล บิตสุดท้ายนี้อาจจะมีจำนวนมากกว่าหนึ่งบิตได้ คือ 1 บิต , 1.5 บิต และ 2 บิต ดังนั้นกรณีของการส่งข้อมูล 8 บิต พร้อมบิตที่เพิ่มเข้าไปโดยสมบูรณ์ คือ บิตเริ่มต้น บิตพาริตี และบิตสุดท้าย รวมทั้งสิ้น 12 บิต

### 2.5.2 โหมดการทำงาน

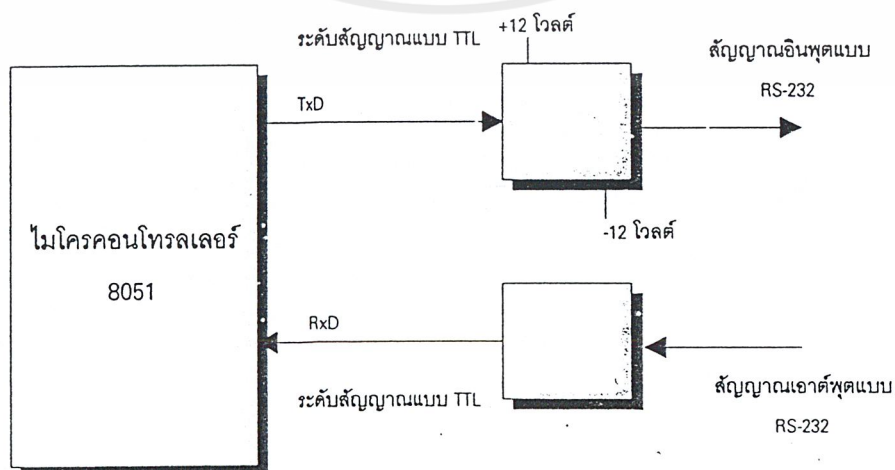
พอร์ตอนุกรมของ 8951 สามารถโปรแกรมให้ทำหน้าที่ในรูปแบบต่าง ๆ กันสี่แบบ (หรือเรียกว่าโหมดการทำงาน โดยโหมดการทำงานทั้ง 4 แบบ ของพอร์ตอนุกรม สามารถแสดงได้ดังนี้

ตารางแสดงโหมดการทำงานทั้งสี่แบบของ mcs-51

โหมดการทำงาน	คำอธิบาย
โหมด 0	เป็นการขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต โดยทำงานร่วมกับไอซี shift register ภายนอกประเภทที่ทีแอล หรือ ซีมอส
โหมด 1	ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART (Universal asynchronous reciever / transmitter) โดยการใช้กลุ่มข้อมูลแบบ 10 บิต และสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลได้
โหมด 2	ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART โดยการใช้กลุ่มข้อมูลแบบ 11 บิต และกำหนดอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลคงที่
โหมด 3	ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART โดยการใช้กลุ่มข้อมูลแบบ 11 บิต และสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลได้

2.5.3 การเชื่อมต่อแบบมาตรฐานอาร์เอส 232 ซี ( RS-232C )

ในการเชื่อมต่อแบบอนุกรมเข้ากับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่าง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ เทเลกซ์ หรือ โทรมิมพ์ เป็นต้น มักจะกำหนดใช้การเชื่อมต่อแบบ มาตรฐาน RS-232C ทั้งนี้เพื่อให้มีการใช้งานเส้นสัญญาณหรือรูปแบบของตัวเชื่อมต่อที่สอดคล้องกัน จะได้ลดปัญหาการเข้ากันไม่ได้ระหว่างสัญญาณของอุปกรณ์ที่มาเชื่อมต่อกันทั้งสองด้านให้น้อยลง เนื่องจากระดับโวลเตจที่ใช้และการแทนความหมายของระดับลอจิกตามมาตรฐานนี้แตกต่างไปจากที่ใช้ร่วมกันในระบบดิจิตอลทั่วไป โดยระดับสัญญาณของ RS-232C เป็นแบบไบโพลาร์ (Bipolar) ระดับโวลเตจทางด้านลบช่วง -3 V ถึง -20 V แทนค่าลอจิก 1 และโวลเตจทางด้านบวกช่วง +3 V ถึง +20 V แทนค่าลอจิก 0 จึงเห็นว่ามีควมจำเป็นต้องเพิ่มอุปกรณ์หรือวงจรพิเศษเข้าไป เพื่อเปลี่ยนระดับโวลเตจจากระดับ 0V ถึง +5V จากขาสัญญาณ 8951 เป็นระดับโวลเตจที่สูงกว่าค่า +3V หรือต่ำกว่า -3 V ดังแสดงดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงแนวการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณแบบทีทีแอล (TTL) จากไมโครคอนโทรลเลอร์ 8951 ไปเป็นระดับสัญญาณแบบอาร์เอส 232 (RS-232)

จะสังเกตเห็นว่ามีการใช้เส้นสัญญาณติดต่อพื้นฐานระหว่างกันเพียงสามเส้นเท่านั้น คือ เส้นสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูล (Tx) ให้กับอุปกรณ์อื่น , เส้นสัญญาณสำหรับการรับข้อมูล (Rx) ที่ส่งมาจากอุปกรณ์อื่น , และสัญญาณกราวด์ (GND) เท่านั้น อย่างไรก็ตามซึ่งจะเห็นว่าไอซีเหล่านี้ยังคงต้องการระดับโวลเตจ +15V หรือ -15V สำหรับวงจรทำงานภายในตัวไอซีด้วย ดังนั้นในระยะต่อมาจึงมีการผลิตไอซีวงจรรวมที่ประกอบด้วยวงจรรับและส่งแบบ RS-232C อยู่ภายในตัว และต้องการเพียงไฟเลี้ยงขนาด +5V เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากมีวงจรเปลี่ยนระดับโวลเตจ (dc-to-dc converter) อยู่ภายในไอซีโดยครบถ้วน (MAX232) ซึ่งจะทำให้การสร้างวงจรรับ / ส่งข้อมูลตามมาตรฐาน RS-232C กระทำได้ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น

## 2.6 การใช้งาน 8255 กับ 8951

ออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่เป็นพอร์ต สำหรับการรับ/ส่งข้อมูลแบบขนานระหว่างอุปกรณ์ภายนอก กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ความอ่อนตัวในการนำไปใช้งานของ 8255 ได้แก่ การที่สามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานของพอร์ต ให้เป็นการเอาต์พุตหรืออินพุต ได้สะดวก เพียงการส่งข้อมูลควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ก่อนที่จะเริ่มต้นใช้งานเท่านั้นความสามารถเช่นนี้ เรียกว่า Programmable คือ สามารถโปรแกรมการทำงานได้ ทำให้ได้รับความนิยมนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

### 2.6.1 การจำแนกกลุ่มพอร์ต 8255

ในบรรดาพอร์ตทั้งสามของ 8255 คือ พอร์ต A พอร์ต B พอร์ต C โดยพื้นฐานนั้น ล้วนเป็นพอร์ตแบบขนานที่ประกอบด้วยสัญญาณ 8 เส้น ซึ่งแต่ละเส้นจะแทนบิตของข้อมูลพอร์ต ซึ่งอาจจะกล่าวในอีกลักษณะว่าเป็นพอร์ตแบบ 8 บิต นอกจากนี้ยังสามารถอ้างถึงแต่ละบิตของเส้นสัญญาณพอร์ตนี้ ได้โดยอิสระ อย่างไรก็ตาม 8255 ได้จัดกลุ่มของพอร์ตเหล่านี้ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Group A และ Group B เพื่อประโยชน์ในการกำหนดรูปแบบการทำงานของพอร์ต ดังตาราง

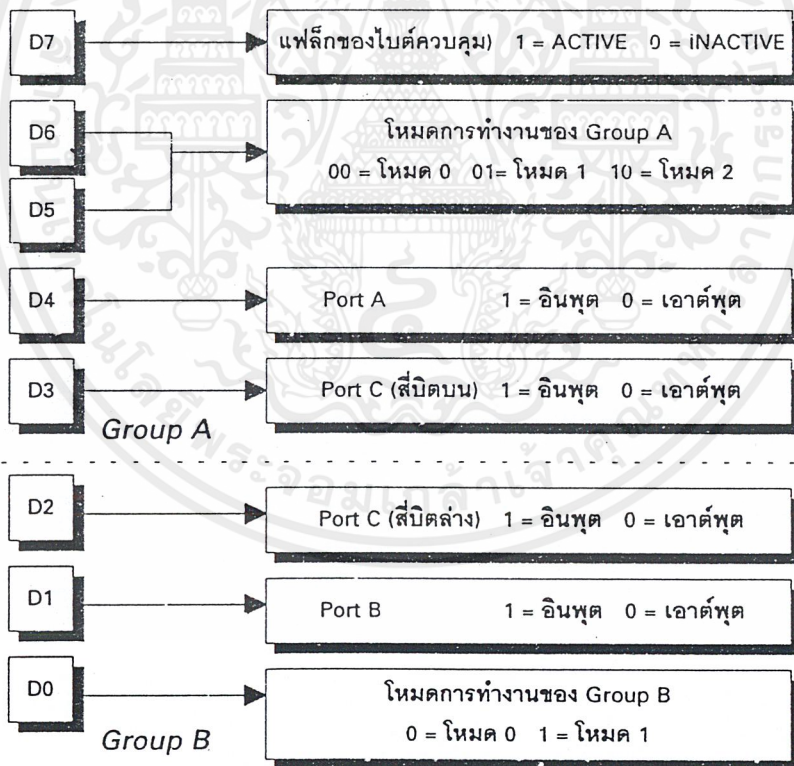
ชื่อกลุ่ม	ลักษณะ
Group A	พอร์ต A จำนวน 8 บิต (ทุกบิตของพอร์ต) พอร์ต C จำนวน 4 บิต (เฉพาะ 4 บิตบนของพอร์ต)
Group B	พอร์ต B จำนวน 8 บิต (ทุกบิตของพอร์ต) พอร์ต C จำนวน 4 บิต (เฉพาะ 4 บิตล่างของพอร์ต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางการทำงานข้างต้นจะเห็นว่า จำนวนเส้นสัญญาณทั้งหมดของพอร์ต C ได้ถูกแยกออกเป็นกลุ่ม คือ กลุ่มของ 4 บิตล่าง (Lower nibble) คือ PC0-PC3 และกลุ่มของ 4 บิตบน (Upper nibble) คือ PC4-PC7 ดังนั้น Group A และ Group B จึงมีจำนวนบิตในแต่ละกลุ่มเป็นจำนวนถึง 12 บิต

ตารางแสดงการทำงานของขาสัญญาณไอซี 8255

สัญญาณ	ความหมาย
D0 - D7	กลุ่มของเส้นสัญญาณข้อมูลของ 8255 เมื่อมีการเขียน หรืออ่าน
CS\	สัญญาณเลือกอุปกรณ์ เมื่อขาสัญญาณนี้เป็นระดับลอจิกต่ำ ซีพียูก็สามารถเขียน หรืออ่านข้อมูลจาก 8255 ได้
RD\	สัญญาณบอกสถานะต้องการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ของ 8255
WR\	สัญญาณบอกสถานะต้องการเขียนข้อมูลให้กับรีจิสเตอร์ของ 8255



รูปที่ 2.8 ความหมายของบิตภายในไบต์ข้อมูลควบคุมสำหรับ 8255

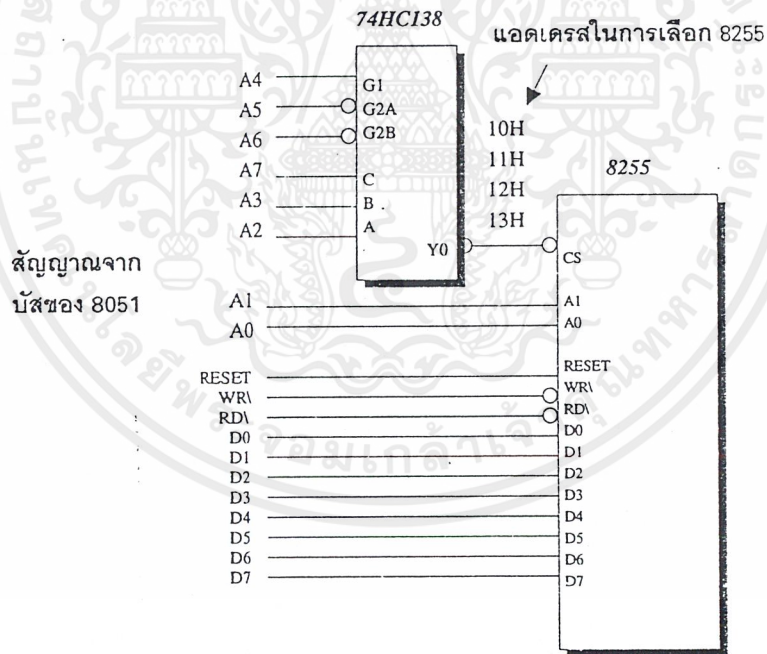
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การเชื่อมต่อ 8255 กับ 8951

เมื่อพิจารณาแผนภาพของ 8255 จะเห็นว่า มีขาสัญญาณแอดเดรสจำนวน 2 เส้น คือ A0 และ A1 ทำให้ตำแหน่งของแอดเดรสที่จะอ้างถึงได้มีค่าเป็น 4 ตำแหน่ง ซึ่งแต่ละตำแหน่งจะมีความหมายถึงการระบุรีจิสเตอร์หรือ พอร์ตภายใน 8255 ดังตารางดังต่อไปนี้

A1	A2	ชื่อของรีจิสเตอร์
0	0	พอร์ต A
0	1	พอร์ต B
1	0	พอร์ต C
1	1	รีจิสเตอร์ควบคุม

เมื่อพิจารณาค่าของแอดเดรสเหล่านี้ร่วมกับระดับลจิกของขาสัญญาณ RD $\setminus$  และ WR $\setminus$  จะเป็นการอ่าน หรือ เขียนข้อมูลทางขาสัญญาณ D0-D7 ให้กับรีจิสเตอร์นั้นตาม



รูปที่ 2.9 แผนภาพวงจรแสดงการเชื่อมต่อระหว่าง 8255 กับ 8951

2.6.3 การทำงานโหมดต่าง ๆ ของ 8255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.3.1 การทำงานโหมด 0 ของ 8255

เมื่อ 8255 ได้รับการกำหนดให้ทำงานในโหมดนี้ จะทำให้พอร์ตต่าง ๆ มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุต หรือเอาต์พุตได้เพียงลักษณะเดียวเท่านั้น การเริ่มต้นจะทำโดยการส่งไบต์ข้อมูลควบคุมให้กับรีจิสเตอร์ควบคุม ต่อไปจะได้แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการกำหนดบิต เมื่อต้องการให้พอร์ต A,B และ C ทำหน้าที่เป็นพอร์ตเอาต์พุตทั้งหมด ดังตาราง

ตำแหน่งบิต	ค่าข้อมูล	ความหมาย
D7	1	ระบุให้ทราบว่าเป็นไบต์ข้อมูลควบคุม
D6 และ D5	00	กำหนดโหมดการทำงานให้กับพอร์ต A เป็นโหมด 0
D4	0	ระบุว่าพอร์ต A เป็นการเอาต์พุตข้อมูล
D3	0	กำหนดให้เส้นสัญญาณสี่บิตบนของพอร์ต C เป็นการเอาต์พุตข้อมูล
D0	0	กำหนดโหมดการทำงานให้กับพอร์ต B เป็นโหมด 0
D1	0	ระบุว่าพอร์ต B เป็นการเอาต์พุตข้อมูล
D2	0	กำหนดให้เส้นสัญญาณสี่บิตล่างของพอร์ต C เป็นการเอาต์พุตข้อมูล

### 2.6.3.2 การทำงานโหมด 1 ของ 8255

เมื่อ 8255 ได้รับการกำหนดให้ทำงานในโหมด 1 จะมีผลทำให้พอร์ต A และพอร์ต B ยังสามารถใช้งานเป็นการอินพุตหรือเอาต์พุตข้อมูลในลักษณะเดียวกับโหมด 0 ที่ผ่านมา เพียงแต่พอร์ต C จะถูกนำไปใช้เป็นพอร์ตสำหรับ การบอกสถานะการติดต่อ (Handshake Signals) เท่านั้น โดยเส้นสัญญาณสี่บิต บน (PC7 - PC4) จะใช้งานร่วมกับการติดต่อ ข้อมูลทางพอร์ต A และเส้น สัญญาณสี่บิตล่าง (PC3-PC0) จะใช้งานร่วมกับการติดต่อข้อมูลทางพอร์ต B การทำงานในลักษณะเช่นนี้จะพบเห็นได้เสมอ เมื่อมีการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งมักจะทำงานได้ช้ากว่าไมโครคอนโทรลเลอร์มาก จึงจำเป็นต้องอาศัยการบอกสถานะของการทำงานจากเส้นสัญญาณเหล่านี้ เช่น ความไม่พร้อมในการรับข้อมูล หรือมีข้อมูล ที่จะทำการติดต่อ เป็นต้น

จากตาราง ข้อมูลจะถูกส่งออกจาก 8255 ไปให้กับอุปกรณ์ภายนอก แต่ก่อนที่ 8255 จะส่งข้อมูลออกไปให้มัน จะต้องทำการส่งสถานะของสัญญาณออกไปเพื่อแจ้งให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่า มีข้อมูลที่ทำการส่งออกไป สัญญาณนี้มีชื่อว่า Output Buffer Full และ เมื่ออุปกรณ์ภายนอกได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จึงจะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสวิตช์สัญญาณอีกเส้นหนึ่ง เพื่อแจ้งให้ 8255 ทราบต่อไป การทำงานของ 8255 ในโหมด 1 นั้น พอร์ต สำหรับการรับหรือส่งข้อมูล คือ พอร์ต A และพอร์ต B สามารถทำงานได้โดยอิสระไม่ขึ้นต่อกัน

