

การควบคุมมือกลโดยใช้หลักการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือ  
CONTROLLER HAND ROBOT BY USING HAND-MOTIVE DETECTION



นาย ประเสริฐ เดชกมล

นาย อรรถพร ศิวแดง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

Jan.  
ปี 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 49969

วัน,เดือน,ปี 16 เม.ย. 2547

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

ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ที่เกี่ยวข้อง

b1105218

การควบคุมมือกลโดยใช้หลักการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือ  
CONTROLLER HAND ROBOT BY USING HAND-MOTIVE DETECTION

โดย

นาย ประเสริฐ เดชกมล

นาย อรรคพร ผิวแดง



อาจารย์ที่ปรึกษา  
รศ. สมศักดิ์ มิตะธา  
อ. นเรศ มาลัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมมือกลโดยใช้หลักการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือ

CONTROLLER HAND ROBOT BY USING HAND-MOTIVE DETECTION

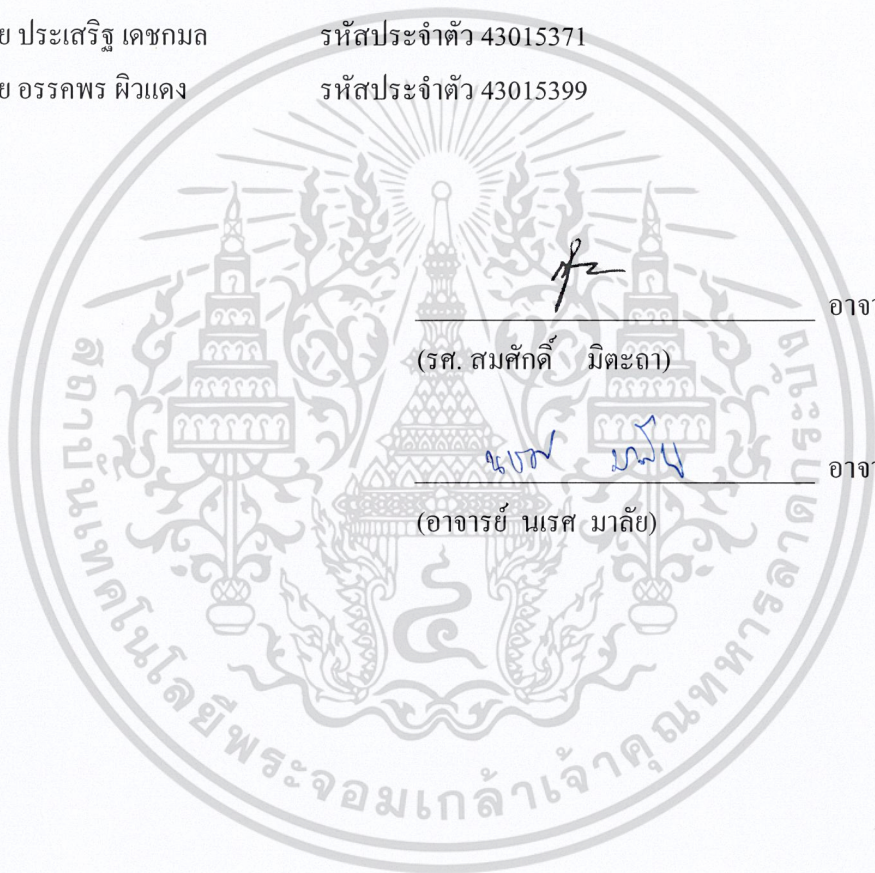
ผู้จัดทำ

1. นาย ประเสริฐ เดชกมล

รหัสประจำตัว 43015371

2. นาย อรรถพร ผิวแดง

รหัสประจำตัว 43015399



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. สมศักดิ์ มิตะถา)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ นเรศ มาลัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมมือกลโดยใช้หลักการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือ

นาย ประเสริฐ เดชกมล 43015371

นาย อรรถพร ผิวแดง 43015399

รศ. สมศักดิ์ มิตะดา อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. นเรศ มาลัย อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2545

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆ ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการคิด หรือสร้างอุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องจักรใหม่ๆ ขึ้นมาใช้งานมากมาย ทั้งงานในด้านอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการใช้เครื่องมือ เครื่องจักร ที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถทำงานแทนมนุษย์ ในงานที่หนัก หรือเป็นอันตรายได้ ดังนั้นการคิดที่จะสร้างหุ่นยนต์ หรือเครื่องกลต่างๆ ขึ้นมาเพื่อให้สามารถทำงานบางอย่างแทนมนุษย์นั้น ก็ได้มีการพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ จนในปัจจุบัน ได้มีการสร้างหุ่นยนต์ที่สามารถเดินได้เหมือนกับมนุษย์ และสามารถโต้ตอบกับมนุษย์ได้ นอกจากนี้จะสร้าง เครื่องมือ เครื่องกลต่างๆ ขึ้นมาใหม่แล้วก็เป็นที่จะต้องสร้าง ส่วนของการควบคุมเครื่องมือเครื่องกลเหล่านั้นอย่างเหมาะสม เพื่อให้มีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานมากที่สุด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นอีกแนวคิดที่ได้มีการออกแบบ และสร้างส่วนของมือกล และส่วนของการควบคุมที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยได้นำเอาแนวคิดของการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์มาทำการออกแบบมือกลเพื่อให้มีการทำงานเหมือนกับมือมนุษย์มากที่สุด ซึ่งได้ออกแบบให้แต่ละข้อของนิ้วมือมีการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระต่อกัน โดยการทำงานของมือกลนั้นจะใช้มอเตอร์ และ เซ็นลวด ซึ่งเปรียบเหมือนกับเส้นเอ็นของมนุษย์เป็นตัวขับเคลื่อนมือกลให้ทำงาน และในส่วนของการควบคุมนั้นก็ได้ออกแบบ และสร้างในลักษณะของถุงมือ เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งาน โดยที่ถุงมือจะมีอุปกรณ์เซนเซอร์ติดอยู่ด้วย เพื่อใช้ตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์ ซึ่งจะเอาผลที่ได้ไปประมวลผล เพื่อทำการควบคุมมือกลให้ทำงานตามการเคลื่อนไหวของมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Controller Hand Robot By Using Hand-Motive Detection

Prasert Dechkamon

Akkaporn Phiewdaeng

Assoc. Prof. Somsak Mitatha Advisor

Nareth Malai Advisor

### ABSTRACT

Now the technology is developed increasingly. It's make an idea for building a material , tool and new machine for work such as an industry. It's necessary to have a material , tool , and new machine that have ability to do work replace a people in the hard and dangerous job. So the idea to make a robot or a machine begins and expands. Now the people can make a robot that is as walk as a human and talk with a people ,too. Out side to build a new material. It's important to make a control program for a material for a comfortable and easy work too.

This thesis is one of the ideas to design and make a robot hand and a fitting control program for work. Through the idea of people hand moving to make a robot hand , for using as hand of the people. So it's design the finger move is independent by the motor and wire. It's as sinew of human that make it moving. Then the control program is designed an built in form a gloves for an appropriation of work. Through the gloves have a sensor . It inspect moving of hand which take a success to calculate for control a robot hand for work as move as a human.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนที่สำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ รศ. สมศักดิ์ มิตะธา และ อ. นเรศ มาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก และขอขอบพระคุณ บริษัท ซี.ซี. ออโตพาร์ท จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องเครื่องมือในการทำงาน เหนือสิ่งอื่นใดต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดที่ประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ประเสริฐ เดชกมล  
อรรคพร ผิวแดง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 วิธีการดำเนินการ	2
บทที่ 2 ธรรมชาติของมือ	4
2.1 การเคลื่อนไหวของข้อมือ	4
2.1.1 เฟลคชัน (Flexion) / เอ็กซ์เทนชัน (Extension)	4
2.1.2 อัลนา ดีฟิเอนซ์ / เรเดียล ดีฟิเอนซ์	5
2.2 การวัดการเคลื่อนไหวของนิ้วมือและข้อมือ	5
2.2.1 การเคลื่อนไหวของข้อ คาร์โปเมตาแคปัล อันที่ 1	6
2.2.2 การเคลื่อนไหวของ ข้อต่อ เมตาคาร์โปฟาแลงกีว อันที่ 1	8
2.2.3 การเคลื่อนไหวของ ข้อต่อ อินเตอร์ฟาแลงกีว ของนิ้วหัวแม่มือ	8
2.2.4 การเคลื่อนไหวของ ข้อต่อ เมตาคาร์โปฟาแลงกีว	8
2.2.5 การเคลื่อนไหวของ ข้อต่อ พร็อกซิมอล อินเตอร์ฟาแลงกีว (เวนนิ้วหัวแม่มือ)	8
2.2.6 การเคลื่อนไหวของ ข้อต่อดิสทอล อินเตอร์ฟาแลงกีว (เวนนิ้วหัวแม่มือ)	9
บทที่ 3 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (STEPPER MOTOR)	10
3.1 รู้จักกับสเต็ปเปอร์มอเตอร์	10
3.2 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ยูนิโพลาร์(Uni-polar stepper motor)	12
3.2.1 โครงสร้างสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์	12
3.2.2 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้าที่
บทที่ 4 การออกแบบในส่วนของฮาร์ดแวร์	15
4.1 การออกแบบโดยรวม	15
4.1.1 เซนเซอร์	15
4.1.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	16
4.1.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์	16
4.1.4 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	16
4.1.5 มือกล	16
4.2 การออกแบบส่วนของมือกล	16
4.3 ส่วนของถุงมือที่ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมนุษย์	19
4.3.1 แนวคิดในการออกแบบถุงมือ	19
4.3.2 การออกแบบตัวถุงมือ	20
4.4 การออกแบบส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์	23
4.4.1 แนวคิดการออกแบบวงจร	23
4.4.2 การออกแบบวงจรคอนโทรล	23
4.4.3 การออกแบบวงจรไครเวอร์	25
4.4.4 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล	26
4.4.4.1 การต่อไอซีแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลเข้ากับเซ็นเซอร์	26
4.4.4.2 การใช้งานไอซีแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล	27
4.4.5 การทำงานของวงจร โดยรวม	28
บทที่ 5 การออกแบบในส่วนของซอฟต์แวร์	30
5.1 โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51	30
5.2 โปรแกรมการอ่านค่าจากไอซีแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล	30
5.2.1 แนวคิดในการเขียนโปรแกรม	30
5.2.2 การเขียนโปรแกรมอ่านค่าจาก ไอซีแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล	31
5.3 โปรแกรมทำการตรวจสอบค่า	32
5.3.1 แนวคิดในการตรวจสอบค่า	32
5.3.2 การเขียนโปรแกรม	34
5.4 โปรแกรมขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์	34
5.4.1 แนวคิดในการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์	34
5.4.2 การเขียนโปรแกรมขับมอเตอร์	36

# สารบัญ

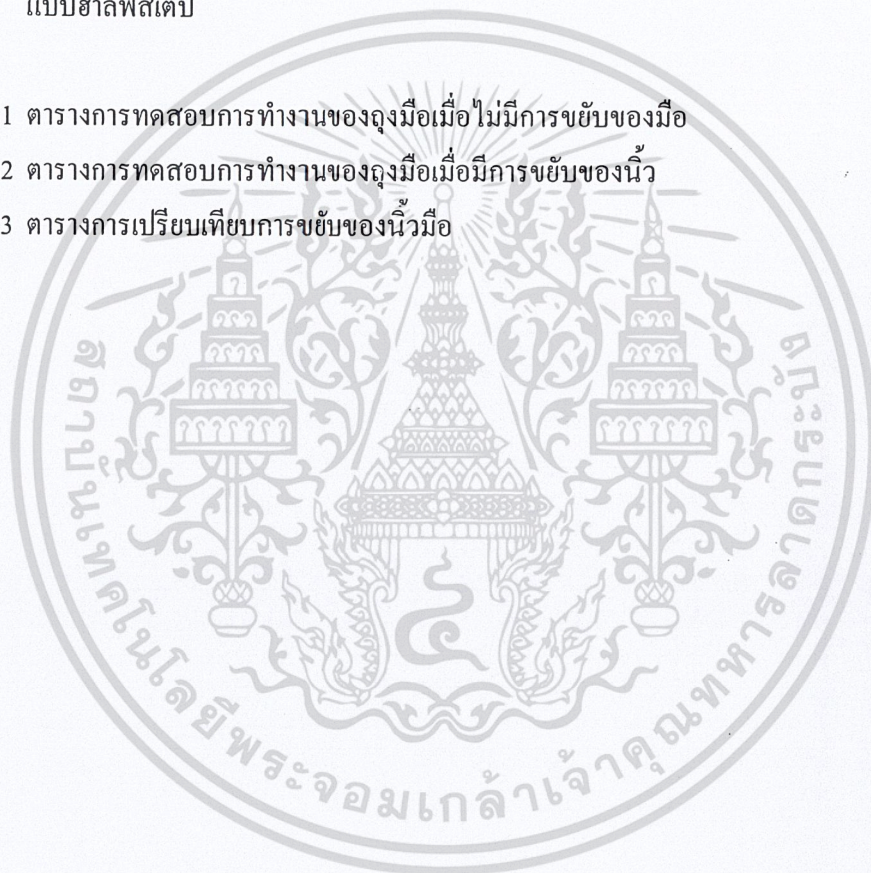
	หน้าที่
บทที่ 6 ผลการทดลอง	38
6.1 การทดสอบการทำงานของถุงมือ โดยการวัดค่าแรงดันจากตัวเซนเซอร์	38
6.2 สรุปผลการทดลอง	44
บทที่ 7 บทวิจารณ์และสรุป	46
7.1 สรุปผลการทำงาน	46
7.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน	46
7.2.1 ส่วนงานทางด้านฮาร์ดแวร์	46
7.2.1.1 ปัญหาของมือกล	46
7.2.1.2 ปัญหาของถุงมือที่ใช้ตรวจสอบการเคลื่อนไหวของถุงมือ	46
7.2.1.3 ปัญหาของวงจร	47
7.2.2 ปัญหาทางด้านซอฟต์แวร์	47
7.3 แนวทางการพัฒนา	47
ภาคผนวก ก.	48
ภาคผนวก ข.	51
บรรณานุกรม	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 3.1 แสดงลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้น แบบฟูลสเต็ปหนึ่งเฟส	13
ตารางที่ 3.2 แสดงลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้น แบบฟูลสเต็ปสองเฟส	13
ตารางที่ 3.3 แสดงลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้น แบบฮาล์ฟสเต็ป	14
ตารางที่ 6.1 ตารางการทดสอบการทำงานของถูงมือเมื่อไม่มีการขยับของมือ	40
ตารางที่ 6.2 ตารางการทดสอบการทำงานของถูงมือเมื่อมีการขยับของนิ้ว	43
ตารางที่ 6.3 ตารางการเปรียบเทียบการขยับของนิ้วมือ	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 การเคลื่อนไหวของข้อมือ	5
รูปที่ 2.2 การเคลื่อนไหวของข้อ คาร์โปเมตาคาแพล อันที่ 1 : แอ็บดักชัน	6
รูปที่ 2.3 การเคลื่อนไหวของข้อ คาร์โปเมตาคาแพล อันที่ 1 : แพลเมอร์ฟเลกชัน	7
รูปที่ 2.4 การเคลื่อนไหวของข้อ คาร์โปเมตาคาแพล อันที่ 1 : เซอร์คัมดักชัน	7
รูปที่ 2.5 ออปโพซิชั่น ของนิ้วหัวแม่มือ	8
รูปที่ 2.6 การเคลื่อนไหวของข้อนิ้วมือ	9
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสเต็มเปอร์มอเตอร์	10
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างวงจรจับสเต็มเปอร์มอเตอร์	11
รูปที่ 3.3 ไทม์มิงไดอะแกรมของสัญญาณที่ใช้จับสเต็มเปอร์มอเตอร์	11
รูปที่ 3.4 โครงสร้างอย่างง่ายของสเต็มเปอร์มอเตอร์	12
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมโดยรวม	15
รูปที่ 4.2 รูปแสดงแบบของชิ้นส่วนของมือกล	17
รูปที่ 4.3 มือกลเมื่อทำการประกอบเสร็จ	18
รูปที่ 4.4 มือกลเมื่อมีการเคลื่อนไหว	18
รูปที่ 4.5 ตำแหน่งการวางเซนเซอร์บนมือ	19
รูปที่ 4.6 การออกแบบในส่วนของการเคลื่อนไหวในแนว ฟเลกชัน/เอ็กซ์เทนชัน	20
รูปที่ 4.7 การออกแบบในส่วนของการเคลื่อนไหวในแนว แอ็บดักชัน/แอ็คดักชัน	21
รูปที่ 4.8 การเคลื่อนไหวของนิ้วโป้งในแนวโรเตชัน	22
รูปที่ 4.9 รูปแบบขุมมือที่สามารถตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือที่ออกแบบ	22
รูปที่ 4.10 รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรคอนโทรลเลอร์	24
รูปที่ 4.11 รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรไคร์เวอร์	25
รูปที่ 4.12 รูปแสดง โครงสร้างภายในของตัวไอซี ULN2003 และการจัดขาของ ไอซี	26
รูปที่ 4.13 เรโซเมตริกซ์ คอนเวอร์ชัน ชิสเต็ม (Ratiometric Conversion System)	27
รูปที่ 4.14 การใช้งานไอซีแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล	28
รูปที่ 4.15 รูปแสดงการทำงานของวงจรโดยรวม	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 5.1 รูปแสดงการออกแบบโปรแกรมการอ่านค่า	31
รูปที่ 5.2 รูปแสดงแนวคิดการออกแบบโปรแกรมการตรวจสอบค่า	33
รูปที่ 5.3 รูปแสดงการออกแบบโปรแกรมการขับมอเตอร์	35
รูปที่ 6.1 แสดงการวัดค่าแรงดันที่ตัวเซนเซอร์ขณะใส่ถุงมือโดยไม่กางมือ	39
รูปที่ 6.2 แสดงการวัดค่าแรงดันที่ตัวเซนเซอร์ขณะใส่ถุงมือโดยกางมือ	39
รูปที่ 6.3 แสดงการวัดค่าแรงดันที่ตัวเซนเซอร์ขณะที่ถอดถุงมือวางไว้บนพื้นราบ	40
รูปที่ 6.4 แสดงการวัดค่าแรงดันที่ตัวเซนเซอร์ขณะที่ใส่ถุงมือและขยับให้นิ้วงอเต็มที่	41
รูปที่ 6.5 แสดงการวัดค่าแรงดันที่ตัวเซนเซอร์ที่กำลังกำมือ	42
รูปที่ ก.1 รูปแสดงวงจรถอนโทรลเลอร์	49
รูปที่ ก.2 รูปแสดงวงจรไครเวอร์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆเกิดขึ้นมามากมาย ซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จำเป็นต้องนำเอาเครื่องมือ เครื่องจักรซึ่งอำนวยความสะดวกในการทำงาน สามารถทำงานหนักๆ งานที่เป็นอันตราย แทนมนุษย์ได้ ดังนั้นการคิดที่จะสร้างหุ่นยนต์หรือเครื่องกลต่างๆ ขึ้นมา เพื่อให้สามารถทำงานบางอย่างแทนมนุษย์นั้นก็ได้มีการพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ จนในปัจจุบันได้มีการสร้างหุ่นยนต์ที่สามารถเดินได้เหมือนกับมนุษย์ และสามารถโต้ตอบกับมนุษย์ได้

ดังนั้นจึงได้มีการคิดทำโครงการนี้ขึ้นมาเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องมือกลใหม่ๆ ที่สามารถพัฒนาไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม ในการทำงานที่เป็นอันตราย หรืองานหนักที่มนุษย์ทำไม่ได้ด้วยตัวเอง แต่สามารถใช้มือกลตัวนี้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือกลต่างๆ มาทำงานแทนได้ซึ่งเราจะควบคุมมือกลนี้ให้ทำงานได้ตามต้องการ โดยใช้การเคลื่อนไหวของมือมนุษย์ ซึ่งเหมือนกับมนุษย์ เป็นผู้ทำงานนั้นอยู่ด้วยตัวเองทำให้สามารถทำงานนั้นๆ ได้ง่าย สะดวก และมีความปลอดภัยมากขึ้น การควบคุมให้มือกลทำงานเป็นไปอย่างอิสระ ตามการเคลื่อนไหวของมือของผู้ใช้งานเอง ทำให้ทำงานได้รวดเร็ว และลดอัตราเสี่ยงของผู้ทำงานได้ แต่ทั้งนี้การควบคุมการทำงานลักษณะนี้จะมีความแม่นยำน้อยกว่าการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและสร้างมือกลให้สามารถทำงานได้
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและสร้างส่วนของการควบคุมให้มือกลทำงานตามต้องการ โดยใช้หลักการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์มาเป็นตัวควบคุม
- 1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างหรือพัฒนาเครื่องมือกลต่างๆขึ้นมาใช้งานให้เหมาะกับงานต่างๆในปัจจุบัน

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ออกแบบ และสร้างมือกลให้สามารถทำงานได้ตามต้องการ โดยการทำงานของมือกลเป็นไปในลักษณะของการสั่งให้มือกลเคลื่อนไหว ตามการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์ โดยทุกนิ้วจะเคลื่อนไหวในแนวเฟลคชัน (Flexion) / เอ็คซเทนชัน (Extension) คือ การเคลื่อนไหวไปทางฝ่ามือหรือการงอนิ้ว / การเคลื่อนไหวไปทางหลังมือหรือการยัดนิ้วกลับ ซึ่งจะไม่มีส่วนของการเคลื่อนไหวใน แนวเอ็บดักชัน (Abduction) / แอดดักชัน (Adduction) คือ การกางของนิ้ว / การหุบเข้าของนิ้ว ของนิ้วยกเว้นนิ้วโป้ง จะมีส่วนของการเคลื่อนที่แนวเอ็บดักชัน / แอดดักชันด้วย
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับความเห็นชอบจากทางต้นสังกัด

1.3.2 ออกแบบ และสร้างถู่มือที่ใช้ตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์ ซึ่งส่วนที่จะทำการตรวจสอบคือ การเคลื่อนไหวของข้อนิ้วแต่ละข้อ ทุกข้อ ซึ่งทุกนิ้วมือจะตรวจสอบ ในลักษณะของการเคลื่อนที่แนวเฟลคชัน / เอ็คซเทนชัน ไม่ตรวจสอบการเคลื่อนที่แนวเอ็บคักชัน / แอ็คคักชัน ยกเว้นนิ้วโป้งจะตรวจสอบทั้งการเคลื่อนที่แนวเฟลคชัน / เอ็คซเทนชัน และการเคลื่อนที่แนวเอ็บคักชัน / แอ็คคักชัน ด้วย

1.3.3 ออกแบบ และสร้างวงจรควบคุม โดยวงจรควบคุมจะให้ MCS - 51 เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด

1.3.4 เขียนโปรแกรมควบคุมให้มือกลทำงาน ตามการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์ โดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของการตรวจสอบ อินพุท และส่วนของการควบคุมเอาต์พุท ซึ่งต้องสมมูลกันระหว่าง มือมนุษย์ กับ มือกล

#### 1.4 ขั้นตอนการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

##### 1.4.1 ขั้นตอนของการออกแบบและสร้างมือกล

ได้ทำการศึกษาว่าจะทำมือกลออกมาให้อยู่ในรูปแบบไหน ซึ่งจากการศึกษาแล้วตัดสินใจที่จะทำมือกลที่มีลักษณะเป็น 5 นิ้ว ให้มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระต่อกันในแต่ละข้อของนิ้วมือซึ่ง มีลักษณะเหมือนกับมือของมนุษย์ เมื่อตัดสินใจที่จะทำเป็นนิ้ว 5 นิ้วแล้วก็ได้ทำการศึกษาต่อว่าจะใช้ระบบขับเคลื่อนเป็นแบบใด จากการศึกษาที่ได้ทำการเลือกว่าจะใช้ มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนให้ทำงานเหตุที่ทำการเลือกใช้มอเตอร์เพราะเป็นระบบที่ใช้งบประมาณน้อยกว่าระบบอื่นๆ และสามารถศึกษาและใช้งานง่ายกว่าแบบอื่นอีกด้วยโดยได้เลือกใช้สเต็ปป์มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน นอกจากนี้เราได้ทำการศึกษารูปร่างการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์ว่าแต่ละนิ้วมีการเคลื่อนไหวอย่างไรเคลื่อนไหวได้กี่องศา เพื่อให้สามารถสร้างมือกลที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวเหมือนการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์มากที่สุด

หลังจากที่ได้ตัดสินใจเลือกอุปกรณ์และระบบขับเคลื่อนแล้วก็ได้ทำการออกแบบมือกล โดยใช้โปรแกรม Auto CAD 2002 เป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบ โดยได้ออกแบบชิ้นส่วนของนิ้วแต่ละชิ้นเพื่อที่จะนำมาประกอบกันเป็น มือกล

หลังจากออกแบบเสร็จแล้วก็ นำแบบที่ได้มาทำการสร้างมือกลนี้ขึ้นมาโดยใช้ อลูมิเนียมแผ่น มาตัดตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ แล้วนำมาพับเป็นข้อของนิ้วแต่ละนิ้ว แล้วนำแต่ละข้อมาประกอบกันเป็นนิ้วมือ โดยแต่ละข้อจะมีสปริงยึดติดไว้ด้วยเพื่อให้มันเค็งกลับได้เมื่อปล่อยกลับหลังจากการดึง ซึ่งการดึงจะใช้ลวดสลิงเป็นตัวดึงให้เกิดการงอของนิ้วเปรียบ เหมือนกับเส้นเอ็นของมนุษย์ โดยแรงจากการดึงเกิดจากการหมุนของสเต็ปป์มอเตอร์เป็นตัวดึงลวดสลิงนี้ ซึ่งการทำงานของมือกลเป็นไปในลักษณะของการเคลื่อนไหวของนิ้วแต่ละนิ้ว ไม่ถึงขั้นที่จะหยิบจับของได้

##### 1.4.2 ขั้นตอนการสร้างและออกแบบถู่มือที่ใช้ตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์

ก่อนที่เราจะทำการออกแบบถู่มือขึ้นมาั้นเราได้ทำการศึกษา ลักษณะการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์ว่ามีลักษณะการเคลื่อนไหวอย่างไรบ้าง นิ้วมือก้างได้กี่องศา งอได้กี่องศา จากการศึกษาการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์เราได้ทำการสรุปออกมาว่าจะสร้างถู่มือที่จะตรวจสอบการเคลื่อนไหวของข้อนิ้วมือในลักษณะของการ

เคลื่อนที่แนวเฟลคชัน / เอ็คชเทนชัน เท่านั้น ไม่ได้ทำการตรวจสอบ การเคลื่อนที่แนวแอ็บคักชัน / แอ็คคักชัน ของนิ้วมือ หลังจากสรุปได้แล้วเราก็ได้ทำการศึกษาต่อไปว่าจะใช้อุปกรณ์ตัวไหนชนิดไหนมาทำเป็นตัวเซนเซอร์ จากการสำรวจท้องตลาดถึงตัวอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้งานเราพบว่าถ้าใช้ตัวด้านทานปรับค่าการออกแบบถุงมือเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนไหวของข้อในลักษณะของการงอจะง่ายกว่า อีกทั้งอุปกรณ์ก็หาซื้อได้ง่ายราคาก็ไม่แพง จึงสรุปว่าจะใช้ตัวด้านทานปรับค่าได้เป็นตัวเซนเซอร์ การสร้างถุงมือได้ทำการออกแบบ ให้มีการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของนิ้วมือทุกนิ้วและทุกข้อแยกอิสระต่อกัน เพื่อให้ดูเป็นธรรมชาติมากที่สุดในการที่เอาไปควบคุมให้มีมือกลทำงานเหมือนมือมนุษย์มากที่สุด แต่จะตรวจสอบเฉพาะการเคลื่อนที่แนวเฟลคชัน / เอ็คชเทนชัน ของนิ้วมือ ไม่ได้ตรวจสอบการเคลื่อนที่แนวแอ็บคักชัน / แอ็คคักชัน ของนิ้ว ยกเว้นนิ้วโป้งจะตรวจสอบการเคลื่อนที่แนวแอ็บคักชัน / แอ็คคักชัน ของนิ้วมือนิ้วด้วย และเราก็ได้ออกแบบโครงสร้างที่จะใช้เป็นตัวจับยึดตัวด้านทานที่ขื่อนิ้วมือโดยเราใช้อลูมิเนียมแผ่นมาออกแบบเป็นตัวโครงทั้งนี้เพราะมีความคงทนแข็งแรงกว่าพลาสติกมาก อีกทั้งน้ำหนักของอลูมิเนียมก็ไม่ได้แตกต่างกับพลาสติกมากนัก ที่จะให้ยึดจับตัวด้านทานปรับค่ากับถุงมือ

#### 1.4.3 ขั้นตอนการสร้างวงจรควบคุม วงจรแปลงสัญญาณ และวงจรไครเวอร์

การสร้างวงจรควบคุมนั้นก็ได้อ่านศึกษาแล้วว่าใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวไหนเป็นตัวควบคุม จากการศึกษาพบว่าการใช้ MCS - 51 เป็นตัวควบคุมจะเหมาะสมกว่าเพราะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานง่ายซึ่งคุณสมบัติต่างๆของ MCS - 51 จะกล่าวถึงต่อไป นอกจากนี้ MCS - 51 มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางทำให้สามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ราคาค่อนข้างถูก

นอกจากใช้ MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว ยังใช้ IC 8255 เป็นตัวขยาย PORT เพื่อให้สามารถใช้งานได้มากขึ้นซึ่ง เรามีการรับอินพุตทั้งหมด 16 พอร์ต และเอาท์พุตอีก 16 พอร์ต นอกจากสร้างวงจรในส่วนของวงจรควบคุมแล้ว ยังต้องสร้างในส่วนของวงจรไครเวอร์ ซึ่งอยู่บนแผ่นวงจรเดียวกัน ซึ่งวงจรไครเวอร์ นี้ใช้ IC ULN 2003 เป็นตัวขับให้มอเตอร์ทำงานซึ่งวงจร Driver นี้ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 12 V. นอกจากนี้เรายังได้ทำการศึกษาและสร้างวงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาลอก เป็นสัญญาณดิจิทัล อีกด้วย

#### 1.4.4 เขียนโปรแกรมควบคุม

ส่วนของการเขียนโปรแกรมควบคุมนั้นเราต้องทำการศึกษาการทำงานของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างละเอียดเพื่อที่จะเขียนโปรแกรมได้อย่างถูกต้องไม่มีข้อผิดพลาดและได้ทำการศึกษาอุปกรณ์ input และ output อย่างละเอียดด้วยเพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายขึ้น

นอกจากนี้ก็ได้ทำการศึกษาชุดคำสั่งต่างๆ ของภาษา Assembly ที่มีใช้กับ MCS - 51 หลังจากนั้นก็ได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อตรวจสอบส่วนของอินพุตที่เป็นถุงมือ โดยเขียนให้มีการรับค่าการเปลี่ยนแปลง ของกระแสที่เกิด การเปลี่ยนค่าของตัวด้านทานแต่ละตัว จากการตรวจสอบของข้อแต่ละข้อ มาทำการประมวลผล เพื่อไปควบคุมส่วนของเอาท์พุตที่เป็นมือกล ให้เคลื่อนไหวตามการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์

เอกสาร เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเผยแพร่ข้อมูลด้านวิชาการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ธรรมชาติของมือ

มือเป็นอวัยวะส่วนหนึ่งของร่างกายที่มีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา โดยมนุษย์เราใช้มือในการช่วยทำกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการกิน การหยิบจับสิ่งของ การนับ การคำนวณ รวมถึงการสื่อสารต่างๆ ด้วย ดังนั้นหากเราต้องการจะสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้มือเป็นตัวควบคุม นั้น เราต้องเข้าใจถึงสรีระของมือ เพื่อที่จะได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับมือได้

สเตอแมน และ เซทเซอร์(1993) (Sturman and Zeltzer(1993)) ได้ให้ความหมายของ การรับข้อมูลจากทั้งมือ (whole-hand inputs) ว่า “เป็นการใช้ความสามารถของมืออย่างเต็มที่และโดยตรงสำหรับการควบคุมงานที่มีคอมพิวเตอร์เป็นสื่อ...[การจัดหาการเชื่อมต่อที่] ทำให้ประโยชน์จาก ความเป็นธรรมชาติ, ความชำนาญ, และการดัดแปลงได้ง่าย ของมือมนุษย์ ได้อย่างเต็มที่” (“ the full and direct use of the hand’s capabilities for the control of computer- mediated tasks... [providing an interface that] makes maximal use of the naturalness, dexterity, and adaptability of the human hand.”)

