



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ เครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ
Automatic Antenna Position Controller

ชื่อนักศึกษา 1. นายจงจิตต์ ทศนีย์ทิพากร รหัสประจำตัว 47035264
2. นายชเนศ จิรพิสุทธิกุล รหัสประจำตัว 47035273

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิสุทธิ สุนทรภณกพงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.อมรชัย ชัยชนะ

| คณะกรรมการสอบปริญญาโท | ลายมือชื่อ |
|----------------------------|------------|
| 1. อ.อำพล ทองระอา | |
| 2. รศ.วิสุทธิ สุนทรภณกพงศ์ | |
| 3. อ.ไพบุลย์ พวงวงศ์ตระกูล | |
| 4. อ.ปิยะ ศุภวาราสุวัฒน์ | |
| 5. อ.โกศล ตราชู | |

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันศุกร์ที่ 28 เดือนเมษายน พ.ศ. 2549 เวลา 14.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.สุรสิทธิ์ รัตริ)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 1549



<81482172>

เครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์

เครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ

AUTOMATIC ANTENNA POSITION CONTROLLER



จงจิตต์ หัตสนีย์ทิพากร
ธเนศ จิรพิสุทธิกุล

เลขที่.....
เลขที่..... 66687
ชื่อ.....

.....
.....

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท

เรื่อง เครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ
Automatic Antenna Position Controller

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบควบคุมการหมุนสายอากาศแบบทิศทาง
2. เพื่อออกแบบระบบควบคุมการหมุนสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติ
3. เพื่อสร้างระบบควบคุมการหมุนสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติ
4. เพื่อทดลองระบบควบคุมการหมุนสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติ
5. เพื่อนำระบบควบคุมการหมุนสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติไปใช้จริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้จากการศึกษาระบบควบคุมการหมุนสายอากาศแบบทิศทาง
2. ได้แนวระบบควบคุมสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติ
3. ได้เครื่องต้นแบบของระบบควบคุมสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติ
4. ได้ผลการทดสอบระบบสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติ
5. ได้นำระบบควบคุมสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติไปใช้งานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|----------------------|---------------------------------------|---------------|
| ชื่อหัวข้อ | เครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ | |
| นักศึกษา | นายจงจิตต์ | ทัศนีย์ทิพากร |
| | นายชเนศ | จิรพิสุทธิกุล |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รองศาสตราจารย์วิสุทธิ์ | สุนทรกนกพงศ์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | อาจารย์อมรชัย | ชัยชนะ |
| หลักสูตร | ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมบัณฑิต | |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมโทรคมนาคม | |
| ปีการศึกษา | 2548 | |

บทคัดย่อ

ปริญญาโทฉบับนี้เสนอเรื่องเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ โดยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาประยุกต์ใช้งาน องค์ประกอบของระบบแบ่งออกเป็น 3 หน่วย คือ หน่วยควบคุมและประมวลผล หน่วยการติดตั้งกับผู้ใช้งาน และหน่วยการขับเคลื่อนสายอากาศ สำหรับหน่วยควบคุมและประมวลผลได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มาประยุกต์ใช้ในการควบคุม ในส่วนหน่วยการขับเคลื่อนสายอากาศเลือกใช้สเต็ปมอเตอร์ที่สามารถควบคุมความถูกต้องของตำแหน่งในการเคลื่อนที่ได้ดี

| | | |
|------------------------|---|------------------|
| Thesis Title | Automatic Antenna Position Controller | |
| Students | Mr. Jongjit | Tassaneetipagron |
| | Mr. Thanet | Jirapisuttikul |
| Advisor | Assoc. Prof. Wisuit | Sunthonkanokpong |
| Co- Advisor | Mr. Amornchai | Chaichana |
| Education Level | Bachelor of Science in Industrial Education | |
| Program in | Telecommunication Engineering | |
| Academic Year | 2005 | |