หน้าที่ของเส้นสัญญาณภายในพอร์ต C เมื่อกำหนดให้ทำงานในโหมด 1 เพื่อบอกสถานะของการอินพุต และการเอาต์พุตข้อมูล

เส้นสัญญาณ	สถานะติดต่อสำหรับการอินพุต	สถานะติดต่อสำหรับการเอาต์พุต
PC0	สัญญาณ INTR ของพอร์ต B	สัญญาณ INTR ของพอร์ต B
PC1	สัญญาณ IBF ของพอร์ต B	สัญญาณ OBF $\bar{A}$ ของพอร์ต B
PC2	สัญญาณ STB $\bar{A}$ ของพอร์ต B	สัญญาณ ACK $\bar{A}$ ของพอร์ต B
PC3	สัญญาณ INTR ของพอร์ต A	สัญญาณ INTR ของพอร์ต A
PC4	สัญญาณ STB $\bar{A}$ ของพอร์ต A	การอินพุต / เอาต์พุตตามปกติ
PC5	สัญญาณ IBF ของพอร์ต A	การอินพุต / เอาต์พุตตามปกติ
PC6	การอินพุต / เอาต์พุตตามปกติ	สัญญาณ ACK $\bar{A}$ ของพอร์ต A
PC7	การอินพุต / เอาต์พุตตามปกติ	สัญญาณ OBF $\bar{A}$ ของพอร์ต A

เพื่อให้เข้าใจมากขึ้นจึงขออธิบายดังนี้ เมื่อ 8951 ต้องการส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ภายนอก จะเริ่มจากการตรวจสอบสถานะขาสัญญาณ PC7 (สัญญาณ OBF $\bar{A}$ ) โดยการอ่านค่าจากพอร์ต C เข้ามาและพิจารณาบิต D7 ซึ่งหากเป็นค่า 1 แสดงว่าข้อมูลที่ส่งไปให้ 8255 ก่อนหน้านี้ ได้ถูกส่งต่อไปให้อุปกรณ์ภายนอกเสร็จสิ้นแล้ว ดังนั้น 8951 ก็สามารถส่งข้อมูลตัวถัดไปได้อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งผลจากการเขียนข้อมูลให้กับพอร์ต A ของ 8255 นี้ทำให้ขาสัญญาณ PC7 (สัญญาณ OBF $\bar{A}$ ) เปลี่ยนไปเป็นระดับลอจิก 0 เมื่ออุปกรณ์ภายนอกที่ต่ออยู่ตรวจสอบขาสัญญาณนี้ก็ทราบได้ว่า 8255 มีข้อมูลที่ส่งให้ ก็จะทำการอ่านข้อมูลจากพอร์ต A ไปทันที และแจ้งกลับมาให้ทราบโดยการสวิตช์สัญญาณ ACK $\bar{A}$  (ขาสัญญาณ PC6) เมื่อ 8255 ตรวจสอบพบก็จะทำการเปลี่ยนสถานะของขาสัญญาณ OBF $\bar{A}$  (ขาสัญญาณ PC6) ให้ระดับลอจิกเป็น 1 โดยอัตโนมัติ เป็นอันครบรอบการติดต่อเพื่อส่งข้อมูลหนึ่งครั้ง ดังนั้นเมื่อใดที่ 8951 ทำการตรวจสอบค่าของบิต D7 ของพอร์ต C และพบว่า เป็นค่า 0 ก็ยังไม่ควรที่จะส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับพอร์ต A ของ 8255 เพราะข้อมูลก่อนหน้านี้ยังกค้างอยู่ในบัฟเฟอร์ของ 8255 ยังไม่ได้มีการส่งต่อไปให้อุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการรับข้อมูลของ 8951 จากอุปกรณ์ภายนอกผ่านทางพอร์ต 8255 เริ่มต้นจากการตรวจสอบสถานะของบิต D1 จากพอร์ต C ว่าเป็นค่าใด กรณีเป็นค่าลอจิก 1 แสดงว่ามีข้อมูลอยู่ในบัฟเฟอร์ภายใน 8255 ซึ่งได้ส่งมาจากอุปกรณ์ภายนอกและแจ้งให้ 8255 ทราบโดยการสไตรปสัญญาณ STB\ (ขาสัญญาณ PC2) มีผลให้ 8255 เปลี่ยนแปลงระดับลอจิกของขาสัญญาณ PC1 (สัญญาณ IBF) เป็นระดับลอจิก 1 ดังนั้น ซีพียู 8951 ก็สามารถอ่านข้อมูลเข้าไป ทางพอร์ต B ของ 8255 ได้ ซึ่งการอ่านข้อมูลนี้เองที่จะมีผลให้สถานะของสัญญาณ IBF กลับไปเป็นระดับลอจิก 0 อีกครั้งหนึ่ง เป็นอันครบรอบการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกหนึ่งครั้ง

### 2.6.3.3 การทำงานโหมด 2 ของ 8255

เมื่อ 8255 ได้รับการกำหนดให้ทำงานในโหมด 2 ซึ่งกำหนดไว้ให้ใช้เฉพาะกับการทำงานของพอร์ต A เท่านั้น โดยจะมีลักษณะการทำงานเป็นพอร์ตข้อมูลแบบสองทิศทาง (Bi-directional data port) กล่าวคือ ข้อมูลภายในเส้นสัญญาณของพอร์ต A ทั้งหมด สามารถเป็นข้อมูลที่มาจากการอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้

ลำดับเหตุการณ์เมื่อ 8951 ต้องการจะส่งข้อมูลออกไปให้กับอุปกรณ์ภายนอก จะเริ่มโดยการส่งข้อมูลออกมาทางพอร์ต A ของ 8255 เช่นปกติ ซึ่งมีผลทำให้ขาสัญญาณ OBF\ เปลี่ยนไปเป็นระดับลอจิกต่ำ เมื่ออุปกรณ์ภายนอกตรวจสอบสัญญาณนี้ก็จะทราบได้ว่าขณะนี้ข้อมูลที่ต้องการอ่านไปจาก 8255 สัญญาณนี้ยังสามารถใช้ในการแจ้งซีพียู 8951 ได้เช่นเดียวกัน (โดยการอ่านและตรวจสอบค่าบิต D7 ของพอร์ต C) ว่าบัฟเฟอร์ของ 8255 พร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่เข้าไปหรือไม่ เมื่ออุปกรณ์ภายนอกได้อ่านค่าข้อมูลจากบัฟเฟอร์นี้ไปแล้ว ก็จะต้องทำการสไตรปสัญญาณ ACK\ ซึ่งจะมีผลทำให้ขาสัญญาณ OBF\ ของ 8255 เปลี่ยนกลับไปเป็นระดับลอจิกสูงอีกครั้งหนึ่ง

ส่วนการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกก็เป็นไปลักษณะที่คล้ายกัน โดยก่อนที่อุปกรณ์จะส่งข้อมูลเข้ามาให้กับ 8255 จะต้องตรวจสอบสถานะของขาสัญญาณ IBF ก่อน หากว่าเป็นระดับลอจิกต่ำ จึงจะสามารถส่งข้อมูลออกมาได้ พร้อมกับทำการสไตรปสัญญาณ STB\ มาแจ้งให้ 8255 ได้รับทราบ ซึ่งจะมีผลให้ขาสัญญาณ IBF เป็นระดับลอจิกสูงโดยอัตโนมัติ ดังนั้น 8951 ก็จะรับทราบได้ว่ามีข้อมูลมาจากอุปกรณ์ภายนอก (โดยการอ่านค่าและพิจารณาค่า บิต D5 ของพอร์ต C) และภายหลังจากได้มีการอ่านค่าไปจากพอร์ต A ของ 8255 แล้ว ก็จะทำให้สถานะขาสัญญาณ IBF เปลี่ยนไปเป็นระดับลอจิกต่ำเช่นเดิม

หน้าที่ของบิตภายในพอร์ต C เมื่อกำหนดให้ทำงานในโหมด 2

เส้นสัญญาณ	ลักษณะการทำงาน
PC0	การอินพุต / เอาต์พุตตามปกติ
PC1	การอินพุต / เอาต์พุตตามปกติ
PC2	การอินพุต / เอาต์พุตตามปกติ
PC3	สัญญาณ INTR ของพอร์ต A
PC4	สัญญาณ STB\ ของพอร์ต A
PC5	สัญญาณ IBF ของพอร์ต A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PC6	สัญญาณ ACK\ ของพอร์ต A
PC7	สัญญาณ OBF\ ของพอร์ต A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การคำนวณและการสร้าง

- เนื่องจากแกนกลที่สร้างขึ้นถูกออกแบบเพื่อแสดงการประยุกต์การใช้ทฤษฎีหุ่นยนต์ในอุตสาหกรรม ไม่ได้เน้นการนำไปใช้งานจริงๆ จึงไม่ได้มีการคำนวณในเรื่องของการรับแรง
- แกนกลที่สร้างขึ้นมีลักษณะดังรูป
- เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรง เพราะใช้งานง่าย ราคาถูก
- สามารถทำงานได้ทั้งแบบธรรมดาและแบบอัตโนมัติ
- การทำงานแบบธรรมดาใช้จอร์รี่เลย์ (Relay) ตามรูป และควบคุมโดยมนุษย์
- อัตโนมัติใช้การส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์แบบอนุกรม ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านวงจรถวล
- ติดต่อกับผู้ใช้โดยผ่านคอมพิวเตอร์เพราะสะดวก และมีความยืดหยุ่นสูง
- เลือกใช้พอร์ตอนุกรมส่งข้อมูลเพราะมีความเหมาะสม สะดวก และประหยัด เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 89c51 มีขาสำหรับการติดต่อข้อมูลแบบอนุกรมอยู่แล้ว และมีความรวดเร็วพอในการทำงานของแกน
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 89c51 1 ตัว และ ใช้อินพุท/เอาต์พุทพอร์ต (I/O port) เบอร์ 8255 2 ตัว เนื่องจากมีมอเตอร์ 4 ตัว
- ใช้อินพุท/เอาต์พุทพอร์ต (I/O port) เบอร์ 8255 เพราะสะดวกในการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และยืดหยุ่นสูง
- ใช้ตัวควบคุมที่เป็นวงจรรอนาลอก (Analog) ตามรูป
- เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพี (P-controller) ทำให้เกิดออฟเซต (Offset) ที่สถานะคงตัว (Steady-state) จึงใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI-controller) สามารถแก้ไขได้ และตัวควบคุมแบบพีไอก็เหมาะสมกับระบบนี้
- ค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ต่างๆ ของตัวควบคุมแบบพีไอได้มาจากการลองแทนค่าหาค่าที่เหมาะสม (Trial and error) สำหรับระบบนี้
- เลือกใช้วงจรมอเตอร์ตามรูป โดยใช้ทรานซิสเตอร์ (Transister) เบอร์ BD139 และ BD 140 สามารถจ่ายกระแสได้เพียงพอ

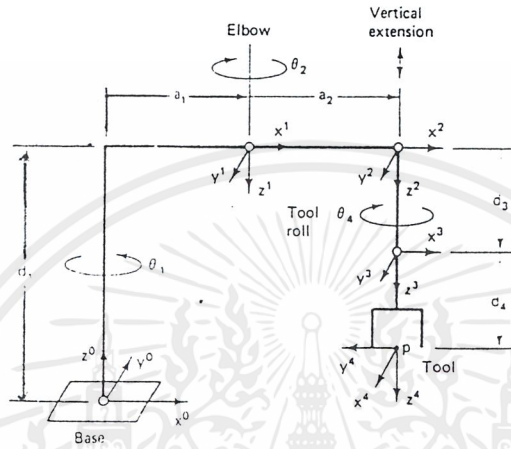
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลอง ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

#### ค่าคุณสมบัติของแขนกลที่สร้างขึ้น

จากแขนกลที่สร้างขึ้น จะได้ลิงค์-โคออดิเนทไดอะแกรม (Link-Coordinate Diagram) ตามรูป



รูปที่ 4.1 ลิงค์-โคออดิเนทไดอะแกรม

ค่าคิเนมาติกพารามิเตอร์ แสดงในตาราง

แกน (Axis)	$\theta$	$d$	$a$	$\alpha$	โฮม (Home)
1	$q_1$	29	21.2	$\pi$	0
2	$q_2$	0	20	0	0
3	0	$q_3$	0	0	9
4	$q_4$	20	0	0	$\pi/2$

อาร์มเมตริกซ์ (The Arm Matrix)

$$T_{base}^{tool}(q) = T_0^1 T_1^2 T_2^3 T_3^4$$

$$= \begin{bmatrix} C_1 & S_1 & 0 & a_1 C_1 \\ S_1 & -C_1 & 0 & a_1 S_1 \\ 0 & 0 & -1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & a_2 C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & a_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_4 & -S_4 & 0 & 0 \\ S_4 & C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore T_{\text{base}}^{\text{tool}} = \begin{bmatrix} C_{1-2-4} & S_{1-2-4} & 0 & | & a_1 C_1 + a_2 C_{1-2} \\ S_{1-2-4} & -C_{1-2-4} & 0 & | & a_1 S_1 + a_2 S_{1-2} \\ 0 & 0 & -1 & | & d_1 - q_3 - d_4 \\ \hline 0 & 0 & 0 & | & 1 \end{bmatrix}$$

อินเวอร์สคิเนมาติกส์ (Inverse Kinematics) ของแขนกลนี้ คือ

$$w(q) = \begin{bmatrix} a_1 C_1 + a_2 C_{1-2} \\ a_1 S_1 + a_2 S_{1-2} \\ d_1 - q_3 - d_4 \\ \hline 0 \\ 0 \\ -\exp(q_4/\pi) \end{bmatrix}$$

$$q_2 = \pm \arccos \frac{w_1^2 + w_2^2 - a_1^2 - w_2^2}{2 a_1 a_2}$$

$$q_1 = \text{atan2} [a_2 S_2 w_1 + (a_1 + a_2 C_2) w_2, (a_1 + a_2 C_2) w_1 - a_2 S_2 w_2]$$

$$q_3 = d_1 - d_4 - w_3$$

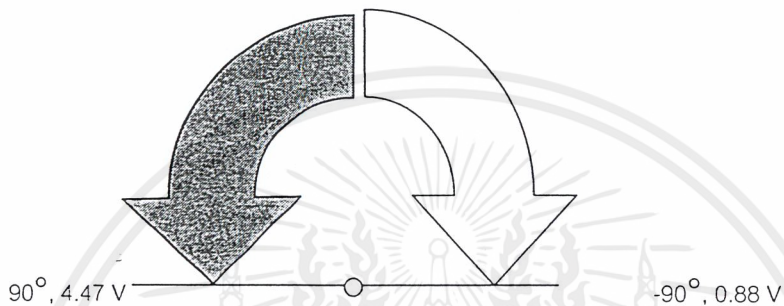
$$q_4 = \pi \ln |w_6|$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลอง

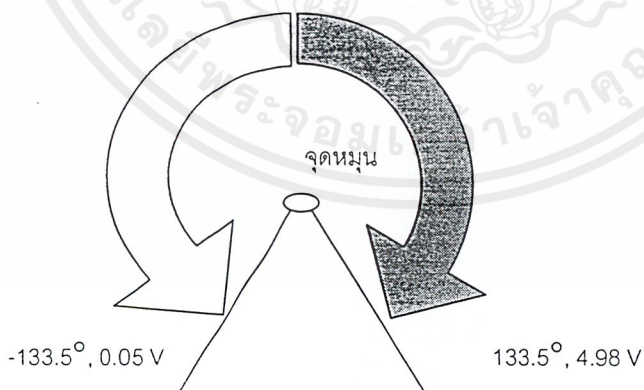
ค่าสำหรับการเคลื่อนที่ของแขนท่อนต่างๆ

แขนท่อนที่ 1

 $0^\circ, 2.67 \text{ V}$ 

คิดเป็น 0.0199 โวลต์ / องศา

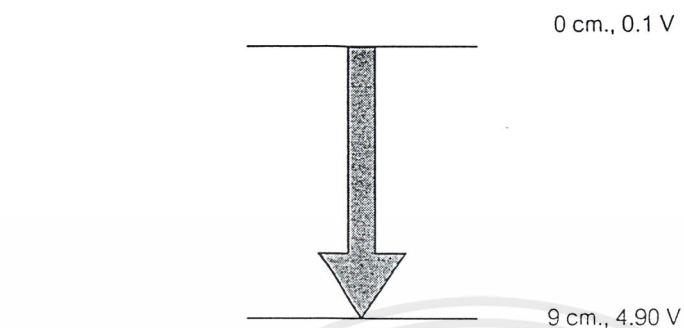
แขนท่อนที่ 2

 $0^\circ, 2.5 \text{ V}$ 

คิดเป็น 0.0185 โวลต์ / องศา

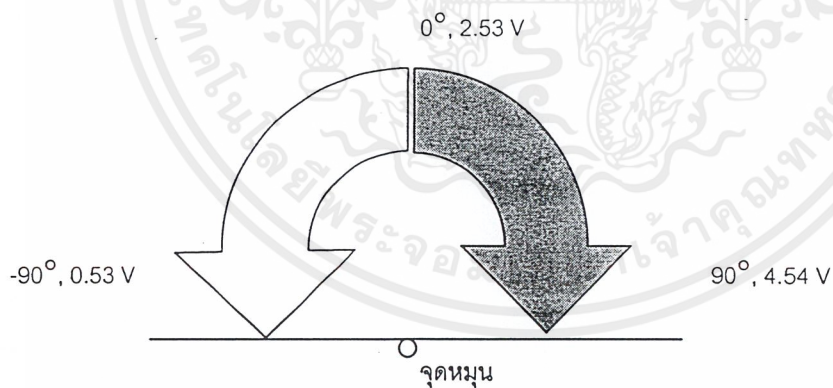
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขนท่อนที่ 3



คิดเป็น 0.5333 โวลต์ / cm.