**หมายเหตุ:** ศัพท์ภาษาอังกฤษทั้งหมดในบทนี้ ส่วนใหญ่เป็นศัพท์ทางการแพทย์

การเคลื่อนไหวของอวัยวะส่วนต่างๆ

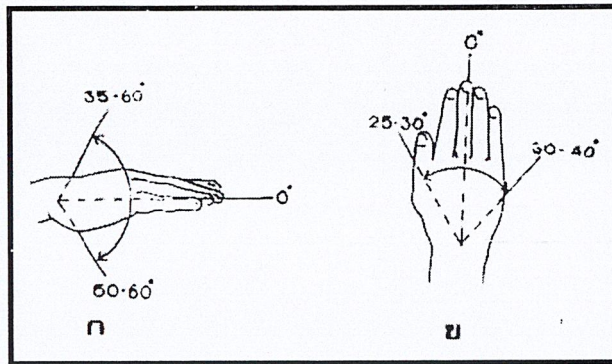
#### 2.1 การเคลื่อนไหวของข้อมือ

ท่าเหยียดข้อมือตรงเป็นท่า 0 องศาของข้อมือ คือแกนตามยาวของกระดูกเมตาคาร์ปัล(Metacarpal) กับของกระดูก อัลนา ขนานกัน การเคลื่อนไหวของข้อมือมี 2 แบบ ดังนี้

2.1.1 เฟลคชัน (Flexion) / เอ็กซ์เทนชัน (Extension) (รูปที่ 2.1 ก) คือเคลื่อนไหวในแนวแซกทิทเทล (Sagittal) การเคลื่อนไหวไปด้านหลังมือเป็น เอ็กซ์เทนชัน การเคลื่อนไหวไปทางฝ่ามือเป็น เฟลคชัน มุมการเคลื่อนไหวใช้มุมระหว่างแกนทางด้านข้างของกระดูก

เมตาคาร์ปัล ทั้ง 5 อัน (ซึ่งเป็นแกนร่วม) กับแกนตามยาวของกระดูก อัลนา ค่าปรกติ เฟลคชัน / เอ็กซ์เทนชัน  $S 60^\circ / 0^\circ / 5^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนไหวของข้อมือ

(ก) การเคลื่อนไหว เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน

(ข) การเคลื่อนไหว อัลนา ดีฟิเอชัน (Ulnar Deviation) / เรเดียล ดีฟิเอชัน (Radial Deviation)

2.1.2 อัลนา ดีฟิเอชัน / เรเดียล ดีฟิเอชัน (รูปที่ 2.1 ข) เป็นการเคลื่อนไหวในระนาบ ฟรันทแพล (Frontal Plane) ทำ 0 องศา คล้ายกับข้อ (2.1.1) แต่ใช้แกนตามยาวของแขนท่อนปลายแทนที่จะใช้แกนตามยาวของกระดูก อัลนา อันเดียว และมุมการเคลื่อนไหวใช้มุมระหว่างแกนตามยาวของกระดูก เมตาแคพาล อันที่ 3 กับแกนตามยาวของแขนท่อนปลาย

ค่าปรกติ อัลนา ดีฟิเอชัน / เรเดียล ดีฟิเอชัน F 30° / 0° / 20°

## 2.2 การวัดการเคลื่อนไหวของนิ้วมือและข้อมือนิ้วมือ

ทำ 0 องศาของนิ้วคือทำที่นิ้วมือเหยียดตรง ควรบันทึกชื่อนิ้วมือยิ่งกว่าการใช้หมายเลข อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้หมายเลข นิ้วหัวแม่มือควรเป็นนิ้วที่ 1 นิ้วชี้เป็นนิ้วที่ 2 และต่อไปตามลำดับ และใช้อักษรย่อสำหรับข้อต่อต่างๆ ดังนี้

- IP = ข้อต่อ อินเตอร์ฟาแลงกัว (Interphalangeal Joint)
- DIP = ข้อต่อ ดิสทอล อินเตอร์ฟาแลงกัว (Distal Interphalangeal Joint)
- PIP = ข้อต่อ พร็อกซิมอล อินเตอร์ฟาแลงกัว (Proximal Interphalangeal Joint)
- MP = ข้อต่อ เมตาคาร์โปฟาแลงกัว (Metacarpophalangeal Joint)
- CM = ข้อต่อ คาร์โปเมตาแคพาล (Carpometacarpal Joint)

ข้อมือนิ้วมือโดยมากจะเคลื่อนไหวได้คล้ายๆ กัน คือ เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน และเป็นการเคลื่อนไหวรวมของ MP และ IP การวัด เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน ของแต่ละข้อมือนิ้วมือใช้ โคนิโอมิเตอร์ (Goniometer) ขนาดเล็กๆ พอดีกับนิ้วมือ โดยบันทึกเป็นการเคลื่อนไหวของข้อต่างๆ

ข้อ MP มักจะมี โอเวอร์เอ็กซเทนชัน เล็กน้อย แต่ PIP และ DIP มักไม่ค่อยพบเช่นนั้น

แอ็บดักชัน (Abduction) / แอดดักชัน (Adduction) ของนิ้ว การวัดอาจวัดระยะห่างระหว่างปลายนิ้วทั้ง

เอกสองที่บันทึกการเคลื่อนไหวเป็นองศาก็ได้ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

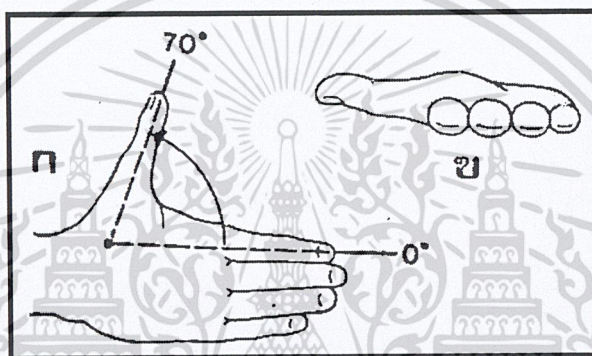
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับนิ้วหัวแม่มือการเคลื่อนไหวที่สำคัญอยู่ที่ข้อ CM และเมื่อรวมข้อ MP และ IP ด้วยแล้ว จะทำให้การเคลื่อนไหวของนิ้วหัวแม่มือเป็นไปได้หลายแบบ ยุ่งยากขึ้นเล็กน้อย ได้แก่

### 2.2.1 การเคลื่อนไหวของข้อ คาร์โปเมตาแคปัล อันที่ 1 มีดังนี้

ก. แอ็บดักชัน / แอ็ดดักชัน (รูปที่ 2.2) เป็นการเคลื่อนไหวในระนาบพรีนเทล ท่า 0 องศา คือทำนิ้วหัวแม่มือเหยียดตรงและชิดกับนิ้วชี้ การเคลื่อนไหวของนิ้วหัวแม่มือจากท่านี้คือ ถ้ากางนิ้วหัวแม่มือออกจากนิ้วชี้ก็เป็น แอ็บดักชัน ส่วนการหุบนิ้วหัวแม่มือเข้า (แอ็ดดักชัน) จะมีค่าเป็น  $0^{\circ}$  มุมการเคลื่อนไหวคือมุมระหว่างแกนตามยาวของนิ้วชี้กับแกนตามยาวของนิ้วหัวแม่มือที่เปลี่ยนตำแหน่งไป

ค่าปรกติ แอ็บดักชัน / แอ็ดดักชัน F  $70^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนไหวของข้อ คาร์โปเมตาแคปัล อันที่ 1 : แอ็บดักชัน

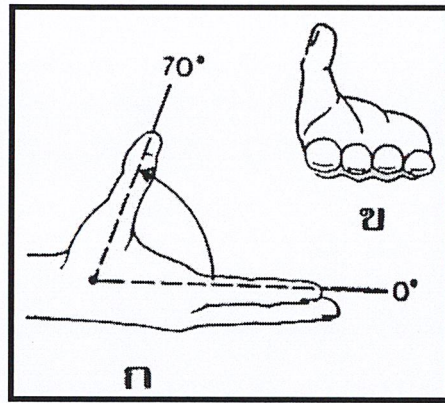
(ก) มองทางด้านหลังมือ

(ข) มองทางด้านปลายนิ้วมือ

ข. แพลเมอร์เฟลคชัน (Palmer Flexion) / โดแซลเอ็กซ์เทนชัน (Dorsal Extention) (รูปที่ 2.3) ซึ่งอาจเรียกในภาษาฝรั่งเศสว่า แอนติพัลชัน (Antepulsion) / รีโทรพัลชัน (Retropulsion) การเคลื่อนไหวของนิ้วหัวแม่มือมาทางด้านฝ่ามือในระนาบ แซกิททัล เป็น แพลเมอร์เฟลคชัน จากท่า 0 องศา (ทำนิ้วหัวแม่มือเหยียดชิดกับนิ้วชี้) ส่วนการเคลื่อนไหวของนิ้วหัวแม่มือไปทางด้านหลังมือในระนาบนี้ (โดแซลเอ็กซ์เทนชัน) จะทำไม่ได้ เนื่องจากติดกระดูก เมตาแคปัล อันที่ 2

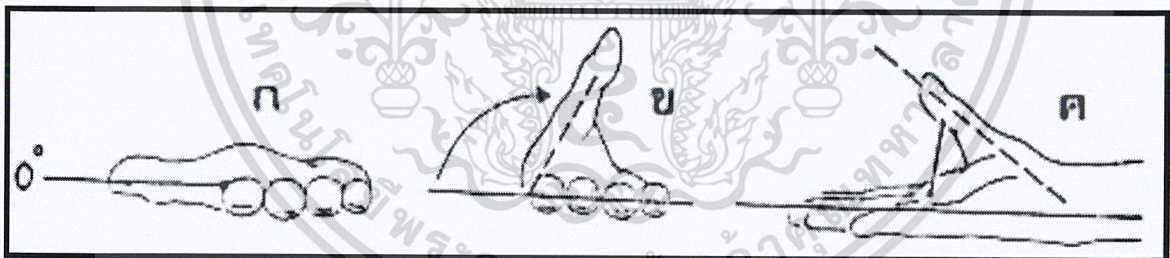
ค่าปรกติ แพลเมอร์เฟลคชัน / โดแซลเอ็กซ์เทนชัน S  $70^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



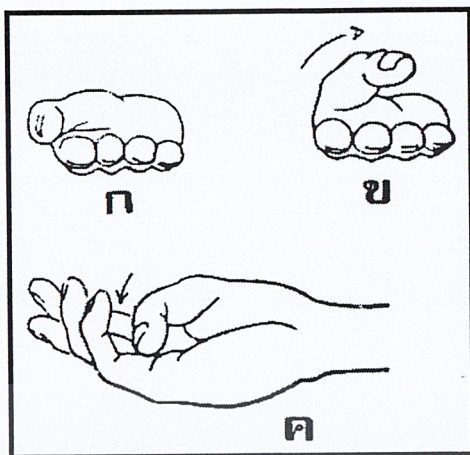
รูปที่ 2.3 การเคลื่อนไหวของข้อ คาร์โปเมตาแคปัล อันที่ 1 : แพลเมอร์เฟลคชัน  
 (ก) มองทางด้านข้างของนิ้วมือ  
 (ข) มองทางด้านปลายนิ้วมือ

ก. เซอร์คัมดักชัน (Circumduction) / รีโทรโพซิชัน (Retroposition) (รูปที่ 2.4) คือการเคลื่อนไหวที่ข้อ คาร์โปเมตาแคปัล อันที่ 1 หมุนนิ้วหัวแม่มือเข้าหานิ้วก้อย เป็นการเคลื่อนไหวผสมระหว่าง เซอร์คัมดักชัน กับ โรเตชัน (Rotation) (การเคลื่อนไหวต้องการนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้ให้ห่างกันเต็มที่) การเคลื่อนไหวของนิ้วหัวแม่มือไปทางหลังมือในทิศทางตรงกันข้าม เรียกว่า รีโทรโพซิชัน ทำ 0 องศา คือ ทำ แอ็บดักชัน เต็มที่ของนิ้วหัวแม่มือ มุมการเคลื่อนไหวใช้มุมที่แกนตามยาวของนิ้วหัวแม่มือเคลื่อนไปจาก ระนาบแพลเมอร์



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนไหวของข้อ คาร์โปเมตาแคปัล อันที่ 1 : เซอร์คัมดักชัน  
 (ก) ทำ 0 องศา  
 (ข) ทำ เซอร์คัมดักชัน (มองทางด้านปลายนิ้วมือ)  
 (ค) ทำ เซอร์คัมดักชัน (มองทางด้านข้างนิ้วก้อย)

ส่วน ออปโพซิชัน (Opposition) นั้น เป็นท่าของหัวแม่มือที่เคลื่อนไหวโดยงอข้อนิ้วที่หัวแม่มือทุกข้อ แล้ววัดการเคลื่อนไหวโดยใช้ระยะห่างจากรอยพับข้อปลายนิ้วหัวแม่มือกับรอยฝ่ามืออันปลายสุดตามขวางบนฝ่ามือ ตรงกับตำแหน่งของข้อ เมตาคาร์โปฟาแลงกีว (Metacarpophalangeal) ของนิ้วกลาง (รูปที่ 2.5) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ออปโพซิชั่น ของนิ้วหัวแม่มือ

- (ก) มือปรกติในท่าก่อนเคลื่อนไหว (มองทางด้านปลายนิ้วมือ)  
 (ข) มี โรเตชัน และ เซอร์คัมดักชัน  
 (ค) งอข้อมือนิ้วหัวแม่มือทุกข้อ

2.2.2 การเคลื่อนไหวของ ข้อต่อ เมตาคาร์โปฟาแลงกีว อันที่ 1 มีการเคลื่อนไหวระนาบเดียว คือ แซกทเทิล (S) ทำ เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน ทำ 0 องศา คือทำให้นิ้วหัวแม่มือตรง มุมการเคลื่อนไหวคือ มุมระหว่างแกนยาวของ พร็อกซิมอล เฟแลงค์ (Proximal Phalanx) กับแกนตามยาวกระดูก เมตาคาเปล อันที่ 1

ค่าปรกติ เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน  $S 50^{\circ} / 0^{\circ} / 15^{\circ}$

2.2.3 การเคลื่อนไหวของ ข้อต่อ อินเตอร์ฟาแลงกีว ของนิ้วหัวแม่มือ มีการเคลื่อนไหวระนาบเดียว คือ แซกทเทิล (S) ทำ เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน ทำ 0 องศา คือทำให้นิ้วหัวแม่มือเหยียดตรง มุมการเคลื่อนไหวคือ มุมระหว่างแกนตามยาวของ ดิสทอล เฟแลงค์ (Distal Phalanx) กับของ พร็อกซิมอล เฟแลงค์

ค่าปรกติ เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน  $S 85^{\circ} / 0^{\circ} / 15^{\circ}$

2.2.4 การเคลื่อนไหวของ ข้อต่อ เมตาคาร์โปฟาแลงกีว อันที่ 2 - 5 (รูปที่ 2.6 ก) การเคลื่อนไหวมี ระนาบเดียวคือ แซกทเทิล (S) ทำ เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน ทำ 0 องศา คือทำให้นิ้วมือเหยียดตรง ฝ่ามือแบราบ มุม การเคลื่อนไหวคือมุมระหว่างแกนตามยาวของ พร็อกซิมอล เฟแลงค์ กับแกนตามยาวของกระดูก เมตาคาเปล ของนิ้วนั้นๆ

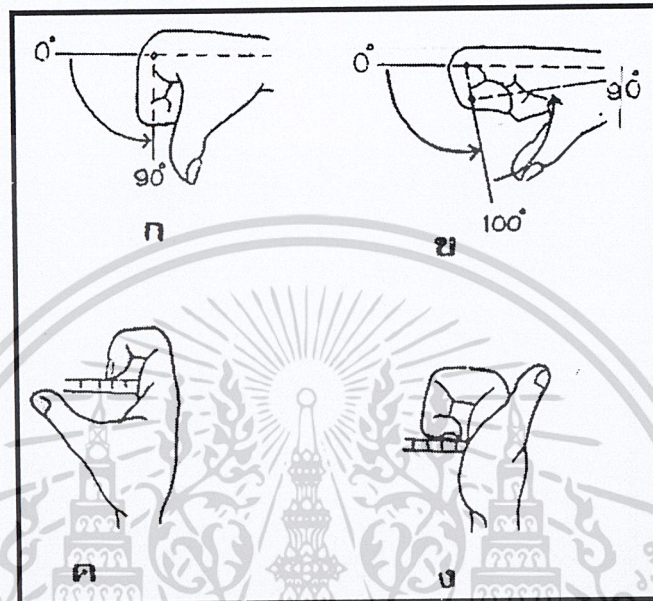
ค่าปรกติ เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน  $S 90^{\circ} / 0^{\circ} / 30^{\circ}$

2.2.5 การเคลื่อนไหวของ ข้อต่อ พร็อกซิมอล อินเตอร์ฟาแลงกีว (เวนนิ้วหัวแม่มือ) (รูปที่ 2.6 ข) มี การเคลื่อนไหวระนาบเดียวคือ แซกทเทิล (S) ทำ เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน ทำ 0 องศา คือทำนิ้วเหยียดตรง การ เคลื่อนไหวบันทึกโดยวัดมุมระหว่างแกนตามยาวของ พร็อกซิมอล เฟแลงค์ กับของ มิดเดิล เฟแลงค์ (Middle Phalanx) ของนิ้วนั้นๆ

ค่าปรกติ เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน  $S 100^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 การเคลื่อนไหวของ ข้อต่อดิสทอล อินเตอร์ฟาแลงกีว (เข่านิ้วหัวแม่มือ) (รูปที่ 2.6 ข) มีการเคลื่อนไหวระนาบเดียว คือ แซกทิทเทล (S) ทำ เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน ทำ 0 องศา คือทำนิ้วเหยียดตรง การเคลื่อนไหวบันทึกโดยวัดมุมระหว่างแกนตามยาวของ มิดเดิ้ล เฟแลงค์ กับของ ดิสทอล เฟแลงค์ ของนิ้วนั้นๆ ค่าปรกติ เฟลคชัน / เอ็กซเทนชัน S  $80^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$



รูปที่ 2.6 การเคลื่อนไหวของข้อนิ้วมือ

- (ก) เฟลคชัน ที่ ข้อต่อ เมตาคาร์โปฟาแลงกีว  
 (ข) เฟลคชัน ที่ พร็อกซิมอล และ ข้อต่อ ดิสทอล อินเตอร์ฟาแลงกีว  
 (ค) และ (ง) การตรวจ เฟลคชัน ของข้อนิ้วมือ โดยการวัดระยะห่างระหว่างปลายนิ้วมือถึงรอยขวางกลางฝ่ามือ (ตรงกับ ข้อต่อ เมตาฟาแลงกีว) หรือถึงรอยพับที่โคนนิ้วทางด้านฝ่ามือ แทนการวัดมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper motor)

### 3.1 รู้จักกับมอเตอร์

ในมอเตอร์ไฟตรงและไฟสลับถ้าหากมีความต้องการที่จะควบคุมตำแหน่งของการหมุน เช่น จะให้หมุนไป 20 องศาแล้วหยุด จะต้องมีการควบคุมตำแหน่งด้วยวิธีอื่น ๆ เพื่อตรวจสอบตำแหน่งเข้ามา แต่มีมอเตอร์อีกประเภทหนึ่งที่สามารถควบคุมตำแหน่งของการหมุนได้ นั่นคือ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ทำงานโดยการป้อนพัลส์กระตุ้นให้มัน โดยใช้พัลส์ 1 ลูกต่อการเคลื่อนที่ไปหนึ่งสเต็ป ซึ่งความละเอียดหนึ่งสเต็ปจะเป็น กี่องศาขึ้นอยู่กัวงจรขับมอเตอร์ และโครงสร้างของสเต็ปเปอร์มอเตอร์เอง ดังในรูปที่ 3.1 เป็นโครงสร้างของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดปรับค่า ความต้องการแม่เหล็กได้ (variable reluctance) โรเตอร์ของมอเตอร์ทำมาจากเหล็กอ่อน และมีจำนวนฟันไม่เท่ากับฟันของสเตเตอร์ ตัวสเตเตอร์ (หรือส่วนที่อยู่กับที่) จะมีกลุ่มขั้วลวดต่อกัน ซึ่งต้องมีวงจรถูกแยกกัน ซึ่งต้องมีวงจรถูกแยกกัน 3 กลุ่ม (หรือมากกว่า) สัญญาณที่นำมาขับนี้ เป็นสัญญาณลอจิก วงจรสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบง่าย ๆ แสดงดังรูป ส่วนสัญญาณที่ขับไปมีลักษณะของไทมิงไดอะแกรม ดังรูป ซึ่ง สามารถที่จะควบคุมทิศทาง การหมุนของมอเตอร์ได้ด้วย ขนาดมุมของการเคลื่อนที่ต่อหนึ่งสเต็ปของ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ สามารถคำนวณได้จาก

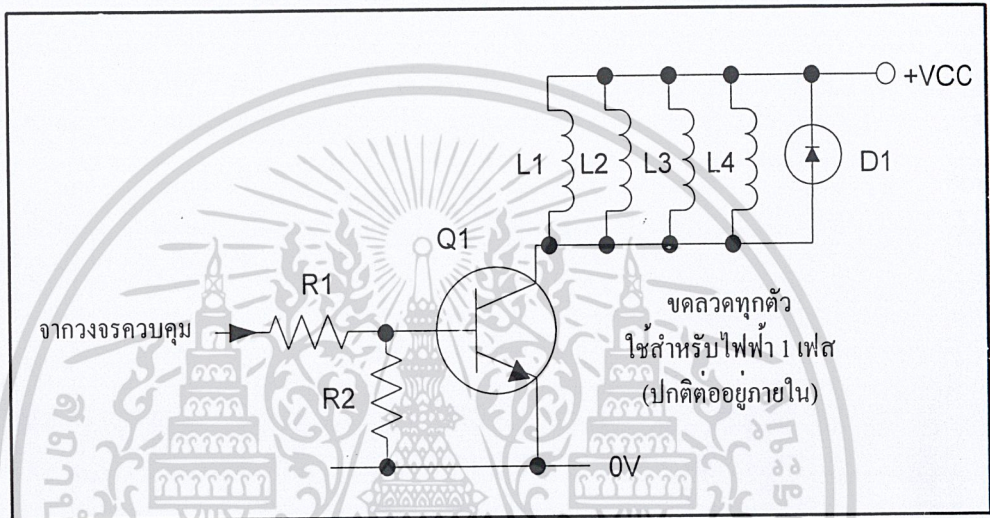
$$N = S \cdot R / S - R$$

โดยที่ N คือ ขนาดของมุมเมื่อมอเตอร์เคลื่อนที่ไป 1 สเต็ป มีหน่วยเป็นองศา

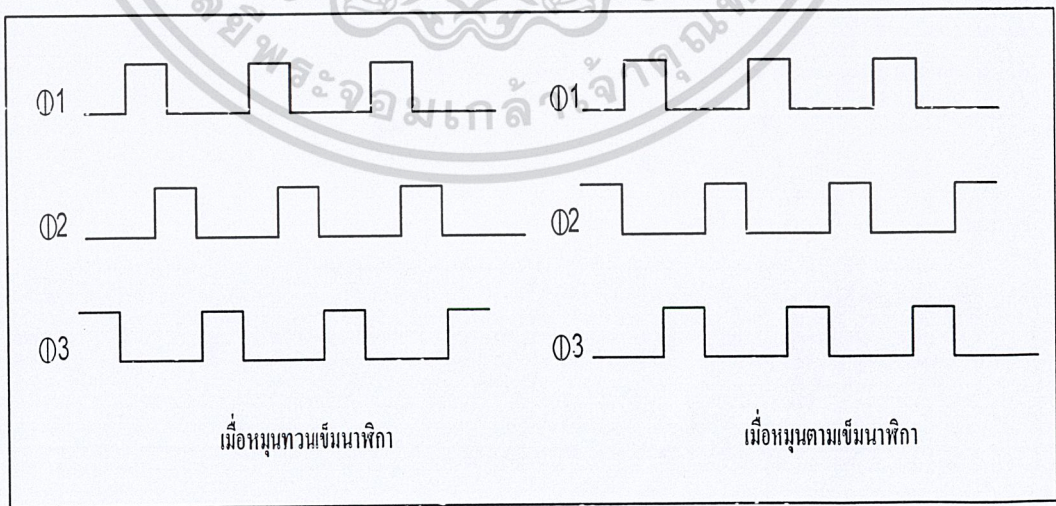
โดยที่ S คือ จำนวนสล๊อตของสเตเตอร์

โดยที่ R คือ จำนวนสล๊อตของโรเตอร์

ปกติแล้วสเต็ปเปอร์มอเตอร์จะมีขนาดมุมเมื่อเคลื่อนที่ไป 1 สเต็ป อยู่ 2 ขนาดคือ 108 องศาต่อ สเต็ป และ 7.5 องศาต่อสเต็ป



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างวงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

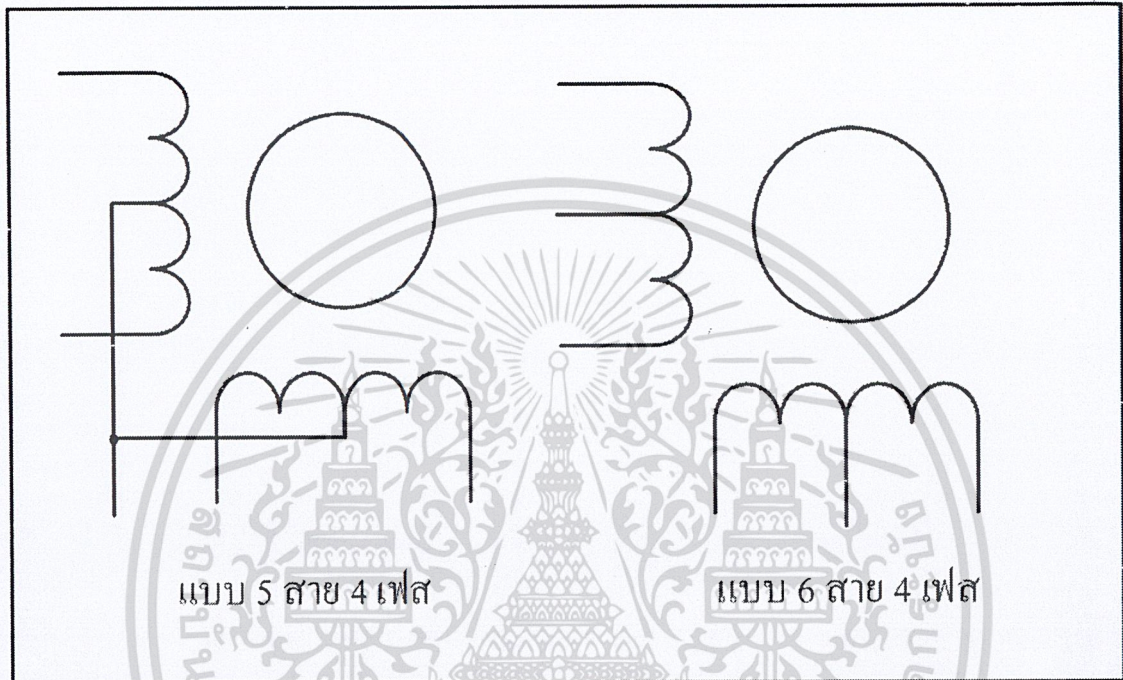


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น การตีพิมพ์หรือการเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์เป็นการฝ่าฝืนกฎหมายและจะมีความผิดทางอาญา  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ (Uni-polar stepper motor)

#### 3.2.1 โครงสร้างสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนมาถึงปัจจุบันสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด และหาง่ายคือ สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ ( Uni-polar stepper motor) มีลักษณะการพันขดลวดดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวจะมี 4 เฟส คือ เฟส 1,2,3 และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สาย และ 6 สาย ถ้าเป็นแบบ 5 สายจะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว

#### 3.2.2 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนไปแต่ละสเต็ปทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีแควนเชียลในรูปแบบที่ถูกตั้งค้ำ สามารถแบ่งได้ 3 รูปแบบ คือ แบบฟูลสเต็ปหนึ่งเฟส, แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส และแบบฮาล์ฟสเต็ป (Half step)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฟูลสเต็ปหนึ่งสเต็ป (Full step) เป็นการกระตุ้นที่มีรูปแบบง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งไล่เรียงถัดกันไป เช่น เริ่มต้นที่ขดที่ 1,2,3,4 แล้ววนกลับมาขดที่ 1 วนไปเรื่อยๆ หรือเริ่มที่ขดลวดที่ 1 แล้วย้อนไปยังขดที่ 4,3,2 แล้วกลับมาขดที่ 1 อีกครั้ง ซึ่งทำให้ทิศทางการหมุนสวนทางกัน ในการกระตุ้นรูปแบบนี้จึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในการเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบเวฟ จึงมีราคาถูกและง่าย ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 3.1

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 3.1 แสดงลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์ เมื่อได้รับการกระตุ้น แบบฟูลสเต็ปหนึ่งเฟส

แบบฟูลสเต็ปสองเฟสเป็นการกระตุ้นซึ่งคล้ายกับแบบหนึ่งเฟส แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบหนึ่งเฟส ดังแสดงตัวอย่าง ขดลวดขดแรกที่ถูกกระตุ้นจะเป็นขดที่ 1 และ 2 ตามด้วยการกระตุ้นขดที่ 2 และ 3 ต่อไปเป็นขดที่ 3 และ 4 ถัดไปเป็นขดที่ 4 และ 1 แล้วกลับมาที่ขดที่ 1 และ 2 วนไปตามลำดับเช่นนี้ หรือเริ่มที่ขด 1 และ 4 ทิศทางการหมุนจะสวนทางกัน การกระตุ้นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้สามารถเพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงคิงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อไปด้วยแรงคิงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือการกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 3.2

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 3.2 แสดงลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์ เมื่อได้รับการกระตุ้น แบบฟูลสเต็ป