ABSTRACT

This thesis presents the project of Automatic Antenna Position Controller. This project used the Microcontroller MCS-51 for controlling. This project consisted of three units (1) Processing and Control Unit, (2) User Interface Unit, and (3) Rotation Unit. Processing and Control Unit used the Microcontroller MCS-51 to control this system. The rotation used a stepping motor to control the accuracy of movement position.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์วิสุทธิสุนทรกนกพงศ์ และอาจารย์อมรชัย ชัยชนะ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาครุศาสตร์ศึกษาศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านเป็นอย่างมาก ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนถึงข้อมูลและอุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทดลองโครงงานและในการจัดทำปริญญาโทฉบับนี้ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์และสำนักหอสมุดกลางที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณที่ไม่ได้เขียนชื่อสำหรับพวกเราที่ได้ให้การสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างทางด้านการศึกษาตลอดมาจนถึงปัจจุบัน และสุดท้ายต้องขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่เป็นกำลังใจให้เสมอมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VIII |
| สารบัญรูป | IX |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ | 1 |
| 1.3 ซีดความสามารถของโครงการ | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนของการทำโครงการ | 2 |
| 1.5 เนื้อหาโดยสังเขป | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 4 |
| 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ | 4 |
| 2.1.1 โครงสร้างของ MCS-51 | 4 |
| 2.1.2 การจัดขาต่าง ๆ ของ MSC-51 | 5 |
| 2.1.3 โครงสร้างของพอร์ตอินพุตเอาต์พุต | 9 |
| 2.1.4 โครงสร้างหน่วยความจำ | 10 |
| 2.1.5 หน่วยความจำภายนอก | 14 |
| 2.2 สเตปปีงมอเตอร์ | 20 |
| 2.2.1 การทำงานของสเตปปีงมอเตอร์ | 20 |
| 2.2.2 ชนิดของสเตปปีงมอเตอร์ | 21 |
| 2.2.3 การจำแนกชนิดของสเตปปีงมอเตอร์ด้วยการพันคอยล์ | 22 |
| 2.2.4 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเตปปีงมอเตอร์ | 23 |
| 2.3 เฟือง | 25 |
| 2.3.1 ชนิดของเฟือง | 26 |
| 2.3.2 คำจำกัดความของเกียร์ | 26 |
| 2.3.3 คุณสมบัติแบบ Involute | 28 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|---|------|
| 2.3.4 กฎการขับเฟืองและการทำงานของฟันเฟือง | 31 |
| 2.3.5 ระบบการขับและอัตราทดการขับ | 32 |
| 2.3.6 การขัดกัน | 33 |
| 2.3.7 วิธีการตัดเฟือง | 35 |
| 2.4 การแสดงผลทาง LCD | 36 |
| 2.4.1 โครงสร้างของแอลซีดีโมดูล | 36 |
| 2.4.2 ขาสัญญาณของแอลซีดีโมดูล | 38 |
| 2.4.3 การต่อเข้ากับระบบ | 39 |
| 2.4.4 การใช้งาน LCD โมดูลเบื้องต้น | 39 |
| 2.5 เอนโคเดอร์ | 41 |
| 2.5.1 ลักษณะการทำงานของเอนโคเดอร์ | 41 |
| 2.5.2 การทำงานของขดลวดในเอนโคเดอร์ | 44 |
| 2.5.3 Incremental encoder | 45 |
| 2.5.4 Absolute encoder | 47 |
| บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน | 48 |
| 3.1 กล่าวนำ | 48 |
| 3.1.1 ส่วนควบคุมและประมวลผล | 48 |
| 3.1.2 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน | 50 |
| 3.1.3 ส่วนการหมุนสายอากาศ | 52 |
| 3.2 การออกแบบในส่วนของซอฟต์แวร์ | 60 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | 62 |
| 4.1 กล่าวนำ | 62 |
| 4.2 วัจนแสดงผล | 62 |
| 4.2.1 การทดลอง | 62 |
| 4.2.2 ผลการทดลอง | 62 |
| 4.3 ชุดคีย์สวิตช์เมทริกซ์ | 63 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| 4.3.1 การทดลอง | 63 |
| 4.3.2 ผลการทดลอง | 63 |
| 4.4 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์และสเต็ปปีงมอเตอร์ | 64 |
| 4.4.1 การทดลอง | 64 |
| 4.4.2 ผลการทดลอง | 64 |
| 4.5 เอนโคเดอร์ | 64 |
| 4.5.1 การทดลอง | 64 |
| 4.5.2 ผลการทดลอง | 65 |
| 4.6 ลิมิตสวิตช์ | 65 |
| 4.6.1 การทดลอง | 65 |
| 4.6.2 ผลการทดลอง | 65 |
| 4.7 ระบบ MANUAL | 66 |
| 4.7.1 การทดลอง | 66 |
| 4.7.2 ผลการทดลอง | 66 |
| 4.8 ระบบ AUTOMATIC | 67 |
| 4.8.1 การทดลอง | 67 |
| 4.8.2 ผลการทดลอง | 67 |
| 4.9 การแสดงผล 0 - 360 องศา | 68 |
| 4.9.1 การทดลอง | 68 |
| 4.9.2 ผลการทดลอง | 68 |
| 4.10 การจำกัดตำแหน่งเดิม | 68 |
| 4.10.1 การทดลอง | 68 |
| 4.10.2 ผลการทดลอง | 69 |
| 4.11 การบันทึกตำแหน่ง 10 ค่า | 69 |
| 4.11.1 การทดลอง | 69 |
| 4.11.2 ผลการทดลอง | 69 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 5 บทสรุป | 71 |
| 5.1 สรุป | 71 |
| 5.2 บทวิจารณ์ | 71 |
| 5.3 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข | 71 |
| 5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อ | 72 |
| บรรณานุกรม | 73 |
| ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ | 74 |
| ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์ | 80 |
| ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์ | 85 |
| ภาคผนวก ง รายการละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ | 90 |
| ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน | 124 |
| ภาคผนวก ฉ ผังงาน | 130 |
| ภาคผนวก ช รหัสต้นฉบับของโปรแกรม | 143 |
| ประวัติผู้แต่ง | 155 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 บิตและหน้าที่ต่าง ๆ ของพอร์ต 3 | 7 |
| 2.2 ขั้นตอนการกระตุ้นเฟสแบบเวฟ | 24 |
| 2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส | 24 |
| 2.4 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเตป | 25 |
| 2.5 ขนาดเฟืองมาตรฐาน | 28 |
| 2.6 มาตรฐาน SI ของฟันเฟือง | 31 |
| 2.7 มาตรฐานอังกฤษฟันเฟือง | 31 |
| 2.8 ขาสัญญานของแอสซิติโมดูล | 38 |
| 2.9 ค่าความละเอียดเป็นระบบดิจิทัลตลอด 360 องศา | 45 |
| 4.1 ผลการทดลองวงจรแสดงผล | 62 |
| 4.2 ผลการทดลองชุดคีย์สวิตช์เมทริกซ์ | 63 |
| 4.3 ผลการทดลองวงจรขับสเตปป์มอเตอร์และสเตปป์มอเตอร์ | 64 |
| 4.4 ผลการทดลองเอนโคเดอร์ | 65 |
| 4.5 ผลการทดลองของลิมิตสวิตช์ | 65 |
| 4.6 ผลการทดลองระบบ MANUAL | 66 |
| 4.7 ผลการทดลองระบบ AUTOMATIC | 67 |
| 4.8 ผลการทดลองการแสดงผล 0 – 360 องศา | 68 |
| 4.9 ผลการทดลองการจำกัดตำแหน่งเดิม | 69 |
| 4.10 ผลการทดลองการบันทึกค่า 10 ค่า | 70 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 โครงสร้างภายในของ MCS-51 | 5 |
| 2.2 ขาต่าง ๆ ของ 8051 | 6 |
| 2.3 ขาของ MCS-51 ที่ใช้ต่อกับ XTAL | 8 |
| 2.4 โครงสร้างพอร์ตทั้ง 4 ของ MCS-51 | 9 |
| 2.5 การต่อพอร์ตเข้ากับระบบบัลลอคภายในของ MCS-51 | 10 |
| 2.6 การจัดหน่วยความจำของ MCS-51 | 10 |
| 2.7 ตำแหน่งของหน่วยความจำทั้งแบบไบต์และแบบบิต | 12 |
| 2.8 ขั้นตอนต่าง ๆ ในการอ่านข้อมูล | 13 |
| 2.9 ไดอะแกรมกลุ่มสัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูล | 15 |
| 2.10 ไดอะแกรมเวลาการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก | 16 |
| 2.11 การต่อ MCS-51 กับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก | 17 |
| 2.12 ไดอะแกรมเวลาการอ่านและเขียนข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก | 18 |
| 2.13 สัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำคำสั่ง MOVX | 19 |
| 2.14 การต่อหน่วยความจำโปรแกรมกับ MCS-51 | 20 |
| 2.15 โครงสร้างภายในของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ (Hybrid) | 22 |
| 2.16 การพัฒนาของสเต็ปเตอร์ของสเต็ปปีงมอเตอร์ | 22 |
| 2.17 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับสเต็ปปีงมอเตอร์ | 23 |
| 2.18 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเฟือง | 25 |
| 2.19 ส่วนต่าง ๆ ของเฟือง | 26 |
| 2.20 ลักษณะเฟืองแบบ Involute Curve | 29 |
| 2.21 ส่วนทั้งหมดของเฟือง | 30 |
| 2.22 ลักษณะการขบของเฟือง | 31 |
| 2.23 ระยะการขบของฟันเฟือง | 33 |
| 2.24 การขบของเฟืองไม่ขัดกัน | 34 |
| 2.25 การตัดเฟืองแบบเร็คคัตเตอร์ | 35 |
| 2.26 โครงสร้างทั่วไปของ LCD โมดูล | 36 |
| 2.27 วงจรอย่างง่ายสำหรับการเชื่อมต่อ LCD โมดูลกับระบบ JAZZ-31 | 37 |
| 2.28 ตัวอย่างการออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อกับ LCD โมดูล | 38 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.29 ขั้นตอนการควบคุม LCD โมดูล | 40 |
| 2.30 การแยกประเภทของเอนโคเดอร์ (ภาษาเยอรมัน) | 41 |
| 2.31 ตัวอย่าง Resolver หรือ Brushless Resolver | 42 |
| 2.32 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเพลากับแรงดันค่ายอดที่เกิดขึ้นบนขดลวดแต่ละขด | 43 |
| 2.33 การแปลงสัญญาณดิจิทัลของ | 44 |
| 2.34 โครงสร้างและสัญญาณพัลส์ของ | 46 |
| 2.35 โครงสร้างแผ่นดิสตีพิเศษซึ่งมีลักษณะเป็น | 47 |
| 3.1 ส่วนประกอบของระบบ | 48 |
| 3.2 วงจรส่วนประมวลผล | 49 |
| 3.3 วงจรแสดงผล | 50 |
| 3.4 วงจรภายในของคีย์แพด | 51 |
| 3.5 ลักษณะคีย์ที่ใช้งาน | 51 |
| 3.6 การต่อใช้งานของส่วนประกอบต่าง ๆ | 52 |
| 3.7 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์จ้อ 1 เฟส | 53 |
| 3.8 ลักษณะของชุดเฟืองที่มองจากด้านบน | 54 |
| 3.9 ลักษณะของชุดเฟืองที่มองจากด้านข้าง | 54 |
| 3.10 ลักษณะของจานเอนโคเดอร์ | 56 |
| 3.11 การติดตั้งเอนโคเดอร์ | 56 |
| 3.12 ลักษณะชุดขับเคลื่อนด้านบนที่ยังไม่ได้ใส่เฟือง | 57 |
| 3.13 ลักษณะชุดขับเคลื่อนด้านบนที่ใส่เฟืองแล้ว | 57 |
| 3.14 ลักษณะด้านข้างของชุดขับเคลื่อน | 58 |
| 3.15 ส่วนที่ใช้ติดตั้งสายอากาศ | 58 |
| 3.16 โครงสร้างของการหมุนสายอากาศที่สมบูรณ์ | 59 |
| 3.17 วงจรลิมิตสวิทช์ | 60 |
| 3.18 ไฟล์ชาร์ตการทำงานทั้งหมด | 61 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติที่ได้ทำขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมสายอากาศแบบทิศทางในกิจกรรมของนักวิทยุสมัครเล่น ก่อนอื่นมาทำความรู้จักกับนักวิทยุสมัครเล่นและสายอากาศแบบทิศทางกันก่อน จะได้เข้าใจว่าทำไมจึงต้องมีเครื่องควบคุมการหมุนของสายอากาศชนิดนี้