เขนท่อนที่ 4

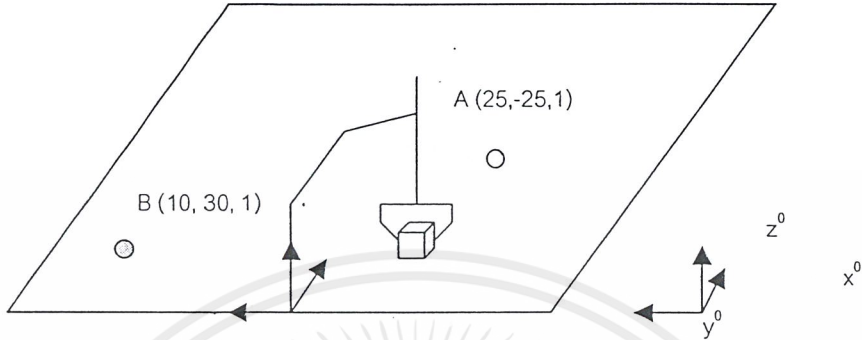


คิดเป็น 0.0223 โวลต์ / องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบการทดลอง

ออกแบบการทดลองโดยให้แขนกลเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่จุด A แล้วย้ายวัตถุนั้นไปยังจุด B



จะมีลำดับการเคลื่อนที่ดังต่อไปนี้

1. ตำแหน่งเริ่มต้นอยู่ที่ (41.2, 0, 9)
2. จาก (41.2, 0, 9)  $\rightarrow$  A' (25, -25, 9)
3. จาก A' (25, -25, 9)  $\rightarrow$  A (25, -25, 1)
4. จาก A (25, -25, 1)  $\rightarrow$  B' (10, 30, 9)
5. จาก B' (10, 30, 9)  $\rightarrow$  B (10, 30, 1)

## ตารางผลการทดลอง ตอนที่ 1

ตารางที่ 1 เมื่อป้อนคำสั่งให้แขนเคลื่อนที่ไปยังจุด (41.2, 0, 9)

ข้อต่อที่	องศาที่คำนวณ (องศา)	ค่าโวลเตจที่คำนวณ (โวลต์)	ค่าที่แปลงเป็นเลข ฐาน 2	ค่าโวลเตจที่วัดได้ (โวลต์)
q <sub>1</sub>	0	2.67	1000 1000	2.66
q <sub>2</sub>	0	2.50	1000 0000	2.51
q <sub>3</sub>	0 cm	0.10	0000 0000	0.10
q <sub>4</sub>	0	2.53	1000 0001	2.58
ค่าความผิดพลาด (Error) = 0.50 cm				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 เมื่อป้อนคำสั่งให้แขนเคลื่อนที่ไปยังจุด (25, -25, 9)

ข้อต่อที่	องศาที่คำนวณ (องศา)	ค่าโวลเตจที่คำนวณ (โวลต์)	ค่าที่แปลงเป็นเลข ฐาน 2	ค่าโวลเตจที่วัดได้ (โวลต์)
q <sub>1</sub>	-15.093	2.3717	0111 1001	2.39
q <sub>2</sub>	61.873	3.6575	1011 1010	3.66
q <sub>3</sub>	0 cm	0	0000 0000	0.10
q <sub>4</sub>	12.520	2.8096	1000 1111	2.90

ค่าความผิดพลาด (Error) = 1.25 cm

ตารางที่ 3 เมื่อป้อนคำสั่งให้แขนเคลื่อนที่ไปยังจุด (25, -25, 1)

ข้อต่อที่	องศาที่คำนวณ (องศา)	ค่าโวลเตจที่คำนวณ (โวลต์)	ค่าที่แปลงเป็นเลข ฐาน 2	ค่าโวลเตจที่วัดได้ (โวลต์)
q <sub>1</sub>	-15.093	2.3717	0111 1001	2.39
q <sub>2</sub>	61.873	3.6575	1011 1010	3.66
q <sub>3</sub>	8 cm	4.3667	1101 1111	4.38
q <sub>4</sub>	12.520	2.8096	1000 1111	2.90

ค่าความผิดพลาด (Error) = 1.25 cm

ตารางที่ 4 เมื่อป้อนคำสั่งให้แขนเคลื่อนที่ไปยังจุด (10, 30, 9)

ข้อต่อที่	องศาที่คำนวณ (องศา)	ค่าโวลเตจที่คำนวณ (โวลต์)	ค่าที่แปลงเป็นเลข ฐาน 2	ค่าโวลเตจที่วัดได้ (โวลต์)
q <sub>1</sub>	33.073	3.3315	1010 1010	3.20
q <sub>2</sub>	-79.773	1.0360	0011 0101	1.00
q <sub>3</sub>	0 cm	0	0000 0000	0.10
q <sub>4</sub>	22.846	3.0402	1001 1011	3.16

ค่าความผิดพลาด (Error) = 0.95 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 เมื่อบ้อนคำสั่งให้แขนเคลื่อนที่ไปยังจุด (10, 30, 1)

ข้อต่อที่	องศาที่คำนวณ (องศา)	ค่าโวลเตจที่คำนวณ (โวลต์)	ค่าที่แปลงเป็นเลข ฐาน 2	ค่าโวลเตจที่วัดได้ (โวลต์)
$q_1$	33.073	3.3315	1010 1010	3.20
$q_2$	-79.773	1.0360	0011 0100	1.00
$q_3$	8 cm	4.3667	1101 1111	4.37
$q_4$	22.846	3.0402	1001 1011	3.16

ค่าความผิดพลาด (Error) = 0.95 cm

## สรุปผลการทดลอง

เมื่อนำค่า  $q$  ที่คำนวณได้ไปใช้ ทำให้แขนกลทำงานในระบบที่สมมติขึ้นได้อย่างเหมาะสม ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถยอมรับได้

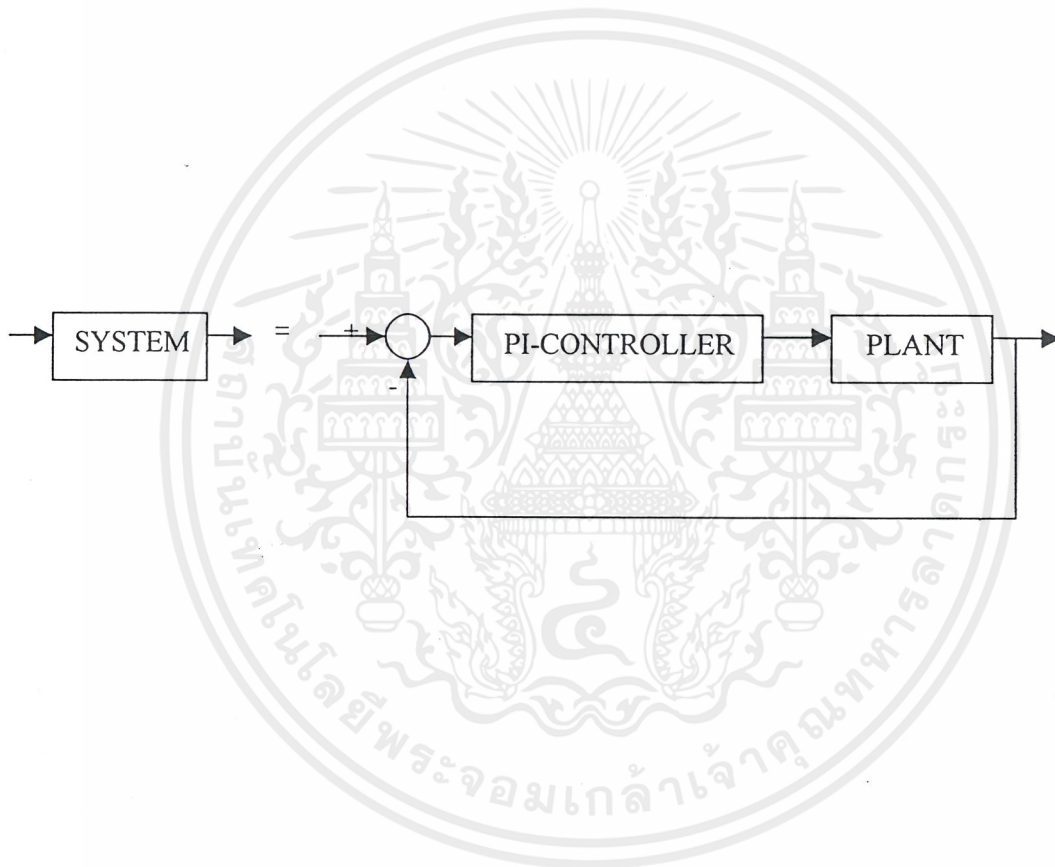
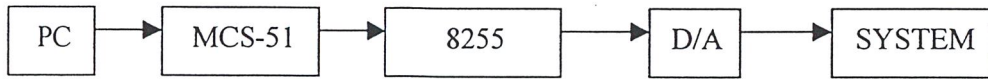


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

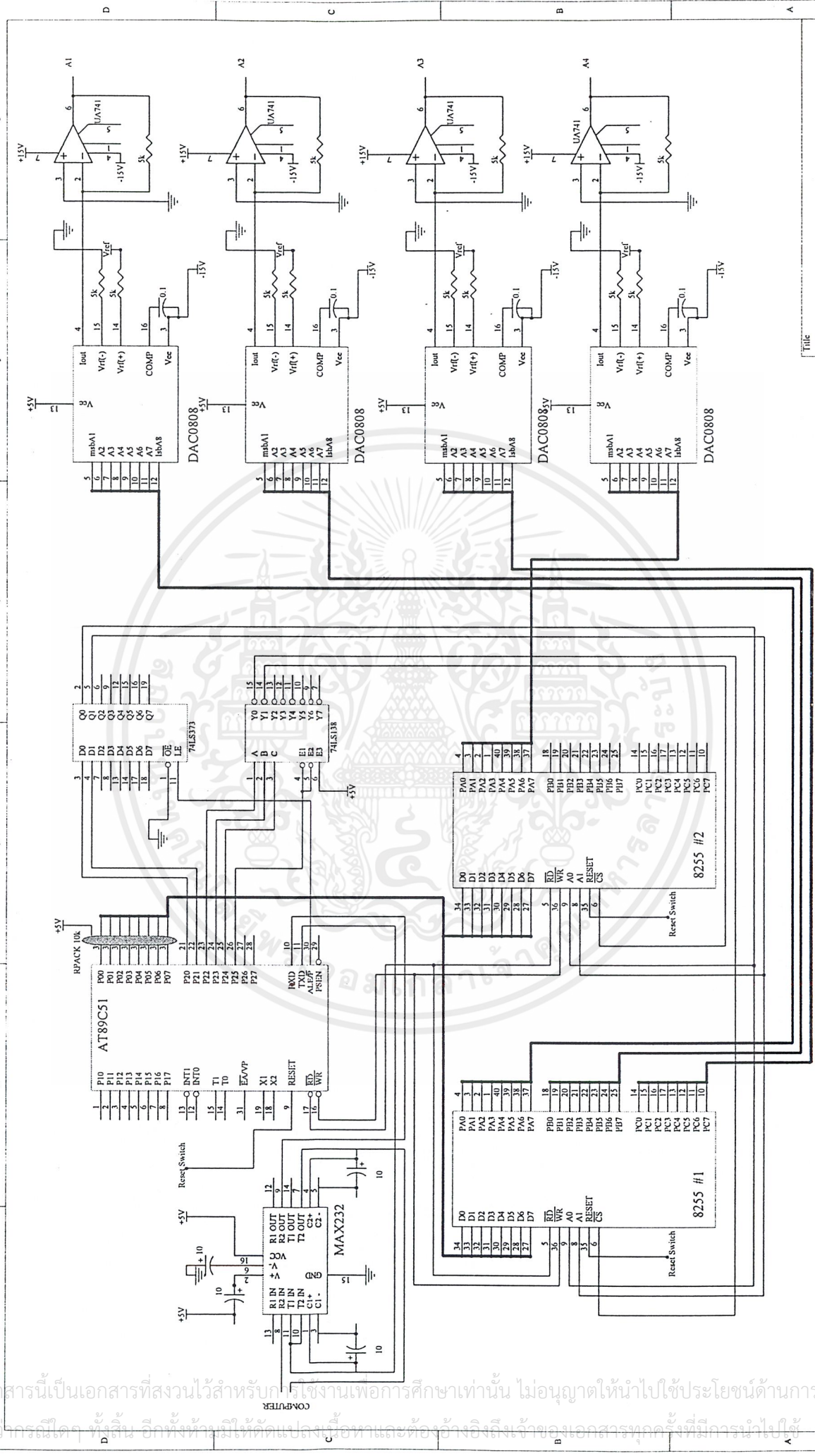


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อแบบอนุกรม  
กับไมโครคอนโทรลเลอร์  
และ ใช้วงจรดีทิวเอ แปลงเป็นสัญญาณอ  
นาล็อกเพื่อส่งสัญญาณไปยังวงจรไดร์ฟ  
มอเตอร์

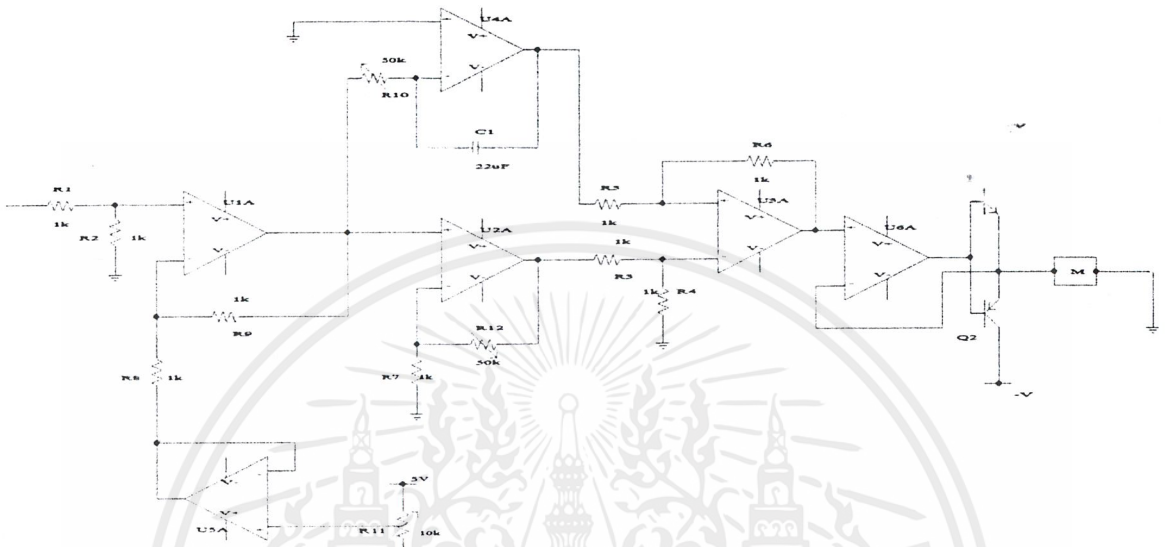


Title	
Size	Number
II	REVISION
Date	Sheet of
File	Drawn By
A Backup of Backup of dlm.DDB	
26-Mar-2002	
6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภคใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าการณีใดๆ ที่ขึ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



**แผนภาพแสดงการต่อ  
วงจรพีไอคอนโทรลเลอร์ ร่วมกับ  
วงจรไดร์ฟมอเตอร์**



วงจรการป้อนกลับแบบลบ, วงจรควบคุมแบบพีไอ, วงจรขับมอเตอร์

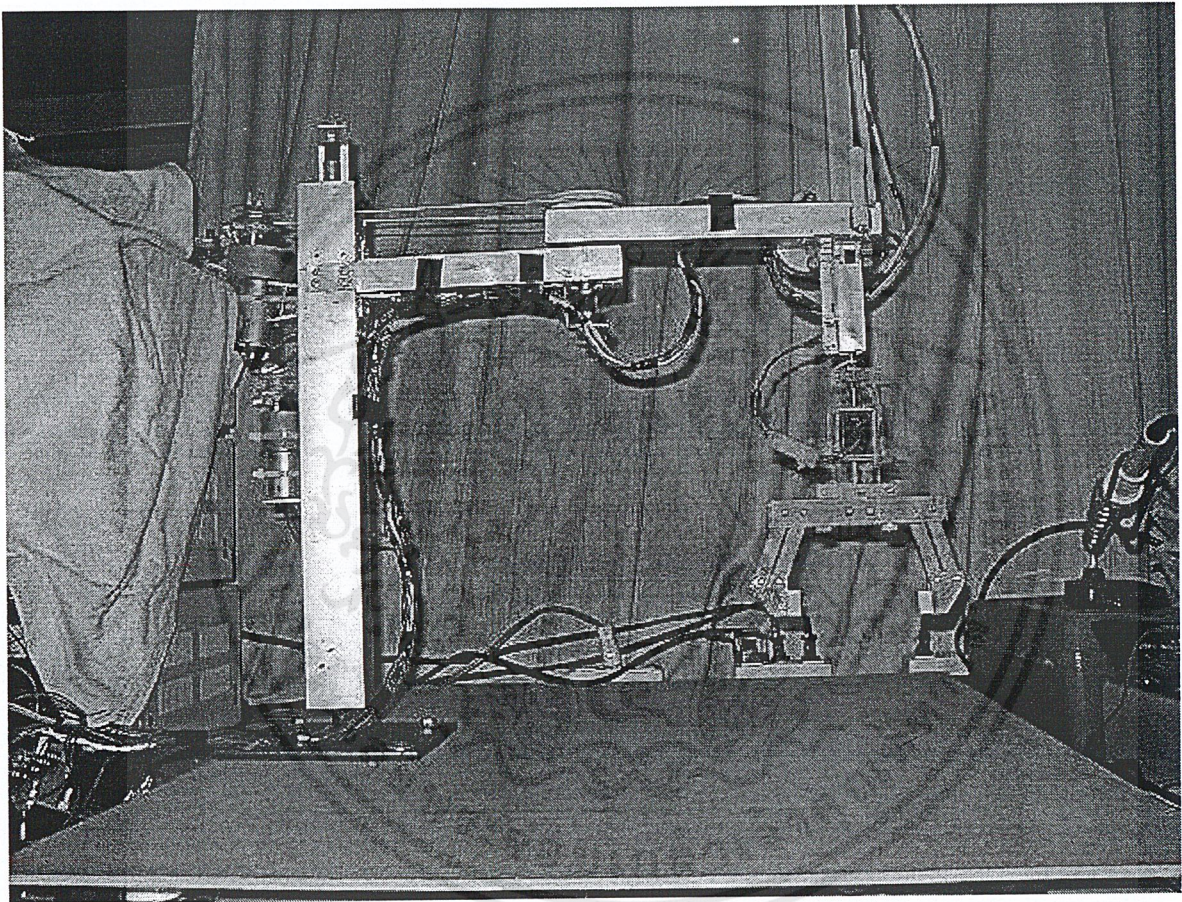
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพแสดงรูปแขนกล และ ส่วนประกอบของ  
แขนกล