เอกสารสงวนลิขสิทธิ์ เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฮาล์ฟสเต็ปเป็นรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบฟูลสเต็ปหนึ่งเฟสและ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ เริ่มจากขดลวดที่ 1,1 และ 2,2,2 และ 3,3,3 และ 4,4,4 และ 1 แล้ววนกลับมายังขดลวดที่ 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้น แบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง แต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่งว่า เมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ป จึงจะได้เท่ากับระยะเท่ากับ 1 สเต็ปเต็มของการควบคุมใน 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้ขนาดเท่ากับแบบ 2 เฟสเป็นอย่างน้อย จึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 3.3

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 3.3 แสดงลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์ เมื่อได้รับการกระตุ้น แบบฮาล์ฟสเต็ป

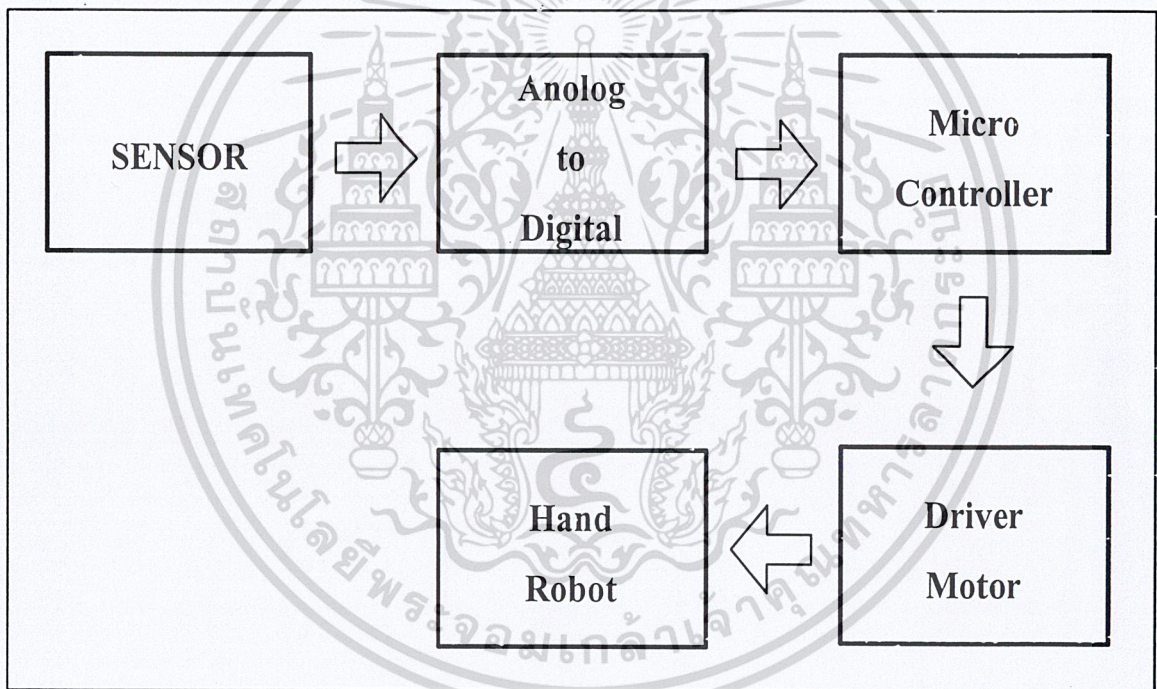
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

## การออกแบบในส่วนของฮาร์ดแวร์

### 4.1 การออกแบบโดยรวม

การออกแบบในส่วนของ Hard Ware แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ การออกแบบในส่วนของมือกล ส่วนของการออกแบบถุงมือเพื่อเป็นส่วนของเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมือ และส่วนสุดท้ายคือวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการออกควบคุมการทำงานของมือกล ซึ่งประกอบด้วยหลายวงจร ได้แก่ วงจรควบคุม วงจรสำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ และวงจรแปลงสัญญาณเพื่อทำการแปลงสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์ การทำงานโดยรวมถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ดังแสดงดังรูป



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมโดยรวม

จากรูปเราสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วนดังนี้

4.1.1 เซนเซอร์ : เมื่อเราคิดจะตรวจจับการเคลื่อนไหวของข้อมือแล้ว เราก็จะต้องมาคิดว่าเราจะใช้อะไรในการตรวจจับการเคลื่อนไหวนั้น เราจึงต้องศึกษาเซนเซอร์ชนิดต่างๆ เพื่อที่เราจะได้เลือกชนิดของเซนเซอร์ที่เหมาะสมกับโครงงานนี้ รวมไปถึงการออกแบบตัวอุปกรณ์ที่ทำให้เซนเซอร์เหล่านี้สามารถรับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของข้อมือและนิ้วมือได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 วงจรแปลงสัญญาณนาฬิกาเป็นสัญญาณดิจิทัล : สัญญาณที่เราจะได้รับจากเซนเซอร์นั้นไม่ใช่สัญญาณที่เราจะใช้สื่อสารติดต่อกับไอซีต่างๆ ได้ เพราะว่าสัญญาณต่างๆ ที่ใช้ในไอซีนั้นจะเป็นสัญญาณดิจิทัล (0 กับ 1) คือจะไม่มีค่าแรงดันสัญญาณออกไปจาก 0 โวลต์ กับ 5 โวลต์ ดังนั้นเราจึงต้องหาวิธีแปลงค่าสัญญาณให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้สามารถนำค่าที่ได้ไปใช้งานเพื่อการควบคุมการทำงานของสัญญาณที่เข้ามาได้

4.1.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ : เป็นหน่วยประมวลผลกลางของวงจรที่เราจะสร้างขึ้น เพื่อทำหน้าที่ในการรับค่าจากเซนเซอร์จากมือของเราที่ถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเรียบร้อยแล้ว แล้วทำการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่เข้ามาเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้ทำงานตามที่ต้องการ

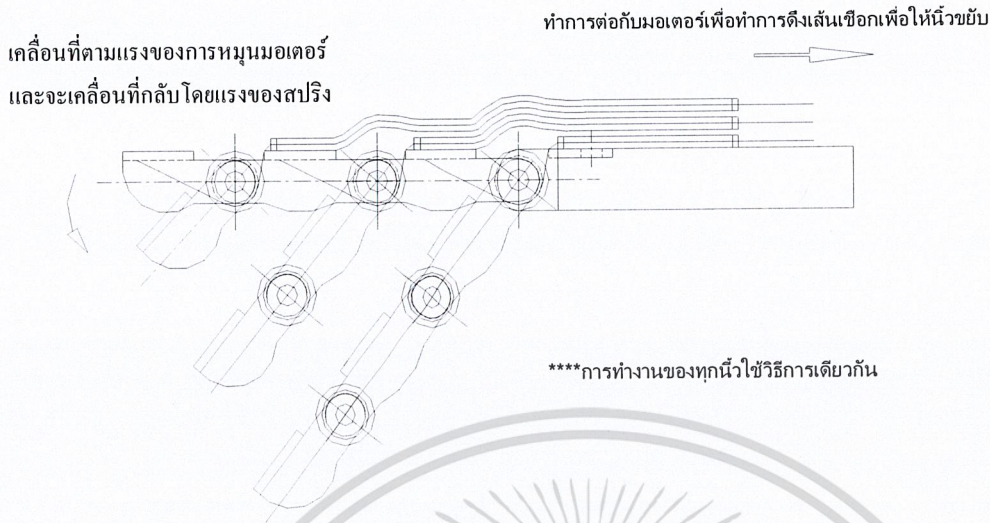
4.1.4 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์: เมื่อได้สัญญาณจากส่วนของวงจรควบคุมนั้นเราก็จะนำสัญญาณที่ได้มาทำการขยายกระแสเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์

4.1.5 มือกอล : เป็นส่วนของการแสดงผลที่ที่ต้องการแสดงถึงการควบคุมและการรับสัญญาณที่ได้รับมาจากเซนเซอร์สามารถทำงานได้ และยังช่วยให้ทราบถึงลักษณะการประยุกต์ใช้งานของการนำสัญญาณที่ได้มาใช้งาน

## 4.2 การออกแบบส่วนของมือกล

มือกลที่ได้ทำการออกแบบนั้นจะจัดทำให้มีลักษณะที่มีการเคลื่อนไหวที่อิสระต่อกันในแต่ละส่วนของข้อมือ เพื่อให้เคลื่อนไหวได้ตามการเคลื่อนไหวของมือ ซึ่งได้จัดทำให้คล้ายกับการทำงานของมือมนุษย์ มือกลได้ออกแบบโดยใช้อลูมิเนียมแผ่น เอามาตัดตามแบบที่ได้ออกแบบไว้แล้วนำมาพับเข้ารูปเป็นลักษณะเป็นข้อๆ แล้วนำแต่ละข้อมาประกอบกันโดยมีล้อยู่ระหว่างข้อต่อเพื่อเป็นแกนในการดึงให้มีมุมในการดึงมากขึ้นเพื่อจะทำให้แข็งแรงในการดึงน้อยลง และที่ข้อต่อแต่ละข้อจะมีสปริงที่ทำหน้าที่ในการคืนให้นิ้วกลับมาตำแหน่งเดิมเมื่อมีการปล่อยกลับ และใช้ลวดสลิงยึดติดกับส่วนของนิ้ว แล้วคล้องผ่านล้อเพื่อใช้ในการดึงให้นิ้วงอตามเมื่อเกิดการดึง ลวดสลิงนี้ทำหน้าที่เหมือนกับเส้นเอ็นของมนุษย์ ลวดสลิงจะมี 1 เส้นต่อ 1 ข้อต่อ และปลายอีกด้านหนึ่งของลวดสลิงจะยึดอยู่ที่แกนของมอเตอร์ เพื่อใช้ในการดึง ที่ออกแบบไว้จะใช้สเต็ปป์มอเตอร์ซึ่งจะใช้ มอเตอร์ 1 ตัวต่อ 1 ข้อต่อ เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมให้ข้อแต่ละข้องอได้อย่างอิสระต่อกัน เหมือนกับนิ้วของมนุษย์มากที่สุด ทั้งนี้เราได้ทำใช้สเต็ปป์มอเตอร์ที่ได้ทำการทอรอบในตัวเพื่อให้มีแรงในการดึงมากขึ้นและทำให้ง่ายต่อการออกแบบ ส่วนของการออกแบบมือกลที่ได้ออกแบบไว้มีลักษณะดังรูปข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



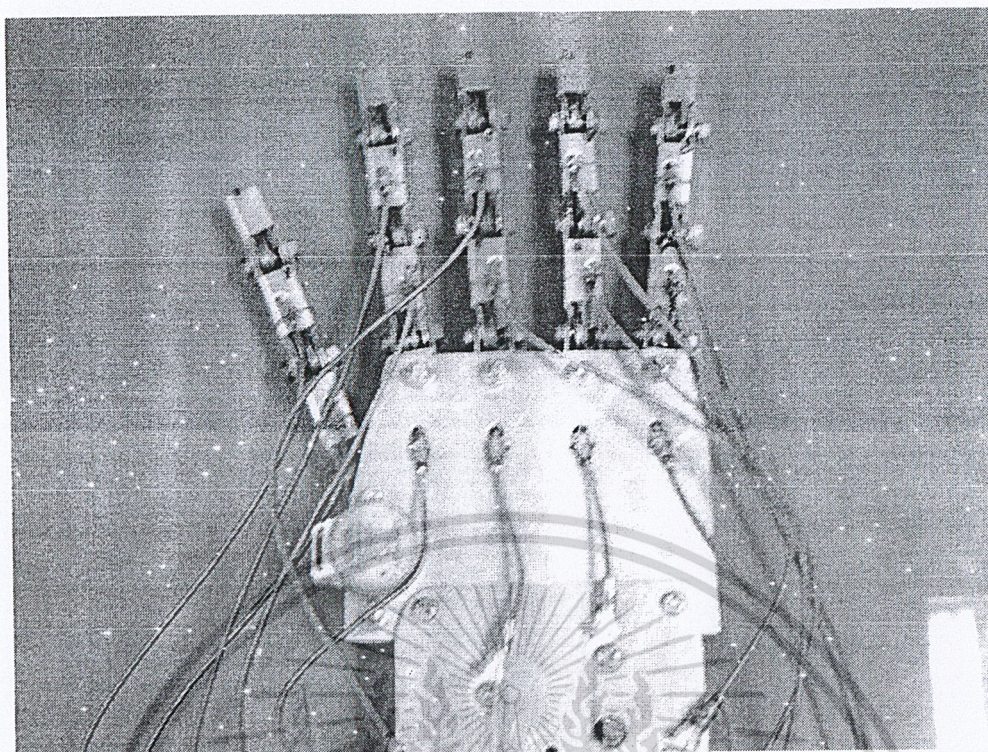
## โครงสร้างการทำงานของนิ้วมือ

รูปที่ 4.2 รูปแสดงแบบของชิ้นส่วนของมือกล

จากรูปจะแสดงการทำงานของแต่ละส่วนของนิ้วมือที่มีการทำงานที่อิสระต่อกันซึ่งการทำงานของนิ้วมือในแต่ละส่วนนั้นบางครั้งเราทำการเคลื่อนไหวของนิ้วมืออย่างอิสระได้ ดังนั้นการทำงานแต่ละข้อต่อที่มีความเป็นอิสระต่อกันทำให้การออกแบบง่ายขึ้น

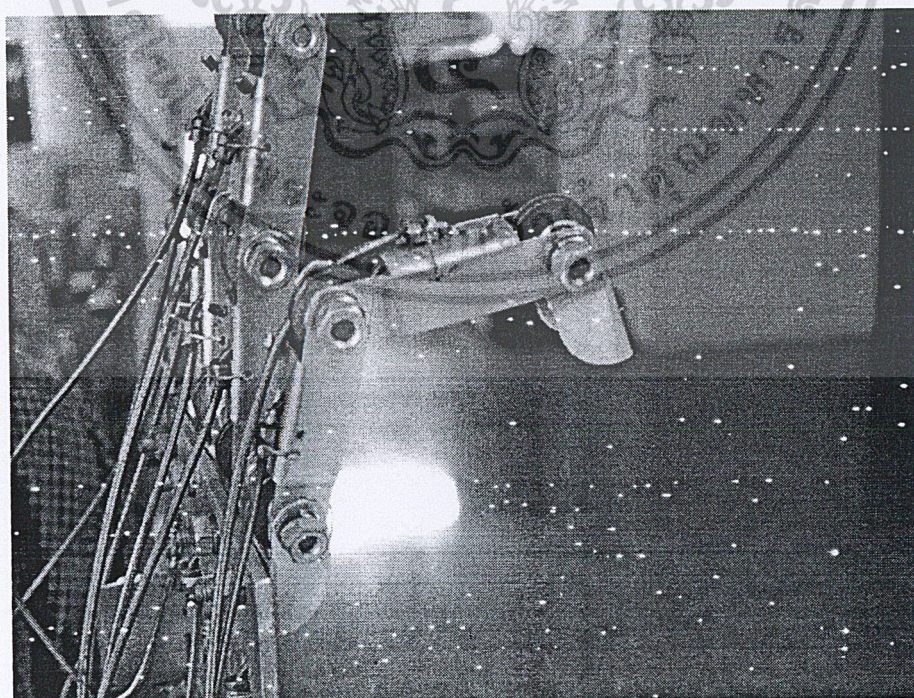
เมื่อมีการใช้มอเตอร์ 1 ตัวต่อการเคลื่อนไหว 1 ข้อต่อทำให้ต้องใช้มอเตอร์จำนวน 16 ตัวทำให้ต้องมีพื้นที่สำหรับวางมอเตอร์ดังนั้นจึงมีการจัดทำเป็นส่วแกนแล้วทำการติดมอเตอร์ได้ไว้ แต่การจัดทำมือกลนั้นถูกจำกัดโดยพื้นที่ของการจัดวางส่วนของการขับเคลื่อนและทำให้เพิ่มความยากในการออกแบบ เมื่อการเคลื่อนที่ในส่วนนั้นมีการเคลื่อนที่ที่น้อย เช่นการกางของนิ้วมือ ทำให้มันยากต่อการออกแบบส่วนขับเคลื่อน ดังนั้นการออกแบบในโครงงานนี้จึงไม่ได้ทำส่วนของการกางของนิ้วมือของมือกลไว้เพื่อลดความยากของการออกแบบลง และเท่านี้ก็เพียงพอต่อการที่จะทำให้มือกลสามารถทำตามการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์ได้ระดับหนึ่ง ทั้งนี้เท่านี้ก็เพียงพอต่อการจับชิ้นงานของมือกล และการออกแบบมือกลเมื่อประกอบแล้วจะมีรูปแบบดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 มือกลเมื่อทำการประกอบเสร็จ

การเคลื่อนไหวของมือกลที่ได้ออกแบบไว้ไม่สามารถที่จะกาง (ยกเว้นนิ้วโป้งที่กางได้) ได้แต่สามารถที่จะทำให้มือมีความสามารถในการขยับและจับงานได้คล้ายกับการเคลื่อนไหวของมือ ดังแสดงดังรูป ที่ 4.5



รูปที่ 4.4 มือกลเมื่อมีการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

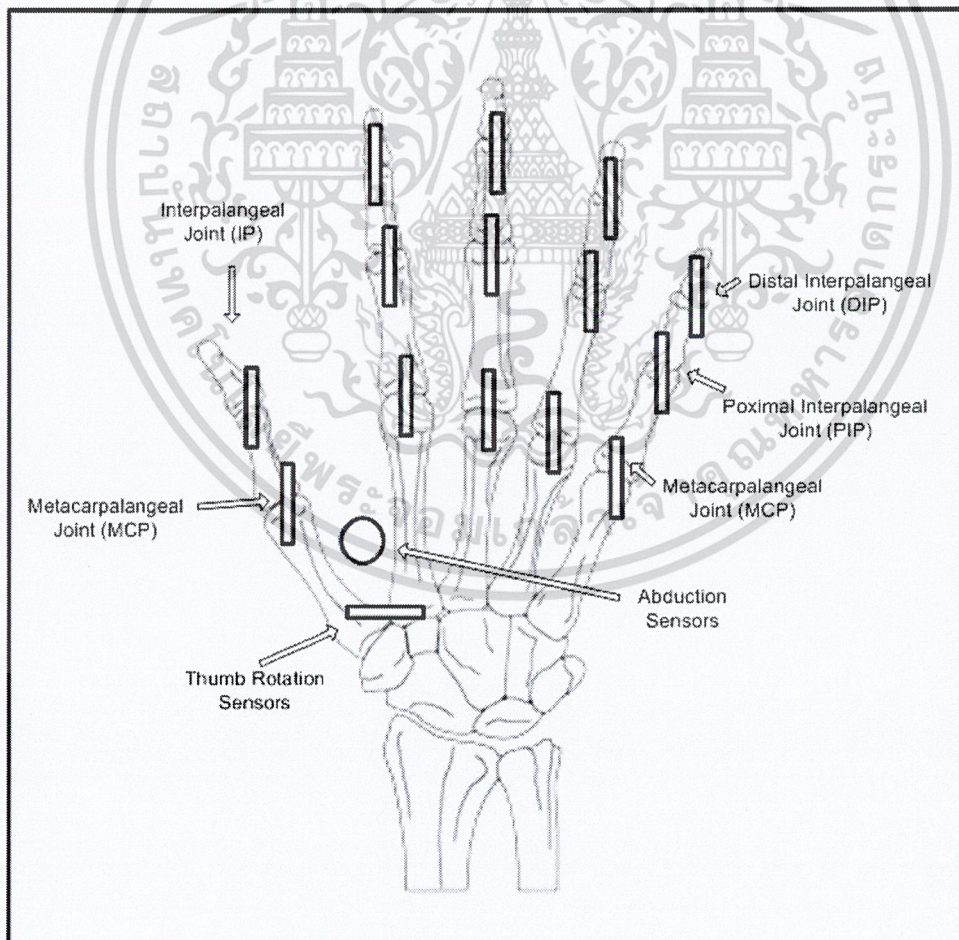
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆ เป็นเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ส่วนของอุ้งมือที่ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์

เป็นส่วนที่ไว้ใช้สำหรับทำการตรวจสอบเซนเซอร์ที่ติดไว้กับส่วนของอุ้งมือเพื่อทำการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือ

#### 4.3.1 แนวคิดในการออกแบบอุ้งมือ

จากการศึกษาการเคลื่อนไหวของนิ้วมือและข้อมือในบทที่ 2 และเลือกใช้เซนเซอร์เป็นความต้านทานปรับค่าได้ทำให้เราทราบว่าเราต้องใช้ความต้านทานปรับค่าได้ทั้งหมด จำนวน 16 ตัว ตามข้อนิ้วต่างๆแต่ละข้อ โดยที่แต่ละนิ้วนั้นจะใช้ตัวต้านทาน 3 ตัวจะใช้วัดการเคลื่อนไหวในแนว ฟเลกชัน / เอ็กซ์เทนชัน (การงอของนิ้ว) ของนิ้วซึ่งแต่ละนิ้วมี 3 ข้อ แต่ที่นิ้วโป้งจะมีตัวต้านทาน 4 ตัว โดย 3 ตัวใช้วัดการเคลื่อนไหวในแนว ฟเลกชัน / เอ็กซ์เทนชัน และความต้านทานอีก 1 ตัวสำหรับวัดการเคลื่อนไหวของนิ้วในแนว แอ็บดักชัน / แอ็ดดักชัน (การกางของนิ้ว) ซึ่งจะใช้ความต้านทานปรับค่าได้ทั้งหมด 16 ตัว แต่ในส่วนของข้อมือนั้นเราไม่ได้ทำการตรวจวัด ซึ่งวางตามตำแหน่งบนมือนิดังรูปที่ 4.5

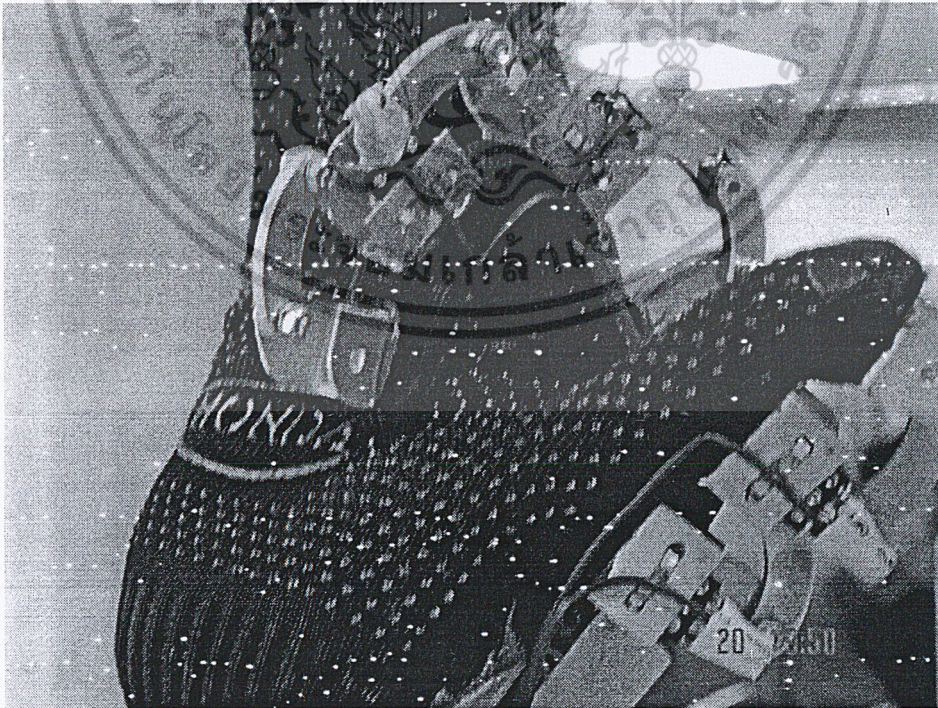


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.5 ตำแหน่งการวางเซนเซอร์บนมือ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 การออกแบบตัวถุงมือ

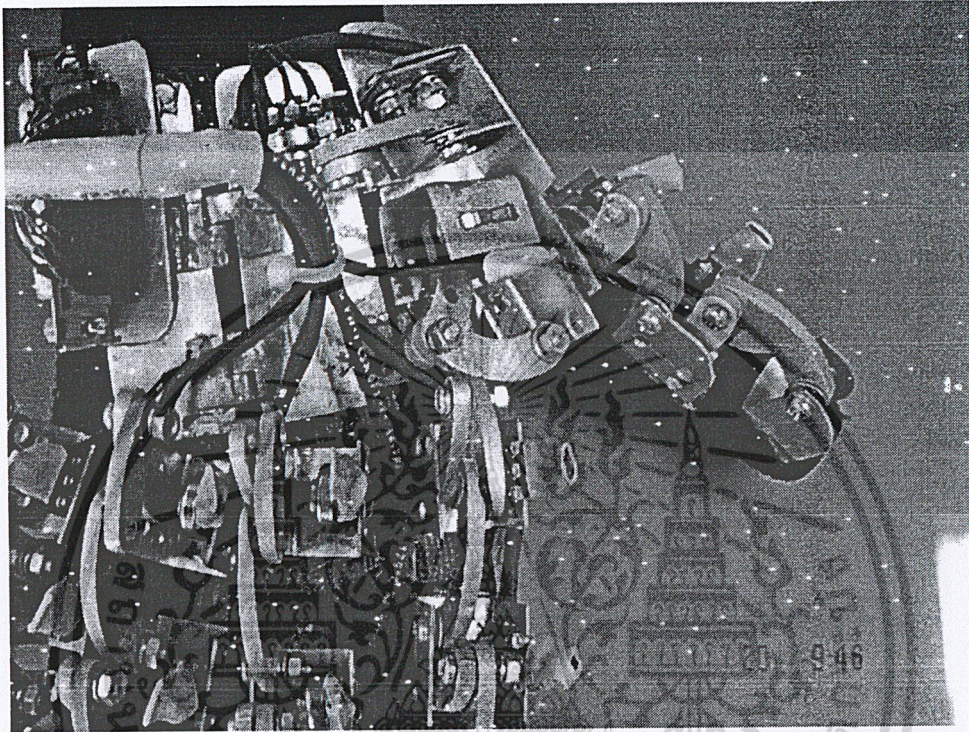
สำหรับการออกแบบตัวถุงมือให้ตรวจจับการเคลื่อนไหวของนิ้วมือนั้นในส่วนของนิ้วมือนั้นจะมีการเคลื่อนไหวใน 2 แนวหลัก ๆ คือ แนว ฟลেকชัน / เอ็กซเทนชัน และแนว แอ็บดักชัน / แอ็ดดักชัน ส่วนของนิ้วโป่งนั้นจะมีการเคลื่อนไหวที่ซับซ้อนเพิ่มขึ้นอีกก็คือการโรเตชันของนิ้วมือ ดังนั้นการออกแบบตัวถุงมือจึงแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

การเคลื่อนไหวในแนวฟลেকชัน / เอ็กซเทนชัน นั้นจะมีในข้อ DIP, PIP, MCP ของนิ้วชี้, กลาง, นาง และก้อย ส่วนนิ้วโป่งนั้นจะมีอยู่ในข้อ IP และ MCP สำหรับการออกแบบตัวถุงมือให้สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวในแนวนี้ เราออกแบบโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมซึ่งมีความหนา 1.5 มิลลิเมตรมาตัดเป็นรูปทรงที่มีความโค้งคล้ายกับ พระจันทร์ครึ่งเสี้ยวจำนวน 2 ชิ้นต่อ 1 ข้อนิ้ว โดยเราจะยึดปลายของแผ่นอลูมิเนียมรูปพระจันทร์ครึ่งเสี้ยวให้โค้งตามกันเข้าด้วยกันส่วนปลายอีก 2 ข้างที่เหลือก็จะยึดเข้ากับแกนของตัวด้านทานปรับค่าได้ โดยตัวด้านทานปรับค่าได้นี้เราจะยึดติดเข้ากับแผ่นอลูมิเนียมอีกแผ่นหนึ่ง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นฐานในการยึดเข้ากับถุงมือ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งนั้นเราก็จะไปยึดไว้กับแผ่นอลูมิเนียมที่เป็นฐานรองรับตัวด้านทานของ ข้อตัดไป ตัวฐานที่ยึดอยู่กับตัวด้านทานนั้นเราจะยึดเข้ากับถุงมือในบริเวณเหนือข้อ ของข้อนิ้วแต่ละข้อ ดังนั้นเมื่อมีการงอของนิ้วก็จะทำให้เกิดการดึงแผ่นอลูมิเนียมรูปพระจันทร์ครึ่งเสี้ยวขึ้นที่ยึดปลายเข้ากับแกนตัวด้านทานทำให้แกนของตัวด้านทานหมุนตามก็จะทำให้เซนเซอร์เปลี่ยนแปลงค่าไปด้วย และเมื่อคืนนิ้วกลับก็จะทำให้เกิดการผลักแผ่นอลูมิเนียมรูปพระจันทร์ครึ่งเสี้ยวกลับ ณ ตำแหน่งเดิม ซึ่งแต่ละข้อสามารถหมุนจากกันได้อย่างอิสระ ดังรูปที่ 4.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้ง รูปที่ 4.6 การออกแบบในส่วนการเคลื่อนไหวในแนวฟลেকชัน / เอ็กซเทนชัน ที่มีการนำไปใช้

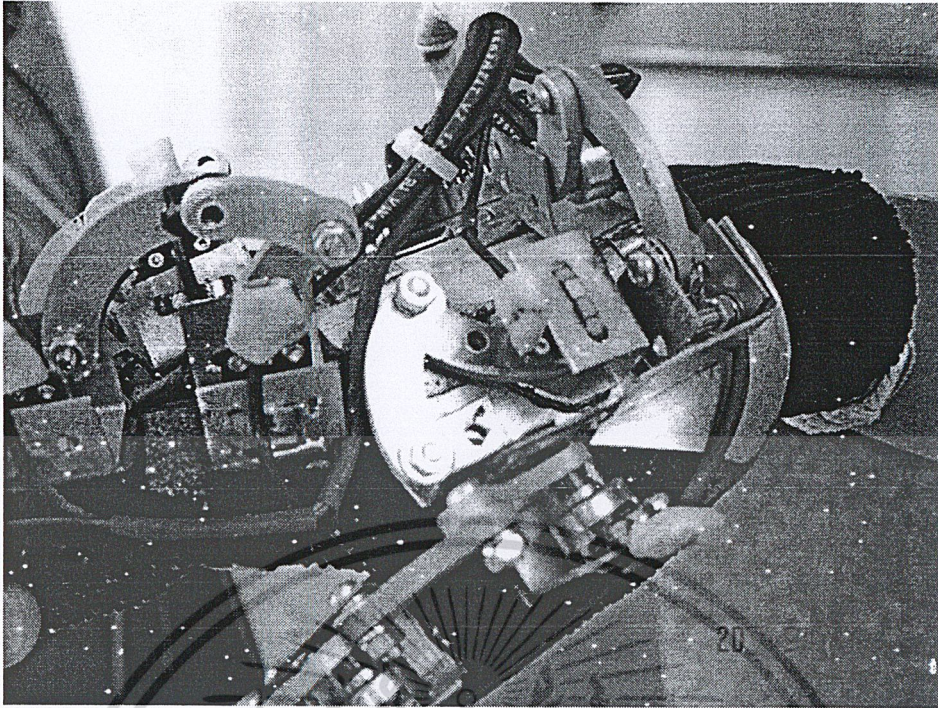
การเคลื่อนไหวในแนวแฉับดักชั้น / แฉัดดักชั้น นั้นจะมีในข้อ MCP ของนิวโป่งซึ่งการออกแบบก็มีลักษณะคล้ายกับส่วนของการตรวจจับการเคลื่อนไหวในแนวฟลอคชัน / เอ็ชเทนชัน แต่มีลักษณะของการยึดในแนวที่ต่างกัน การเคลื่อนไหวในแนวนี้มีองศาไม่มากนัก ซึ่งมีลักษณะของการยึดดังในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การออกแบบในส่วนการเคลื่อนไหวในแนวแฉับดักชั้น / แฉัดดักชั้น