ระบบวิทยุสมัครเล่นมีการใช้สื่อสารกันอยู่ในย่านความถี่ 144 เมกะเฮิร์ต ถึง 146 เมกะเฮิร์ต โดยจะทำการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 80 ช่องสัญญาณ แต่ช่องสัญญาณจะห่างกันช่องละ 25 กิโลเฮิร์ต คือจะเป็น 144.00 เมกะเฮิร์ต, 144.025 เมกะเฮิร์ต, 144.50 เมกะเฮิร์ต ไปเรื่อย ๆ จนถึง 146.00 เมกะเฮิร์ต ซึ่งการใช้งานจำเป็นจะต้องทำการจดทะเบียนกับทางราชการ ในแต่ละช่องสัญญาณจะมีกลุ่มผู้ใช้เฉพาะกลุ่ม มีพิกัดที่ตั้งแตกต่างกันไป ดังนั้น อุปกรณ์ที่สำคัญของระบบวิทยุสื่อสาร คือ สายอากาศ

ในที่นี้จะขออธิบายถึงลักษณะของสายอากาศกระจายคลื่นแบบทิศทาง หรือที่เรียกว่าสายอากาศแบบทิศทางเท่านั้น สายอากาศแบบทิศทางเป็นสายอากาศใช้เทคนิคพิเศษในการออกแบบ ให้สามารถรวบรวมพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้แผ่พุ่งออกไปในทิศทางเดียวกันหรือสองทิศทางได้ ทำให้สามารถติดต่อได้ไกลมาเป็นพิเศษเฉพาะทิศทางที่ต้องการ เหมาะสำหรับการติดต่อในกิจกรรมพิเศษ หรือต้องการหลบสัญญาณรบกวน หรือใช้ในการหาทิศทางของคู่สถานี หรือผู้ส่งสัญญาณรบกวน

ข้อเสียของสายอากาศแบบทิศทางคือ จะส่งและรับสัญญาณจากทิศทางอื่นๆ ได้น้อยมากหรือไม่ได้เลย ดังนั้นในระบบจึงต้องมีชุดหมุนสายอากาศ (Rotor) สำหรับหมุนสายอากาศอยู่ด้วยเพื่อทำหน้าที่หมุนสายอากาศไปในทิศทางที่ผู้ใช้ต้องการได้

โครงการระบบควบคุมตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทางนี้ เป็นโครงการเพื่อสร้างเครื่องควบคุมการหมุนของสายอากาศแบบทิศทางที่ใช้งานในสถานีของนักวิทยุสมัครเล่นให้สามารถหันไปในทิศทางที่ต้องการตรงตามผู้ใช้ต้องการ แต่เนื่องจากอุปกรณ์ควบคุมการหมุนสายอากาศ (Rotor) ที่จำหน่ายในท้องตลาดนั้นมีราคาสูง ด้วยเหตุนี้เราจึงหาอุปกรณ์เข้ามาประยุกต์เพื่อทดแทนและสร้างได้ในราคาที่ต่ำกว่าท้องตลาด โดยเพิ่มลูกเล่นพิเศษ เพื่อสนับสนุนการทำงานของระบบนี้

1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ

คณะผู้จัดทำได้สร้างเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำงานได้สะดวกเพิ่มขึ้นประกอบกับการใช้อุปกรณ์ที่มีราคาถูกหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถ ดังนี้

1. มีระบบ Manual และระบบระบุค่าที่ต้องการ
2. ระบุมุมที่ต้องการได้ 0-360 องศา
3. แสดงผลการทำงานเป็นตัวเลข 0-360 องศา
4. เริ่มต้นทำงานตำแหน่งสุดท้ายก่อนเปิดเครื่องได้
5. สามารถบันทึกช่องและองศาได้ 10 ช่อง

1.4 ขั้นตอนของการทำโครงการ

โครงการนี้ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งการทำงานในระยะแรกจะเริ่มต้นจากการออกแบบฮาร์ดแวร์ จัดซื้ออุปกรณ์ เมื่อจัดเตรียมอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ได้ตามที่ต้องการแล้ว ก็ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมโดยอาศัย MCS-51 เข้ามาช่วยทดสอบกับอุปกรณ์ที่เตรียมไว้และเมื่อผลการทดลองออกมาเป็นที่น่าพอใจ จึงจะทำการประกอบเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ แล้วให้ผู้ทรงคุณวุฒิทำการประเมินผล