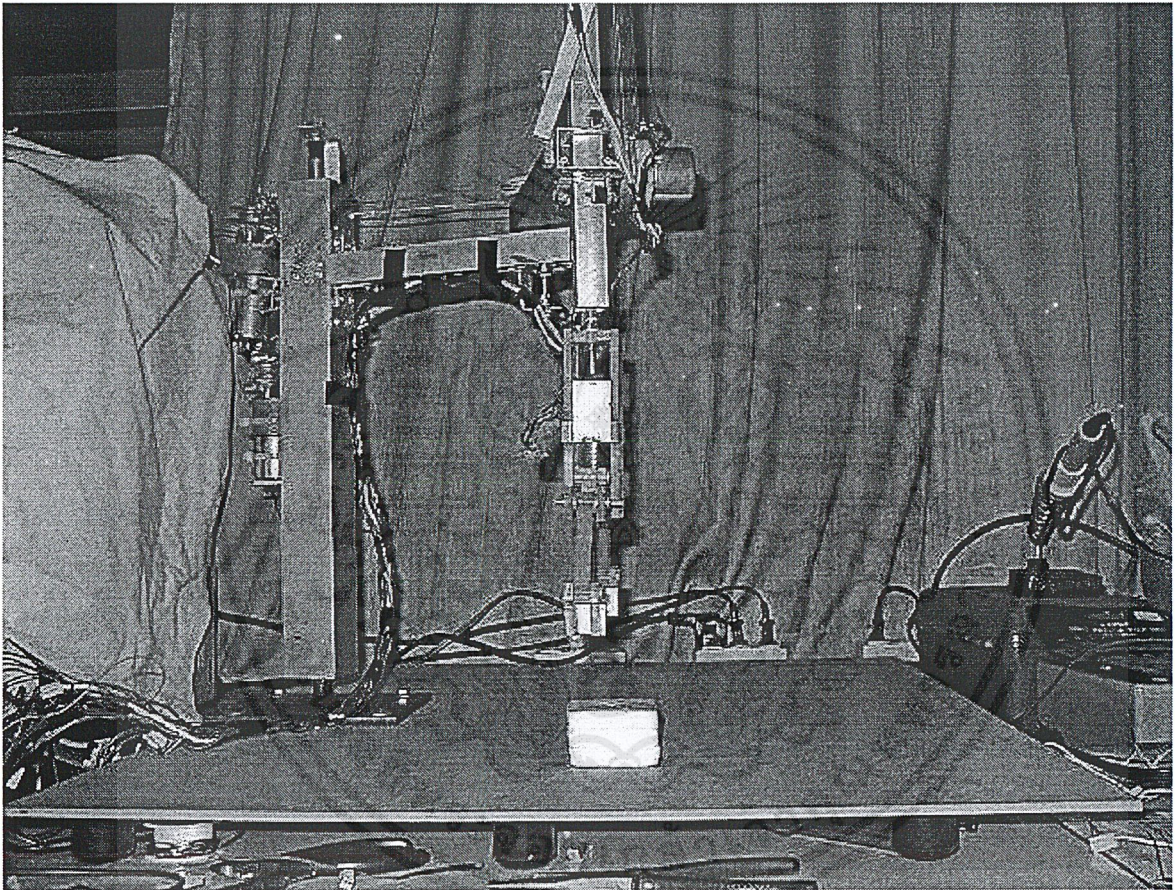
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งเริ่มต้น (41.2, 0, 9)



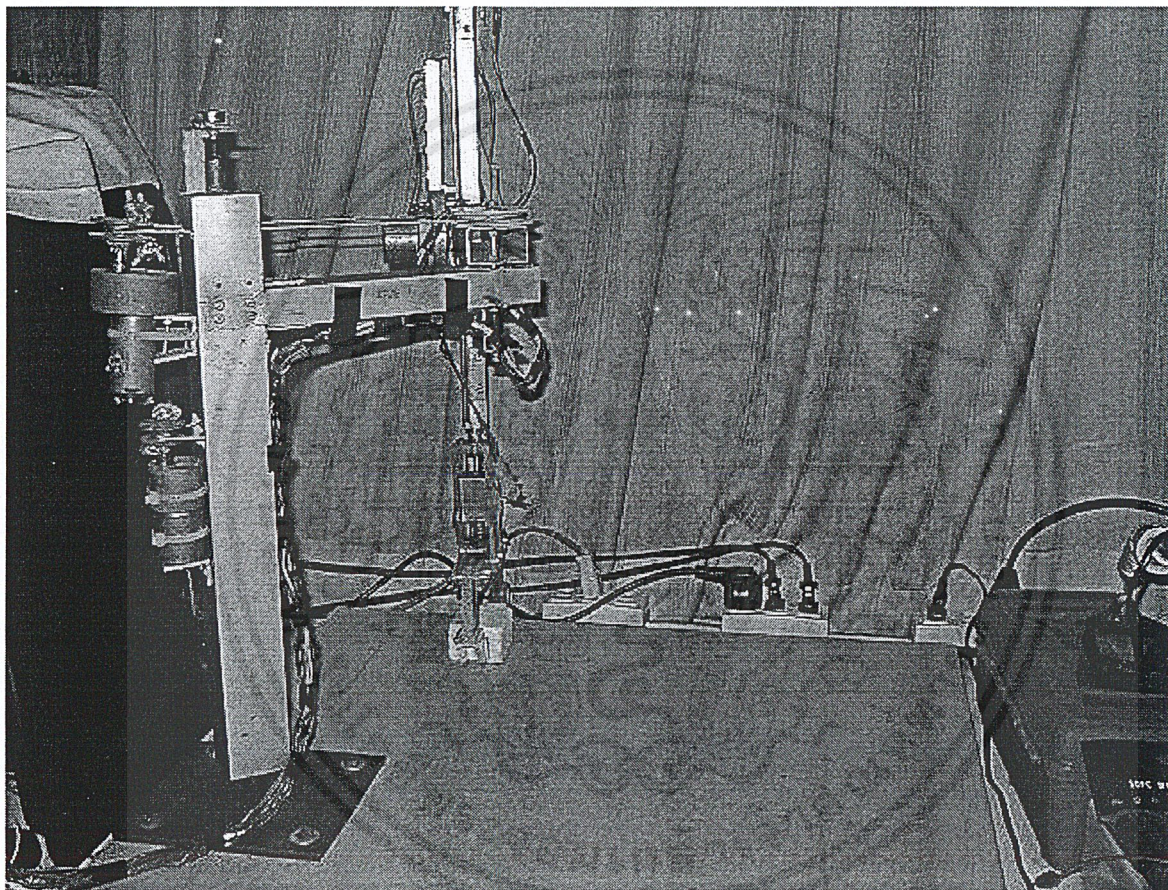
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง ( 25 , -25 , 9 )



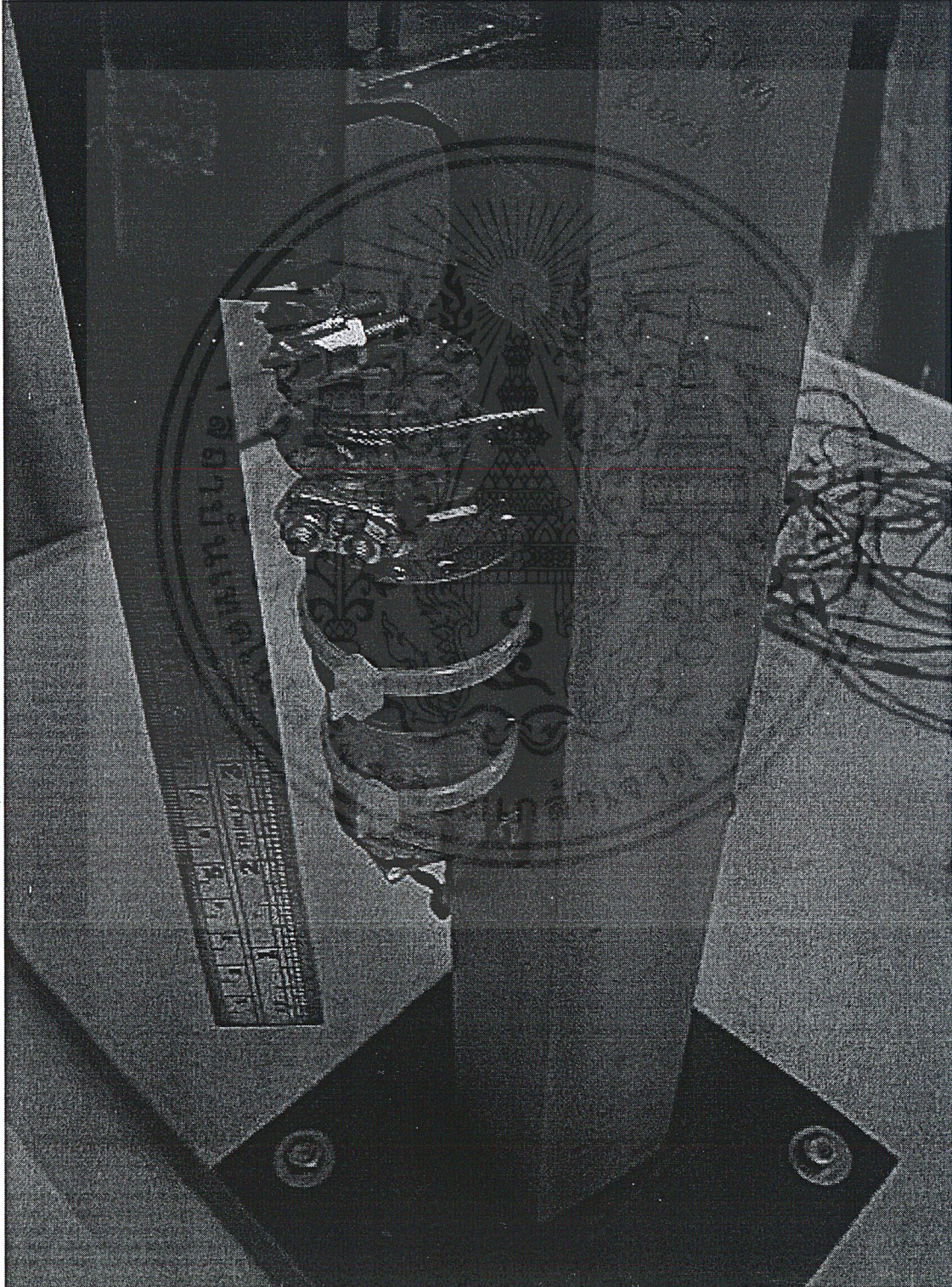
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำ 465 ( 10, 30, 1 )



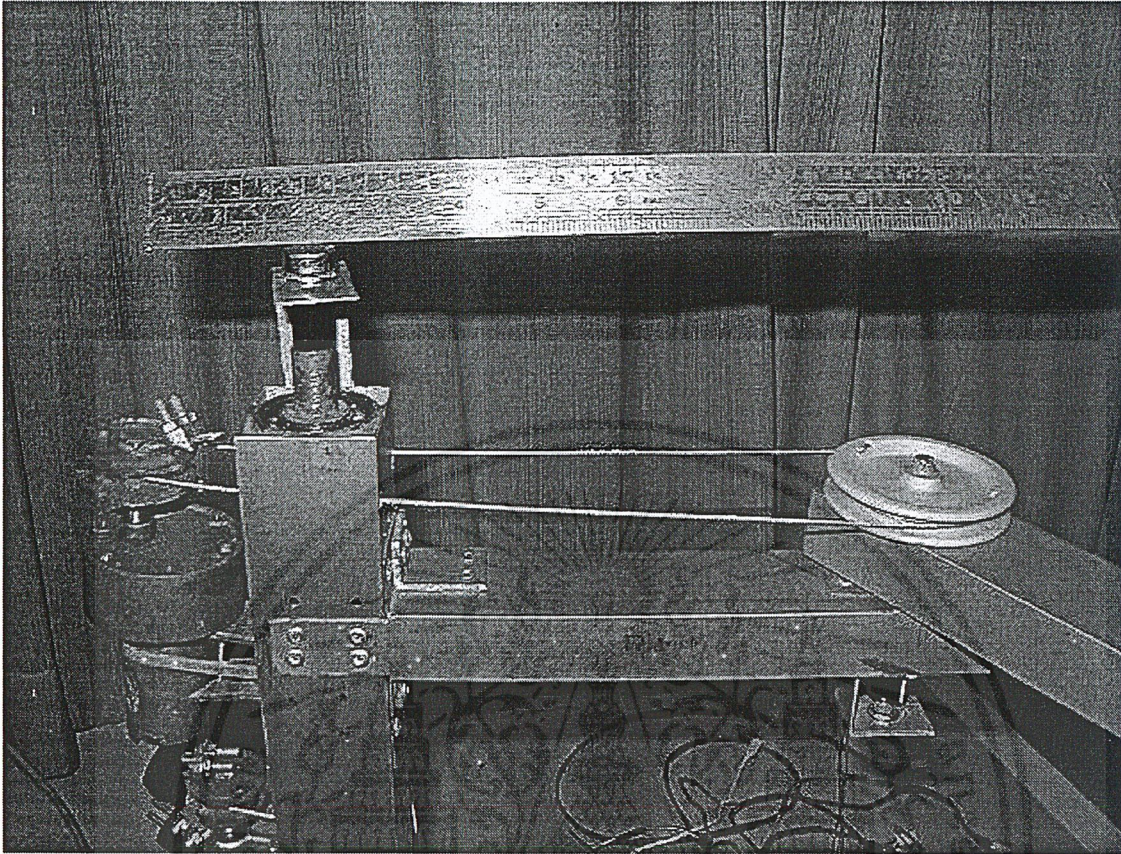
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนท่อนที่ 1 และ มอเตอร์ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

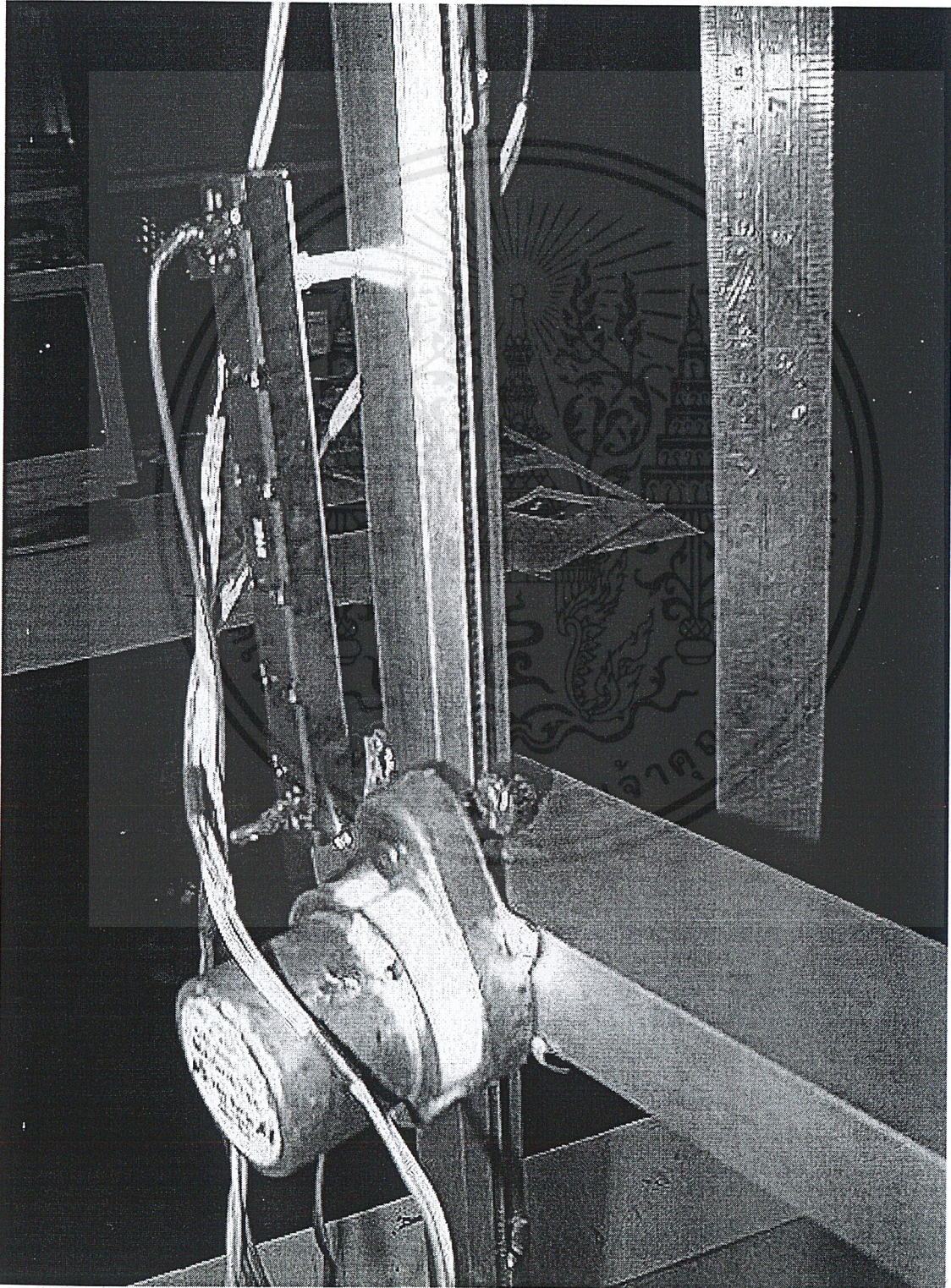
p3160615 (640x480x24b jpeg)