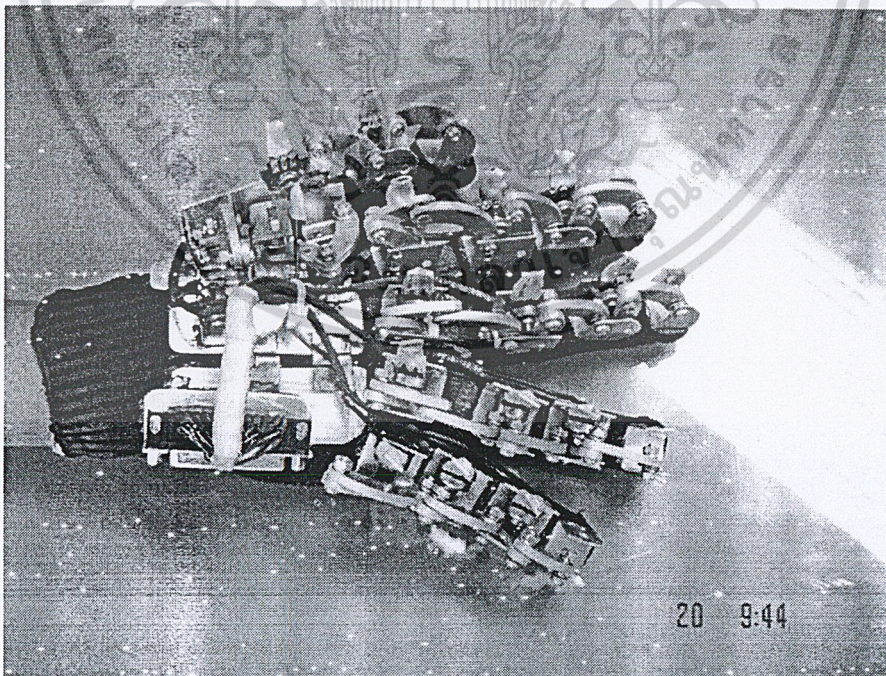
การเคลื่อนไหวของนิวโป่งในแนวโรตชัน สำหรับการออกแบบเซนเซอร์เพื่อตรวจจับในส่วนนี้นั้นจะคล้ายกับส่วนที่ ของการตรวจจับการเคลื่อนไหวในแนว ฟลอคชัน / เอ็ชเทนชัน ทุกประการเพียงแต่การจับยึดตัวเซนเซอร์ คนละแนวกัน การเคลื่อนไหวในแนวนี้ มีองศาของการเคลื่อนไหวน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การเคลื่อนไหวของนิ้วโป่งในแนวโรตชัน

ซึ่งเมื่อนำการออกแบบการตรวจสอบการเคลื่อนไหวในแต่ละส่วนมาประกอบกันก็จะได้ถุงมือซึ่งมีลักษณะ ดังรูปที่ 4.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.9 รูปแบบถุงมือที่สามารถตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือที่ออกแบบไว้เพื่อใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การออกแบบส่วนของวงจรถิเล็กทรอนิกส์

##### 4.4.1 แนวคิดของการออกแบบวงจร

ในโครงการนี้ เราได้ศึกษาเซนเซอร์มาหลายชนิด ซึ่งหลักๆ มีดังนี้

- ความต้านทานปรับค่าได้
- เบนเซนเซอร์ (Bend Sensors)
- ฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์ (Hall Effect Sensors)
- โคคดิชเซนเซอร์ (Code Disc Sensors)
- สเตรนเกจ (Strain Gauge)
- ไฟเบอร์ออปติก (Fiber Optic)

ซึ่งในโครงการนี้เราเลือกใช้ความต้านทานปรับค่าได้เป็นเซนเซอร์ในวงจร เมื่อได้เซนเซอร์แล้ว ส่วนที่เราจะต้องพิจารณาคัดไปคือวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งได้เลือกใช้ไอซี ADC0817 ในโครงการนี้ เนื่องจากเราเลือกความต้านทานปรับค่าได้เป็นเซนเซอร์ของเรา ดังนั้นเราเพียงแค่อ่านค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป มาเปลี่ยนเป็นค่าแรงดันที่เปลี่ยนไปแทน โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่านความต้านทานปรับค่าได้ ดังสมการ  $V = IR$  ซึ่งจะเห็นจากสมการ จะได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้า (V) นั้นแปรผันตามกับค่าความต้านทาน (R)  $V \propto R$  เราจึงอาศัยค่าแรงดันที่เปลี่ยนไปนั้นผ่าน ADC ธรรมดา ซึ่งจะทำการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป ไปเป็นสัญญาณดิจิทัลได้

จากนั้น เราก็มาหาวิธีการในการจัดรูปแบบการทำงานของวงจรทั้งหมด ซึ่งหัวใจแห่งการทำงานทั้งหมดของวงจรมันก็คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นไอซีอเนกประสงค์ เราสามารถโปรแกรมสั่งให้ไอซีตัวนี้ทำงานต่างๆ ตามที่เราต้องการได้ ในโครงการของเราต้องการไอซีนี้ในการควบคุมการรับข้อมูลจาก ADC0817 ว่าจะทำการรับข้อมูลที่ละค่าจากเซนเซอร์ตัวไหนในแต่ละเวลาหนึ่งๆ เพื่อที่จะได้นำข้อมูลที่ได้รับเข้ามาทำการจัดการตรวจสอบและประมวลผลค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปเพื่อทำการขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ตามต้องการ

วงจรขับเคลื่อน เป็นวงจรที่ใช้ขยายกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อช่วยในการขับเคลื่อนมอเตอร์ซึ่งไม่สามารถขับเคลื่อนได้โดยตรงจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งส่วนนี้ก็คือว่าสำคัญที่ช่วยในการนำสัญญาณที่ได้ทำการประมวลผลไปใช้งานให้ได้มากขึ้น

##### 4.4.2 การออกแบบวงจรถอนโทรล

เหตุผลที่เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายประการดังนี้

1. หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช(Flash Memory) ทำให้สามารถเขียนและลบได้ใหม่เป็นพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุทเอาต์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

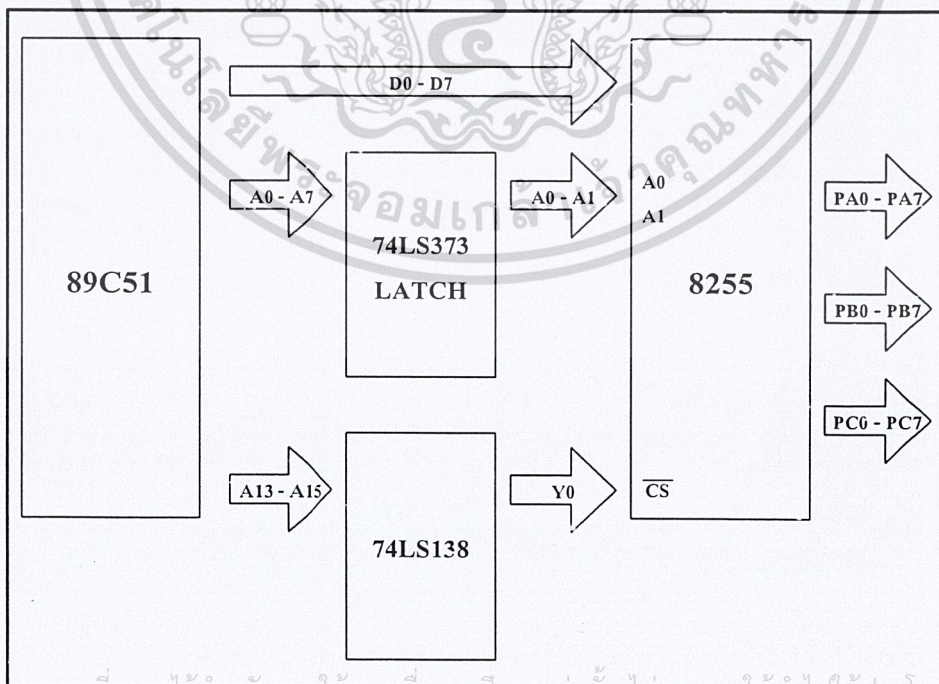
เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นเหตุและเวลาในการพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลงอย่างมาก เนื่องจากไม่ต้องใช้ค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ เครื่องมือพัฒนาจำพวกอิมูเตเตอร์ และเครื่องโปรแกรมเมอร์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. บริษัทผู้ผลิตได้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ขึ้นมาหลายเบอร์และมีความสามารถแตกต่างกันไป ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานสูง
4. ด้วยการใช้งานหน่วยความจำภายในตัวทำให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้เป็นอย่างดี

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 อุนุกรม AT89xx

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียู ขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้เป็นพันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม
- ขาพอร์ตเป็นแบบ 2 ทิศทางสามารถใช้งานได้ทั้ง เป็น อินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทเมอร์ / เคาน์เตอร์ อย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งอินเทอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรถ้าเน็คสัญญาณนาฬิกาภายในชิป

วงจรถอนโทรลใช้ MCS - 51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ และต่อขยาย Port ด้วย IC 8255 เพื่อให้มีพอร์ตใช้งานได้เพียงพอเราออกแบบให้มีการขยายพอร์ตโดยใช้ IC 8255 จำนวน 3 ตัว โดยมี IC เบอร์ 74LS373 เป็นตัวแลตช์ข้อมูล และสร้างควมถี่ในการประมวลผลโดยคลิสตอล ความถี่ 11.0592 MHz เป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับวงจรถอนโทรล ซึ่งวงจรถอนโทรลที่ออกแบบไว้มีลักษณะดังรูปด้านล่างนี้



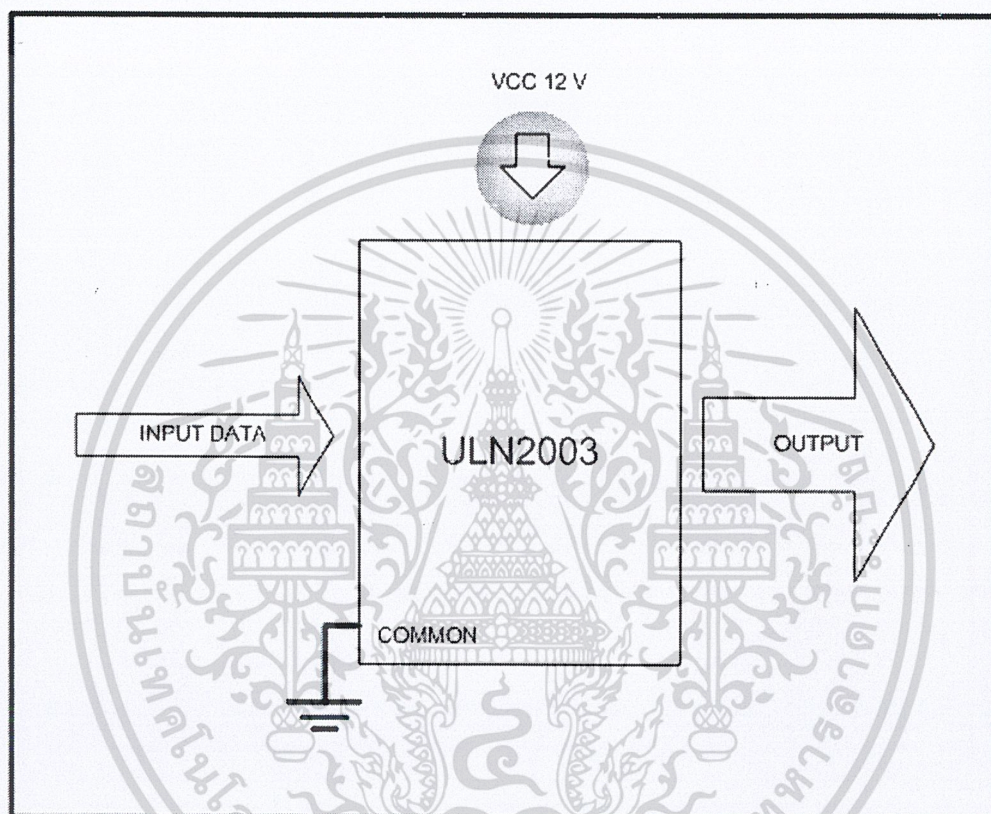
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังได้แจ้งไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องว่าจริงจึงแจ้งความเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรถอนโทรล

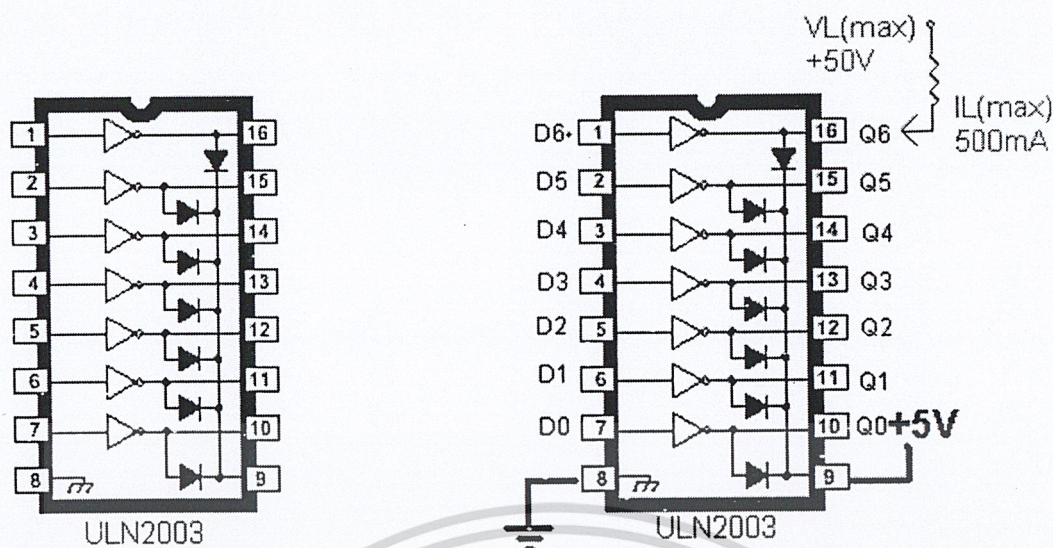
#### 4.4.3 การออกแบบวงจรไครเวอร์

ส่วนของวงจรไครเวอร์ ออกแบบไว้เพื่อขับมอเตอร์ซึ่งใช้ IC เบอร์ ULN 2003 เป็นตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยเราออกแบบไว้ให้ใช้ ULN 2003 จำนวนถึง 10 ตัวเพราะเราใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนมีอกถึง 16 ตัวและเป็นสเต็ปป์มอเตอร์ 4 สเต็ป ซึ่ง IC หนึ่ง ตัวสามารถขับได้ 7 บิต รูปวงจรรไครเวอร์ที่ออกแบบไว้มีลักษณะดังรูปด้านล่างนี้ แต่รูปข้างล่างนี้เป็นแค่ส่วนหนึ่งของวงจรที่สร้างขึ้นมาจริง ซึ่งลักษณะการใช้งานนั้นก็ ต่อในลักษณะเดียวกัน จึงเอามาแค่พอเป็นตัวอย่างให้ดูเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรรไครเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 รูปแสดงโครงสร้างภายในของตัวไอซีไดรเวอร์เบอร์ ULN2003 และการจัดขาของไอซี

ULN2003 มีรูปแบบการจัดขาและวงจรภายในแสดงดังรูปด้านบน ภายใน ULN2003 บรรจุ อินเวอร์เตอร์เกตแบบ คอลเล็กเตอร์เปิด 7 ตัว สามารถใช้กับแรงดันได้สูงสุด +50V กระแสเอาต์พุตสูงสุดในแต่ละขาเท่ากับ 500mA ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการจ่ายกระแส ของแหล่งจ่ายไฟด้วย นอกจากนี้ยังต่อไดโอดป้องกันแรงดันย้อนกลับ จากอุปกรณ์เอาต์พุตที่มี โครงสร้างเป็นขดลวดไว้ที่ทุกขาของเอาต์พุต ทำให้สามารถขับโหลดที่เป็นขดลวด อาทิ รีเลย์ หรือมอเตอร์ไฟตรงขนาดเล็กถึงขนาดกลางได้ทันที

#### 4.4.4 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัล

##### 4.4.4.1 การต่อไอซีแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัล เข้ากับเซนเซอร์

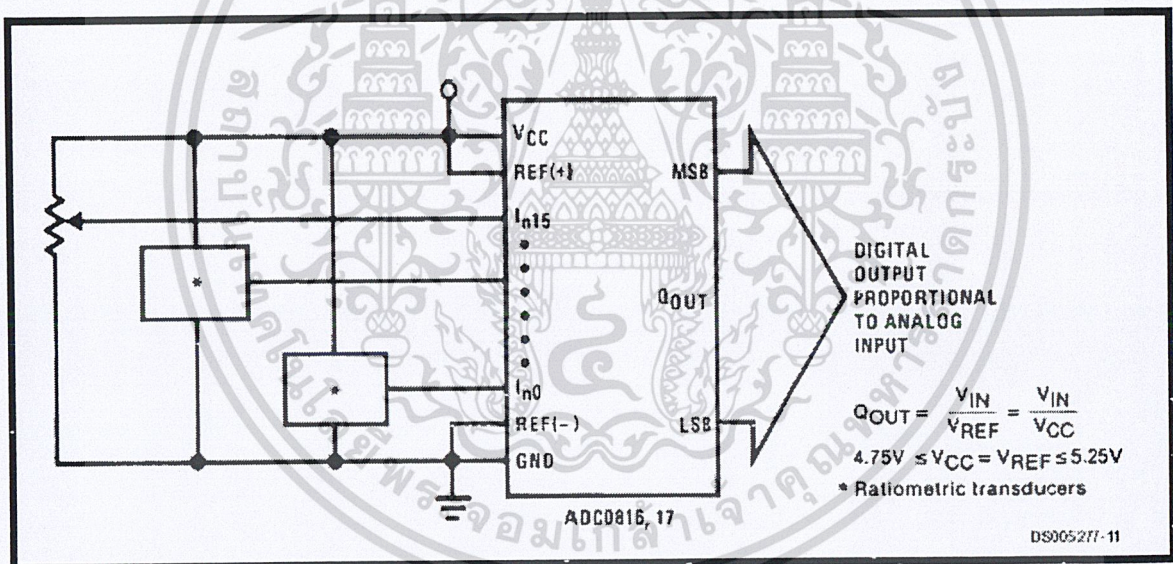
ADC017 ถูกออกแบบเป็นดาต้าแอกวิซชันซิสเต็ม (Data Acquisition System) ที่สมบูรณ์สำหรับการแปลงสัญญาณตามอัตราส่วน(Ratiometric Conversion) ซึ่งในการแปลงสัญญาณตามอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพจะถูกวัดและแสดงค่าโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าที่มากที่สุด (Full scale) ซึ่งไม่จำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับค่าสัมบูรณ์มาตรฐาน (absolute standard) สำหรับค่าแรงดันไฟฟ้าของอินพุตของ ADC0817 แสดงโดยสมการดังนี้

$$\frac{V_{IN}}{V_{fs} - V_Z} = \frac{D_x}{D_{MAX} - D_{MIN}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $V_{IN}$  = แรงดันอินพุตของไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลเบอร์  
ADC0817 (Input voltage into the ADC0847)
- $V_{fs}$  = แรงดันฟูลสเกล (Full – scale voltage)
- $V_z$  = แรงดันศูนย์ (Zero voltage)
- $D_x$  = ข้อมูลที่ทำการวัด (Data point being measured)
- $D_{MAX}$  = ข้อมูลสูงสุด (Maximum data limit)
- $D_{MIN}$  = ข้อมูลต่ำสุด ( Minimum data limit)

ซึ่งการต่อกับ R ปรับค่าได้นั้นเมื่อแกนหมุนของความต้านทานปรับค่าได้เปลี่ยนแปลงตำแหน่งไป ADC0817 จะทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกตลอดตัวมันทั้งหมดซึ่ง ADC0817 มีข้อดีคือ ระยะเวลาวัดที่เป็นอินพุตเท่ากับระยะเวลาแรงดันที่จ่ายให้กับตัว ADC0817 ดังนั้นจึงสามารถต่อแรงดันที่จ่ายให้ตัว ADC0817 คร่อมความต้านทานปรับค่าได้และต่อขาที่ปรับค่าได้เป็นอินพุตให้กับ ADC0817 ได้เลย ดังรูปที่ 4.8

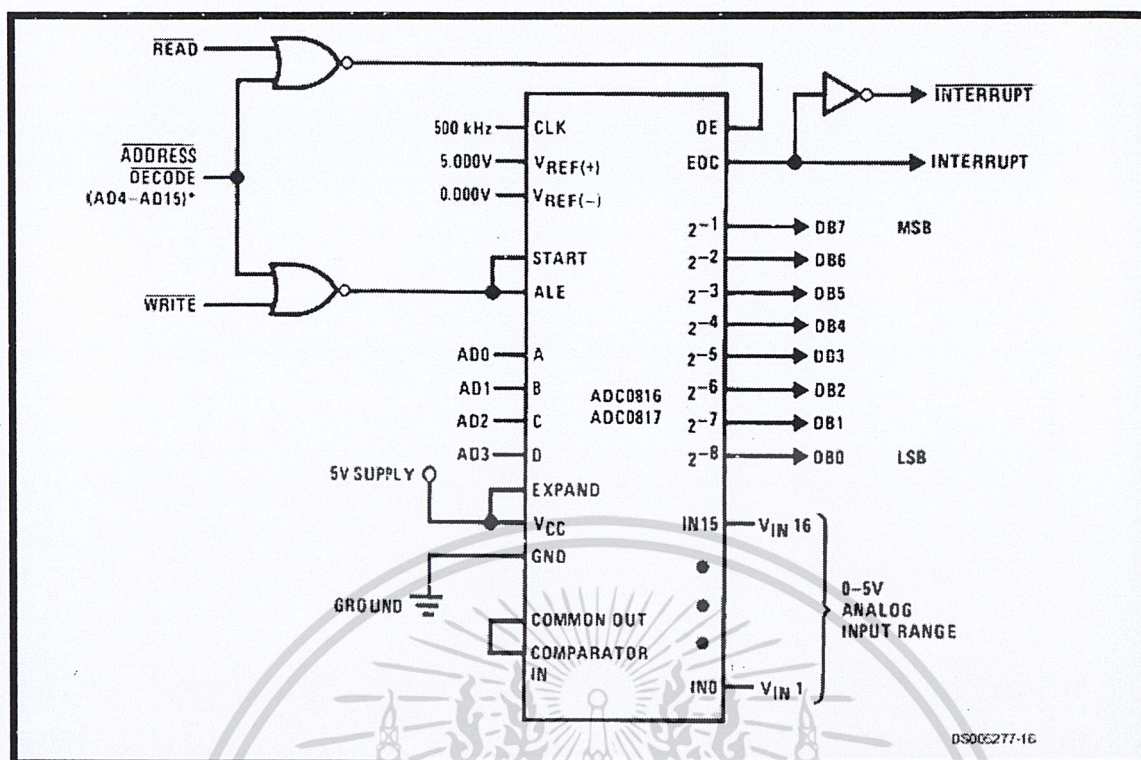


รูปที่ 4.13 เรโซเมตริกซ์ (Ratiometric Conversion System)

#### 4.4.4.2 การใช้งาน ไอซีแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัล

สำหรับการนำ ADC0817 เพื่อนำไปใช้งานจะต่อคล้ายดังรูปที่ 4.9 ซึ่งขา COMPARATOR IN จะต่อเข้ากับ COMPARATOR OUT ซึ่งเป็นการนำค่าสัญญาณ analog ที่ได้จาก multiplexer เข้ามาเป็นอินพุตเพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเลย แต่ส่วนที่ต่อเข้ากับ START, ALE, OE จะเปลี่ยนแปลงไปตามการตีโค้ดแอดเดรส (decode address) เพื่อนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเวลาสำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 การใช้งาน ไอซีแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัล

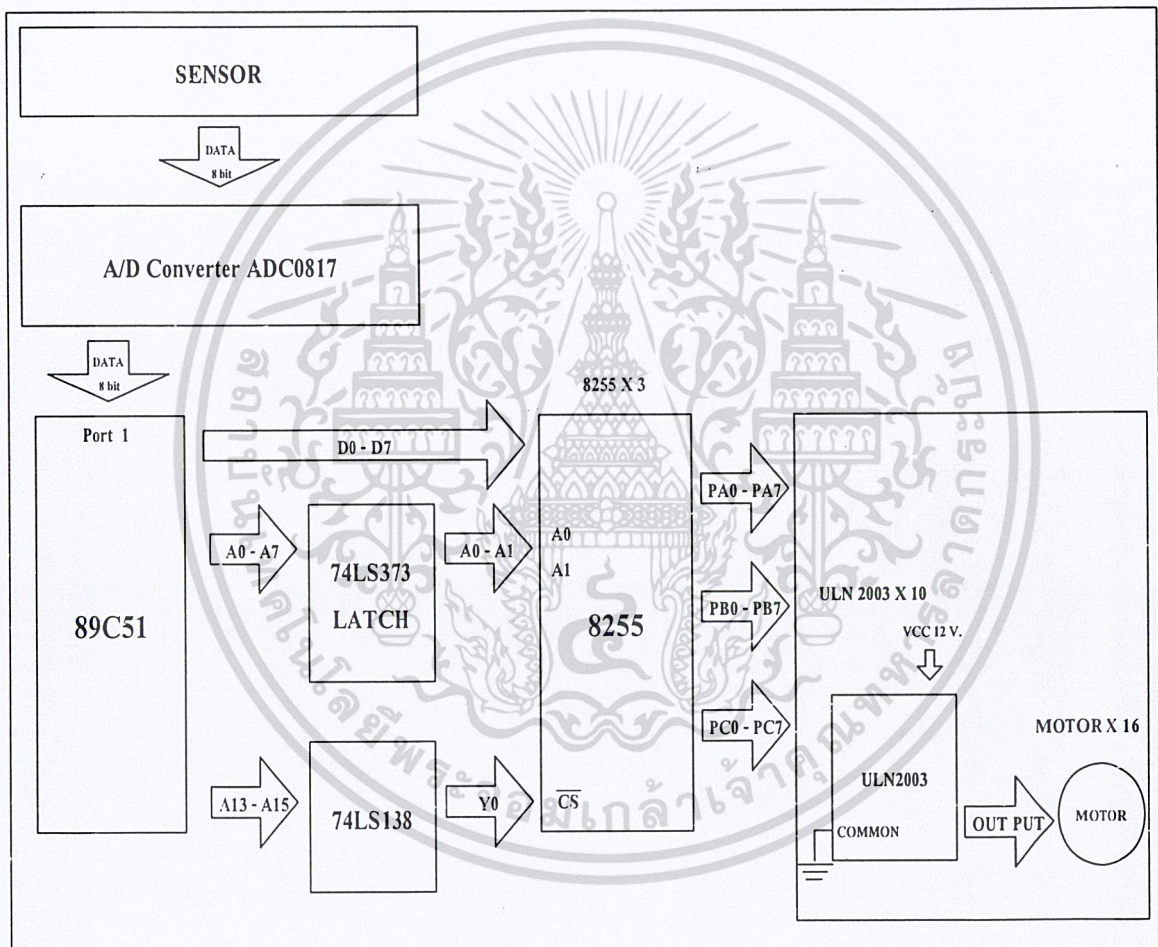
#### 4.4.5 การทำงานของวงจรโดยรวม

จากการวงจรทั้งหมดเราจะใช้ ADC0817 ซึ่งมีจำนวนอินพุตจำนวน 16 อินพุต ซึ่งพอดีกับการทำงาน ส่วนของอินพุตของ ADC0817 จะต่อกับเซนเซอร์ ซึ่งในที่นี้เราใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นเซนเซอร์ และเราจะใช้คอนโทรลเลอร์ 89C51 เป็นตัวทำการควบคุมการอ่านและส่งข้อมูล โดยการอ่านข้อมูลนั้นจะสแกนวนลูปอ่านข้อมูลแต่ละแอดเดรสไปเรื่อย ๆ โดยใช้พอร์ต 1 (ขาที่ 1-8) รับข้อมูลจำนวน 8 บิตมา ส่วนบิตที่ 0-3 ของพอร์ตที่ 2 เป็นตัวดีโค้ดแอดเดรสของ ADC0817 เพื่อเป็นตัวเลือกว่าจะอ่านอินพุตจากตัวต้านทานตัวใดในที่นี้จะทำการวนลูปเพื่อทำการเลือกสัญญาณอินพุตทุกตัว ซึ่งจะเป็นตัวส่งเข้าที่ขา ADD-A ถึง ADD-D ของ ADC0817 เราจะทำการส่งสัญญาณไปยัง ขา ALE เพื่อให้ ADC0817 ทำการแปลงค่าอินพุตที่ได้เลือกไว้ แล้วจะส่งสัญญาณ 1 ออกมาที่ขา EOC เมื่อทำการแปลงสัญญาณเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นเมื่อได้รับสัญญาณ 1 จากขา EOC หลังจากส่วนสัญญาณไปยังส่วนขา ALE ก็ให้ทำการอ่านค่าที่ได้ในพอร์ตที่ 1 ของ 89C51 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการประมวลผลต่อไป

นอกจากนี้ ADC0817 นั้นจะต้องใช้สัญญาณนาฬิกา ในการทำงานดังนั้นเราจึงใช้ 555 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกาซึ่งตามปกติ ADC0817 จะใช้สัญญาณนาฬิกา ได้ตั้งแต่ 10 – 1280 kHz ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ 640 kHz แต่ 555 ตัวที่เราต้องการเพื่อให้ได้สัญญาณนาฬิกา 640 kHz ไม่มีในท้องตลาด(LM555) จึงใช้ 555 ที่มีอยู่ในท้องตลาดทั่วไปซึ่งสร้างสัญญาณนาฬิกาได้สูงสุดประมาณ 250 kHz ซึ่งได้ลองต่อวงจรดูแล้วก็สามารถใช้งานได้เต็มปกติการที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเชื่อมต่อวงจรเข้ากับถ่วงมือจะใช้ DB25 ในการเชื่อมต่อโดยขาที่ 25 ของ DB25 จะเป็น Vcc และขาที่ 24 จะเป็นกราวด์ส่วนขาที่เหลือตั้งแต่ขาที่ 1-16 นั้นจะต่อเข้ากับอินพุตของ ADC0817 โดยการต่อ R ปรับค่าได้ของถ่วงมือนั้นจะต่อ Vcc กับ กราวด์ คร่อมความต้านทานปรับค่าได้ส่วนขาที่เปลี่ยนแปลงค่านั้นจะต่อเป็นอินพุตเข้ากับ ADC0817

เมื่อได้รับข้อมูลจาก ADC0817 เรียบร้อยแล้ว 89C51 ก็จะทำการประมวลผลโดยโปรแกรมที่ได้จัดทำขึ้นเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการแปลงเป็นสัญญาณเพื่อที่จะทำการขับเคลื่อนมอเตอร์ตามที่ต้องการ โดยส่งสัญญาณไปยังไอซี ULN2003 ซึ่งทำหน้าที่ในการเพิ่มแรงดันและกระแสตั้งเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์