1.5 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาของในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษา และทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญานิพนธ์ ขีดความสามารถของโครงการ และเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วย ทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับโครงสร้างและเทคนิคของสเตปปีงมอเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวกับ แผนผังการทำงานของโครงการ ผังวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงการ ตลอดจนการออกแบบและการสร้างส่วนประกอบต่างๆ เช่น วงจรควบคุมการหมุนของสเตปปีงมอเตอร์ โครงสร้างของชิ้นงาน พร้อมทั้งการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ โดยละเอียด

บทที่ 4 ประกอบด้วย การทดลองและผลการทดลองของวงจรควบคุมการหมุนของสเตปปีงมอเตอร์ วงจรภาคแสดงผล และวงจรภาคป้อนข้อมูล

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจัดทำโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางในการแก้ไข รวมทั้งแนวทางในการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ภาคผนวก ก แสดงภาพเครื่องต้นแบบ การติดตั้ง การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ขณะใช้งานจริง
- ภาคผนวก ข ประกอบด้วยผังรายละเอียดและแผนวงจรมิติ
- ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้งานในแต่ละวงจร
- ภาคผนวก ง แสดงรายการละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์
- ภาคผนวก จ คู่มือการใช้เครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ
- ภาคผนวก ฉ แสดงผังงาน
- ภาคผนวก ช แสดงรหัสต้นฉบับของโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

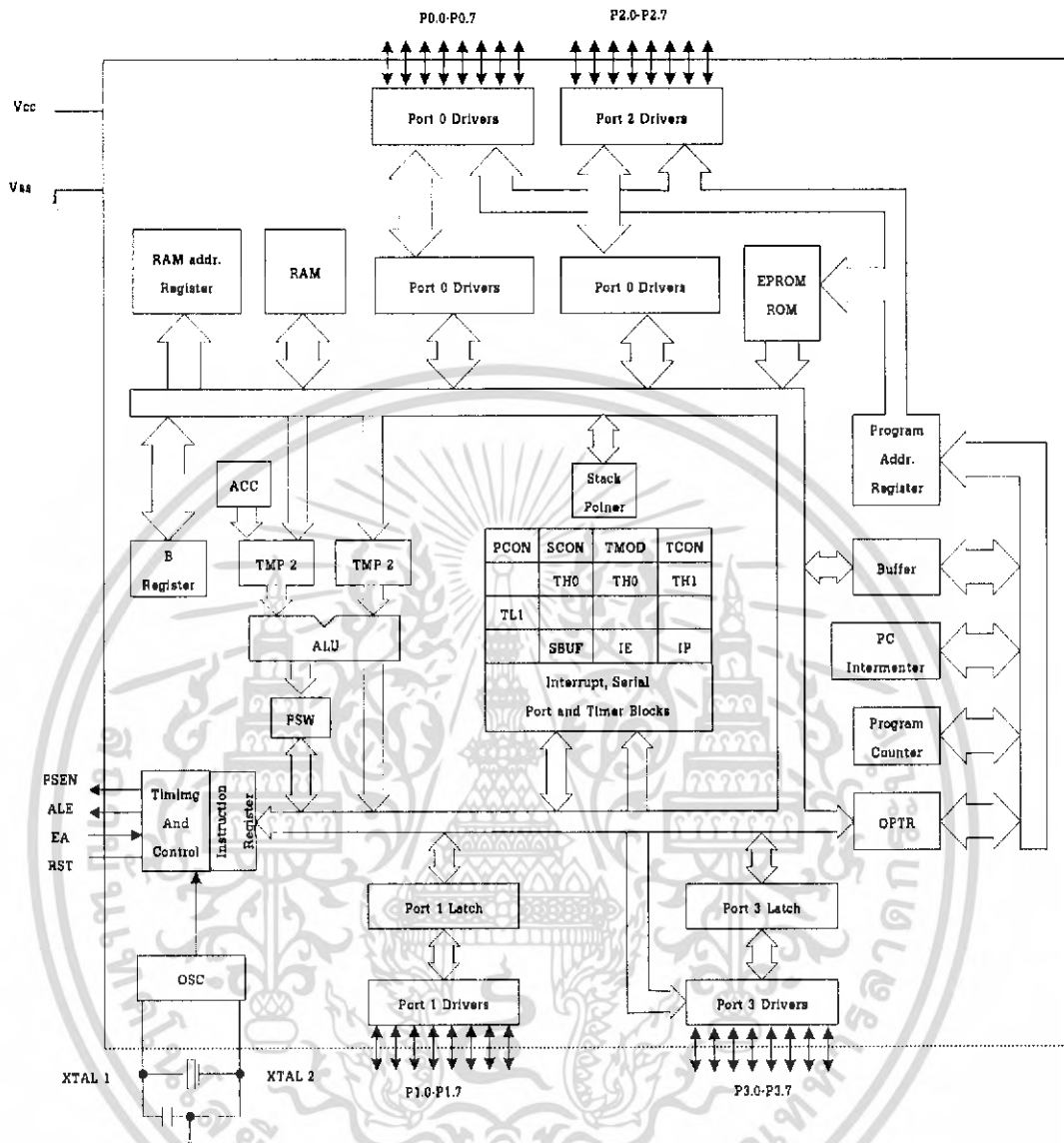
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ได้ถูกคิดค้น , พัฒนา และผลิตออกสู่ตลาดโดยบริษัทอินเทล เพื่อใช้ในงานควบคุมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นงานควบคุมขนาดเล็ก งานควบคุมขนาดกลางจนถึงงานควบคุมขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนพอสมควร เช่น การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป เป็นต้น จากข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการวางจรรยาบรรณพื้นฐานต่างๆ มารวมไว้ภายในชิพเดียวกันทำให้วงจรควบคุมที่สร้างมีขนาดเล็ก มีความสะดวกและคล่องตัวสูง จึงเป็นที่นิยมและแพร่หลายอย่างมาก ผู้ผลิตชิพหลายบริษัทได้ติดต่อขอซื้อลิขสิทธิ์การผลิตชิพจากบริษัทอินเทล เพื่อไปผลิตจำหน่าย โดยได้มีการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น ทำให้ในปัจจุบันมีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีมาตรฐานเดียวกับ MCS-51 ของบริษัทอินเทลออกจำหน่ายหลายรุ่น ซึ่งจะมีสถาปัตยกรรมพื้นฐานที่เหมือนกัน และสามารถใช้แทนกันได้ จะต่างกันเพียงขนาดของหน่วยความจำภายในและหน่วยทำงานภายในเท่านั้น