แผ่นท่อนที่ 2 และ มอ๓๐๖ ๑

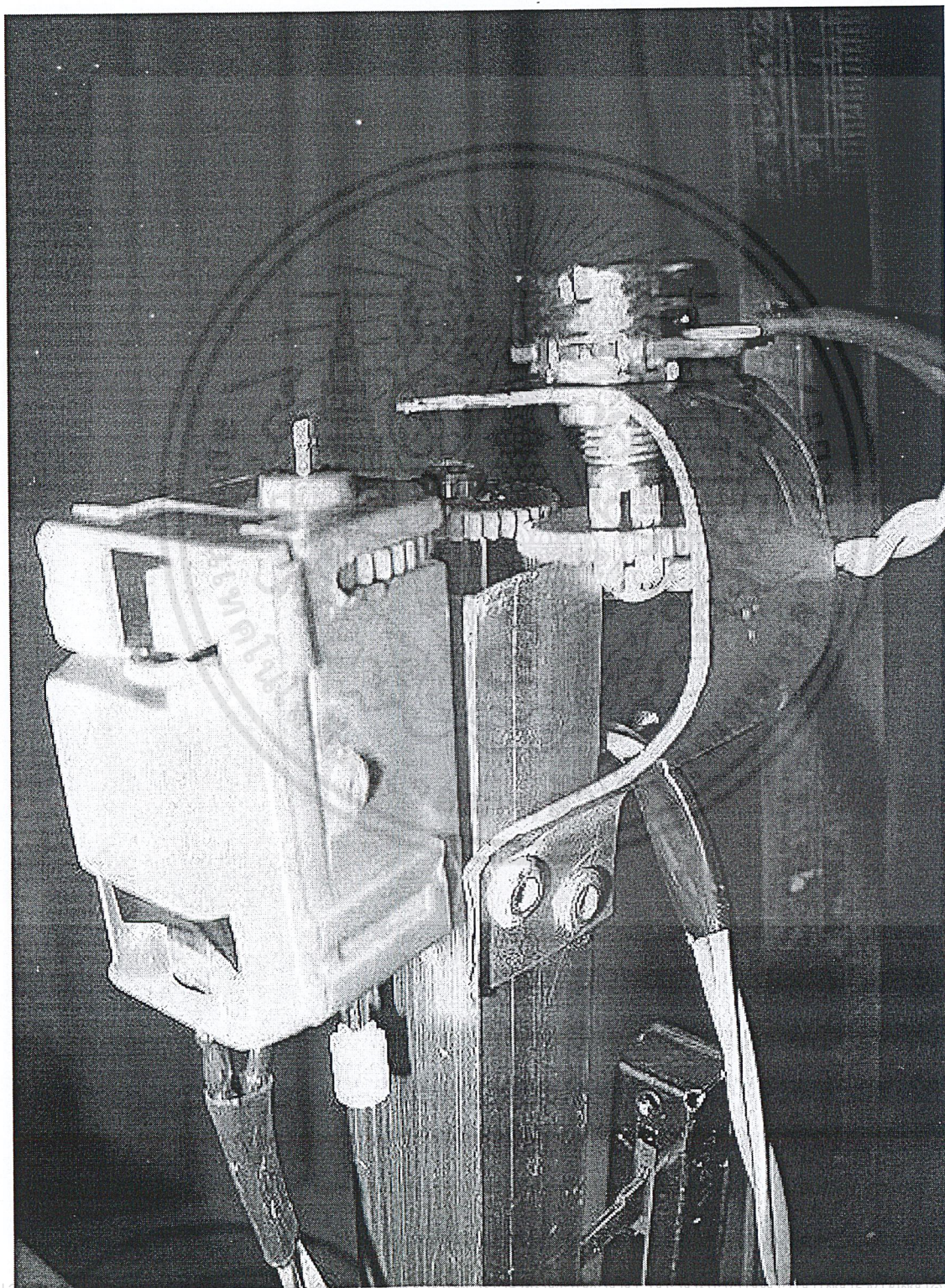
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบท่อนที่ 3 และ มอเตอร์ 3



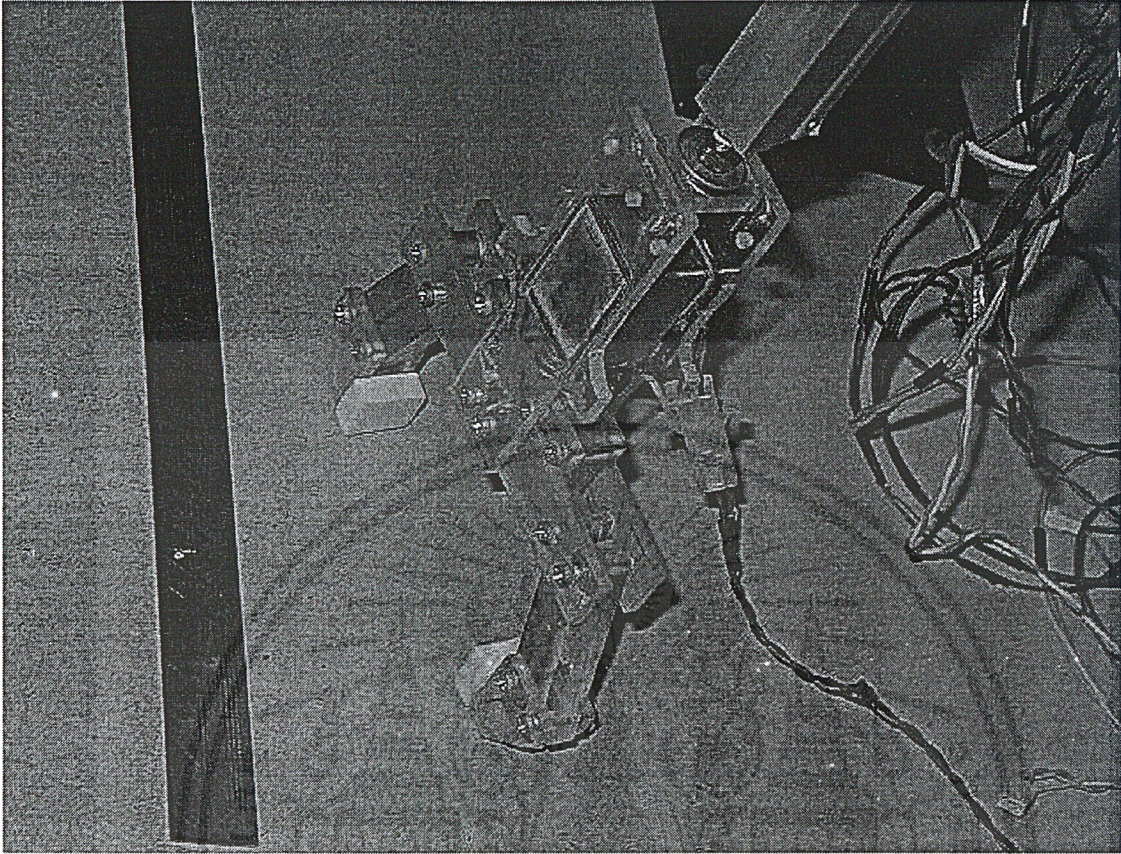
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ลงทะเบียนชำระเงินค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์<sup>6</sup> 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนหรือการคัดลอกเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบแจ้งประวัติการดำเนินการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

p3160621 (640x480x24b jpeg)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ข้อมูลแสดงคุณลักษณะของอุปกรณ์ ( DATA SHEET )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MAXIM

## +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 ( $\mu F$ )	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	4.7/10	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 or 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

Maxim Integrated Products 1

For free samples & the latest literature: <http://www.maxim-ic.com>, or phone 1-800-998-8800.  
For small orders, phone 1-800-835-8769.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Supply Voltage (V <sub>CC</sub> )	-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 <sub>IN</sub>	-0.3V to (V <sub>CC</sub> - 0.3V)	16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	.....762mW
R <sub>IN</sub> (Except MAX220)	±30V	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	.....762mW
R <sub>IN</sub> (MAX220)	±25V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	....800mW
T <sub>OUT</sub> (Except MAX220) (Note 1)	±15V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	.....640mW
T <sub>OUT</sub> (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 <sub>OUT</sub>	±15V	Operating Temperature Ranges	
R <sub>OUT</sub>	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 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 <sub>A</sub> = +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<sub>OUT</sub> in high-impedance state, SHDN or V<sub>CC</sub> = 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<sub>CC</sub> = +5V ±10%, C1-C4 = 0.1µF, MAX220, C1 = 0.047µF, C2-C4 = 0.33µF, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>RS-232 TRANSMITTERS</b>						
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 except MAX220		2	1.4		V
	MAX220: V <sub>CC</sub> = 5.0V		2.4			
Logic Pull-Up/Input Current	All except MAX220, normal operation			5	40	µA
	SHDN = 0V, MAX222/242, shutdown, MAX220			±0.01	±1	
Output Leakage Current	V <sub>CC</sub> = 5.5V, SHDN = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±15V, MAX222/242			±0.01	±10	µA
	V <sub>CC</sub> = SHDN = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±15V			±0.01	±10	
Data Rate	All except MAX220, normal operation			200	116	kb/s
Transmitter Output Resistance	V <sub>CC</sub> = V+ = V- = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±2V		300	10M		Ω
Output Short-Circuit Current	V <sub>OUT</sub> = 0V		±7	±22		mA
<b>RS-232 RECEIVERS</b>						
RS-232 Input Voltage Operating Range					±30	V
RS-232 Input Threshold Low	V <sub>CC</sub> = 5V	All except MAX243 R <sub>2IN</sub>	0.8	1.3		V
		MAX243 R <sub>2IN</sub> (Note 2)	-3			
RS-232 Input Threshold High	V <sub>CC</sub> = 5V	All except MAX243 R <sub>2IN</sub>		1.8	2.4	V
		MAX243 R <sub>2IN</sub> (Note 2)		-0.5	-0.1	
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX243, V <sub>CC</sub> = 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 <sub>OUT</sub> = 3.2mA			0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	I <sub>OUT</sub> = -1.0mA		3.5	V <sub>CC</sub> - 0.2		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V <sub>OUT</sub> = GND		-2	-10		mA
	Shrinking V <sub>OUT</sub> = V <sub>CC</sub>		10	30		

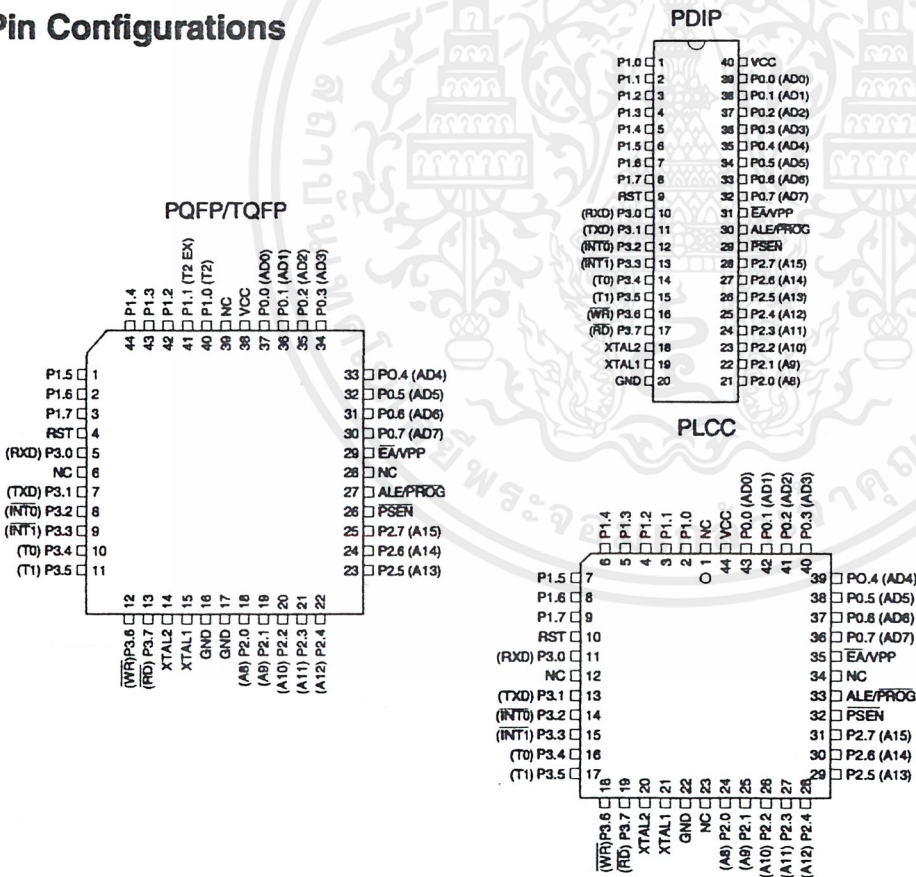
## Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

## Description

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

## Pin Configurations



## 8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash

## AT89C51

Rev. 0265G-02/00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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

$T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$  (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
$V_{IL}$	Input Low-voltage	(Except $\bar{E}A$ )	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
$V_{IL1}$	Input Low-voltage ( $\bar{E}A$ )		-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 <sup>(1)</sup> (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
$V_{OL1}$	Output Low-voltage <sup>(1)</sup> (Port 0, ALE, PSEN)	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
$V_{OH}$	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, 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	$\mu\text{A}$
$I_{TL}$	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}$ , $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	$\mu\text{A}$
$I_{LI}$	Input Leakage Current (Port 0, $\bar{E}A$ )	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		$\pm 10$	$\mu\text{A}$
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	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		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power-down Mode <sup>(2)</sup>	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	$\mu\text{A}$
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	$\mu\text{A}$

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.



# 82C55A CHMOS PROGRAMMABLE PERIPHERAL INTERFACE

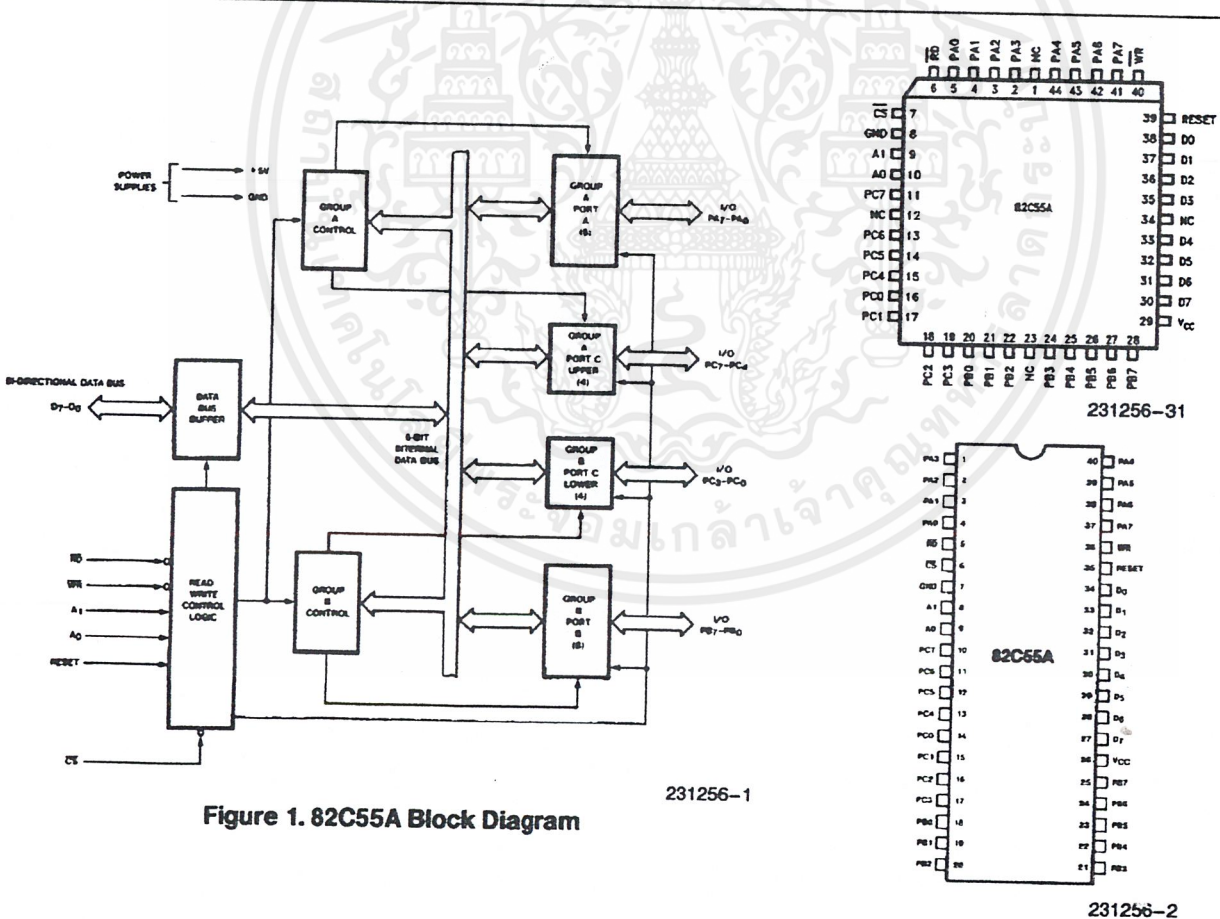
- Compatible with all Intel and Most Other Microprocessors
- High Speed, "Zero Wait State" Operation with 8 MHz 8086/88 and 80186/188
- 24 Programmable I/O Pins
- Low Power CHMOS
- Completely TTL Compatible

- Control Word Read-Back Capability
- Direct Bit Set/Reset Capability
- 2.5 mA DC Drive Capability on all I/O Port Outputs
- Available in 40-Pin DIP and 44-Pin PLCC
- Available in EXPRESS
  - Standard Temperature Range
  - Extended Temperature Range

The Intel 82C55A is a high-performance, CHMOS version of the industry standard 8255A general purpose programmable I/O device which is designed for use with all Intel and most other microprocessors. It provides 24 I/O pins which may be individually programmed in 2 groups of 12 and used in 3 major modes of operation. The 82C55A is pin compatible with the NMOS 8255A and 8255A-5.