รูปที่ 4.15 รูปแสดงการทำงานของวงจรโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# การออกแบบในส่วนของซอฟต์แวร์

หลังจากที่เราได้ออกแบบวงจรทุกอย่างเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จากนั้นเราก็เข้าสู่กระบวนการทางฝั่งซอฟต์แวร์ ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ส่วนของการรับค่า ADC0817 ที่ได้จากการแปลงค่าจากเซนเซอร์ ส่วนต่อไปเป็นการนำข้อมูลที่อ่านได้จากแปลงค่ามาทำการตรวจสอบค่าที่ได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด และส่วนสุดท้ายจะเป็นการนำค่าที่ตรวจสอบได้มาทำการขับเคลื่อนที่ไปตามจำนวนสเต็ปที่ต้องการ

### 5.1 โปรแกรมควบคุมไอซีคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51

โปรแกรมควบคุม 89C51 นั้นเป็นโปรแกรมที่ทำการส่งข้อมูลที่ได้รับจากตัวเซนเซอร์ ซึ่งไอซี 89C51 จะเป็นตัวจัดการกระบวนการการเลือกเซนเซอร์ที่จะส่งไปให้ผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ได้ใช้งานได้

โดยการป้อนข้อมูลบันทึกลงไปไอซี 89C51 นั้น เราจะต้องทำการเขียนโปรแกรมโดยสามารถใช้โปรแกรมภาษาต่างๆ เช่น ภาษาแอสเซมบลี ภาษาซี เป็นต้น โดยเราต้องมีการเลือกใช้คอมไพเลอร์ที่สนับสนุนกับการแปลงข้อมูลเพื่อจะได้ทำการบันทึกลงไอซีได้อีกด้วย

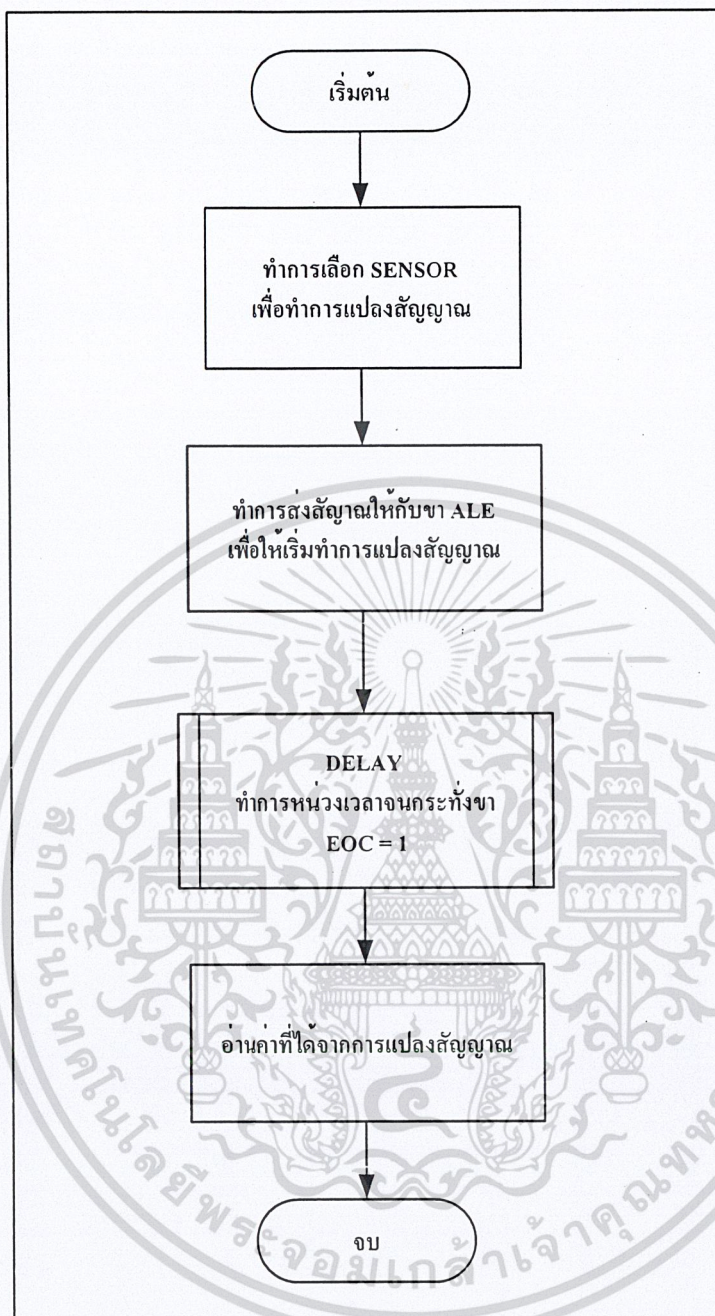
จากนั้นเราก็ทำการเลือกใช้คอมไพเลอร์ในที่นี้โปรแกรมของเราใช้ภาษาแอสเซมบลีในการเขียน โดยคอมไพเลอร์ที่เราใช้นั้นมีชื่อว่า SXA51 ซึ่งเมื่อเราเขียนโปรแกรมในภาษาแอสเซมบลี (ซึ่งจะมีนามสกุลของไฟล์ว่า .ASM) แล้ว SXA51 จะทำการแปลงไฟล์ .ASM ที่ได้ไปเป็นนามสกุล .HEX ถ้าไม่พบข้อผิดพลาดในการเขียนโปรแกรม .ASM นี้ ซึ่งหลังจากนั้น เราก็จะนำไฟล์ .HEX นี้ไปใช้ในการบันทึกข้อมูลลงไอซี 89C51 ด้วยเครื่องบันทึกอีกทีหนึ่ง

### 5.2 โปรแกรมการอ่านค่าจากไอซีแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล

#### 5.2.1 แนวคิดในการเขียนโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมการอ่านค่าจากตัวแปลงสัญญาณนั้นเราจะต้องทำการส่งสัญญาณเริ่มต้นพร้อมทั้งแอดเดรส ของเซนเซอร์ที่ต้องการทำการตรวจวัดเรา เพื่อให้เวลาในการแปลงสัญญาณของไอซีแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอลเบอร์ ADC0817 แล้วเมื่อมีการแปลงข้อมูลเสร็จ ADC0817 จะส่งสัญญาณออกมาทางขา EOC เมื่อใดที่สัญญาณ EOC เป็นหนึ่งเราก็ทำการอ่านข้อมูลที่ได้จาก ADC0817 ได้ โดยในที่นี้การรอจะใช้การหน่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 รูปแสดงการออกแบบโปรแกรมการอ่านค่า

### 5.2.2 การเขียนโปรแกรมอ่านค่าจากไอซี แปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล

ในที่นี้เราจะยกตัวอย่างการอ่านค่าจากไอซี ADC0817 มาเพื่อให้เข้าใจการทำงานของไอซี ADC0817 ก่อนอื่นเราต้องสร้างฟังก์ชันในการหน่วงเวลาเพื่อรอการแปลงข้อมูล (ให้ชื่อฟังก์ชัน Delay)

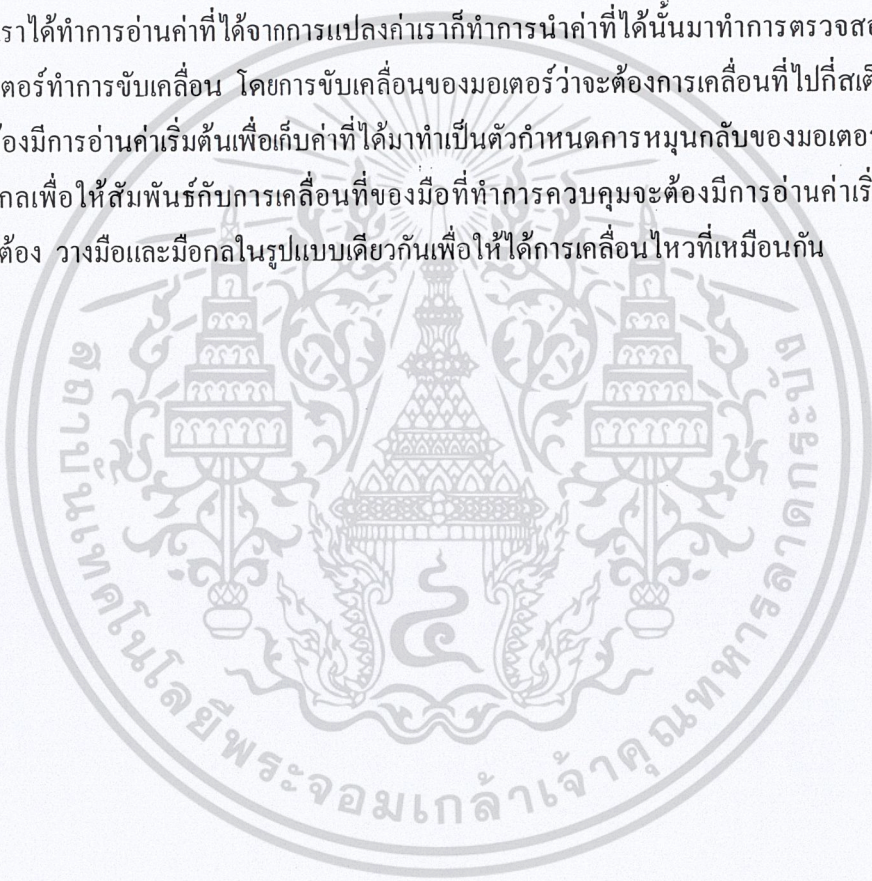
ดังนั้นเราทำการส่งสัญญาณไปยัง ขา ALE ของ ADC0817 แล้วทำการรอการแปลงสัญญาณแล้วกลับมาตรวจสอบสัญญาณจากขา EOC ของ ADC0817 ว่าเป็น 1 หรือยัง เมื่อเป็น 1 แล้วก็ทำการอ่านค่าจากพอร์ทคิงตัวอย่างต่อไปนี้

MOV P2,#00000000B ;ส่งข้อมูลแอดเรส 000 (ในที่นี้ใช้บิต 0-3 เป็นแอดเดรส)  
 SETB P2.4  
 CLR P2.4 ;ส่งสัญญาณให้กับขา ALE  
 CALL DELAY ;ทำการรอนน ขาEOC เป็น 1  
 MOV A,P1 ;อ่านค่าจากพอร์ท ก็จะได้ค่าที่ได้มาจากการแปลงสัญญาณ

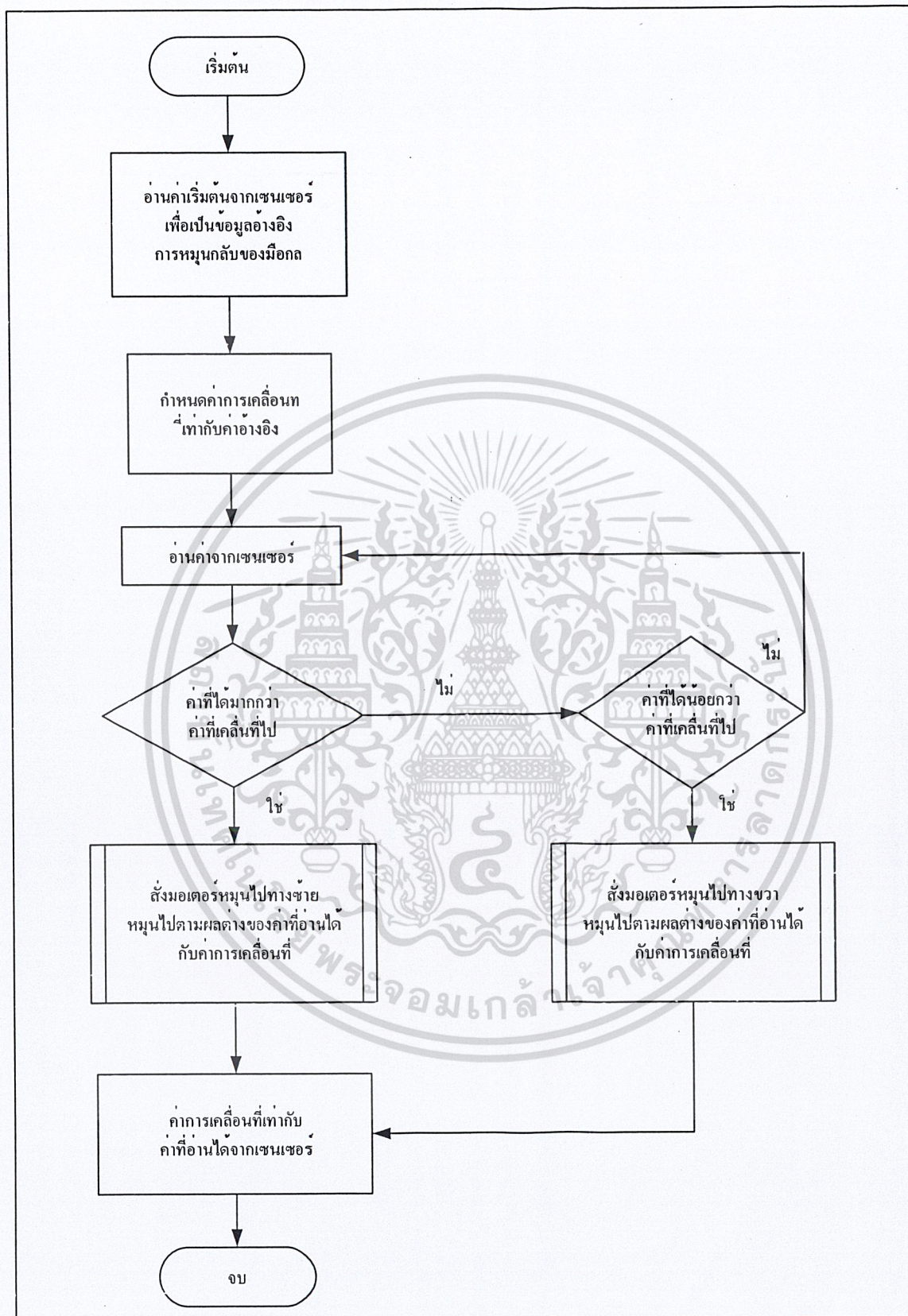
### 5.3 โปรแกรมทำการตรวจสอบค่า

#### 5.3.1 แนวคิดในการตรวจสอบค่า

เมื่อเราได้ทำการอ่านค่าที่ได้จากการแปลงค่าเราก็ทำการนำค่าที่ได้นั้นมาทำการตรวจสอบเพื่อที่จะทำการสั่งให้มอเตอร์ทำการขับเคลื่อน โดยการขับเคลื่อนของมอเตอร์ว่าจะต้องการเคลื่อนที่ไปที่สแต๊ป ดังนั้นเราจะต้องมีการอ่านค่าเริ่มต้นเพื่อเก็บค่าที่ได้มาทำเป็นตัวกำหนดการหมุนกลับของมอเตอร์เนื่องจากการออกแบบมือกลเพื่อให้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของมือที่ทำการควบคุมจะต้องมีการอ่านค่าเริ่มต้น ทั้งนี้ค่าเริ่มต้นนั้นจะต้อง วางมือและมือกลในรูปแบบเดียวกันเพื่อให้ได้การเคลื่อนไหวที่เหมือนกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 5.2 รูปแสดงแนวคิดการออกแบบโปรแกรมการตรวจสอบค่า

### 5.3.2 การเขียนโปรแกรม

เริ่มต้นจากการอ่านค่าที่ได้จากเซนเซอร์ทุกตัวเพื่อเก็บค่าเริ่มต้น เพื่อใช้เป็นลิมิตของการเคลื่อนที่เวลา มีอกลเคลื่อนที่กลับ และส่วนของการเคลื่อนที่นั้นก็ทำการอ่านค่าเข้ามาได้ก็ทำการเปรียบเทียบกับค่าก่อนหน้า ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ก็ทำการสั่งให้มอเตอร์เคลื่อนที่หมุนตามเข็ม หรือทวนเข็มนาฬิกาตามค่าที่เปรียบเทียบ และจะหมุนไปมากน้อยก็อยู่กับค่าที่เปรียบเทียบได้

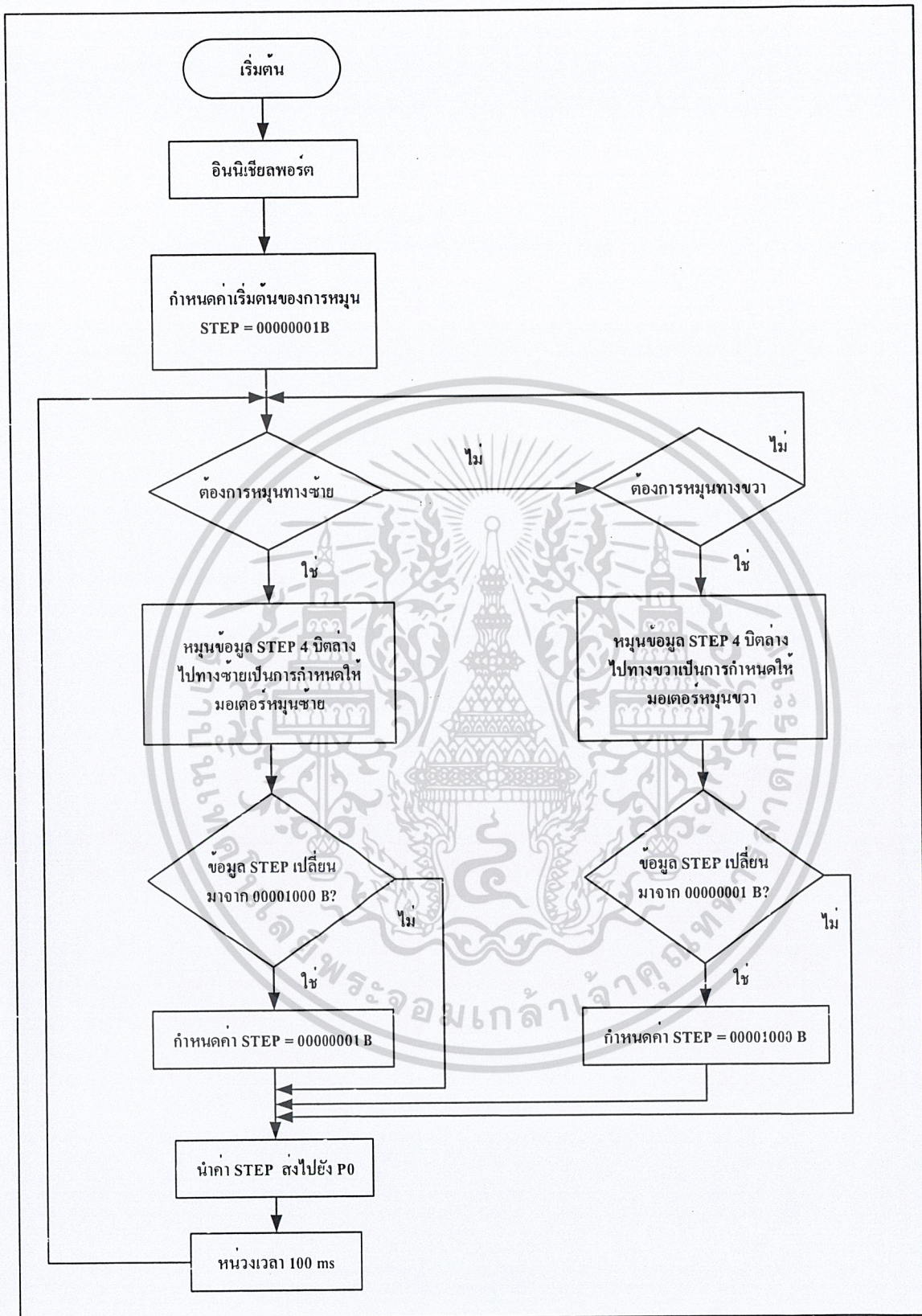
## 5.4 โปรแกรมการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

### 5.4.1 แนวคิดในการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

ในวงจรได้มีการขยายพอร์ตโดยใช้ 8255 เพื่อให้มีการทำงานของ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ได้หลายตัว ดังนั้นการควบคุมจะต้องทำการควบคุมการทำงานผ่าน 8255 ทั้งนี้การสั่งมอเตอร์ผ่าน 8255 หรือการสั่งหมุนมอเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยตรงก็ตามจะมีวิธีการเหมือนกันคือทำการ วนลูปในการขับเคลื่อน โดยการเลื่อนบิตเพื่อให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ทำงาน แต่ในส่วนของการควบคุมผ่าน 8255 จะต้องทำการเลือกพอร์ตก่อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 5.3 รูปแสดงการออกแบบโปรแกรมการขับมอเตอร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.4.2 การเขียนโปรแกรมการขับมอเตอร์

เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจจะแสดงให้เห็นในลักษณะของการขับมอเตอร์ 89C51 พอร์ต 0 ดังนั้นจึงขอยกตัวอย่างการสั่งขับเคลื่อนมอเตอร์ผ่านพอร์ต 0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

```
STEP      EQU  030H
          ORG  0000H
          MOV  P0,#00H
MAIN:     MOV  STEP,#00000001B
          MOV  P0,STEP

LOOP:     CJNE A,#01H,ROTATE_LEFT
          AJMP ROTATE_RIGHT
```

;เป็นการหมุนมอเตอร์ทางด้านซ้าย

```
ROTATE_LEFT:MOV A,STEP
            SWAP A
            CLR  C
            RLC  A
            JNC  NEXT_LEFT
            MOV  A,#00010000B
NEXT_LEFT:  SWAP A
            MOV  STEP,A
            MOV  P0,STEP
            ACALL DELAY_100ms
            AJMP LOOP
```

;เป็นการหมุนมอเตอร์ทางด้านขวา

```
ROTATE_RIGHT: MOV A,STEP
              CLR  C
              RRC  A
              JNC  NEXT_RIGHT
              MOV  A,#00001000B
NEXT_RIGHT:   MOV  STEP,A
              MOV  P0,STEP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## AJMP LOOP

```

*****
;
;          ทำการหน่วงเวลา 100 ms เพื่อรอให้มอเตอร์เคลื่อนที่
;
*****
DELAY_100ms: MOV R7,#100
DELAY_100ms_1: MOV R6,#0E6H
DELAY_100ms_2: NOP
                NOP
                DJNZ R6,DELAY_100ms_2
                DJNZ R7,DELAY_100ms_1
                RET

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6

## ผลการทดลอง

### 6.1 การทดสอบการทำงานของถุงมือโดยการวัดค่าแรงดันจากตัวเซนเซอร์

ในการทดลองนี้เราได้ทำการทดสอบการทำงานของถุงมือโดยการ จ่ายไฟให้แก่วงจรจากนั้นก็ทำการวัดค่าแรงดันจากตัวเซนเซอร์ โดยใช้มัลติมิเตอร์ดิจิทัล วัดค่าแรงดันในลักษณะต่างๆ ซึ่งการทดลองนี้ไม่ได้เขียนโปรแกรมทดสอบ เป็นเพียงการต่อไฟเข้ากับวงจรแล้วทำการวัดค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเคลื่อนไหวของนิ้วมือในแต่ละข้อ โดยเราได้จ่ายไฟบวก 5 V ให้แก่วงจรหรือตัวเซนเซอร์ของมือ จากการเคลื่อนไหวของมือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่ของมือ เราจึงได้ทำการทดสอบการวัดค่าที่ได้ในลักษณะที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานที่เราได้นำมาเพื่อเป็นตัวเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของการขยับของนิ้วมือ

การทดลองนี้ทำเพื่อทดสอบการขยับของถุงมือว่าทำให้ตัวต้านทานที่ใช้เป็นเซนเซอร์ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามการขยับของนิ้วมือและมีค่าความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด เราได้แบ่งวิธีการทดสอบออกเป็นส่วนตัวต่างเพื่อทำการวัดค่าแรงดันดังนี้

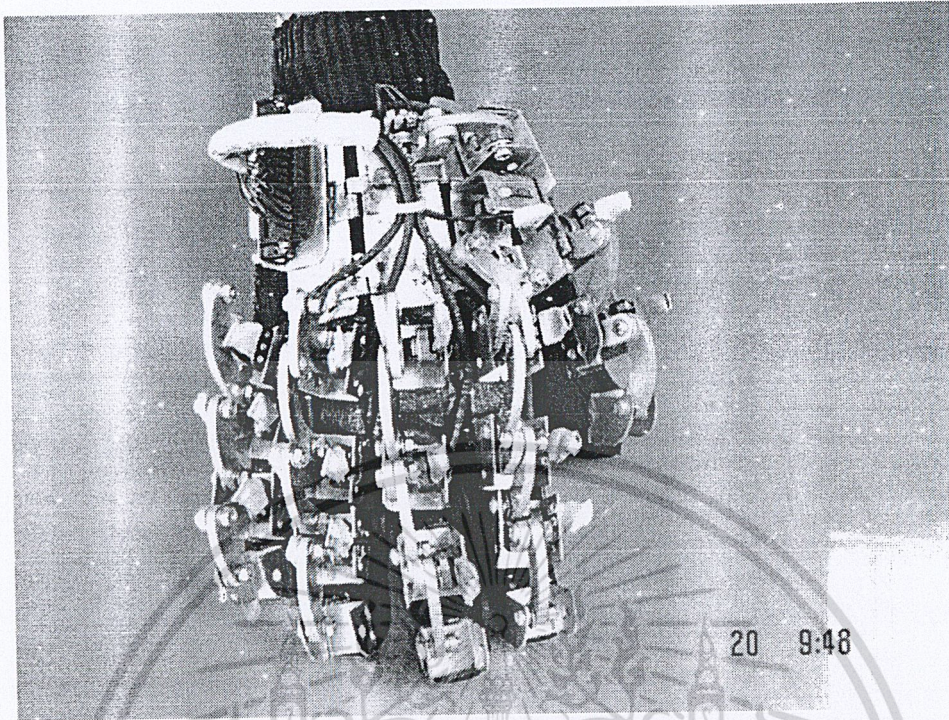
#### ส่วนที่ 1 ไม่ขยับนิ้วมือ

- ทำการตรวจวัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานปรับค่าได้ขณะที่ทำการใส่ถุงมือแล้วเขี่ยนิ้วมือแบบราบกับพื้นและไม่กางนิ้วมือ
- ทำการตรวจวัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานปรับค่าได้ขณะที่ทำการใส่ถุงมือแล้วเขี่ยนิ้วมือแบบราบกับพื้นและทำการกางนิ้วมือ
- ทำการตรวจวัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานปรับค่าได้ขณะที่ทำการไม่ใส่ถุงมือแล้ววางถุงมือราบกับพื้น

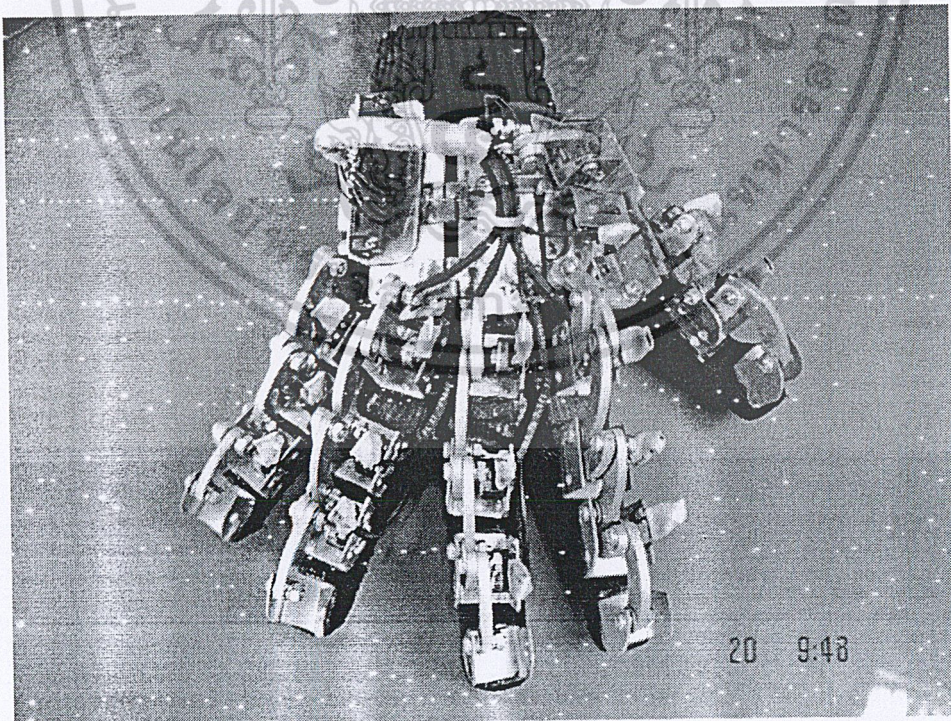
#### ส่วนที่ 2 ขยับนิ้วมือ

- ทำการตรวจวัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานปรับค่าได้ขณะที่ทำการใส่ถุงมือแล้วขยับนิ้วมือแต่ละส่วนให้มากที่สุด
- ทำการตรวจวัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานปรับค่าได้ขณะที่ทำการใส่ถุงมือแล้วทำการกำนิ้วมือ
- ทำการตรวจวัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานปรับค่าได้ขณะที่ทำการไม่ใส่ถุงมือแล้วขยับแต่ละส่วนของข้อนิ้วมือให้ได้ตั้งฉากกันหรือถ้าส่วนที่ไม่ถึงก็มากที่สุด

ผลการทดลองในลักษณะต่างๆดังแสดงในตารางข้างล่างทั้ง 2 ตาราง นี้ และ วิธีการวัดค่าต่างๆ แสดงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

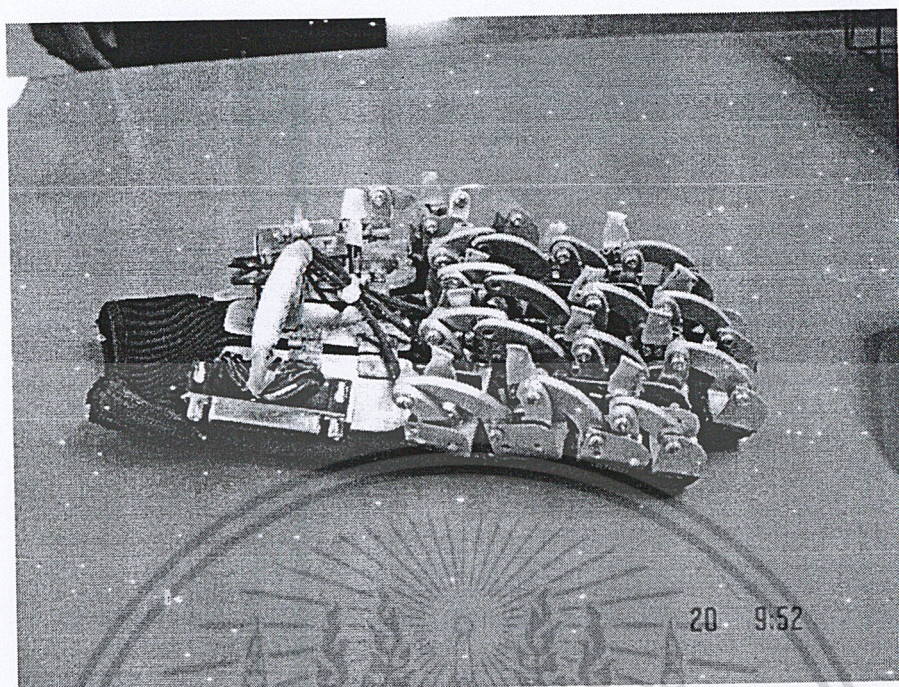


รูปที่ 6.1 แสดงการวัดค่าแรงดันที่ตัวเซนเซอร์ขณะใส่ถุงมือโดยไม่กางมือ



รูปที่ 6.2 แสดงการวัดค่าแรงดันที่ตัวเซนเซอร์ขณะใส่ถุงมือโดยการกางมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