2.1.1 โครงสร้างของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นกับโครงสร้างภายในของมัน บางเบอร์จะมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบ ROM บางเบอร์เป็นแบบ EPROM บางเบอร์มี RAM ภายใน 128 ไบต์ บางเบอร์มี 256 ไบต์ เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดจะศึกษาได้จากคู่มือของมันโดยตรงและลักษณะของขาต่าง ๆ จะเหมือนกัน คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51 มีดังนี้

1. มีหน่วยความจำ ROM 4 k bytes
2. มีหน่วยความจำ RAM 128 bytes
3. มีพอร์ต I/O ขนาด 8 บิต 4 พอร์ต
4. มี Timer 16 บิต 2 ตัว
5. สามารถอินเทอร์รัพต์ได้ 5 แหล่ง
6. มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรรักษาไฟฟ้าในตัวไอซี
7. มีพอร์ตอนุกรมที่สามารถรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ความเร็วสูง
8. อ่างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 k bytes
9. อ่างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 k bytes
10. สามารถประมวลผลที่ละบิตได้
11. สามารถอ่างหน่วยความจำแบบบิตได้ 210 ตำแหน่ง
12. หนึ่งวัฏจักรคำสั่งกินเวลาประมาณ 1 ไมโครวินาที ขณะทำงานด้วย Clock 12 MHz

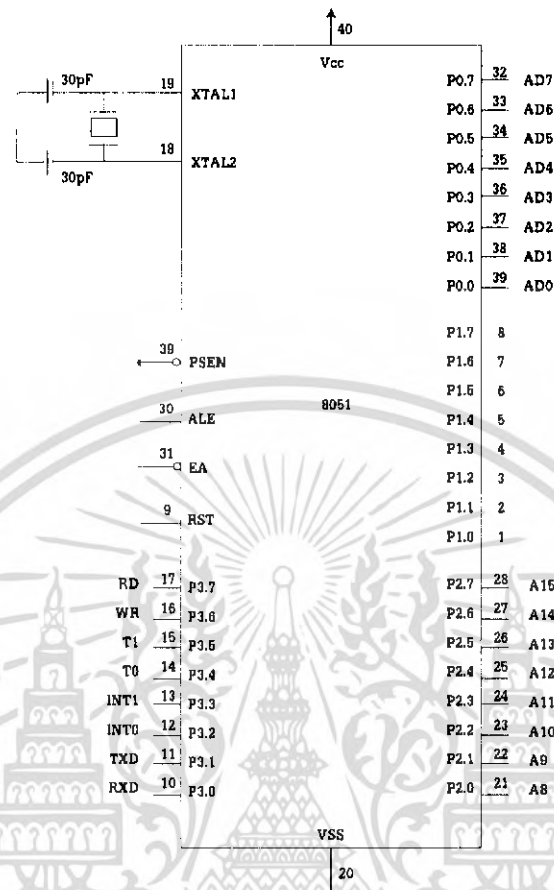
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของ MCS-51

2.1.2 การจัดขาต่าง ๆ ของ MCS-51

ไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 โครงสร้าง IC เป็นแบบ DIP มีขาทั้งหมด 40 ขาโดยขาต่าง ๆ จะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุต, เอาต์พุต, ขาสัญญาณควบคุม, ขาตำแหน่งหน่วยความจำและขาข้อมูลดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขาต่าง ๆ ของ 8051

ความหมายของขาต่าง ๆ มีดังนี้

1. พอร์ต 0 (Port 0)

พอร์ต 0 ได้แก่ขาที่ 32-39 ของ MCS-51 สามารถใช้เป็นอินพุตเอาต์พุตได้นอกจากนี้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus อีกด้วย

2. พอร์ต 1 (Port 1)

พอร์ต 1 ได้แก่ขาที่ 1-8 เป็นพอร์ต 8 บิต สามารถอ้างที่ละบิตได้ คือ P1.0, P1.1 เป็นต้น

3. พอร์ต 2 (Port 2)

พอร์ต 2 ได้แก่ขาที่ 21-28 จะใช้งาน 2 หน้าทีคือใช้เป็นพอร์ต 8 บิตกับใช้เป็นขาแอดเดรส 8 บิตในการอ้างหน่วยความจำภายนอก

4. พอร์ต 3 (Port 3)

พอร์ต 3 ได้แก่ขาที่ 10-17 จะใช้งานสองหน้าทีคือเป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต และใช้เป็นขาควบคุมต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 บิตและหน้าที่ต่าง ๆ ของพอร์ต 3

| บิต | ชื่อ | หน้าที่พิเศษ |
|------|-------------------|------------------------------------|
| P3.0 | RXD | ใช้รับข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม |
| P3.1 | TXD | ใช้ส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม |
| P3.2 | $\overline{INT0}$ | อินเทอร์รัพต์ภายนอกหมายเลข 0 |
| P3.3 | $\overline{INT1}$ | อินเทอร์รัพต์ภายนอกหมายเลข 1 |
| P3.4 | $T0$ | ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 0 |
| P3.5 | $T1$ | ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 1 |
| P3.6 | \overline{WR} | สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก |
| P3.7 | \overline{RD} | สัญญาณอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก |

5. \overline{PSEN} (Program Store Enable)

ขา \overline{PSEN} เป็นขาที่ส่งสัญญาณออกคือขา 29 ขานี้จะแอกทีฟเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่าน Code โปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็น RROM ขา \overline{PSEN} จะต่อกับขา Output Enable (\overline{OE}) ของ EPROM

6. ALE (Address Latch Enable)

เนื่องจากพอร์ต 0 สามารถใช้เป็นขาอ้างตำแหน่งและขาข้อมูล MCS-51 จะมีขา ALE ได้แก่ขา 30 ขานี้จะใช้ Multiplex สัญญาณ Address Bus ของ Port 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 นั้น จะต้องมีการต่อกับ Port 0 ที่ทำหน้าที่ Latch สัญญาณ Address Bus เมื่อ MCS-51 ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก MCS-51 จะส่งสัญญาณ Address Bus ออกมาก่อนทาง Port 0 จากนั้นจะส่งสัญญาณ ALE มา Latch อุปกรณ์ภายนอกให้เก็บค่า Address Bus ของ Port 0 ไว้เพื่อใช้ Port 0 เป็น Data Bus ต่อไป

7. \overline{EA} (External Access)