In MODE 0, each group of 12 I/O pins may be programmed in sets of 4 and 8 to be inputs or outputs. In MODE 1, each group may be programmed to have 8 lines of input or output. 3 of the remaining 4 pins are used for handshaking and interrupt control signals. MODE 2 is a strobed bi-directional bus configuration.

The 82C55A is fabricated on Intel's advanced CHMOS III technology which provides low power consumption with performance equal to or greater than the equivalent NMOS product. The 82C55A is available in 40-pin DIP and 44-pin plastic leaded chip carrier (PLCC) packages.



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\***

Ambient Temperature Under Bias . . . . 0°C to + 70°C  
 Storage Temperature . . . . . - 65°C to + 150°C  
 Supply Voltage . . . . . - 0.5 to + 8.0V  
 Operating Voltage . . . . . + 4V to + 7V  
 Voltage on any Input . . . . . GND - 2V to + 6.5V  
 Voltage on any Output . . . GND - 0.5V to  $V_{CC} + 0.5V$   
 Power Dissipation . . . . . 1 Watt

NOTICE: This is a production data sheet. The specifications are subject to change without notice.

\*WARNING: Stressing the device beyond the "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage. These are stress ratings only. Operation beyond the "Operating Conditions" is not recommended and extended exposure beyond the "Operating Conditions" may affect device reliability.

**D.C. CHARACTERISTICS**

$T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = +5V \pm 10\%$ , GND = 0V ( $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$  for Extended Temperature)

Symbol	Parameter	Min	Max	Units	Test Conditions
$V_{IL}$	Input Low Voltage	-0.5	0.8	V	
$V_{IH}$	Input High Voltage	2.0	$V_{CC}$	V	
$V_{OL}$	Output Low Voltage		0.4	V	$I_{OL} = 2.5 \text{ mA}$
$V_{OH}$	Output High Voltage	3.0 $V_{CC} - 0.4$		V V	$I_{OH} = -2.5 \text{ mA}$ $I_{OH} = -100 \mu\text{A}$
$I_{IL}$	Input Leakage Current		$\pm 1$	$\mu\text{A}$	$V_{IN} = V_{CC}$ to 0V (Note 1)
$I_{OFL}$	Output Float Leakage Current		$\pm 10$	$\mu\text{A}$	$V_{IN} = V_{CC}$ to 0V (Note 2)
$I_{DAR}$	Darlington Drive Current	$\pm 2.5$	(Note 4)	mA	Ports A, B, C $R_{ext} = 500\Omega$ $V_{ext} = 1.7V$
$I_{PHL}$	Port Hold Low Leakage Current	+50	+300	$\mu\text{A}$	$V_{OUT} = 1.0V$ Port A only
$I_{PHH}$	Port Hold High Leakage Current	-50	-300	$\mu\text{A}$	$V_{OUT} = 3.0V$ Ports A, B, C
$I_{PHLO}$	Port Hold Low Overdrive Current	-350		$\mu\text{A}$	$V_{OUT} = 0.8V$
$I_{PHHO}$	Port Hold High Overdrive Current	+350		$\mu\text{A}$	$V_{OUT} = 3.0V$
$I_{CC}$	$V_{CC}$ Supply Current		10	mA	(Note 3)
$I_{CCSB}$	$V_{CC}$ Supply Current-Standby		10	$\mu\text{A}$	$V_{CC} = 5.5V$ $V_{IN} = V_{CC}$ or GND Port Conditions If I/P = Open/High O/P = Open Only With Data Bus = High/Low $\overline{CS} = \text{High}$ Reset = Low Pure Inputs = Low/High

**NOTES:**

1. Pins  $A_1$ ,  $A_0$ ,  $\overline{CS}$ ,  $\overline{WR}$ ,  $\overline{RD}$ , Reset.
2. Data Bus; Ports B, C.
3. Outputs open.
4. Limit output current to 4.0 mA.

# SN74LS373, SN74LS374



ON Semiconductor

<http://onsemi.com>

## Octal Transparent Latch with 3-State Outputs; Octal D-Type Flip-Flop with 3-State Output

The SN74LS373 consists of eight latches with 3-state outputs for bus organized system applications. The flip-flops appear transparent to the data (data changes asynchronously) when Latch Enable (LE) is HIGH. When LE is LOW, the data that meets the setup times is latched. Data appears on the bus when the Output Enable ( $\overline{OE}$ ) is LOW. When  $\overline{OE}$  is HIGH the bus output is in the high impedance state.

The SN74LS374 is a high-speed, low-power Octal D-type Flip-Flop featuring separate D-type inputs for each flip-flop and 3-state outputs for bus oriented applications. A buffered Clock (CP) and Output Enable (OE) is common to all flip-flops. The SN74LS374 is manufactured using advanced Low Power Schottky technology and is compatible with all ON Semiconductor TTL families.

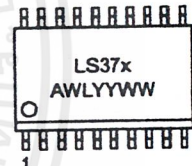
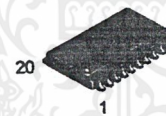
- Eight Latches in a Single Package
- 3-State Outputs for Bus Interfacing
- Hysteresis on Latch Enable
- Edge-Triggered D-Type Inputs
- Buffered Positive Edge-Triggered Clock
- Hysteresis on Clock Input to Improve Noise Margin
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects

LOW  
POWER  
SCHOTTKY

### MARKING DIAGRAMS



PDIP-20  
N SUFFIX  
CASE 738



SOIC-20  
DW SUFFIX  
CASE 751D

x = 3 or 4  
A = Assembly Location  
WL = Wafer Lot  
YY = Year  
WW = Work Week

### GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
$V_{CC}$	Supply Voltage	4.75	5.0	5.25	V
$T_A$	Operating Ambient Temperature Range	0	25	70	°C
$I_{OH}$	Output Current – High			-2.6	mA
$I_{OL}$	Output Current – Low			24	mA

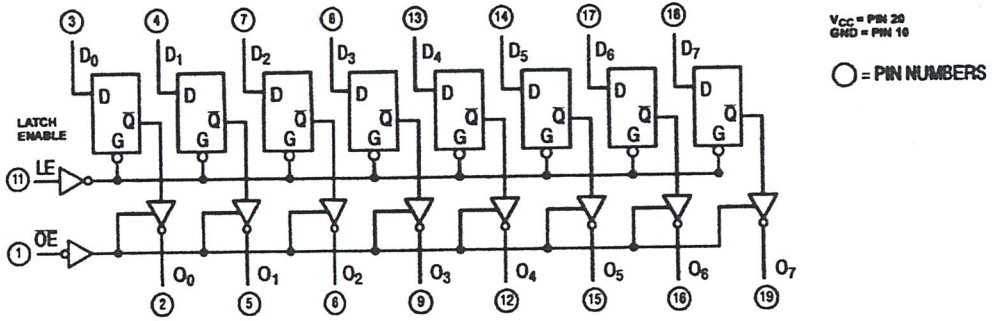
### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
SN74LS373N	PDIP-20	1440 Units/Box
SN74LS373DW	SOIC-20	2500/Tape & Reel
SN74LS374N	PDIP-20	1440 Units/Box
SN74LS374DW	SOIC-20	2500/Tape & Reel

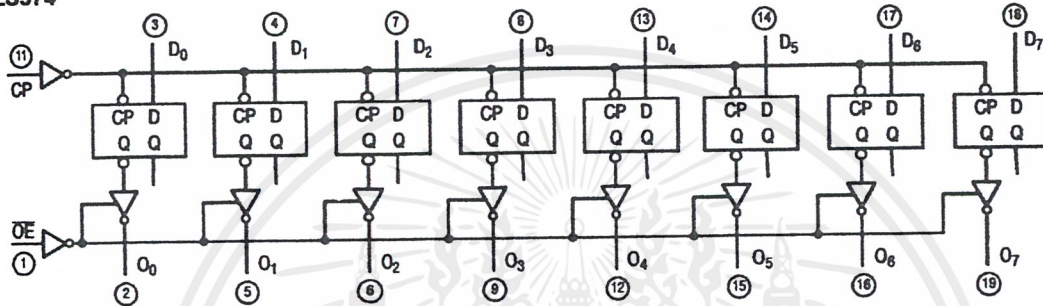
# SN74LS373, SN74LS374

## LOGIC DIAGRAMS

### SN74LS373



### SN74LS374



### DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
$V_{IH}$	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
$V_{IL}$	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
$V_{IK}$	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $I_{IN} = -18 \text{ mA}$
$V_{OH}$	Output HIGH Voltage	2.4	3.1		V	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $I_{OH} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = V_{IH}$ or $V_{IL}$ per Truth Table
$V_{OL}$	Output LOW Voltage		0.25	0.4	V	$V_{CC} = V_{CC \text{ MIN}}$ , $V_{IN} = V_{IL}$ or $V_{IH}$ per Truth Table
			0.35	0.5	V	
$I_{OZH}$	Output Off Current HIGH			20	$\mu\text{A}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{OUT} = 2.7 \text{ V}$
$I_{OLZ}$	Output Off Current LOW			-20	$\mu\text{A}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{OUT} = 0.4 \text{ V}$
$I_{IH}$	Input HIGH Current			20	$\mu\text{A}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 2.7 \text{ V}$
				0.1	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 7.0 \text{ V}$
$I_{IL}$	Input LOW Current			-0.4	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 0.4 \text{ V}$
$I_{OS}$	Short Circuit Current (Note 1.)	-30		-130	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$
$I_{CC}$	Power Supply Current			40	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$

1. Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

# SN74LS138

## 1-of-8 Decoder/ Demultiplexer

The LSTTL/MSI SN74LS138 is a high speed 1-of-8 Decoder/Demultiplexer. This device is ideally suited for high speed bipolar memory chip select address decoding. The multiple input enables allow parallel expansion to a 1-of-24 decoder using just three LS138 devices or to a 1-of-32 decoder using four LS138s and one inverter. The LS138 is fabricated with the Schottky barrier diode process for high speed and is completely compatible with all ON Semiconductor TTL families.

- Demultiplexing Capability
- Multiple Input Enable for Easy Expansion
- Typical Power Dissipation of 32 mW
- Active Low Mutually Exclusive Outputs
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects

### GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	4.75	5.0	5.25	V
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	0	25	70	°C
I <sub>OH</sub>	Output Current – High			-0.4	mA
I <sub>OL</sub>	Output Current – Low			8.0	mA



**ON Semiconductor**  
Formerly a Division of Motorola  
<http://onsemi.com>

**LOW  
POWER  
SCHOTTKY**



PLASTIC  
N SUFFIX  
CASE 648



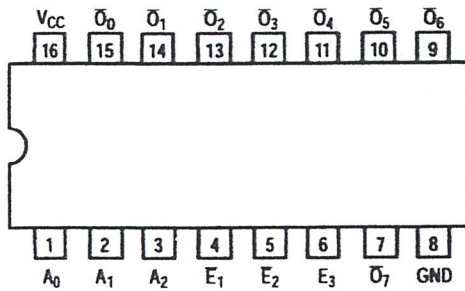
SOIC  
D SUFFIX  
CASE 751B

### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
SN74LS138N	16 Pin DIP	2000 Units/Box
SN74LS138D	16 Pin	2500/Tape & Reel

# SN74LS138

## CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)



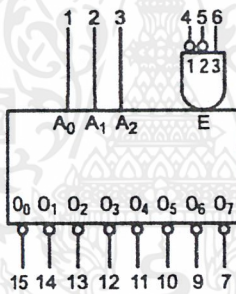
NOTE:  
The Flatpak version has the same pinouts (Connection Diagram) as the Dual In-Line Package.

PIN NAMES		LOADING (Note a)	
		HIGH	LOW
A <sub>0</sub> -A <sub>2</sub>	Address Inputs	0.5 U.L.	0.25 U.L.
E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub>	Enable (Active LOW) Inputs	0.5 U.L.	0.25 U.L.
E <sub>3</sub>	Enable (Active HIGH) Input	0.5 U.L.	0.25 U.L.
O <sub>0</sub> -O <sub>7</sub>	Active LOW Outputs	10 U.L.	5 U.L.

NOTES:

a) 1 TTL Unit Load (U.L.) = 40 μA HIGH/1.6 mA LOW.

### LOGIC SYMBOL



V<sub>CC</sub> = PIN 16  
GND = PIN 8

# SN74LS138

## DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
$V_{IH}$	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
$V_{IL}$	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
$V_{IK}$	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $I_{IN} = -18 \text{ mA}$
$V_{OH}$	Output HIGH Voltage	2.7	3.5		V	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $I_{OH} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = V_{IH}$ or $V_{IL}$ per Truth Table
$V_{OL}$	Output LOW Voltage		0.25	0.4	V	$I_{OL} = 4.0 \text{ mA}$
			0.35	0.5	V	$I_{OL} = 8.0 \text{ mA}$
$I_{IH}$	Input HIGH Current			20	$\mu\text{A}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 2.7 \text{ V}$
				0.1	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 7.0 \text{ V}$
$I_{IL}$	Input LOW Current			-0.4	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 0.4 \text{ V}$
$I_{OS}$	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$
$I_{CC}$	Power Supply Current			10	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

## AC CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Symbol	Parameter	Levels of Delay	Limits			Unit	Test Conditions
			Min	Typ	Max		
$t_{PLH}$ $t_{PHL}$	Propagation Delay Address to Output	2 2		13 27	20 41	ns	$V_{CC} = 5.0 \text{ V}$ $C_L = 15 \text{ pF}$
$t_{PLH}$ $t_{PHL}$	Propagation Delay Address to Output	3 3		18 26	27 39	ns	
$t_{PLH}$ $t_{PHL}$	Propagation Delay $\bar{E}_1$ or $\bar{E}_2$ Enable to Output	2 2		12 21	18 32	ns	
$t_{PLH}$ $t_{PHL}$	Propagation Delay $E_3$ Enable to Output	3 3		17 25	26 38	ns	

## AC WAVEFORMS

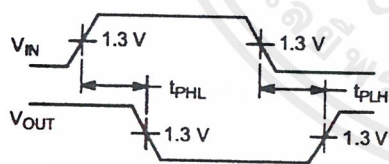


Figure 1.

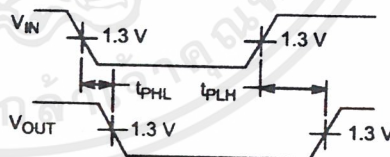


Figure 2.

# DAC0808

## 8-Bit D/A Converter

### General Description

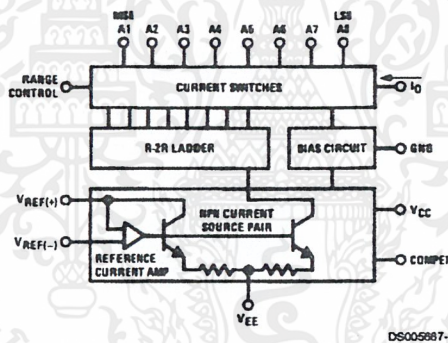
The DAC0808 is an 8-bit monolithic digital-to-analog converter (DAC) featuring a full scale output current settling time of 150 ns while dissipating only 33 mW with  $\pm 5V$  supplies. No reference current ( $I_{REF}$ ) trimming is required for most applications since the full scale output current is typically  $\pm 1$  LSB of  $255 I_{REF}/256$ . Relative accuracies of better than  $\pm 0.19\%$  assure 8-bit monotonicity and linearity while zero level output current of less than  $4 \mu A$  provides 8-bit zero accuracy for  $I_{REF} \geq 2$  mA. The power supply currents of the DAC0808 is independent of bit codes, and exhibits essentially constant device characteristics over the entire supply voltage range.

The DAC0808 will interface directly with popular TTL, DTL or CMOS logic levels, and is a direct replacement for the MC1508/MC1408. For higher speed applications, see DAC0800 data sheet.