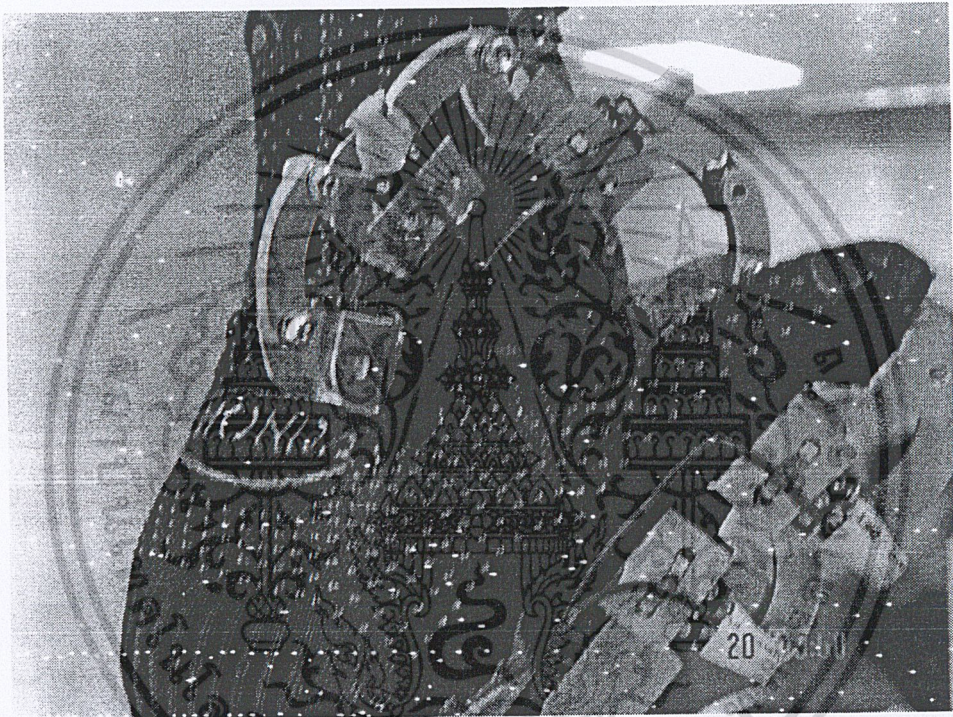
รูปที่ 6.3 แสดงการวัดค่าแรงดันที่ตัวเซนเซอร์ขณะที่ถอดถุงมือวางบนพื้นราบ

นิ้วมือ	ชื่อของเซนเซอร์ ในแต่ละข้อ	ค่าที่วัดได้ขณะ ใส่ถุงมือ ไม่กางมือ (V)	ค่าที่วัดได้ขณะ ใส่ถุงมือ กางมือ (V)	ค่าเฉลี่ยขณะ ใส่ถุงมือ (v)	ค่าที่วัดได้ขณะ ถอดถุงมือวาง บนพื้นราบ (V)
นิ้วก้อย	DIP	3.57	3.47	3.52	3.89
	PIP	3.86	3.95	3.90	3.38
	MCP	4.09	4.10	4.10	4.16
นิ้วนาง	DIP	4.09	4.07	4.08	4.06
	PIP	3.68	3.68	3.68	3.58
	MCP	3.83	4.11	3.97	3.65
นิ้วกลาง	DIP	4.54	4.38	4.46	4.33
	PIP	3.65	3.71	3.68	3.38
	MCP	3.89	3.99	3.94	4.45
นิ้วชี้	DIP	3.92	3.90	3.91	3.64
	PIP	3.91	3.87	3.89	3.96
	MCP	4.36	4.60	4.48	3.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

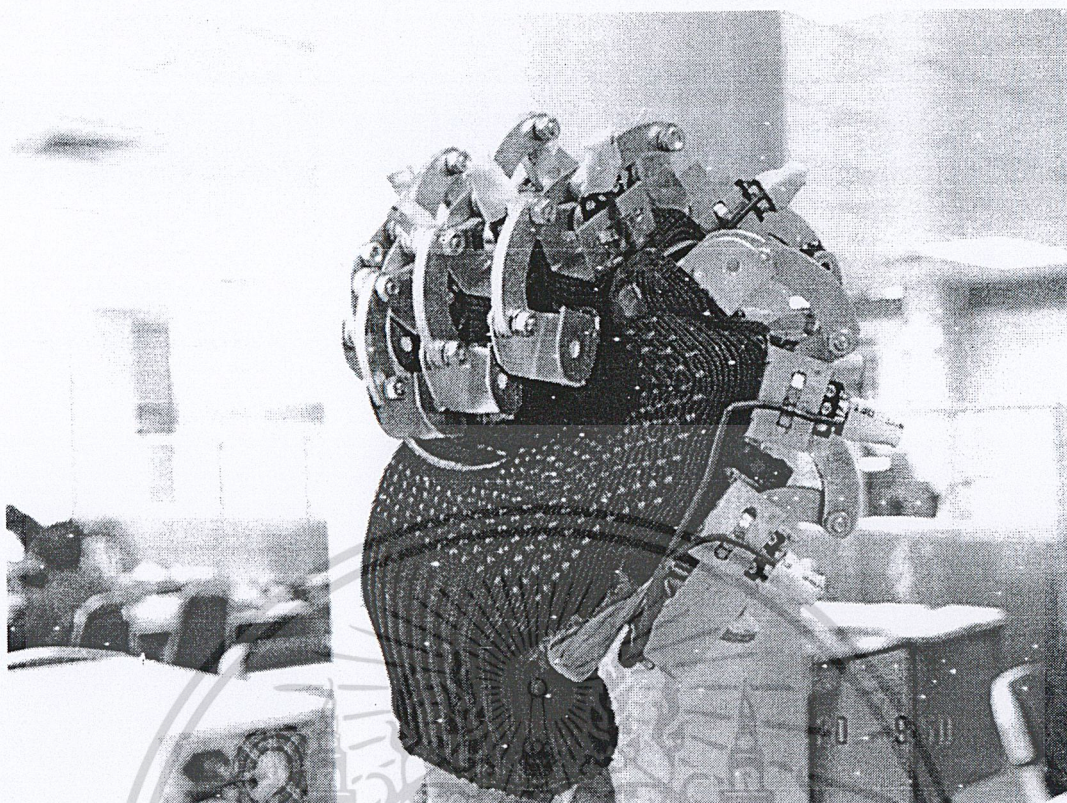
นิ้วโป้ง	IP	3.96	3.84	3.90	3.63
	MCP	3.37	3.41	3.39	3.30
	Abduction Sensor	4.92	4.78	4.85	4.80
	Rotation Sensor	3.38	3.49	3.44	3.77

ตารางที่ 6.1 ตารางการทดสอบการทำงานของถุงมือเมื่อไม่มีการขยับของนิ้ว



รูปที่ 6.4 แสดงการวัดแรงดันที่ตัวเซนเซอร์ขณะที่ใส่ถุงมือและขยับให้นิ้วงอเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 แสดงการวัดแรงดันที่ตัวเซนเซอร์ขณะที่กำมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิ้วมือ	ชื่อของเซนเซอร์ ในแต่ละข้อ	ค่าที่วัดได้ขณะ ใส่ถุงมือขยับนิ้ว เต็มที่ (V)	ค่าที่วัดได้ขณะ กำมือ (V)	ค่าที่วัดได้ขณะถอดถุง และขยับตัวเซนเซอร์ เต็มที่ (V)
นิ้วก้อย	DIP	2.13	2.83	2.04
	PIP	2.65	2.59	2.39
	MCP	3.81	3.70	2.35
นิ้วนาง	DIP	2.56	3.13	2.57
	PIP	2.52	2.44	2.41
	MCP	3.16	3.06	2.34
นิ้วกลาง	DIP	3.09	2.94	2.61
	PIP	2.88	2.64	2.54
	MCP	2.57	2.56	2.05
นิ้วชี้	DIP	2.70	2.73	2.62
	PIP	2.29	2.11	2.42
	MCP	3.00	3.20	2.24
นิ้วโป้ง	IP	2.95	2.98	2.74
	MCP	2.44	3.19	2.37
	Abduction Sensor	4.52	4.52	4.63
	Rotation Sensor	2.98	2.76	2.76

ตารางที่ 6.2 ตารางทดสอบการทำงานของถุงมือเมื่อมีการขยับของนิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิ้วมือ	ชื่อของเซนเซอร์ ในแต่ละข้อ	ค่าเฉลี่ยขณะ ใส่ถุงมือ (v)	ค่าที่วัดได้ขณะ ใส่ถุงมือขยับนิ้ว เต็มที่ (V)	ผลต่างของ การขยับนิ้วมือ(v)
นิ้วก้อย	DIP	3.52	2.13	1.39
	PIP	3.90	2.65	1.25
	MCP	4.10	3.81	0.29
นิ้วนาง	DIP	4.08	2.56	1.52
	PIP	3.68	2.52	1.16
	MCP	3.97	3.16	0.81
นิ้วกลาง	DIP	4.46	3.09	1.37
	PIP	3.68	2.88	0.80
	MCP	3.94	2.57	1.37
นิ้วชี้	DIP	3.91	2.70	1.21
	PIP	3.89	2.29	1.60
	MCP	4.48	3.00	1.48
นิ้วโป้ง	IP	3.90	2.95	0.95
	MCP	3.39	2.44	0.95
	Abduction Sensor	4.85	4.52	0.33
	Rotation Sensor	3.44	2.98	0.46

ตารางที่ 6.3 ตารางการเปรียบเทียบการขยับของนิ้วมือ

## 6.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ผ่านมาเราพบว่าเมื่อใส่ถุงมือและ ทำการขยับ ก็จะทำให้ค่าความต้านทานของตัวเซนเซอร์มีการเปลี่ยนแปลงทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยดังนั้นค่าที่วัดได้ในตารางมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของการเคลื่อนไหวของข้อของนิ้วต่างๆ โดยการเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นไปอย่างอิสระต่อกัน กล่าวคือถ้าข้อไหนมีการขยับค่าแรงดันของตัวเซนเซอร์ในข้อนั้นก็จะมีค่าเปลี่ยนแปลง จากการทดลองนี้ถือว่าการทำงานของถุงมือตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือทำงานได้แล้ว

จากการเปรียบเทียบส่วนของการขยับกับสถานะเริ่มต้นทำให้เราสามารถทำให้เราเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันโดยรวมแล้วมีค่าระดับหนึ่ง ซึ่งเพียงพอและมีความละเอียดพอสมควรในการนำไปใช้

งานเนื่องจากว่าการทำแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลนั้น มีอินพุท ตั้งแต่ 0-5 โวลท์ และสามารถแปลงสัญญาณออกมาได้ถึง 8 บิตหรือ 256 ความแตกต่าง ดังนั้นความแตกต่างของระดับแรงดันที่วัดได้ในหนึ่งระดับนั้นคือ ประมาณ 0.02 โวลท์

จากการทดลองส่วนที่แตกต่างน้อยที่สุดนั้นคือ 0.29 โวลท์ ซึ่งสามารถแบ่งแยกความแตกต่างได้ 15 ระดับ จะเห็นว่ามีความละเอียดในการทำงานได้ระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถทำงานได้ดีพอสมควร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 7

## บทวิจารณ์และบทสรุป

### 7.1 สรุปผลการทำงาน

จากการศึกษาและทำงานใน โครงการนี้ทำให้ทราบและเข้าใจถึงการทำงานเพื่อที่จะจัดสร้างและ ออกแบบอุปกรณ์เพื่อใช้งาน หรือเพื่อให้ได้งานตามที่ต้องการนั้นจะต้องมีการออกแบบและศึกษาการทำงาน รวมทั้งการจัดหาอุปกรณ์เพื่อให้สะดวกต่อการปฏิบัติงาน และทำงานได้รวดเร็วขึ้น ในการทำโครงการนี้ ทราบว่าสามารถที่จะทำงานในส่วนของกระบวนการทำงานอุปกรณ์ที่ต้องการได้ ทั้งนี้ยังทำให้ทราบถึงการ ตรวจสอบอินพุตจากส่วนต่างๆ ของร่างกาย หรือในส่วนที่มีการเคลื่อนไหวได้

### 7.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการทำโครงการนี้มีหลายด้านด้วยกันซึ่งจะแบ่งปัญหาที่พบได้ดังนี้ รวมทั้งแนวทางการแก้ไขดังนี้

#### 7.2.1 ปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์

ปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์ที่เจอก็แบ่งออกเป็นปัญหาด้านต่างๆ ดังนี้

##### 7.2.1.1 ปัญหาของมือกล

เป็นปัญหาที่เจอมากที่สุดเนื่องจากการออกแบบมือกลนั้น ต้องใช้ความรู้ทางด้านเครื่องกล เข้ามาเกี่ยวข้องกับค่อนข้างเยอะ ปัญหาที่เจอคือเราต้องใช้เวลาในการศึกษาวิธีการออกแบบมือกล ซึ่งการ ออกแบบนั้นก็ถือว่าไม่ยากมากนักเมื่อได้ศึกษาถึงวิธีการออกแบบมือกลในลักษณะต่างๆ แล้ว แต่ปัญหาที่ สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ เมื่อเราออกแบบมาได้ตามต้องการแล้วต้องจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ มาประกอบเป็นมือกล นั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยากมากที่จะจัดหาอุปกรณ์ให้ได้มาตามแบบที่วางไว้ เพราะอุปกรณ์บางอย่างที่ต้องการ ไม่มีในท้องตลาด หรือบางอย่างมีแต่ก็ไม่ค่อยตรงกับ แบบที่วางไว้ ทำให้ต้องมาปรับเปลี่ยนแบบอยู่เรื่อยๆ ทำให้การทำงานค่อนข้างล่าช้ามาก ซึ่งเป็นปัญหาหลักของการทำโครงการนี้

นอกจากนี้ก็ยังมียังมีปัญหา เรื่องของเครื่องมือที่จะใช้ในการทำโครงการนี้ ซึ่งในห้อง แล็บไม่มี ดังนั้นต้องไปหาเครื่องมือทำข้างนอก ทำให้เสียเวลาในการทำงาน ทั้งนี้การทำงานต้องใช้เครื่องมือในการจัดทำ ชิ้นส่วนบางชิ้นซึ่งต้องใช้ความรู้ในการใช้เครื่องจักร รวมทั้งความชำนาญในการใช้เครื่องจักรดังนั้นการ ทำงานบางชิ้นส่วนจะต้องคอยอาศัยความช่วยเหลือของช่างที่ชำนาญในการทำชิ้นส่วนทำให้งานล่าช้า

##### 7.2.1.2 ปัญหาของถุงมือที่ใช้ตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมือ

ปัญหาในการสร้างถุงมือ ก็มีเยอะเหมือนกัน ถึงแม้ว่าจะมีแนวคิดอยู่บ้างแล้วตามโครงการ เค้าแต่เพื่อเป็นการปรับปรุง หรือพัฒนาให้ดีขึ้นเราก็ต้องมาศึกษา และออกแบบใหม่เพื่อให้ดีขึ้นกว่าเดิม ปัญหา ที่เจอก็คือเมื่อออกแบบมาได้แล้ว อุปกรณ์ที่ต้องการ หาซื้อตามท้องตลาดไม่ได้ ทำให้ต้องปรับแก้แบบใหม่

เพื่อให้สามารถประยุกต์อุปกรณ์ที่มีอยู่ตามห้องตลาดมาใช้ได้ นอกจากนี้เมื่อเราได้ทำการสร้างขึ้นมาแล้วถึงขั้นที่จะต้องทดลองก็มีปัญหาอีกนั่นคือ ผลที่ได้ไม่เป็นไปตามที่ คิดไว้เราก็ต้องกลับมาวิเคราะห์และต้องปรับแก้กันใหม่ กว่าที่จะทำงานได้ตามต้องการ ซึ่งก็ทำให้เสียเวลาในการทำงานพอสมควร แต่ก็สามารถทำงานตามการทดลองที่ได้ทำการทดลองไว้

### 7.2.1.3 ปัญหาของวงจร

ปัญหาของวงจรที่ออกแบบไว้ก็มีอยู่บ้างเหมือนกัน คือปัญหาการจัดซื้ออุปกรณ์ คือ ไอซีเบอร์ ADC0816 ไม่มีขายตามห้องตลาด แต่ก็ได้จัดหาเบอร์อื่นมาแทนคือเบอร์ ADC0817 ซึ่งก็หาซื้อได้ค่อนข้างยากเหมือนกัน มีการทำงานในลักษณะเดียวกัน แต่เบอร์ที่เอามาแทนนี้จะมีค่าความผิดพลาดเยอะกว่า แต่ก็สามารถใช้งานได้

### 7.2.2 ปัญหาทางด้านซอฟต์แวร์

เนื่องจากการทำงานในส่วนของโครงสร้างและวงจรในส่วนของฮาร์ดแวร์มีความล่าช้าจึงส่งผลให้มีเวลาในการทำงานในส่วนของซอฟต์แวร์น้อยทำให้ไม่ได้ปรับปรุงและแก้ไขทำให้งานที่ได้มีปัญหาอยู่บ้าง และในบางครั้งการประกอบในส่วนของวงจรผิดพลาดทำให้การทำงานในส่วนนี้ต้องทำการตรวจสอบและหาข้อบกพร่องลำบากขึ้น

## 7.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

โครงการนี้ยังมีแนวทางที่สารนำไปพัฒนาต่อได้หลายอย่าง เช่น

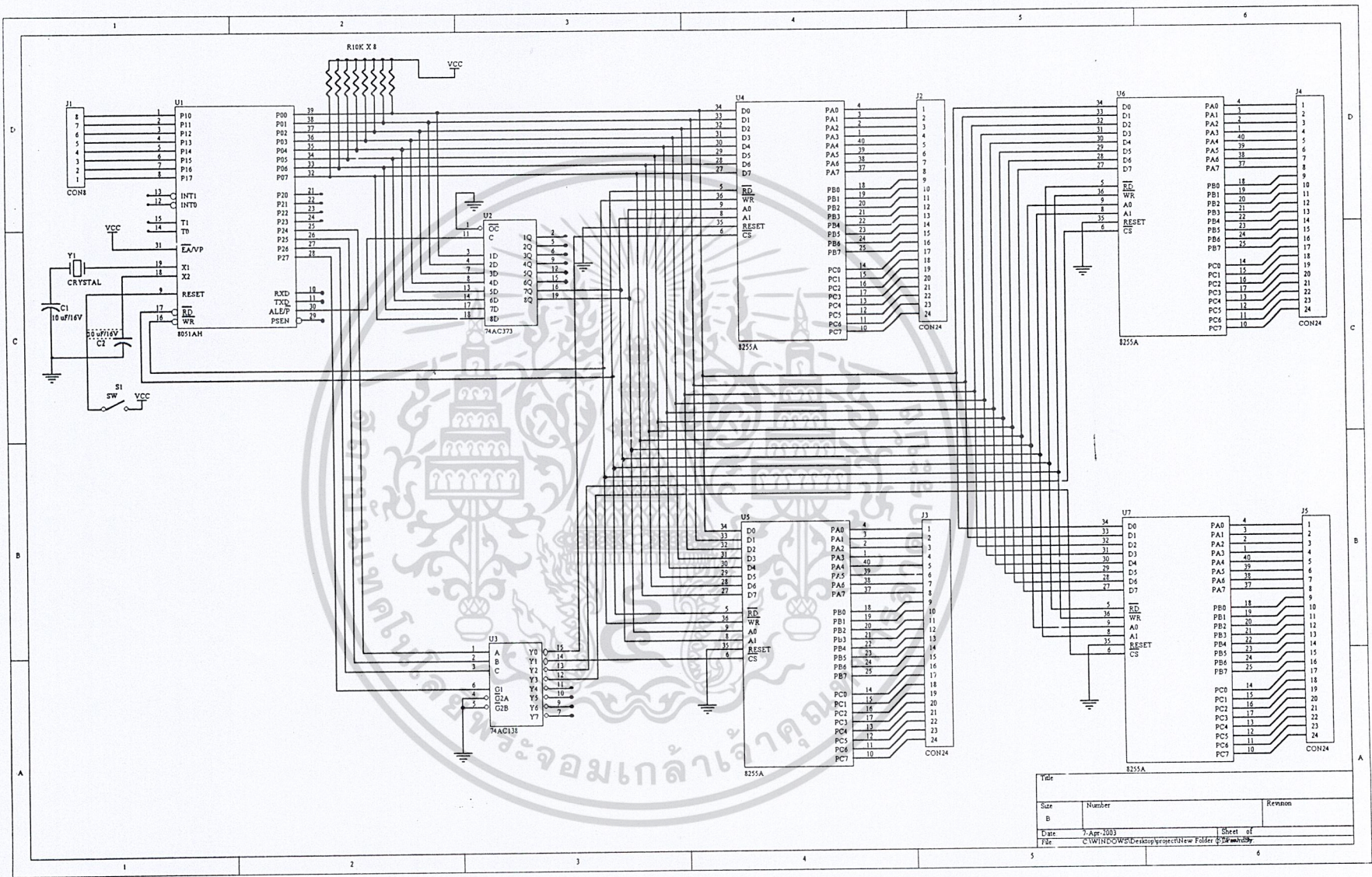
- ออกแบบและพัฒนาถุงมือให้สามารถตรวจสอบการเคลื่อนไหวของ มือให้ครบทุกส่วน หรืออาจจะพัฒนาให้มีการตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ทั้งแขน เพื่อที่เอาไปใช้ในงานต่างๆ ตามความเหมาะสม อาจจะเอาไปใช้เป็น ส่วนควบคุมการทำงานเครื่องมือเรื่องจักรต่างๆ ได้
- ออกแบบและพัฒนาในส่วนของมือกลให้ มีการทำงานเหมือนกับมือมนุษย์ให้มากขึ้นโดยการพัฒนาให้มือกลมีการเคลื่อนไหวได้สะดวกและเป็นอิสระต่อกันให้มากขึ้น รวมทั้งสามารถพัฒนาให้มือกล สามารถหยิบจับของได้ ด้วยการตรวจสอบ การฟีดแบ็ค ( Feedback ) ของแรงที่กระทำกับวัตถุนั้นๆ นอกจากนี้ก็สามารถพัฒนาให้มีทั้งแขนได้เพื่อเป็นต้นแบบที่สมบูรณ์ในการพัฒนาให้สามารถใช้งานในด้านต่างๆ ได้จริง
- การนำส่วนของอินพุทไปทำการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ควบคุมเพื่อให้่ายต่อการควบคุมก็ได้
- นอกจากนี้ยังสามารถนำส่วนอินพุทไปใช้ในการทำอุปกรณ์ช่วยในเรื่องของการจัดทำสื่อการเรียนการสอนในเรื่องของภาษามือได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

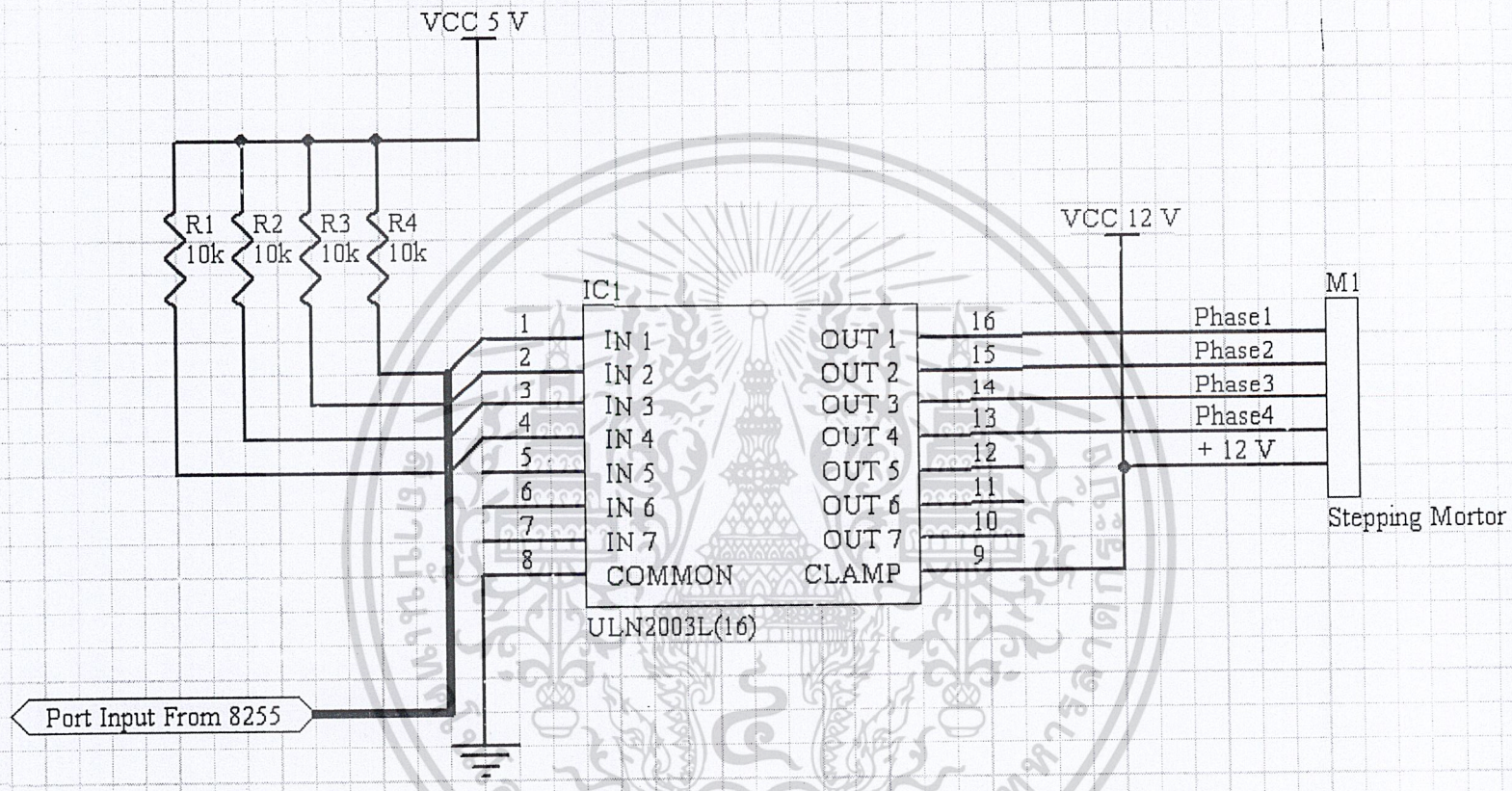


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.1 รูปแสดงวงจรคอนโทรลเลอร์



Title		
Size	Number	Revision
Date	7 Apr 2003	Sheet of
File	C:\WIN95\WORK\class\project\new Folder	2 of 2



รูปที่ ก.2 รูปแสดงวงจรไดรเวอร์



## ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Features**

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

**Description**

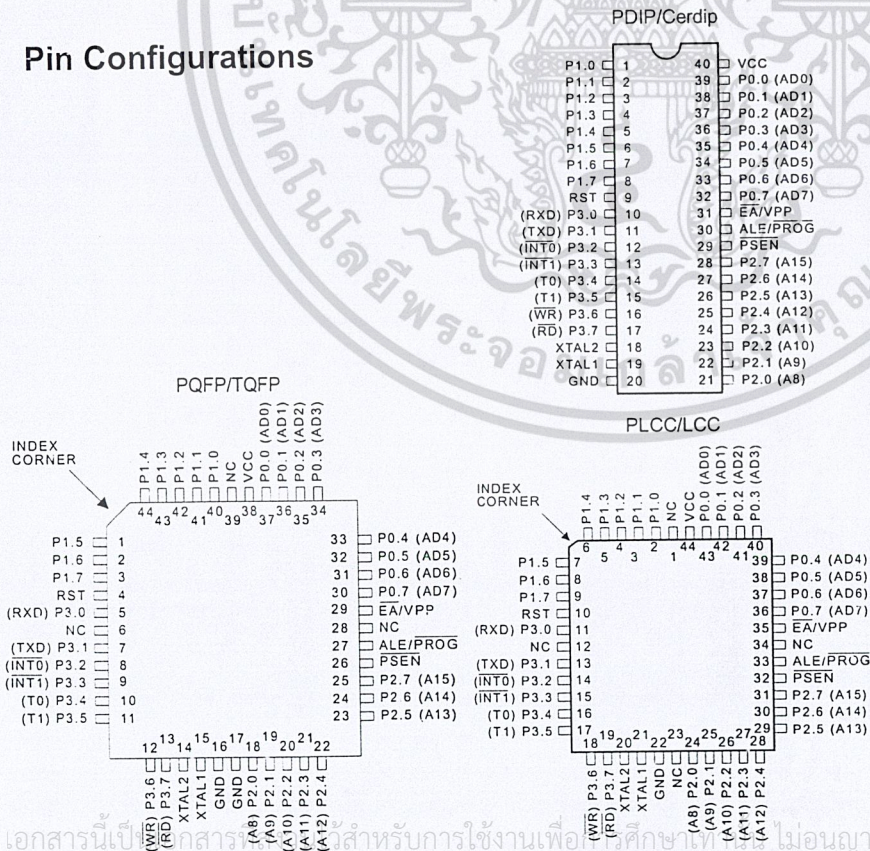
The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4 Kbytes of Flash Programmable and Erasable Read Only Memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard MCS-51™ instruction set and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

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

**8-Bit  
Microcontroller  
with 4 Kbytes  
Flash**

(continued)

**Pin Configurations**



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ Atmel Corporation สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

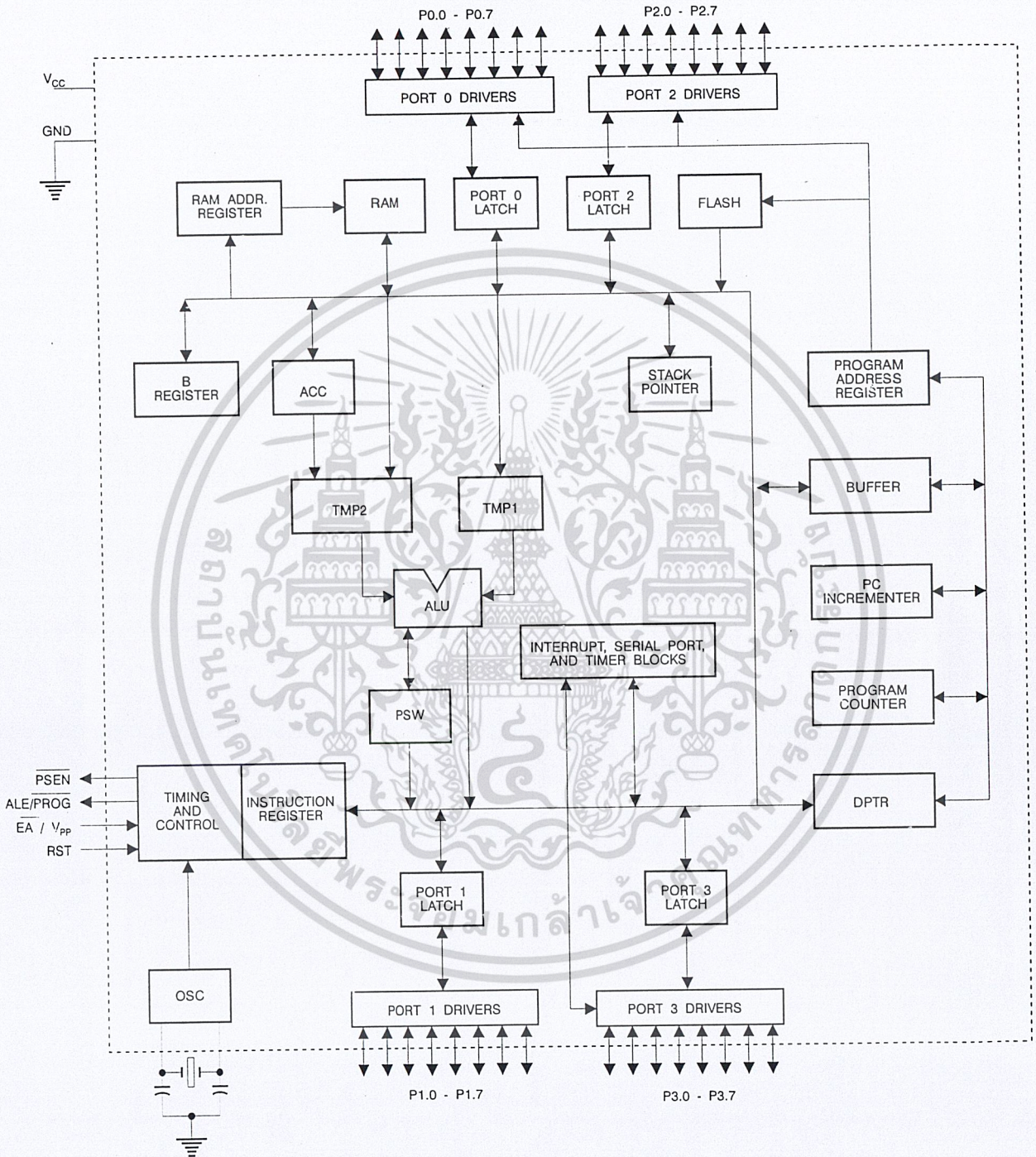


0265E

3-33



### Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่อาจกรณีใดๆ ทั้งสิ้น **AT89C51**

## Description (Continued)

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

## Pin Description

V<sub>cc</sub>

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

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

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

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

Port 1

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

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

Port 2

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

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

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

Port 3

Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal

pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I<sub>IL</sub>) because of the pullups.