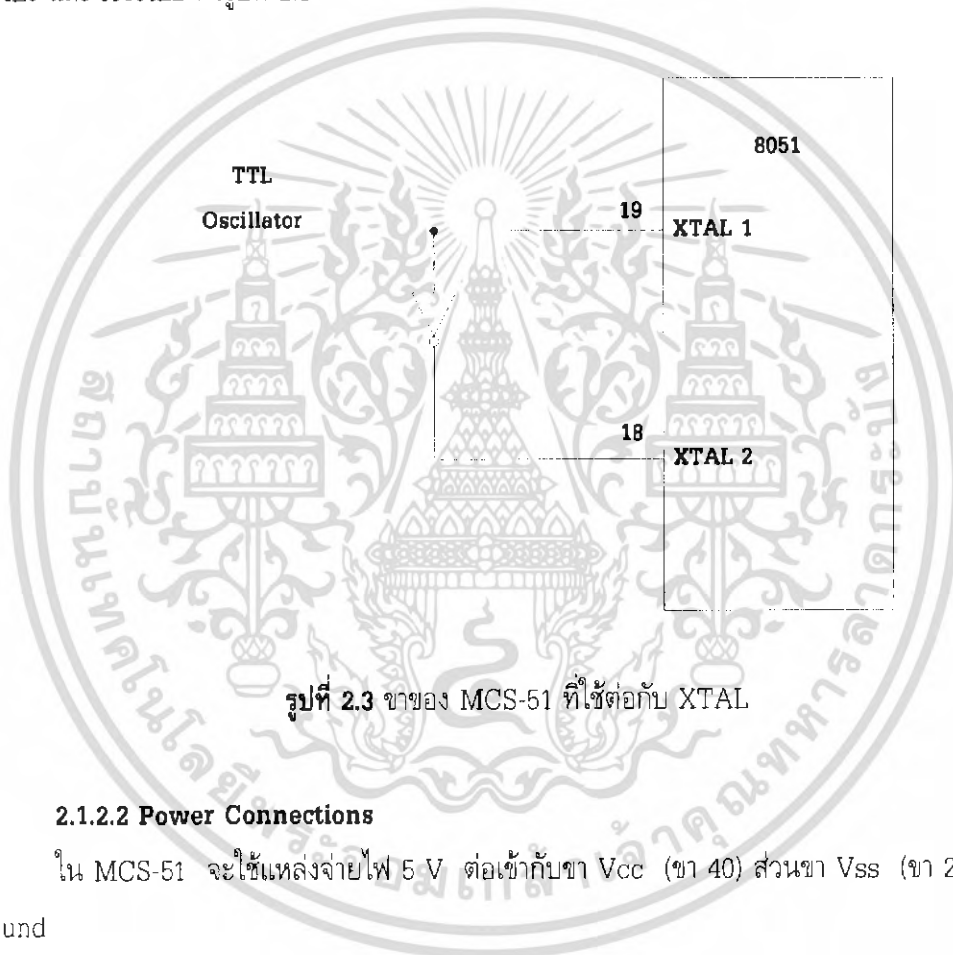
ขา \overline{EA} ได้แก่ขาที่ 31 ถ้าขานี้เป็นลอจิก "1" จะใช้กับเบอร์ 8051 / 8052 เพื่อบอกว่าให้อ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ถ้าเป็นลอจิก "0" จะบอกว่าให้ MCS-51 ทำโปรแกรมโดยอ่านจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (ถ้าขา EA เป็น "0" ขา \overline{PSEN} จะแอกทีฟ) ถ้าหากเป็นเบอร์ 8031 หรือ 8032 ขา \overline{EA} จะเป็น "0" เสมอ เพราะว่าไม่มีโปรแกรมหน่วยความจำภายใน แต่ถ้าใช้เบอร์ 8051 / 8052 ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในและให้ขา \overline{EA} เป็น "0" ซึ่งจะ Disabled ROM ภายในและจะอ่านโปรแกรมจาก EPROM ภายนอกแทน

8. RST (Reset)

ขา RST ได้แก่ขา 9 จะใช้ในการรีเซ็ต MCS-51 โดยจะใช้ขานี้เป็นลอจิก "1" อย่างน้อย 2 Machine Cycles จึงจะรีเซ็ตระบบได้

2.1.2.1 ความถี่สัญญาณนาฬิกาบนชิพ (On-chip Oscillator Inputs)

เป็นวงจร Oscillator บนชิพ ได้แก่ขา 18-19 โดยต่อ Crystal เข้ากับขานี้ โดยปกติมักจะใช้ Crystal ความถี่ 12 MHz กับตัวเก็บประจุหรืออาจใช้สัญญาณนาฬิกาจาก TTL Clock Source ต่อกับ XTAL1 และ XTAL2 ดังรูปที่ 2.3



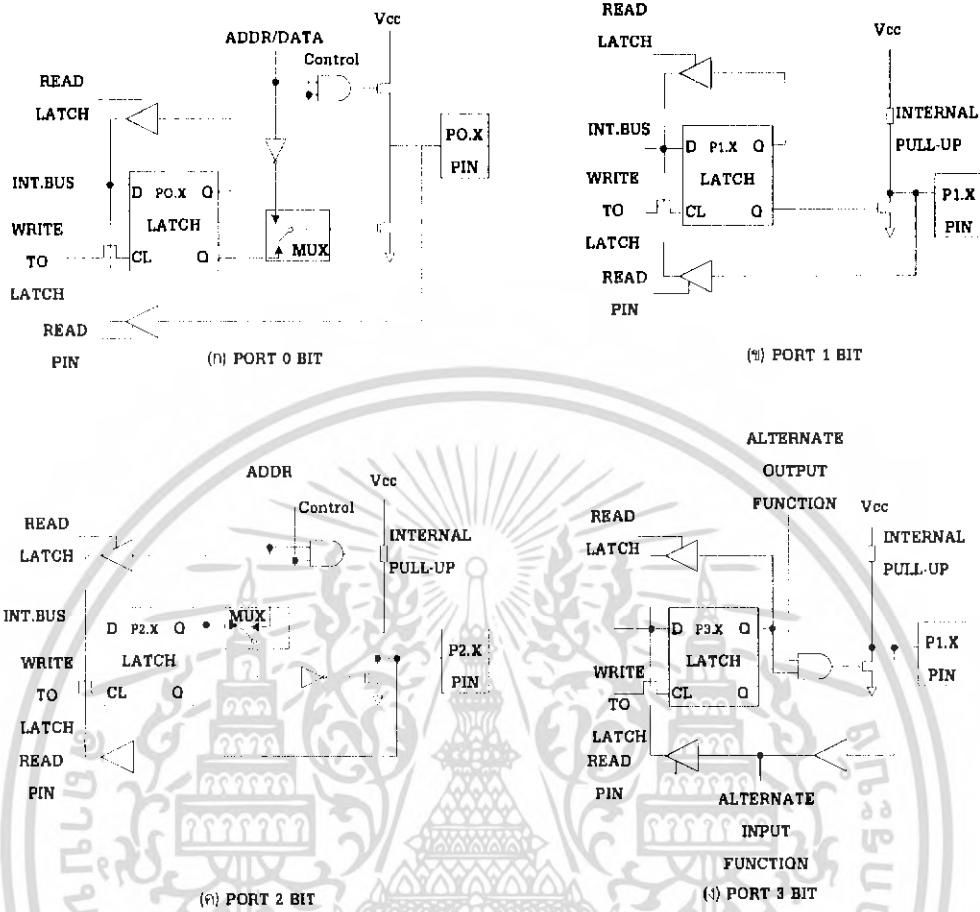
รูปที่ 2.3 ขาของ MCS-51 ที่ใช้ต่อกับ XTAL