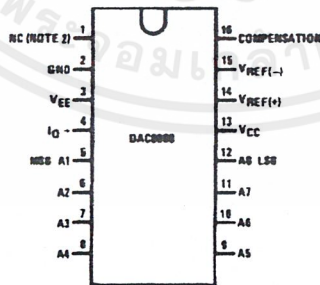
### Features

- Relative accuracy:  $\pm 0.19\%$  error maximum
- Full scale current match:  $\pm 1$  LSB typ
- Fast settling time: 150 ns typ
- Noninverting digital inputs are TTL and CMOS compatible
- High speed multiplying input slew rate: 8 mA/ $\mu s$
- Power supply voltage range:  $\pm 4.5V$  to  $\pm 18V$
- Low power consumption: 33 mW @  $\pm 5V$

### Block and Connection Diagrams



#### Dual-In-Line Package



#### Top View

Order Number DAC0808  
See NS Package M16A or N16A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Absolute Maximum Ratings** (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

## Power Supply Voltage

$V_{CC}$	+18 $V_{DC}$
$V_{EE}$	-18 $V_{DC}$
Digital Input Voltage, V5-V12	-10 $V_{DC}$ to +18 $V_{DC}$
Applied Output Voltage, $V_O$	-11 $V_{DC}$ to +18 $V_{DC}$
Reference Current, $I_{14}$	5 mA
Reference Amplifier Inputs, V14, V15	$V_{CC}, V_{EE}$
Power Dissipation (Note 4)	1000 mW
ESD Susceptibility (Note 5)	TBD

## Storage Temperature Range

-65°C to +150°C

## Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)

Dual-In-Line Package (Plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (Ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

**Operating Ratings**

Temperature Range  
DAC0808

$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$   
 $0 \leq T_A \leq +75^\circ\text{C}$

**Electrical Characteristics**

( $V_{CC} = 5V$ ,  $V_{EE} = -15 V_{DC}$ ,  $V_{REF}/R14 = 2 \text{ mA}$ , and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$E_r$	Relative Accuracy (Error Relative to Full Scale $I_O$ )	(Figure 4)				%
	DAC0808LC (LM1408-8)				$\pm 0.19$	%
	Settling Time to Within $\frac{1}{2}$ LSB (Includes $t_{PLH}$ )	$T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 7), (Figure 5)		150		ns
$t_{PLH}, t_{PHL}$	Propagation Delay Time	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , (Figure 5)		30	100	ns
$TCI_O$	Output Full Scale Current Drift			$\pm 20$		ppm/°C
MSB	Digital Input Logic Levels	(Figure 3)				
$V_{IH}$	High Level, Logic "1"		2			$V_{DC}$
$V_{IL}$	Low Level, Logic "0"				0.8	$V_{DC}$
MSB	Digital Input Current	(Figure 3)				
	High Level	$V_{IH} = 5V$		0	0.040	mA
	Low Level	$V_{IL} = 0.8V$		-0.003	-0.8	mA
$I_{15}$	Reference Input Bias Current	(Figure 3)		-1	-3	$\mu\text{A}$
	Output Current Range	(Figure 3)				
		$V_{EE} = -5V$	0	2.0	2.1	mA
		$V_{EE} = -15V, T_A = 25^\circ\text{C}$	0	2.0	4.2	mA
$I_O$	Output Current	$V_{REF} = 2.000V$ , $R14 = 1000\Omega$ , (Figure 3)	1.9	1.99	2.1	mA
	Output Current, All Bits Low	(Figure 3)		0	4	$\mu\text{A}$
	Output Voltage Compliance (Note 3)	$E_r \leq 0.19\%$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$				
		$V_{EE} = -5V, I_{REF} = 1 \text{ mA}$			-0.55, +0.4	$V_{DC}$
		$V_{EE}$ Below -10V			-5.0, +0.4	$V_{DC}$
$SRI_{REF}$	Reference Current Slew Rate	(Figure 6)	4	8		mA/ $\mu\text{s}$
	Output Current Power Supply Sensitivity	$-5V \leq V_{EE} \leq -16.5V$		0.05	2.7	$\mu\text{A/V}$
	Power Supply Current (All Bits Low)	(Figure 3)				
$I_{CC}$				2.3	22	mA
$I_{EE}$				-4.3	-13	mA
$V_{CC}$	Power Supply Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , (Figure 3)	4.5	5.0	5.5	$V_{DC}$
$V_{EE}$			-4.5	-15	-16.5	$V_{DC}$
	Power Dissipation					

## Electrical Characteristics (Continued)

( $V_{CC} = 5V$ ,  $V_{EE} = -15V$ ,  $V_{REF}/R_{14} = 2\text{ mA}$ , and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)

All BITS LOW	$V_{CC} = 5V$ , $V_{EE} = -5V$	33	170	mW
	$V_{CC} = 5V$ , $V_{EE} = -15V$	106	305	mW
All Bits High	$V_{CC} = 15V$ , $V_{EE} = -5V$	90		mW
	$V_{CC} = 15V$ , $V_{EE} = -15V$	160		mW

**Note 2:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

**Note 3:** Range control is not required.

**Note 4:** The maximum power dissipation must be derated at elevated temperatures and is dictated by  $T_{JMAX}$ ,  $\theta_{JA}$ , and the ambient temperature,  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any temperature is  $P_D = (T_{JMAX} - T_A)/\theta_{JA}$  or the number given in the Absolute Maximum Ratings, whichever is lower. For this device,  $T_{JMAX} = 125^\circ\text{C}$ , and the typical junction-to-ambient thermal resistance of the dual-in-line J package when the board mounted is  $100^\circ\text{C/W}$ . For the dual-in-line N package, this number increases to  $175^\circ\text{C/W}$  and for the small outline M package this number is  $100^\circ\text{C/W}$ .

**Note 5:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

**Note 6:** All current switches are tested to guarantee at least 50% of rated current.

**Note 7:** All bits switched.

**Note 8:** Pin-out numbers for the DAL080X represent the dual-in-line package. The small outline package pinout differs from the dual-in-line package.

## Typical Application

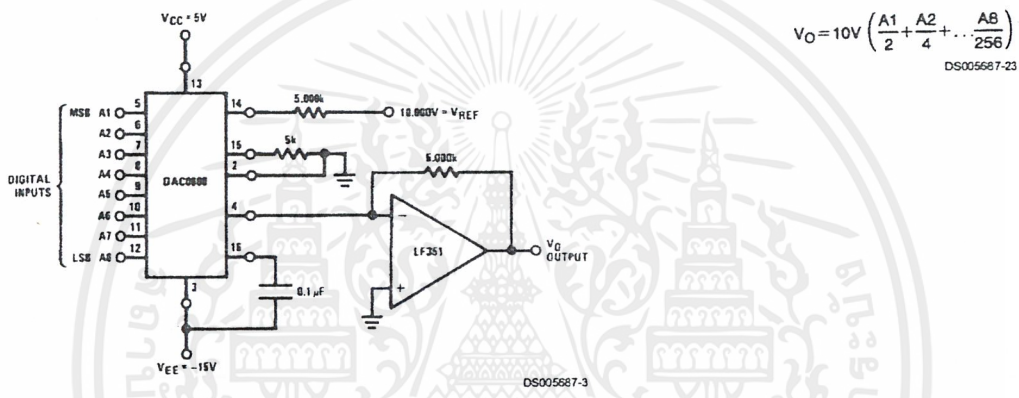
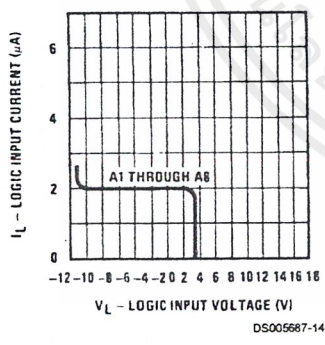


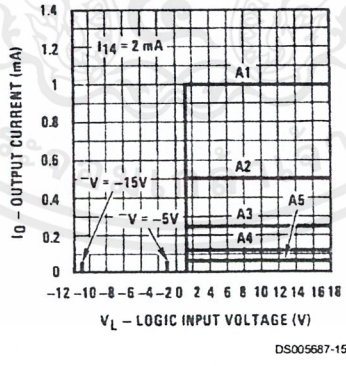
FIGURE 1. +10V Output Digital to Analog Converter (Note 8)

## Typical Performance Characteristics $V_{CC} = 5V$ , $V_{EE} = -15V$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted

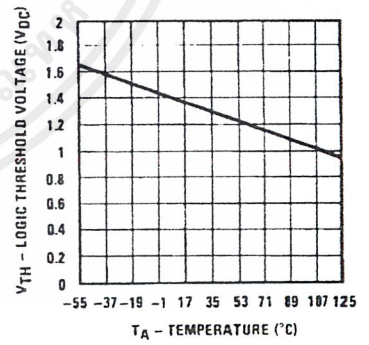
Logic Input Current vs Input Voltage



Bit Transfer Characteristics



Logic Threshold Voltage vs Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL PURPOSE SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIERS

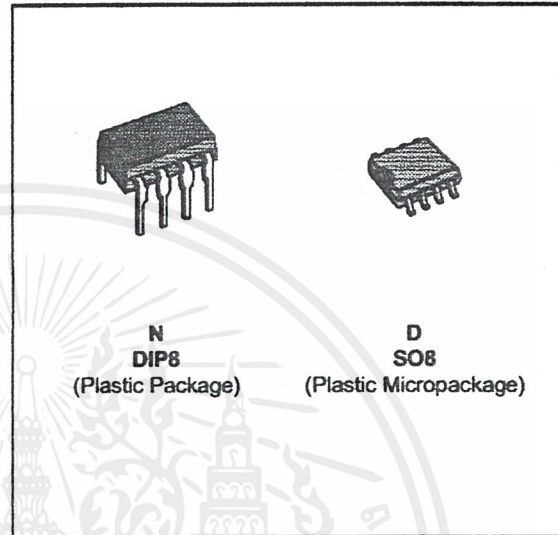
- LARGE INPUT VOLTAGE RANGE
- NO LATCH-UP
- HIGH GAIN
- SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- NO FREQUENCY COMPENSATION REQUIRED
- SAME PIN CONFIGURATION AS THE UA709
- ESD INTERNAL PROTECTION

DESCRIPTION

The UA741 is a high performance monolithic operational amplifier constructed on a single silicon chip. It is intended for a wide range of analog applications.

- Summing amplifier
- Voltage follower
- Integrator
- Active filter
- Function generator

The high gain and wide range of operating voltages provide superior performances in integrator, summing amplifier and general feedback applications. The internal compensation network (6dB / octave) insures stability in closed loop circuits.



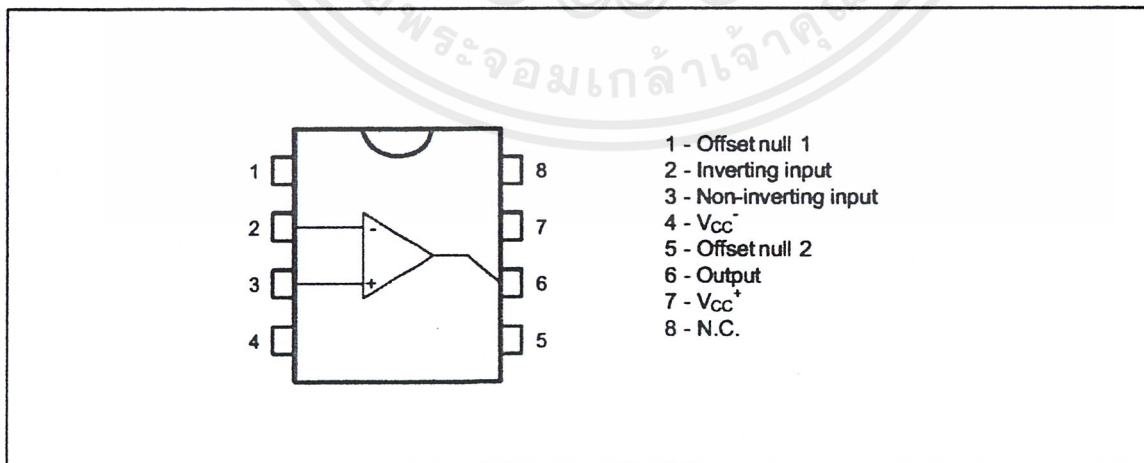
ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
UA741C/E	0°C, +70°C	•	•
UA741I	-40°C, +105°C	•	•
UA741M/A	-55°C, +125°C	•	•

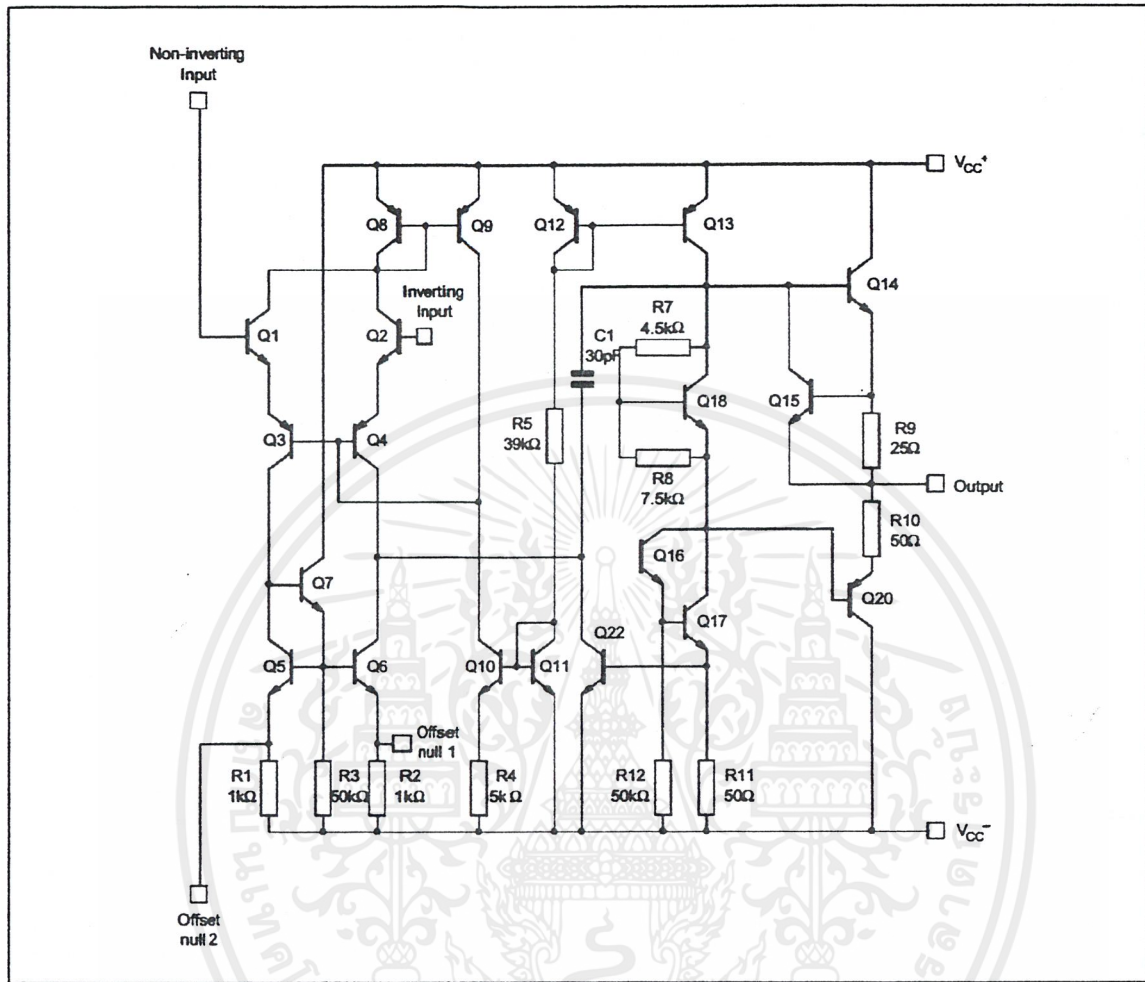
Example : UA741CN

741-01.TBL

PIN CONNECTIONS (top view)



**SCHEMATIC DIAGRAM**



741-03.EPS

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Symbol	Parameter	UA741M-A	UA741I	UA741C-E	Unit
V <sub>cc</sub>	Supply Voltage	±22	±22	±22	V
V <sub>i</sub>	Input Voltage - (note1)	±15	±15	±15	V
V <sub>id</sub>	Differential Input Voltage	±30	±30	±30	V
P <sub>tot</sub>	Power Dissipation	500	500	500	mW
	Output Short-circuit Duration	Infinite			
T <sub>oper</sub>	Operating Free Air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature Range	-65 to +150	-65 to +150	-65 to +150	°C

741-02.TBL

Note : 1. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the positive and negative supply voltage.