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

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

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

RST

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

ALE/ $\overline{\text{PROG}}$

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

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

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

$\overline{\text{PSEN}}$

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

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

$\overline{\text{EA}}/\text{V}_{\text{PP}}$

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

$\overline{\text{EA}}$  should be strapped to V<sub>CC</sub> for internal program executions. This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V<sub>PP</sub>) during Flash programming, for parts that require 12-volt V<sub>PP</sub>.

(continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ใด ๆ หนึ่ง อนึ่ง  ขออภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป 3-35

## Pin Description (Continued)

### XTAL1

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

### XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

## Oscillator Characteristics

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

## Idle Mode

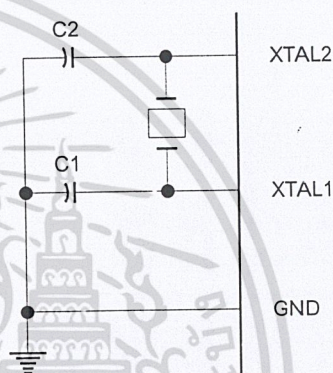
In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware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

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

## Power Down Mode

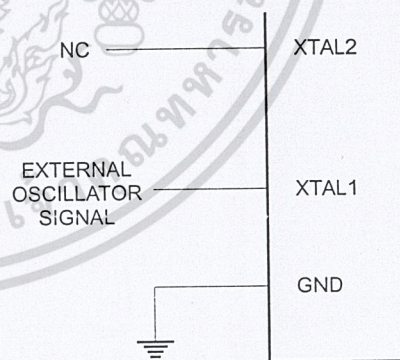
In the power down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines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

Figure 1. Oscillator Connections



Notes: C1, C2 =  $30 \text{ pF} \pm 10 \text{ pF}$  for Crystals  
 =  $40 \text{ pF} \pm 10 \text{ pF}$  for Ceramic Resonators

Figure 2. External Clock Drive Configuration



## Status of External Pins During Idle and Power Down

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{\text{PSEN}}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power Down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power Down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

### Program Memory Lock Bits

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

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

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

### Lock Bit Protection Modes

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

### Programming the Flash

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

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

	V <sub>PP</sub> = 12 V	V <sub>PP</sub> = 5 V
Top-Side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H)=1EH (031H)=51H (032H)=FFH	(030H)=1EH (031H)=51H (032H)=05H

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

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

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

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

**Data Polling:** The AT89C51 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PC.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

**Ready/Busy:** The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



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

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

## Programming Interface

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

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

## Flash Programming Modes

Mode		RST	$\overline{\text{PSEN}}$	ALE/ $\overline{\text{PROG}}$	EA/ V <sub>PP</sub>	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data		H	L	-	H/12V <sup>(1)</sup>	L	H	H	H
Read Code Data		H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L	-	H/12V	H	H	H	H
	Bit - 2	H	L	- <sup>(2)</sup>	H/12V	H	H	L	L
	Bit - 3	H	L	-	H/12V	H	L	H	L
Chip Erase		H	L	-	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte		H	L	H	H	L	L	L	L

Notes: 1. The signature byte at location 032H designates whether V<sub>pp</sub> = 12 V or V<sub>pp</sub> = 5 V should be used to enable programming. 2. Chip Erase requires a 10 ms  $\overline{\text{PROG}}$  pulse.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Figure 3. Programming the Flash

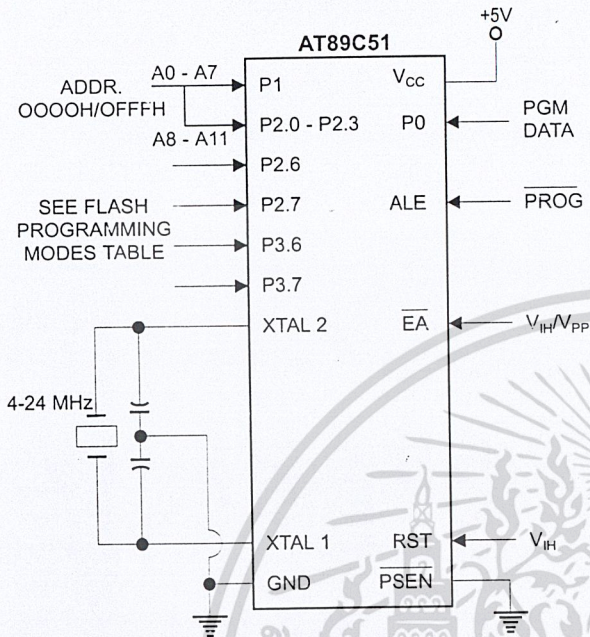
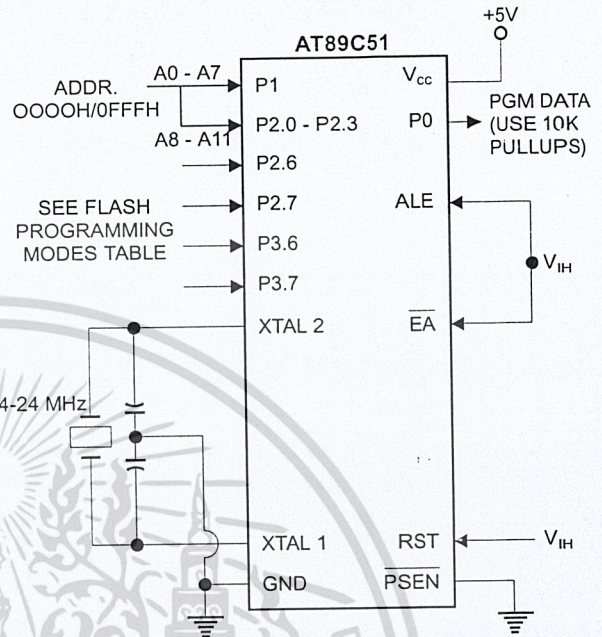


Figure 4. Verifying the Flash



### Flash Programming and Verification Characteristics

TA = 21°C to 27°C, VCC = 5.0 ± 10%

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V <sub>PP</sub> <sup>(1)</sup>	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I <sub>PP</sub> <sup>(1)</sup>	Programming Enable Current		1.0	mA
1/t <sub>CLCL</sub>	Oscillator Frequency	4	24	MHz
t <sub>AVGL</sub>	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48t <sub>CLCL</sub>		
t <sub>GHAX</sub>	Address Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48t <sub>CLCL</sub>		
t <sub>DVGL</sub>	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48t <sub>CLCL</sub>		
t <sub>GHDX</sub>	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48t <sub>CLCL</sub>		
t <sub>EHS</sub>	P2.7 (ENABLE) High to V <sub>PP</sub>	48t <sub>CLCL</sub>		
t <sub>SHGL</sub>	V <sub>PP</sub> Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t <sub>GHSL</sub> <sup>(1)</sup>	V <sub>PP</sub> Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t <sub>GLGH</sub>	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t <sub>AVQV</sub>	Address to Data Valid		48t <sub>CLCL</sub>	
t <sub>ELQV</sub>	ENABLE Low to Data Valid		48t <sub>CLCL</sub>	
t <sub>EHQV</sub>	Data Float After ENABLE	0	48t <sub>CLCL</sub>	
t <sub>GHBL</sub>	$\overline{\text{PROG}}$ High to BUSY Low		1.0	μs
t <sub>WC</sub>	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: <sup>(1)</sup> Only used in 12-volt programming mode.

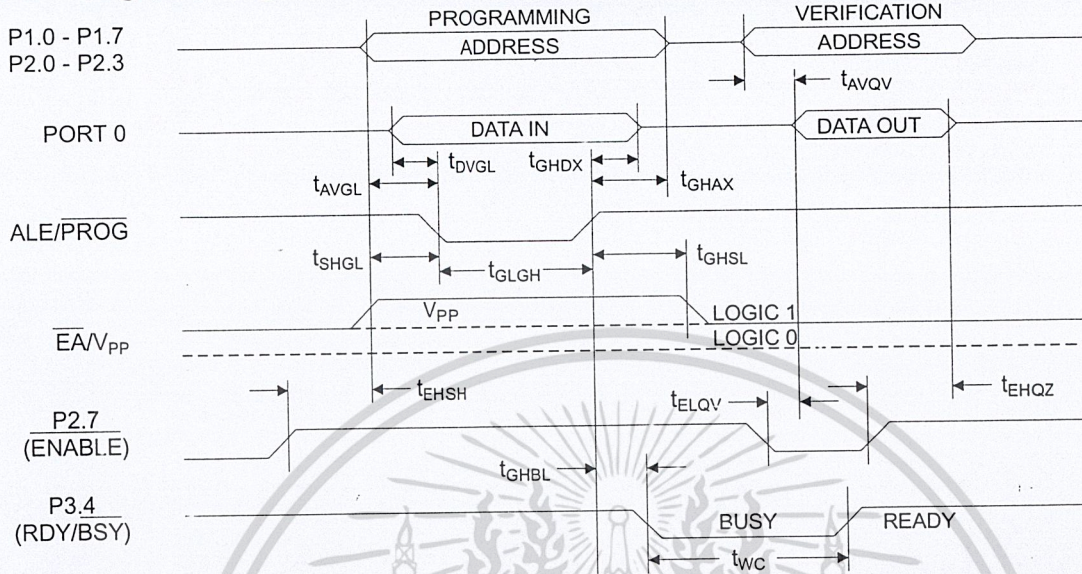
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือว่าทั้งหมดเป็นข้อมูลภายในของ AT&MEL อย่างยิ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 3-39

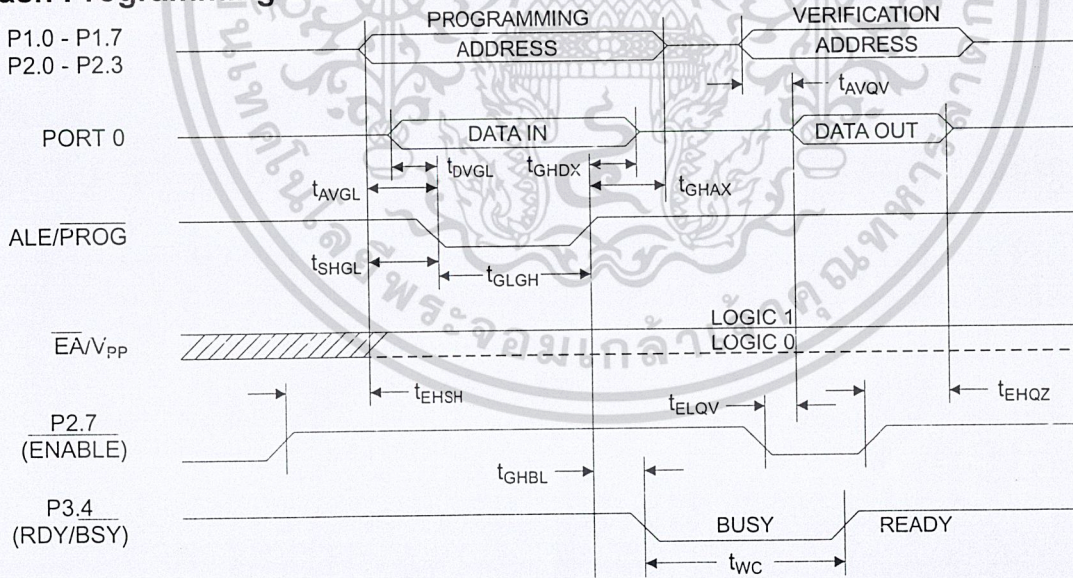




### Flash Programming and Verification Waveforms - High Voltage Mode



### Flash Programming and Verification Waveforms - Low Voltage Mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**Absolute Maximum Ratings\***

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

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

**D.C. Characteristics**

T<sub>A</sub> = -40°C to 85°C, V<sub>CC</sub> = 5.0 V ± 20% (unless otherwise noted)

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

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

If I<sub>OL</sub> exceeds the test condition, V<sub>OL</sub> may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.  
 2. Minimum V<sub>CC</sub> for Power Down is 2 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท อินเทล ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



สงวนลิขสิทธิ์ © 1989-1990 Intel Corporation. All rights reserved. แจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 3-41

## A.C. Characteristics

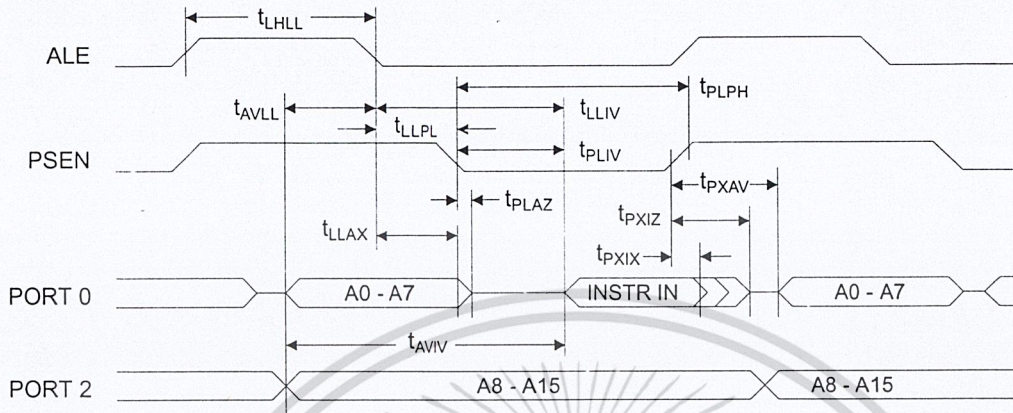
(Under Operating Conditions; Load Capacitance for Port 0, ALE/PROG, and PSEN = 100 pF; Load Capacitance for all other outputs = 80 pF)

### External Program and Data Memory Characteristics

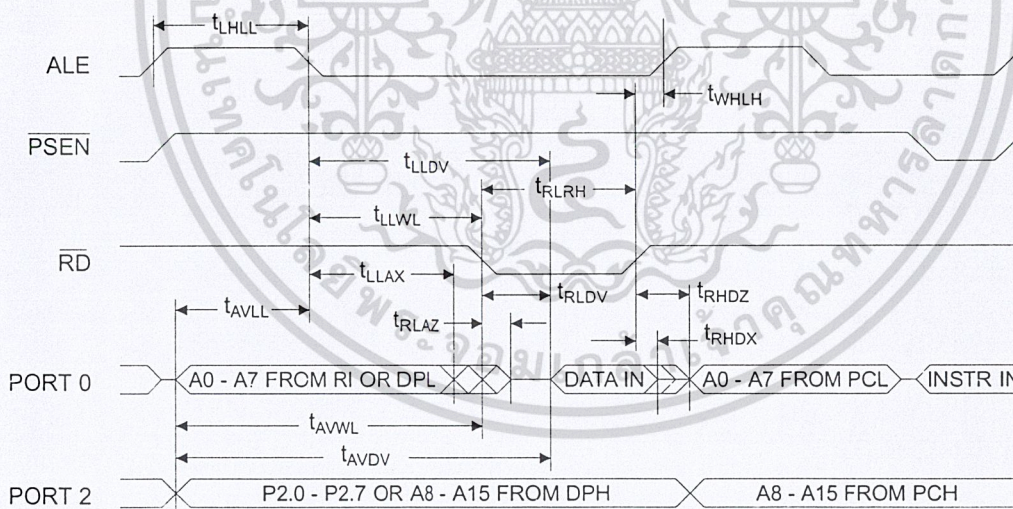
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
1/tCLCL	Oscillator Frequency			0	24	MHz
tLHLL	ALE Pulse Width	127		2tCLCL-40		ns
tAVLL	Address Valid to ALE Low	28		tCLCL-13		ns
tLLAX	Address Hold After ALE Low	48		tCLCL-20		ns
tLLIV	ALE Low to Valid Instruction In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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

External Program Memory Read Cycle



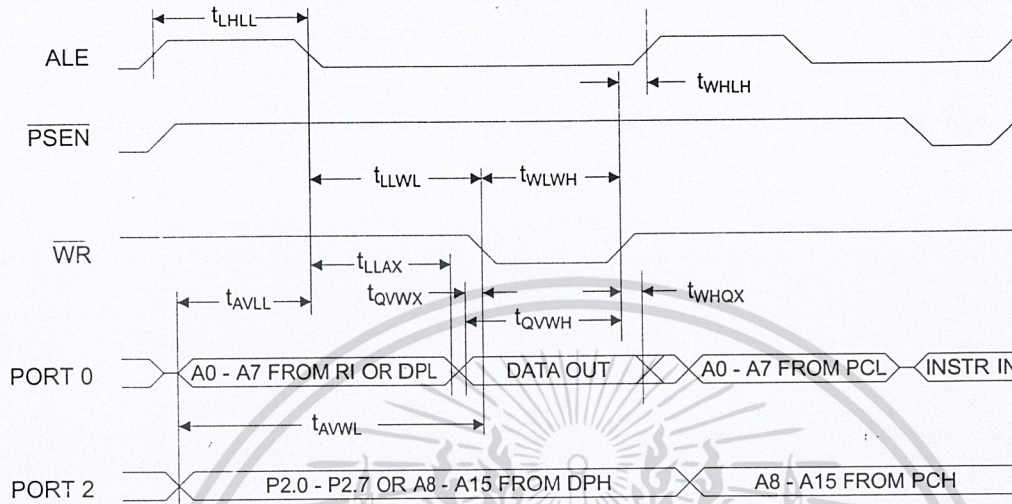
External Data Memory Read Cycle



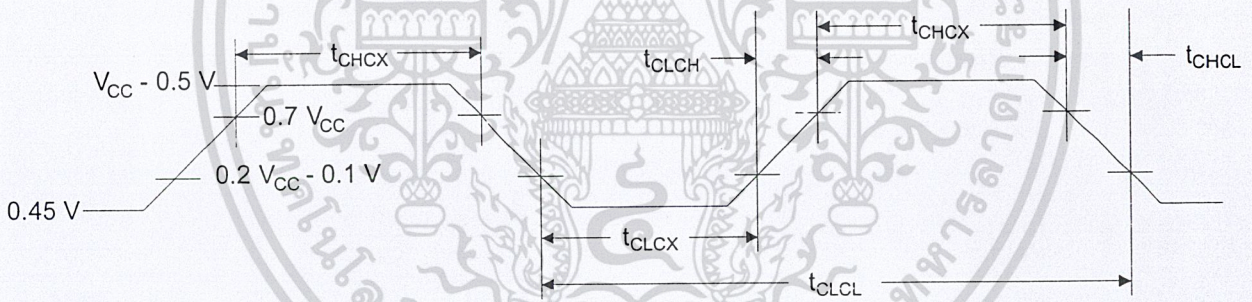
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



### External Data Memory Cycle



### External Clock Drive Waveforms



### External Clock Drive

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

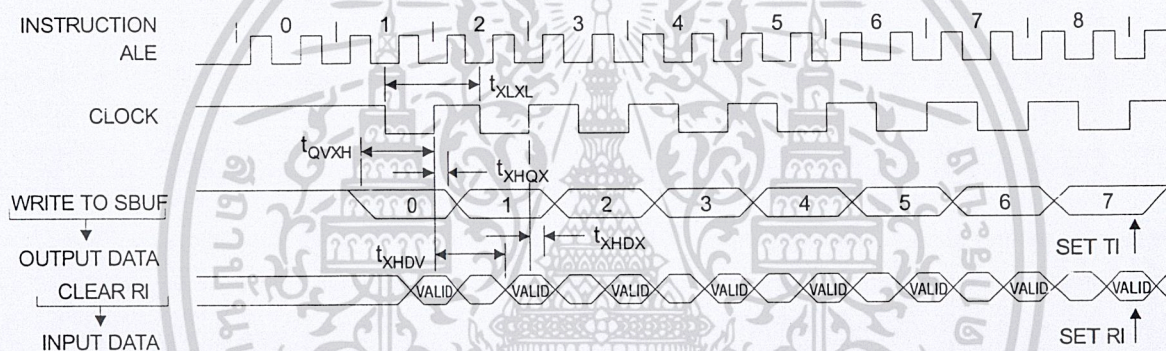
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

### Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

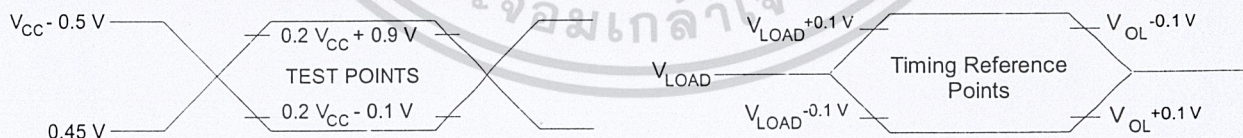
(V<sub>CC</sub> = 5.0 V ± 20%; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t <sub>XLXL</sub>	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		12t <sub>CLCL</sub>		μs
t <sub>QVXH</sub>	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		10t <sub>CLCL</sub> -133		ns
t <sub>XHQX</sub>	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		2t <sub>CLCL</sub> -33		ns
t <sub>XHDX</sub>	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t <sub>XHDV</sub>	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		10t <sub>CLCL</sub> -133	ns

### Shift Register Mode Timing Waveforms



### AC Testing Input/Output Waveforms <sup>(1)</sup> Float Waveforms <sup>(1)</sup>



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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



แจ้งให้ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 3-45

**Ordering Information**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Ordering Information

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า





July 1999

# ADC0816/ADC0817

## 8-Bit $\mu$ P Compatible A/D Converters with 16-Channel Multiplexer

### General Description

The ADC0816, ADC0817 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 16-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 16-channel multiplexer can directly access any one of 16 single-ended analog signals, and provides the logic for additional channel expansion. Signal conditioning of any analog input signal is eased by direct access to the multiplexer output, and to the input of the 8-bit A/D converter.

The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE® outputs.

The design of the ADC0816, ADC0817 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0816, ADC0817 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For similar performance in an 8-channel, 28-pin, 8-bit A/D converter, see the ADC0808, ADC0809 data sheet. (See AN-258 for more information.)

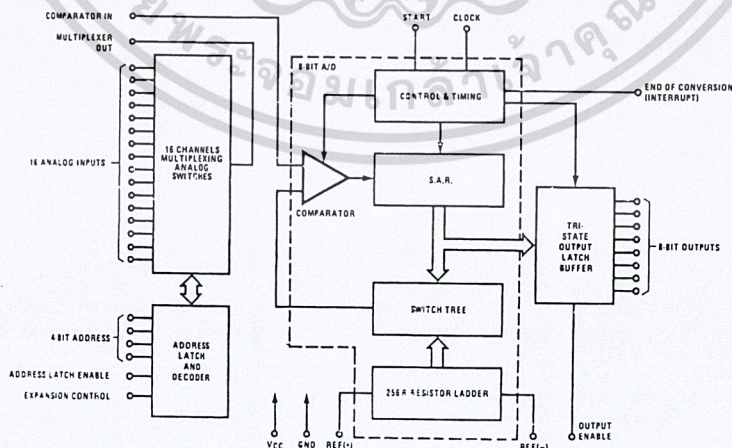
### Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V<sub>DC</sub> or analog span adjusted voltage reference
- 16-channel multiplexer with latched control logic
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero or full-scale adjust required
- Standard hermetic or molded 40-pin DIP package
- Temperature range -40°C to +85°C or -55°C to +125°C
- Latched TRI-STATE output
- Direct access to "comparator in" and "multiplexer out" for signal conditioning
- ADC0816 equivalent to MM74C948
- ADC0817 equivalent to MM74C948-1

### Key Specifications

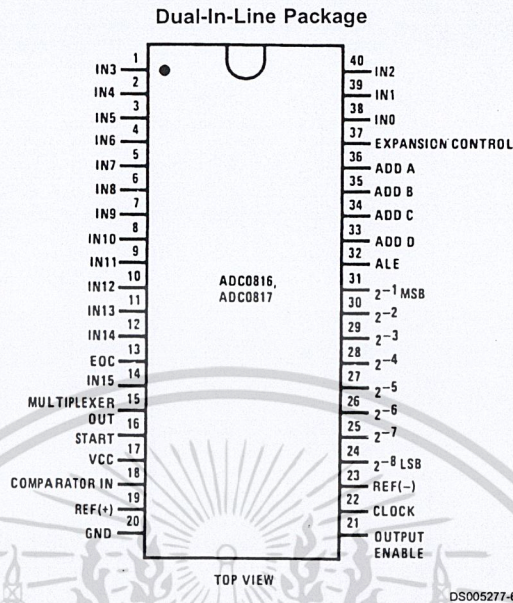
- Resolution 8 Bits
- Total Unadjusted Error  $\pm 1/2$  LSB and  $\pm 1$  LSB
- Single Supply 5 V<sub>DC</sub>
- Low Power 15 mW
- Conversion Time 100  $\mu$ s

### Block Diagram



DS005277-1

### Connection Diagram



Order Number ADC0816CCN or ADC0817CCN  
See NS Package Number N40A

### Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		-40°C to +85°C	
Error	±1/2 Bit Unadjusted	ADC0816CCN	ADC0816CCJ
	±1 Bit Unadjusted	ADC0817CCN	
Package Outline		N40A Molded DIP	J40A Hermetic DIP

**Absolute Maximum Ratings** (Notes 1, 2)

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

Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin	-0.3V to ( $V_{CC}+0.3V$ )
Except Control Inputs	
Voltage at Control Inputs	-0.3V to 15V
(START, OE, CLOCK, ALE, EXPANSION CONTROL, ADD A, ADD B, ADD C, ADD D)	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$	875 mW

Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (Plastic)	260°C
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 9)	400V

**Operating Conditions** (Notes 1, 2)

Temperature Range (Note 1)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0816CCN, ADC0817CCN	-40°C $\leq T_A \leq$ 85°C
Range of $V_{CC}$ (Note 1)	4.5 $V_{DC}$ to 6.0 $V_{DC}$
Voltage at Any Pin	0V to $V_{CC}$
Except Control Inputs	
Voltage at Control Inputs	0V to 15V
(START, OE, CLOCK, ALE, EXPANSION CONTROL, ADD A, ADD B, ADD C, ADD D)	

**Electrical Characteristics**

Converter Specifications:  $V_{CC} = 5 V_{DC} = V_{REF(+)}$ ,  $V_{REF(-)} = \text{GND}$ ,  $V_{IN} = V_{COMPARATOR IN}$ ,  $T_{MIN} \leq T_{MAX}$  and  $f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$  unless otherwise stated.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0816	Total Unadjusted Error (Note 5)	25°C			$\pm 1/2$	LSB
		$T_{MIN}$ to $T_{MAX}$			$\pm 3/4$	LSB
ADC0817	Total Unadjusted Error (Note 5)	0°C to 70°C			$\pm 1$	LSB
		$T_{MIN}$ to $T_{MAX}$			$\pm 1 1/4$	LSB
	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(-)	1.0	4.5		k $\Omega$
	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	GND-0.10		$V_{CC}+0.10$	$V_{DC}$
$V_{REF(+)}$	Voltage, Top of Ladder	Measured at Ref(+)		$V_{CC}$	$V_{CC}+0.1$	V
$\frac{V_{REF(+)} + V_{REF(-)}}{2}$	Voltage, Center of Ladder		$V_{CC}/2-0.1$	$V_{CC}/2$	$V_{CC}/2+0.1$	V
$V_{REF(-)}$	Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Ref(-)	-0.1	0		V
	Comparator Input Current	$f_c = 640 \text{ kHz}$ , (Note 6)	-2	$\pm 0.5$	2	$\mu\text{A}$

**Electrical Characteristics**

Digital Levels and DC Specifications: ADC0816CCN, ADC0817CCN—4.75V  $\leq V_{CC} \leq$  5.25V, -40°C  $\leq T_A \leq$  85°C unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>ANALOG MULTIPLEXER</b>						
$R_{ON}$	Analog Multiplexer ON Resistance	(Any Selected Channel) $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $R_L = 10\text{k}$ $T_A = 85^\circ\text{C}$ $T_A = 125^\circ\text{C}$		1.5	3	k $\Omega$
$\Delta R_{ON}$	$\Delta$ ON Resistance Between Any 2 Channels	(Any Selected Channel) $R_L = 10\text{k}$		75		$\Omega$
$I_{OFF+}$	OFF Channel Leakage Current	$V_{CC} = 5\text{V}$ , $V_{IN} = 5\text{V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$		10	200	nA $\mu\text{A}$
$I_{OFF(-)}$	OFF Channel Leakage Current	$V_{CC} = 5\text{V}$ , $V_{IN} = 0$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$	-200 -1.0			nA $\mu\text{A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ [www.national.com](http://www.national.com)

## Electrical Characteristics (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0816CCN, ADC0817CCN— $4.75V \leq V_{CC} \leq 5.25V$ ,  $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>CONTROL INPUTS</b>						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage		$V_{CC}-1.5$			V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN}=15V$			1.0	$\mu A$
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN}=0$	-1.0			$\mu A$
$I_{CC}$	Supply Current	$f_{CLK}=640$ kHz		0.3	3.0	mA
<b>DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)</b>						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O=-360$ $\mu A$ , $T_A=85^\circ C$ $I_O=-300$ $\mu A$ , $T_A=125^\circ C$	$V_{CC}-0.4$			V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$I_O=1.6$ mA			0.45	V
$V_{OUT(EOC)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O=1.2$ mA			0.45	V
$I_{OUT}$	TRI-STATE Output Current	$V_O=V_{CC}$ $V_O=0$	-3.0		3.0	$\mu A$

## Electrical Characteristics

Timing Specifications:  $V_{CC}=V_{REF(+)}=5V$ ,  $V_{REF(-)}=GND$ ,  $t_r=t_f=20$  ns and  $T_A=25^\circ C$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{WS}$	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5) (Note 7)		100	200	ns
$t_{WALE}$	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
$t_s$	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
$T_H$	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
$t_D$	Analog MUX Delay Time from ALE	$R_S=0\Omega$ (Figure 5)		1	2.5	$\mu s$
$t_{H1}, t_{H0}$	OE Control to Q Logic State	$C_L=50$ pF, $R_L=10k$ (Figure 8)		125	250	ns
$t_{1H}, t_{0H}$	OE Control to Hi-Z	$C_L=10$ pF, $R_L=10k$ (Figure 8)		125	250	ns
$t_c$	Conversion Time	$f_c=640$ kHz, (Figure 5) (Note 8)	90	100	116	$\mu s$
$f_c$	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
$t_{EOC}$	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		8+2 $\mu s$	Clock Periods
$C_{IN}$	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
$C_{OUT}$	TRI-STATE Output Capacitance	At TRI-STATE Outputs (Note 8)		10	15	pF

Note 1: 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 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

Note 3: A zener diode exists, internally, from  $V_{CC}$  to GND and has a typical breakdown voltage of  $7 V_{DC}$ .

Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the  $V_{CC}$  supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog  $V_{IN}$  does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0  $V_{DC}$  to 5  $V_{DC}$  input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of  $4.900 V_{DC}$  over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, and linearity errors. See Figure 3. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example: 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltages can be adjusted to achieve this. See Figure 13.

Note 6: Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence (Figure 6). See paragraph 4.0.

Note 7: If start pulse is asynchronous with converter clock or if  $f_c > 640$  kHz, the minimum start pulse width is 8 clock periods plus 2  $\mu s$ . For synchronous operation at  $f_c \leq 640$  kHz take start high within 100 ns of clock going low.

Note 8: The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.

Note 9: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## Functional Description

**Multiplexer:** The device contains a 16-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. *Table 1* shows the input states for the address line and the expansion control line to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

Additional single-ended analog signals can be multiplexed to the A/D converter by disabling all the multiplexer inputs using the expansion control. The additional external signals are connected to the comparator input and the device ground. Additional signal conditioning (i.e., prescaling, sample and hold, instrumentation amplification, etc.) may also be added between the analog input signal and the comparator input.

TABLE 1.

Selected Analog Channel	Address Line				Expansion Control
	D	C	B	A	
IN0	L	L	L	L	H
IN1	L	L	L	H	H
IN2	L	L	H	L	H
IN3	L	L	H	H	H
IN4	L	H	L	L	H
IN5	L	H	L	H	H
IN6	L	H	H	L	H
IN7	L	H	H	H	H
IN8	H	L	L	L	H
IN9	H	L	L	H	H
IN10	H	L	H	L	H
IN11	H	L	H	H	H
IN12	H	H	L	L	H
IN13	H	H	L	H	H
IN14	H	H	H	L	H
IN15	H	H	H	H	H
All Channels OFF	X	X	X	X	L

X=don't care

## CONVERTER CHARACTERISTICS

### The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

The 256R ladder network approach *Figure 1* was chosen over the conventional R/2R ladder because of its inherent monotonicity, which guarantees no missing digital codes. Monotonicity is particularly important in closed loop feedback control systems. A non-monotonic relationship can cause oscillations that will be catastrophic for the system. Additionally, the 256R network does not cause load variations on the reference voltage.

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in *Figure 1* are not the same value as the remainder of the network. The difference in these resistors causes the output characteristic to be symmetrical with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the analog signal has reached + 1/2 LSB and succeeding output transitions occur every 1 LSB later up to full-scale.

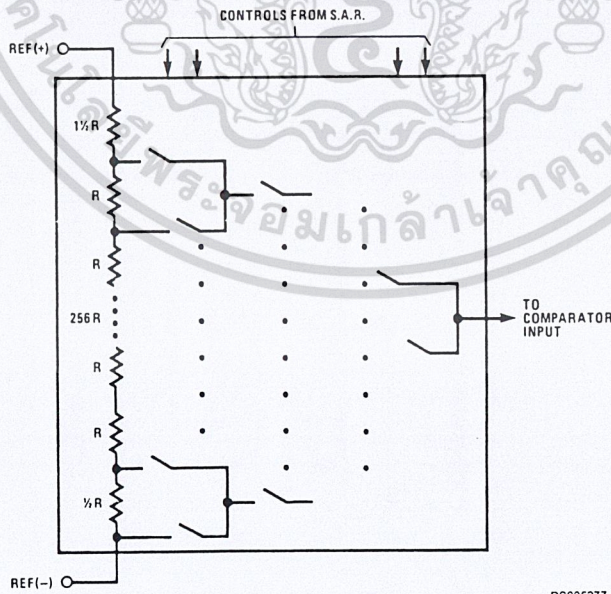


FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

DS005277-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มากรณนี้ เว็บไซต์ [www.national.com](http://www.national.com)

Functional Description (Continued)

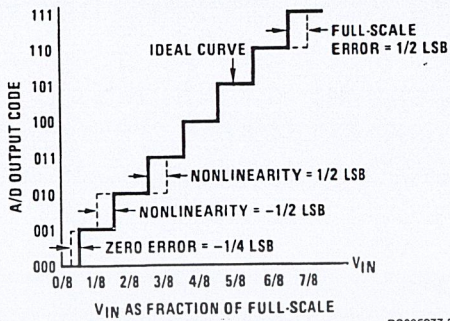


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

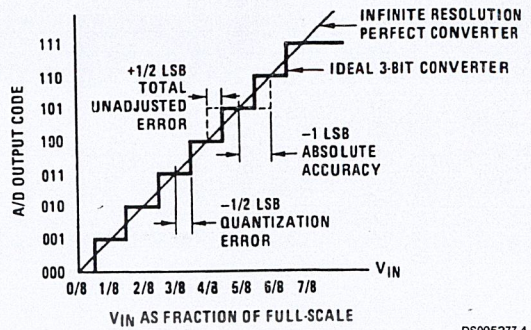


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve

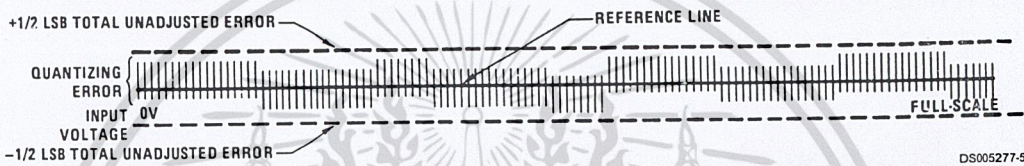


FIGURE 4. Typical Error Curve

Timing Diagram

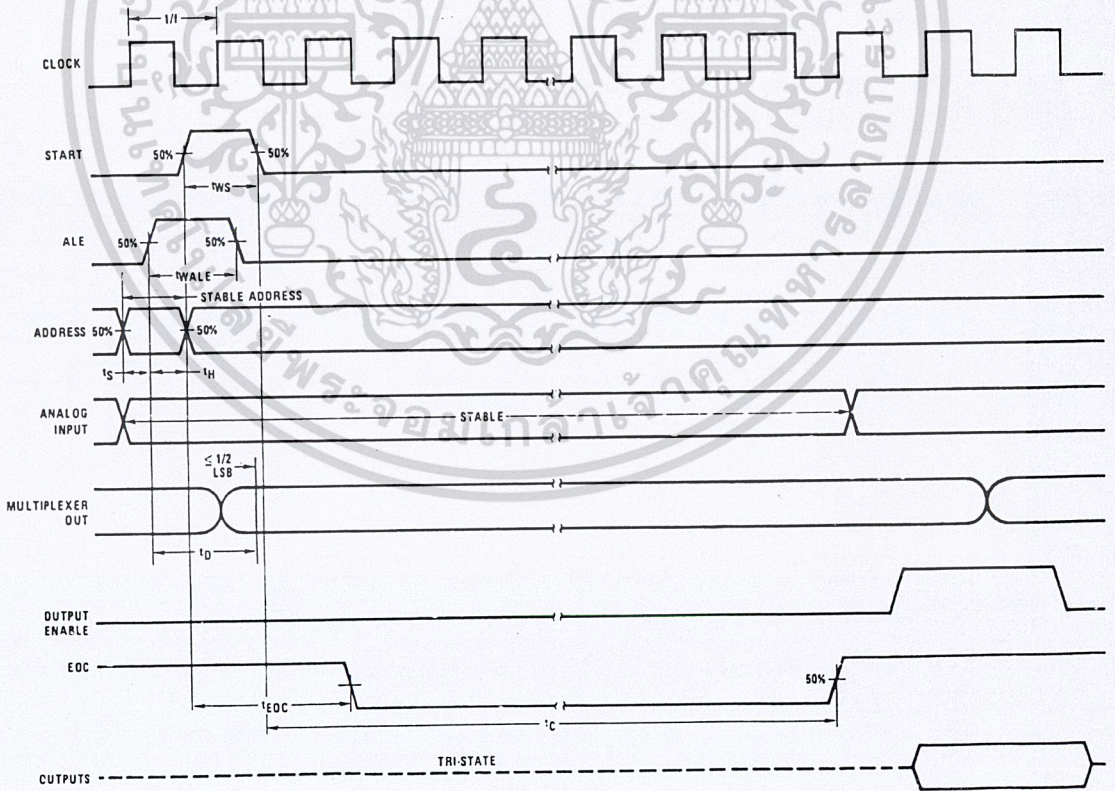


FIGURE 5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

www.national.com ไม่สิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Timing Diagram (Continued)

The successive approximation register (SAR) performs 8 iterations to approximate the input voltage. For any SAR type converter, n-iterations are required for an n-bit converter. *Figure 2* shows a typical example of a 3-bit converter. In the ADC0816, ADC0817, the approximation technique is extended to 8 bits using the 256R network.

The A/D converter's successive approximation register (SAR) is reset on the positive edge of the start conversion (SC) pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be interrupted by receipt of a new start conversion pulse. Continuous conversion may be accomplished by tying the end-of-conversion (EOC) output to the SC input. If used in this mode, an external start conversion pulse should be applied after power up. End-of-conversion will go low between 0 and 8 clock pulses after the rising edge of start conversion.

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the ultimate accuracy of the entire converter. It is also the comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

The chopper-stabilized comparator converts the DC input signal into an AC signal. This signal is then fed through a high gain AC amplifier and has the DC level restored. This technique limits the drift component of the amplifier since the drift is a DC component which is not passed by the AC amplifier. This makes the entire A/D converter extremely insensitive to temperature, long term drift and input offset errors.

*Figure 4* shows a typical error curve for the ADC0816 as measured using the procedures outlined in AN-179.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Typical Performance Characteristics

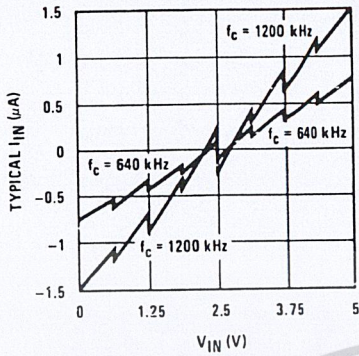


FIGURE 6. Comparator  $I_{IN}$  vs  $V_{IN}$   
( $V_{CC}=V_{REF}=5V$ )

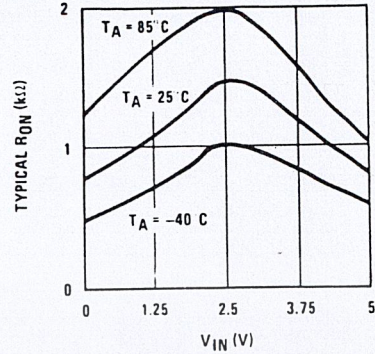


FIGURE 7. Multiplexer  $R_{ON}$  vs  $V_{IN}$   
( $V_{CC}=V_{REF}=5V$ )

### TRI-STATE Test Circuits and Timing Diagrams

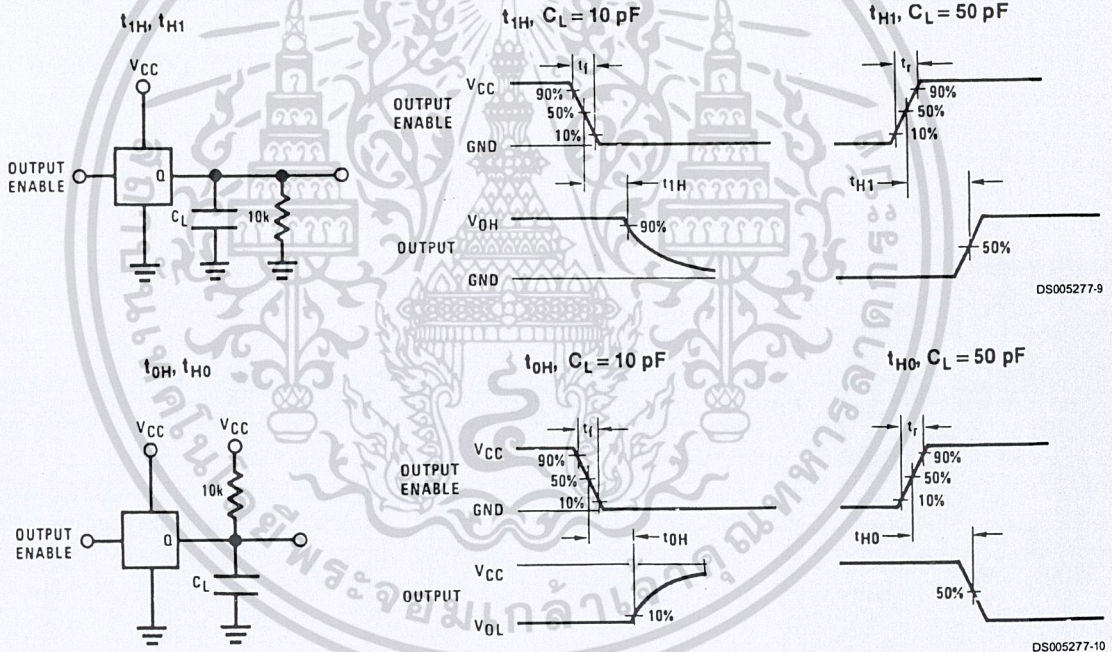


FIGURE 8.

### Applications Information

#### OPERATION

##### 1.0 RATIOMETRIC CONVERSION

The ADC0816, ADC0817 is designed as a complete Data Acquisition System (DAS) for ratiometric conversion systems. In ratiometric systems, the physical variable being measured is expressed as a percentage of full-scale which is not necessarily related to an absolute standard. The voltage input to the ADC0816 is expressed by the equation

$$\frac{V_{IN}}{V_{fs} - V_z} = \frac{D_x}{D_{MAX} - D_{MIN}} \quad (1)$$

- $V_{IN}$  = Input voltage into the ADC0816
- $V_{fs}$  = Full-scale voltage
- $V_z$  = Zero voltage
- $D_x$  = Data point being measured
- $D_{MAX}$  = Maximum data limit
- $D_{MIN}$  = Minimum data limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## Applications Information (Continued)

A good example of a ratiometric transducer is a potentiometer used as a position sensor. The position of the wiper is directly proportional to the output voltage which is a ratio of the full-scale voltage across it. Since the data is represented as a proportion of full-scale, reference requirements are greatly reduced, eliminating a large source of error and cost for many applications. A major advantage of the ADC0816, ADC0817 is that the input voltage range is equal to the supply range so the transducers can be connected directly across the supply and their outputs connected directly into the multiplexer inputs, (Figure 9).

Ratiometric transducers such as potentiometers, strain gauges, thermistor bridges, pressure transducers, etc., are suitable for measuring proportional relationships; however, many types of measurements must be referred to an absolute standard such as voltage or current. This means a system reference must be used which relates the full-scale voltage to the standard volt. For example, if  $V_{CC} = V_{REF} = 5.12V$ , then the full-scale range is divided into 256 standard steps. The smallest standard step is 1 LSB which is then 20 mV.

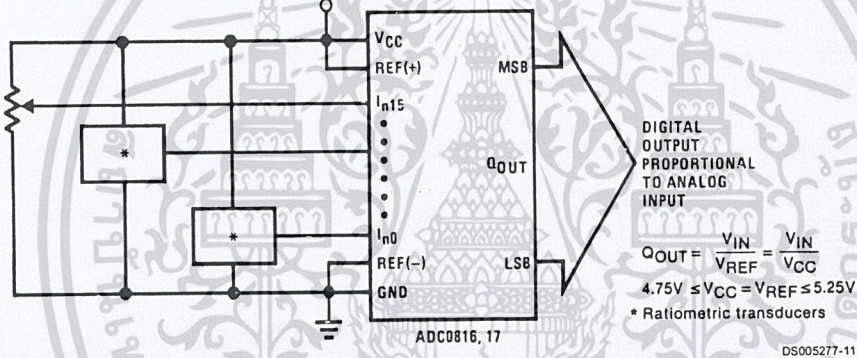


FIGURE 9. Ratiometric Conversion System

The ADC0816 needs less than a milliamp of supply current so developing the supply from the reference is readily accomplished. In Figure 11 a ground references system is shown which generates the supply from the reference. The buffer shown can be an op amp of sufficient drive to supply the milliamp of supply current and the desired bus drive, or if a capacitive bus is driven by the outputs a large capacitor will supply the transient supply current as seen in Figure 12. The LM301 is overcompensated to insure stability when loaded by the 10  $\mu F$  output capacitor.

## 2.0 RESISTOR LADDER LIMITATIONS

The voltages from the resistor ladder are compared to the selected input 8 times in a conversion. These voltages are coupled to the comparator via an analog switch tree which is referenced to the supply. The voltages at the top, center and bottom of the ladder must be controlled to maintain proper operation.

The top of the ladder, Ref(+), should not be more positive than the supply, and the bottom of the ladder, Ref(-), should not be more negative than ground. The center of the ladder voltage must also be near the center of the supply because the analog switch tree changes from N-channel switches to P-channel switches. These limitations are automatically satisfied in ratiometric systems and can be easily met in ground referenced systems.

Figure 10 shows a ground referenced system with a separate supply and reference. In this system, the supply must be trimmed to match the reference voltage. For instance, if a 5.12V reference is used, the supply should be adjusted to the same voltage within 0.1V.

The top and bottom ladder voltages cannot exceed  $V_{CC}$  and ground, respectively, but they can be symmetrically less than  $V_{CC}$  and greater than ground. The center of the ladder voltage should always be near the center of the supply. The sensitivity of the converter can be increased, (i.e., size of the LSB steps decreased) by using a symmetrical reference system. In Figure 13, a 2.5V reference is symmetrically centered about  $V_{CC}/2$  since the same current flows in identical resistors. This system with a 2.5V reference allows the LSB to be half the size of the LSB in a 5V reference system.

Applications Information (Continued)

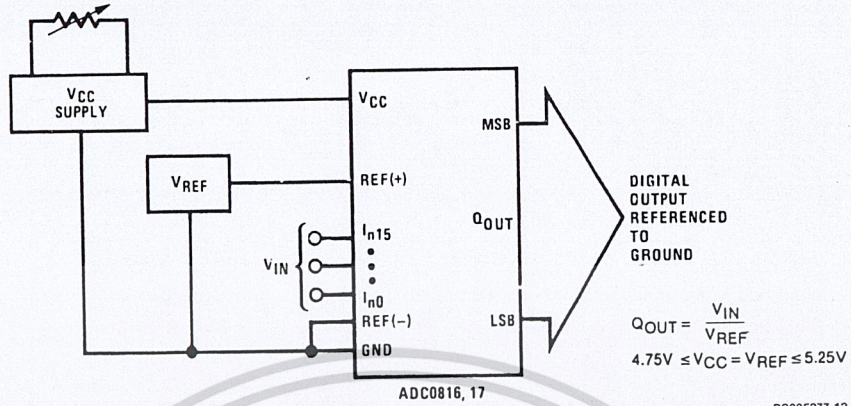


FIGURE 10. Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply

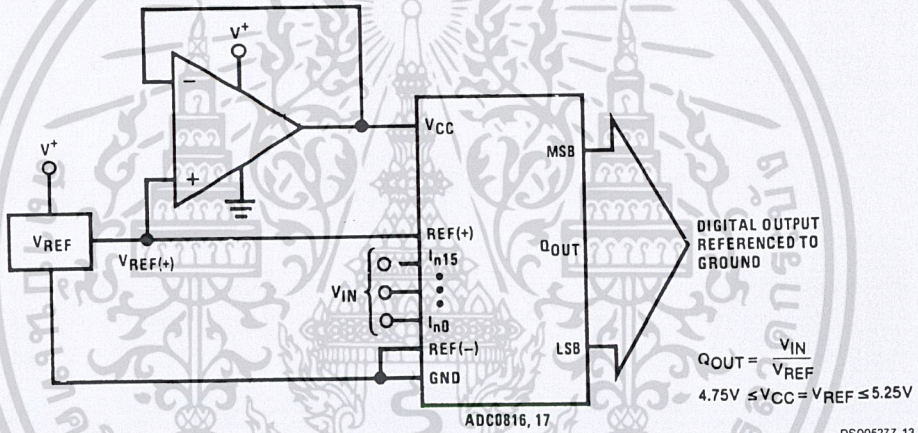


FIGURE 11. Ground Referenced Conversion System with Reference Generating V<sub>CC</sub> Supply

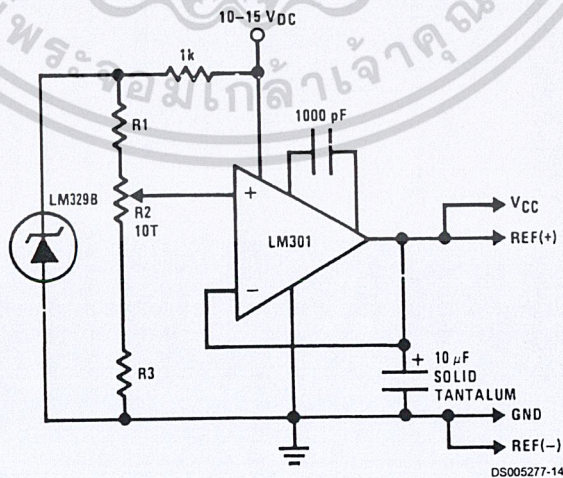


FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit

Applications Information (Continued)

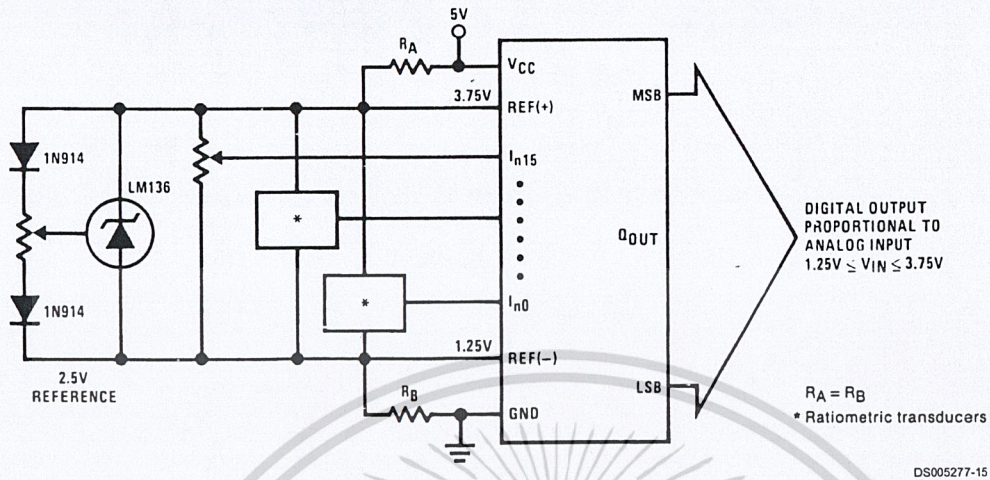


FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

3.0 CONVERTER EQUATIONS

The transition between adjacent codes N and N + 1 is given by:

$$V_{IN} = \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[ \frac{N}{256} + \frac{1}{512} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (2)$$

The center of an output code N is given by:

$$V_{IN} = \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[ \frac{N}{256} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (3)$$

The output code N for an arbitrary input are the integers within the range:

$$N = \frac{V_{IN} - V_{REF(-)}}{V_{REF(+)} - V_{REF(-)}} \times 256 \pm \text{Absolute Accuracy} \quad (4)$$

where:  $V_{IN}$  = Voltage at comparator input

$V_{REF+}$  = Voltage at Ref(+)

$V_{REF-}$  = Voltage at Ref(-)

$V_{TUE}$  = Total unadjusted error voltage (typically

$$V_{REF(+)} \pm 512)$$

4.0 ANALOG COMPARATOR INPUTS

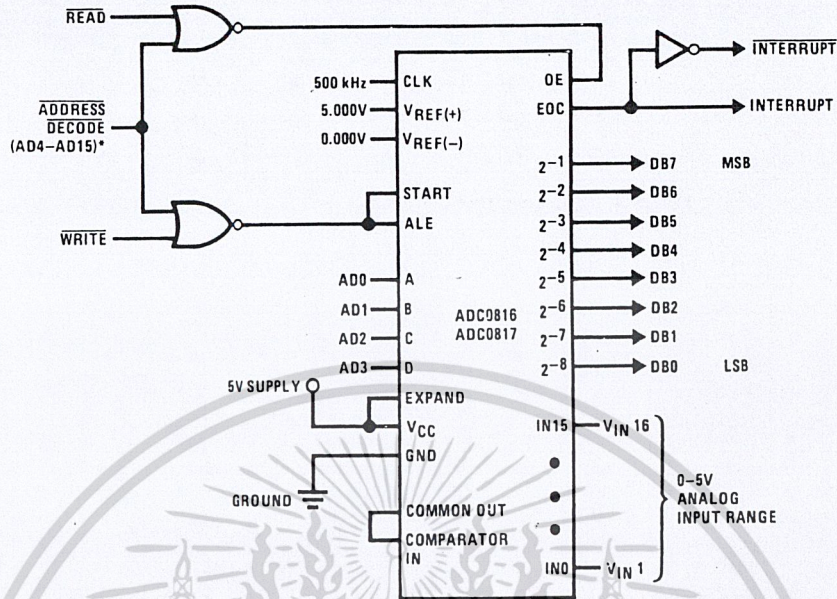
The dynamic comparator input current is caused by the periodic switching of on-chip stray capacitances. These are connected alternately to the output of the resistor ladder/switch tree network and to the comparator input as part of the operation of the chopper stabilized comparator.

The average value of the comparator input current varies directly with clock frequency and with  $V_{IN}$  as shown in Figure 6.

If no filter capacitors are used at the analog or comparator inputs and the signal source impedances are low, the comparator input current should not introduce converter errors, as the transient created by the capacitance discharge will die out before the comparator output is strobed.

If input filter capacitors are desired for noise reduction and signal conditioning they will tend to average out the dynamic comparator input current. It will then take on the characteristics of a DC bias current whose effect can be predicted conventionally. See AN-258 for further discussion.

Typical Application



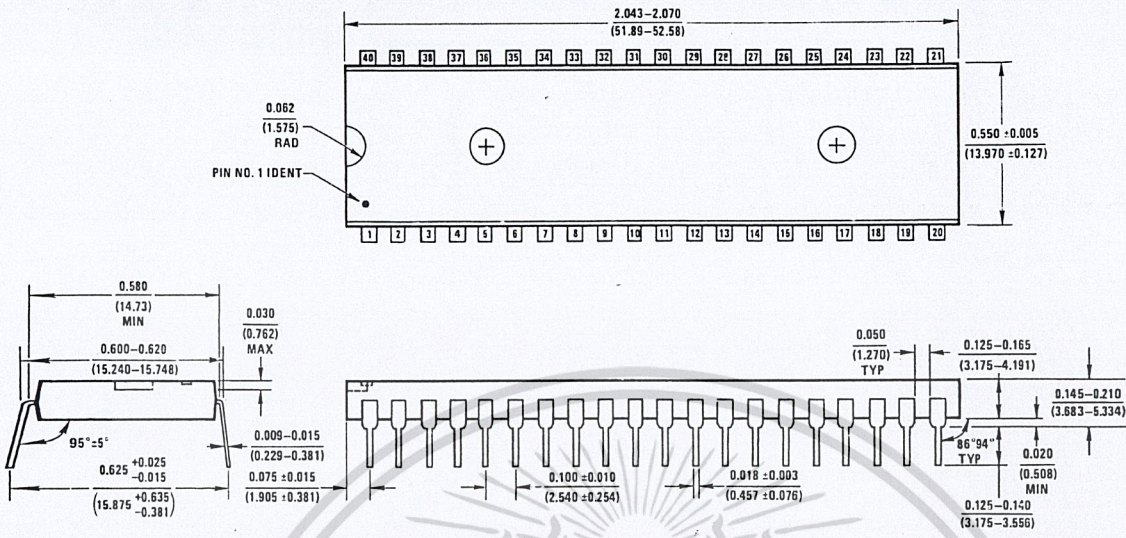
DS005277-16

\*Address latches needed for 8085 and SC/MP interfacing the ADC0816, 17 to a microprocessor

Microprocessor Interface Table

PROCESSOR	READ	WRITE	INTERRUPT (COMMENT)
8080	MEMR	MEMW	INTR (Thru RST Circuit)
8085	RD	WR	INTR (Thru RST Circuit)
Z-80	RD	WR	INT (Thru RST Circuit, Mode 0)
SC/MP	NRDS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	VMA·φ 2·RW	VMA·Q <sub>2</sub> ·RW	IRQA or IRQB (Thru PIA)

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



Molded Dual-In-Line Package (N)  
NS Package Number N40A

**LIFE SUPPORT POLICY**

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

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

**National Semiconductor Corporation**  
Americas  
Email: support@nsc.com

**National Semiconductor Europe**  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: europe.support@nsc.com  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group**  
Tel: 65-2544466  
Fax: 65-2504466  
Email: ap.support@nsc.com

**National Semiconductor Japan Ltd.**  
Tel: 81-3-5639-7560  
Fax: 81-3-5639-7507

www.national.com

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

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] Craig , John J. (1986) : “Introduction to Robotics Mechanics and Control , 2 Edition.” , Addison – Wesley Publishing Company , Inc. , 1989 , 1986
- [2] Critchlow , Arthur J. (1985) : “Introduction to Robotics” , Macmillan Publishing Company , a division of Macmillan , Inc. , 1985
- [3] E.P. POPOV and E.I. Yurevich (1987) : “Robotics” , Mir Publishers Moscow , 1987
- [4] Gerald B. Andeen (1988) : “Robotic Design Handbook” , Mitsubishi Electric Company , 1988
- [5] Holzbock , Werner G. (1986) : “Robotic Technology Principles and Practice” , Van Nostrand Reinhold Company Inc. , 1986
- [6] P.G. Davey CBE MA MIEE MBCS C.ENG (1987) : “Robot Sensors And Transducers” , Open University Educational Enterprises Limited , 1987
- [7] Yoram Koren (1987) : “Robotics For Engineers” , McGraw – Hill Book Company , 1987
- [8] ร.ศ.สมยศ จุณณะปิยะ,การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,พิมพ์ครั้งที่ 3 ,พ.ศ. 2543
- [9] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล,ชัชวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล,เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลช, บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้