2.1.2.2 Power Connections

ใน MCS-51 จะใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 V ต่อเข้ากับขา Vcc (ขา 40) ส่วนขา Vss (ขา 20) จะต่อลง Ground

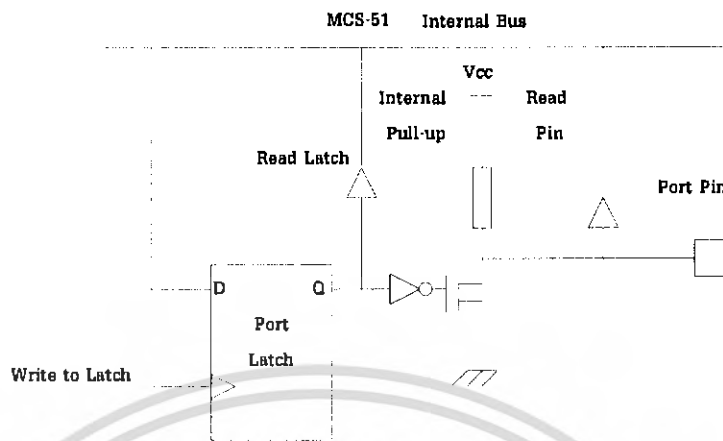
2.1.3 โครงสร้างของพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

ขาของพอร์ตจะแสดงโครงสร้างภายในได้ ดังรูปที่ 2.4 โดยจะมีโครงสร้างเป็น Field-effect Transistor ต่ออยู่กับขากายนอก และมีความต้านทานต่อ Pull-up อยู่สำหรับพอร์ต 1, 2, 3 แต่ถ้าเป็นพอร์ต 0 จะไม่มีตัวต้านทาน Pull-up ภายใน เพราะจะต้องใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus



รูปที่ 2.4 โครงสร้างพอร์ตทั้ง 4 ของ MCS-51

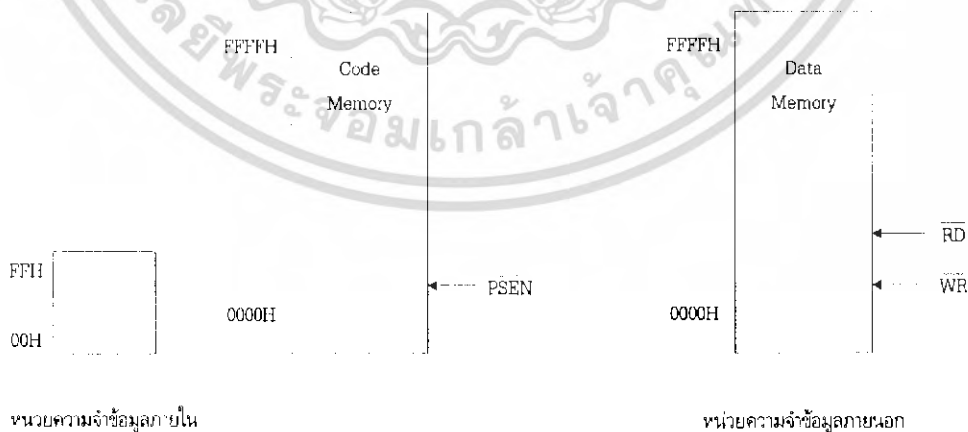
พอร์ตนี้สามารถใช้เป็นอินพุตเอาต์พุตกับอุปกรณ์ภายนอกได้ ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ตจะอ่านได้สองแบบคือ Read Latch และ Read Pin โดย Read Latch หมายถึงการอ่านข้อมูลที่ถูกลatch เอาไว้เข้าสู่บัสภายในของ MCS-51 เช่นการทำคำสั่ง CPL P1.5 แต่ถ้าเป็นการ Read Pin จะเป็นการใช้พอร์ตเป็นอินพุต โดยจะอ่านค่าจากขาของไอซีเข้าสู่บัสภายในโดยการอ่านแบบ Read Latch และ Read Pin จะมีสัญญาณมาควบคุมที่บัฟเฟอร์ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การต่อพอร์ตเข้ากับระบบบัสภายในของ MCS-51

2.1.4 โครงสร้างหน่วยความจำ

หน่วยความจำสำหรับ MCS-51 จะมี 2 ชนิดคือ หน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรม (ROM) กับ หน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลในการประมวลผล (RAM) MCS-51 บางเบอร์เช่น 8051, 8052 จะมี หน่วยความจำโปรแกรมภายในชิพและ MCS-51 ทุกเบอร์สามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้มากที่สุด 64 k bytes และอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้มากที่สุด 64 k bytes สำหรับหน่วยความจำ RAM ภายใน จะประกอบด้วยพื้นที่ใช้งานทั่วไป, รีจิสเตอร์แบงก์, พื้นที่ใช้งานระดับบิต และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ เราอาจเขียนโคดแอสเซมบลีของหน่วยความจำของ 8031 ได้ดังรูปที่ 2.6 โดยในรูปจะบอกด้วยว่าขาใดจะ แอคทีฟ



รูปที่ 2.6 การจัดหน่วยความจำโปรแกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน 8031 จะมีหน่วยความจำภายในตั้งแต่ตำแหน่ง 00H ถึง FFH และสามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ ตำแหน่ง ถ้าอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรม \overline{PSEN} จะแอกทีฟ นอกจากนี้ 8031 สามารถอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 k bytes โดยการติดต่อกับหน่วยความจำนี้ ขา \overline{RD} และ \overline{WR} จะแอกทีฟ สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในนั้นจะแบ่งออกได้ดังนี้

1. ชุดรีจิสเตอร์ 4 ชุด แต่ละชุดเรียกว่ารีจิสเตอร์เบงค์ที่ตำแหน่ง 00H ถึง 1FH โดยแต่ละชุดประกอบด้วยรีจิสเตอร์ R0 ถึง R7
2. หน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ตำแหน่ง 20H ถึง 2FH
3. หน่วยความจำใช้งานทั่วไปตำแหน่ง 30H ถึง 7FH
4. รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ ตำแหน่ง 80H ถึง FFH