## LM124/LM224/LM324/LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

### General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional  $\pm 15V$  power supplies.

### Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage
- The unity gain cross frequency is temperature compensated
- The input bias current is also temperature compensated

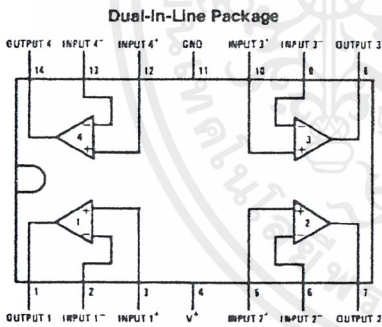
### Advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows directly sensing near GND and  $V_{OUT}$  also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

### Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
  - Single supply 3V to 32V
  - or dual supplies  $\pm 1.5V$  to  $\pm 16V$
- Very low supply current drain (700  $\mu A$ )—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current (temperature compensated) 45 nA
- Low input offset voltage and offset current 2 mV 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0V to  $V^+ - 1.5V$

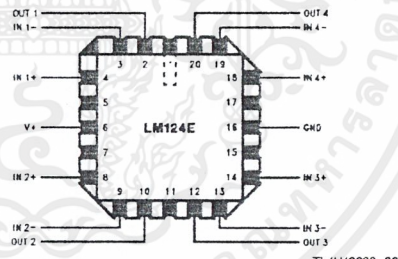
### Connection Diagram



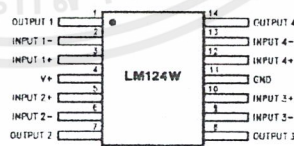
Top View

Order Number LM124J, LM124AJ, LM124J/883\*\*, LM124AJ/883\*, LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324M, LM324AM, LM2902M, LM324N, LM324AN or LM2902N  
See NS Package Number J14A, M14A or N14A

\*LM124A available per JM38510/11006  
\*\*LM124 available per JM38510/11005



Order Number LM124AE/883 or LM124E/883  
See NS Package Number E20A



Order Number LM124AW/883 or LM124W/883  
See NS Package Number W14B

LM124/LM224/LM324/LM2902  
Low Power Quad Operational Amplifiers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 9)

	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902
Supply Voltage, $V^+$	32V	28V	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Differential Input Voltage	32V	26V	260°C	260°C
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V	Storage Temperature Range	Storage Temperature Range
Input Current ( $V_{IN} < -0.3V$ ) (Note 3)	50 mA	50 mA	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)
Power Dissipation (Note 1)	1130 mW	1130 mW	Soldering Information	Soldering Information
Molded DIP	1260 mW	1260 mW	Dual-In-Line Package	Dual-In-Line Package
Cavity DIP	800 mW	800 mW	Soldering (10 seconds)	Soldering (10 seconds)
Small Outline Package	800 mW	800 mW	Small Outline Package	Small Outline Package
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)	Continuous	Continuous	Vapor Phase (60 seconds)	Vapor Phase (60 seconds)
(Op Amp) (Note 2)	Continuous	Continuous	Infrared (15 seconds)	Infrared (15 seconds)
Operating Temperature Range	0°C to +70°C	-40°C to +65°C	See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.
LM324/LM324A	-25°C to +85°C	-40°C to +65°C	ESD Tolerance (Note 10)	ESD Tolerance (Note 10)
LM224/LM224A	-55°C to +125°C	-40°C to +65°C		
LM124/LM124A				

## Electrical Characteristics

$V^+ = +5.0V$ , (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	LM124A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		Units
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5) $T_A = 25^\circ C$												
Input Bias Current (Note 6)	1	2	1	3	2	3	2	5	2	7	2	7	mV
Input Offset Current	20	50	40	80	45	100	45	150	45	250	45	250	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	2	10	2	15	5	30	3	30	5	50	5	50	nA
Supply Current	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	V
Large Signal Voltage Gain	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	mA
Common-Mode Rejection Ratio	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	V/mV
Power Supply Rejection Ratio	50	100	50	100	25	100	50	100	25	100	25	100	dB
	70	85	70	85	65	85	70	85	65	85	50	70	dB
	65	100	65	100	65	100	65	100	65	100	50	100	dB

**Electrical Characteristics**  $V^+ = +5.0V$  (Note 4) unless otherwise stated (Continued)

Parameter	Conditions	LM124A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 8)	$f = 1 \text{ kHz}$ to $20 \text{ kHz}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred)	-120			-120			-120			-120			dB
Output Current	Source	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	mA
	Sink	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	
Short Circuit to Ground	$V_{IN}^+ = 1V, V_{IN}^- = 0V, V^+ = 15V, V_O = 2V, T_A = 25^\circ\text{C}$	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	$\mu\text{A}$
	$V_{IN}^- = 1V, V_{IN}^+ = 0V, V^+ = 15V, V_O = 2V, T_A = 25^\circ\text{C}$	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	
Input Offset Voltage	(Note 2) $V^+ = 15V, T_A = 25^\circ\text{C}$	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	mV
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$	7	20	7	20	7	20	7	20	7	20	7	20	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	nA
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$	10	200	10	200	10	300	10	300	10	300	10	300	pA/ $^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$	40	100	40	100	40	200	40	300	40	500	40	500	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = +30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$ )	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	V
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$ (VO Swing = 1V to 11V)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	V/mV
	$R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$													
Output Voltage Swing	$V^+ = 30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$ )	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	V
	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$	27	28	27	28	27	28	27	28	27	28	27	28	
$V_{OL}$	$V^+ = 5V, R_L = 10 \text{ k}\Omega$	5	20	5	20	5	20	5	20	5	20	5	20	mV



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics**  $V^+ = +5.0V$  (Note 4) unless otherwise stated (Continued)

Parameter	Conditions	LM124A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Current	Source	$V_O = 2V$	$V_{IN}^+ = +1V,$ $V_{IN}^- = 0V, V^+ = 15V$	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	mA
	Sink		$V_{IN}^- = +1V,$ $V_{IN}^+ = 0V, V^+ = 15V$	10	15	5	8	5	8	5	8	5	8	

**Note 1:** For operating at high temperatures, the LM324/LM324A/LM2902 must be derated based on a  $+125^\circ C$  maximum junction temperature and a thermal resistance of  $88^\circ C/W$  which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated based on a  $+150^\circ C$  maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

**Note 2:** Short circuits from the output to  $V^+$  can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA, independent of the magnitude of  $V^+$ . At values of supply voltage in excess of  $+15V$ , continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction.

**Note 3:** This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltage to go to the  $V^+$  voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than  $-0.3V$  (at  $25^\circ C$ , overdrive).

**Note 4:** These specifications are limited to  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$  for the LM124/LM124A,  $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$  for the LM224/LM224A, and the LM2902 specifications are limited to  $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ , the LM324/LM324A temperature specifications are limited to  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ , and the LM2902 specifications are limited to  $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ .

**Note 5:**  $V_O \approx 1.4V, R_{EQ} = 0\Omega$  with  $V^-$  from  $5V$  to  $30V$ , and over the full input common-mode range ( $0V$  to  $V^+ - 1.5V$ ) for LM2902,  $V^+$  from  $5V$  to  $28V$ . **Note 6:** The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output, so no loading change exists on the input lines.

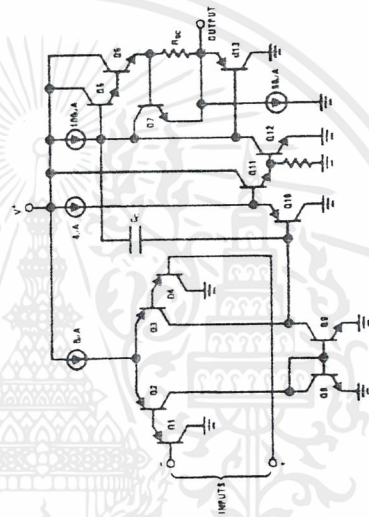
**Note 7:** The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than  $0.3V$  (at  $25^\circ C$ ). The upper end of the common-mode voltage range is  $V^+ - 1.5V$  (at  $25^\circ C$ ), but either or both inputs can go to  $+32V$  without damage ( $+28V$  for LM2902), independent of the magnitude of  $V^+$ .

**Note 8:** Due to proximity of external components, inductance that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

**Note 9:** Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124 military specifications.

**Note 10:** Human body model,  $1.5k\Omega$  in series with  $100pF$ .

**Schematic Diagram (Each Amplifier)**



TL/H/9209-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LF353 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier

## General Description

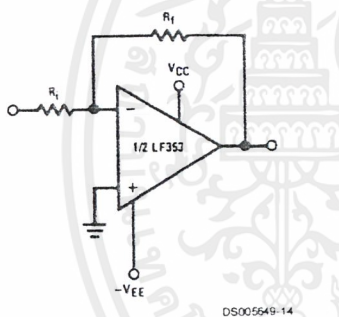
These devices are low cost, high speed, dual JFET input operational amplifiers with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). They require low supply current yet maintain a large gain bandwidth product and fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF353 is pin compatible with the standard LM1558 allowing designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM1558 and LM358 designs.

These amplifiers may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample and hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The devices also exhibit low noise and offset voltage drift.

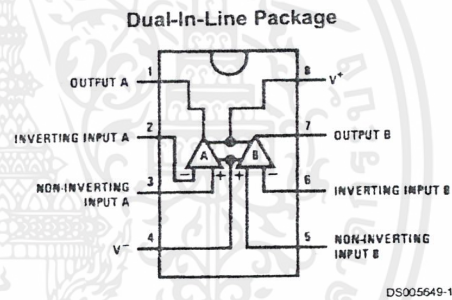
## Features

- Internally trimmed offset voltage: 10 mV
- Low input bias current: 50pA
- Low input noise voltage: 25 nV/√Hz
- Low input noise current: 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth: 4 MHz
- High slew rate: 13 V/μs
- Low supply current: 3.6 mA
- High input impedance:  $10^{12}\Omega$
- Low total harmonic distortion :  $\leq 0.02\%$
- Low 1/f noise corner: 50 Hz
- Fast settling time to 0.01%: 2 μs

## Typical Connection



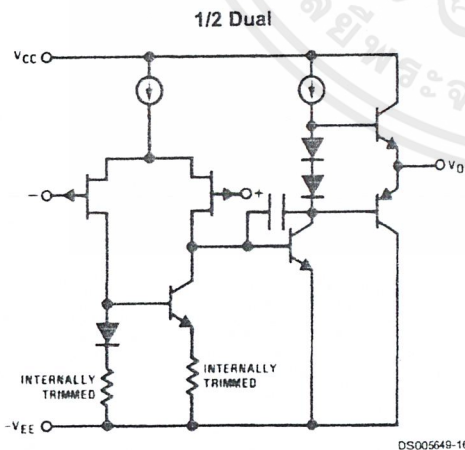
## Connection Diagram



### Top View

Order Number LF353M, LF353MX or LF353N  
See NS Package Number M08A or N08E

## Simplified Schematic



BI-FET II™ is a trademark of National Semiconductor Corporation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required,

Small Outline Package

Vapor Phase (60 sec.)

215°C

Infrared (15 sec.)

260°C

Infrared (10 sec.)

220°C

please contact the National Semiconductor Sales Office/  
Distributors for availability and specifications.

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation	(Note 2)
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
T <sub>J</sub> (MAX)	150°C
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage Range (Note 3)	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 sec.)	260°C
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C

ESD Tolerance (Note 8) 1700V

θ<sub>JA</sub> M Package TBD

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

### DC Electrical Characteristics

(Note 5)

Symbol	Parameter	Conditions	LF353			Units
			Min	Typ	Max	
V <sub>OS</sub>	Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> =10kΩ, T <sub>A</sub> =25°C Over Temperature		5 10	10 13	mV mV
ΔV <sub>OS</sub> /ΔT	Average TC of Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> =10 kΩ		10		μV/°C
I <sub>OS</sub>	Input Offset Current	T <sub>J</sub> =25°C, (Notes 5, 6) T <sub>J</sub> ≤70°C		25	100 4	μA nA
I <sub>B</sub>	Input Bias Current	T <sub>J</sub> =25°C, (Notes 5, 6) T <sub>J</sub> ≤70°C		50	200 8	μA nA
R <sub>IN</sub>	Input Resistance	T <sub>J</sub> =25°C		10 <sup>12</sup>		Ω
A <sub>VOL</sub>	Large Signal Voltage Gain	V <sub>S</sub> =±15V, T <sub>A</sub> =25°C V <sub>O</sub> =±10V, R <sub>L</sub> =2 kΩ Over Temperature	25 15	100		V/mV V/mV
V <sub>O</sub>	Output Voltage Swing	V <sub>S</sub> =±15V, R <sub>L</sub> =10kΩ	±12	±13.5		V
V <sub>CM</sub>	Input Common-Mode Voltage Range	V <sub>S</sub> =±15V	±11	+15 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R <sub>S</sub> ≤ 10kΩ	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 7)	70	100		dB
I <sub>S</sub>	Supply Current			3.6	6.5	mA

### AC Electrical Characteristics

(Note 5)

Symbol	Parameter	Conditions	LF353			Units
			Min	Typ	Max	
	Amplifier to Amplifier Coupling	T <sub>A</sub> =25°C, f=1 Hz-20 kHz (Input Referred)		-120		dB
SR	Slew Rate	V <sub>S</sub> =±15V, T <sub>A</sub> =25°C	8.0	13		V/μs
GBW	Gain Bandwidth Product	V <sub>S</sub> =±15V, T <sub>A</sub> =25°C	2.7	4		MHz
e <sub>n</sub>	Equivalent Input Noise Voltage	T <sub>A</sub> =25°C, R <sub>S</sub> =100Ω, f=1000 Hz		16		nV/√Hz
i <sub>n</sub>	Equivalent Input Noise Current	T <sub>J</sub> =25°C, f=1000 Hz		0.01		pA/√Hz

## NPN power transistors

## BD135; BD137; BD139

## FEATURES

- High current (max. 1.5 A)
- Low voltage (max. 80 V).

## APPLICATIONS

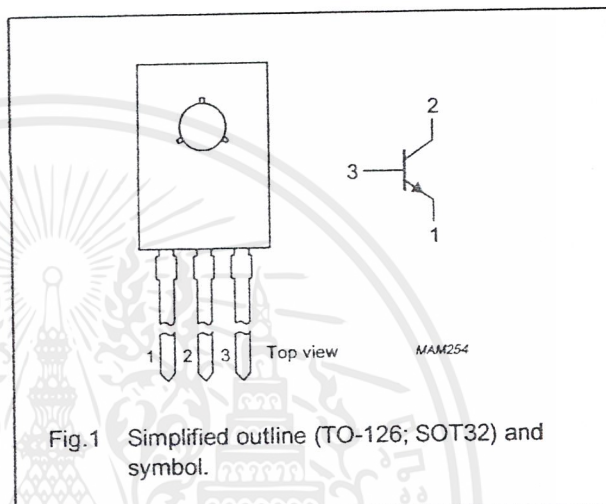
- Driver stages in hi-fi amplifiers and television circuits.

## DESCRIPTION

NPN power transistor in a TO-126; SOT32 plastic package. PNP complements: BD136, BD138 and BD140.

## PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	collector, connected to metal part of mounting surface
3	base



## LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{CBO}$	collector-base voltage	open emitter	—	45	V
	BD135		—	60	V
	BD137		—	100	V
$V_{CEO}$	collector-emitter voltage	open base	—	45	V
	BD135		—	60	V
	BD137		—	80	V
$V_{EBO}$	emitter-base voltage	open collector	—	5	V
$I_C$	collector current (DC)		—	1.5	A
$I_{CM}$	peak collector current		—	2	A
$I_{BM}$	peak base current		—	1	A
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{mb} \leq 70^\circ\text{C}$	—	8	W
$T_{stg}$	storage temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$
$T_j$	junction temperature		—	150	$^\circ\text{C}$
$T_{amb}$	operating ambient temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$

# PNP power transistors

# BD136; BD138; BD140

### FEATURES

- High current (max. 1.5 A)
- Low voltage (max. 80 V).

### APPLICATIONS

- General purpose power applications, e.g. driver stages in hi-fi amplifiers and television circuits.

### DESCRIPTION

PNP power transistor in a TO-126; SOT32 plastic package. NPN complements: BD135, BD137 and BD139.

### PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	collector, connected to metal part of mounting surface
3	base

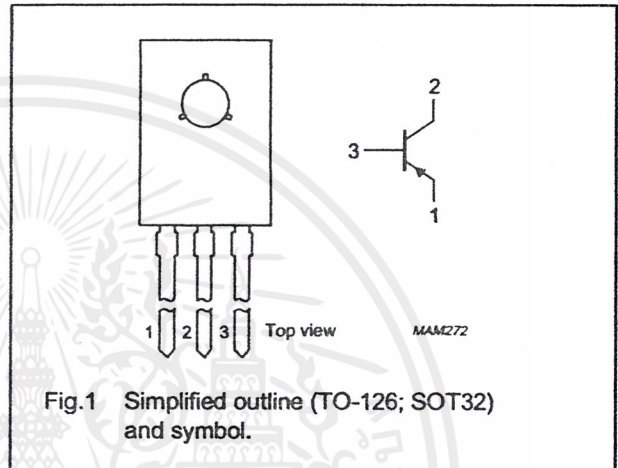


Fig.1 Simplified outline (TO-126; SOT32) and symbol.

### LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V <sub>CB0</sub>	collector-base voltage	open emitter			
	BD136		-	-45	V
	BD138		-	-60	V
	BD140		-	-100	V
V <sub>CEO</sub>	collector-emitter voltage	open base			
	BD136		-	-45	V
	BD138		-	-60	V
	BD140		-	-80	V
V <sub>EBO</sub>	emitter-base voltage	open collector	-	-5	V
I <sub>C</sub>	collector current (DC)		-	-1.5	A
I <sub>CM</sub>	peak collector current		-	-2	A
I <sub>BM</sub>	peak base current		-	-1	A
P <sub>tot</sub>	total power dissipation	T <sub>mb</sub> ≤ 70 °C	-	8	W
T <sub>stg</sub>	storage temperature		-65	+150	°C
T <sub>j</sub>	junction temperature		-	150	°C
T <sub>amb</sub>	operating ambient temperature		-65	+150	°C

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะได้รับความเมตตาจาก อาจารย์ สุมิตร หนาอุดมทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำแก่ผู้จัดทำตลอดมา ผู้จัดทำขอกราบของพระองค์เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ต่าง ๆ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ของผู้จัดทำที่ได้อุปการะผู้จัดทำและยังเป็นผู้ให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้ความเป็นเพื่อนและกำลังใจแก่ผู้จัดทำ

ผู้จัดทำ

นายกานต์

วิริญญแพทย์

นายชนวัฒน์

ชุนหวิกสิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. กฤษฎดา ใจเย็นและคณะ, "เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม" , บริษัทอินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 2542.
2. อุดม จีปประทีป, "ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, พิมพ์ครั้งที่ 2 , 2540.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้