แผนผังการจัดหน่วยความจำข้อมูลภายในแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 จากแผนผังจะเห็นว่า การอ้างตำแหน่งหน่วยความจำภายในจะอ้างได้สองแบบ คือการอ้างไปที่ตำแหน่งของไบต์ (เขียนหมายเลขตำแหน่งด้านนอก) หรือการอ้างไปที่ตำแหน่งของบิต (เขียนหมายเลขตำแหน่งด้านใน) โดยตำแหน่งของหน่วยความจำที่อ้างเป็นแบบบิตได้จะมีตำแหน่งบิตที่แน่นอน

| Byte Address | Bit Address | General Purpose RAM | Byte Address | Bit Address | Special Function Registers |
|--------------|-------------------------|------------------------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|
| | | | FF | | |
| | | | F0 | F7 F6 F5 F4 F3 F2 F1 F0 | B |
| | | | E0 | E7 E6 E5 E4 E3 E2 E1 E0 | ACC |
| | | | D0 | D7 D6 D5 D4 D3 D2 D0 | PSW |
| | | | B8 | BO BB BA B9 B8 | IP |
| | | | B0 | B7 B6 B5 B4 B3 B2 B1 B0 | P3 |
| | | | A8 | AF AC AB AA A9 A8 | IE |
| | | | A0 | A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1 A0 | P2 |
| | | | 99 | Not Bit Address | SBUF |
| | | | 98 | 9F 9E 9D 9C 9B 9A 99 98 | SCON |
| | | | 90 | 97 96 95 94 93 92 91 90 | P1 |
| | | | 8D | Not Bit Address | TH1 |
| | | | 8C | Not Bit Address | TH0 |
| | | | 8B | Not Bit Address | TL1 |
| | | | 8A | Not Bit Address | TL0 |
| | | | 89 | Not Bit Address | TMOD |
| | | | 88 | 8F 8E 8D 8C 8B 8A 89 88 | TCON |
| | | | 87 | Not Bit Address | PCON |
| | | | 83 | Not Bit Address | DPH |
| | | | 82 | Not Bit Address | DPL |
| | | | 81 | Not Bit Address | SL |
| | | | 80 | 87 86 85 84 83 82 81 80 | PO |
| 30 | | | | | |
| 2F | 7F 7E 7D 7C 7B 7A 79 78 | | | | |
| 2E | 77 76 75 74 73 72 71 70 | | | | |
| 2D | 6F 6E 6D 6C 6B 6A 69 68 | | | | |
| 2C | 67 66 65 64 63 62 61 60 | | | | |
| 2B | 5F 5E 5D 5C 5B 5A 59 58 | | | | |
| 2A | 57 56 55 54 53 52 51 50 | | | | |
| 29 | 4F 4E 4D 4C 4B 4A 49 48 | | | | |
| 28 | 47 46 45 44 43 42 41 40 | | | | |
| 27 | 3F 3E 3D 3C 3B 3A 39 38 | | | | |
| 26 | 37 36 35 34 33 32 31 30 | | | | |
| 25 | 2F 2E 2D 2C 2B 2A 29 28 | | | | |
| 24 | 27 26 25 24 23 22 21 20 | | | | |
| 23 | 1F 1E 1D 1C 1B 1A 19 18 | | | | |
| 22 | 17 16 15 14 13 12 11 10 | | | | |
| 21 | 0F 0E 0D 0C 0B 0A 09 08 | | | | |
| 20 | 07 06 05 04 03 02 01 00 | | | | |
| 1F | | BANK 3 | | | |
| 18 | | | | | |
| 17 | | BANK 2 | | | |
| 10 | | | | | |
| 0F | | BANK 1 | | | |
| 08 | | | | | |
| 07 | | Default Register Bank for RO-R7 | | | |
| 00 | | | | | |

รูปที่ 2.7 ตำแหน่งของหน่วยความจำทั้งแบบไบต์และแบบบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.1 หน่วยความจำใช้งานทั่วไป

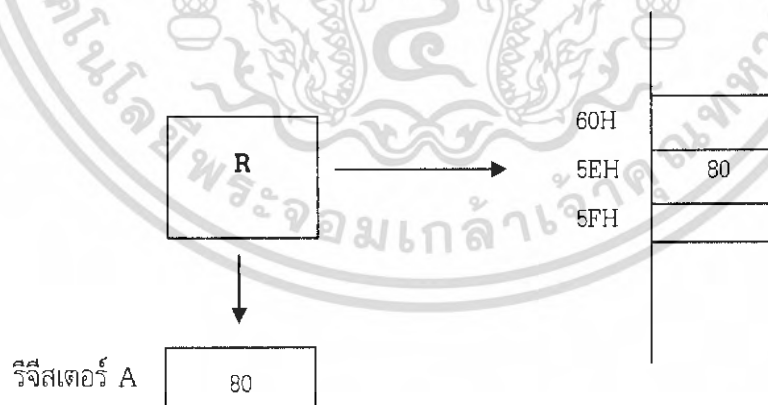
จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าใน 8031 จะมีหน่วยความจำ RAM สำหรับใช้งานทั่วไปจำนวน 80 ไบต์ ตั้งแต่ตำแหน่ง 30H ถึง 7FH ตำแหน่งเหล่านี้สามารถอ้างตำแหน่งแบบ Direct Addressing Mode หรือ Indirect Addressing Mode (รายละเอียดจะกล่าวในเรื่องชุดคำสั่ง) ได้ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการอ่านข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่ง 5FH มาเก็บในรีจิสเตอร์ A สามารถเขียนคำสั่งได้เป็น

```
MOV A,5FH
```

การย้ายข้อมูลแบบนี้เป็นการย้ายข้อมูลจากตำแหน่งที่เก็บโดยตรง (ตำแหน่ง 5FH) เรียกว่าการอ้างตำแหน่งแบบ Direct Addressing Mode นอกจากนี้ยังสามารถอ่านข้อมูลโดยใช้รีจิสเตอร์ R0 หรือ R1 การตัวชี้ตำแหน่งได้ เรียกว่าการอ้างตำแหน่งแบบ Indirect Addressing Mode ตัวอย่างเช่น

```
MOV R0,#5FH
MOV A,@R0
```

การเขียนโปรแกรมด้านบน หมายความว่า เก็บค่า 5FH ไว้ใน R0 จากนั้นอ่านค่าที่ ซึ่งอยู่คือตำแหน่ง 5FH มาเก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ A ถ้าในตำแหน่ง 5FH มี 80 อยู่ ค่า 80 จะถูกเก็บใน A



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนต่าง ๆ ในการอ่านข้อมูล

2.1.4.2 Bit-addressable RAM

ใน MCS-51 จะมีหน่วยความจำที่สามารถอ้างข้อมูลในระดับบิตได้ตั้งแต่ตำแหน่ง 20H ถึง 2FH รวม 16 ไบต์ โดยสามารถ SET, CLEAR, AND, OR ทาลอจิกได้ จำนวนบิตที่ใช้งานได้ทั้งหมดมีจำนวน 128 บิต (8 บิต x16 ไบต์) ถ้าต้องการเซตบิตตำแหน่งที่ 67H สามารถเขียนคำสั่ง SETB 67H

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าบิตที่ 67H จะอยู่ในตำแหน่งไบต์ที่ 2CH

2.1.4.3 Register Banks

หน่วยความจำข้อมูลภายในที่ใช้เป็นชุดรีจิสเตอร์ มีทั้งหมด 32 ตำแหน่งโดยจะมี 4 ชุด แต่ละชุดมี รีจิสเตอร์ 8 ตัวคือ R0 ถึง R7 โดยชุดแรกจะอยู่ในตำแหน่ง 00H - 07H ถ้าหากจะอ่านค่าจากตำแหน่ง 05H มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A จะเขียนโปรแกรม MOV A,R5

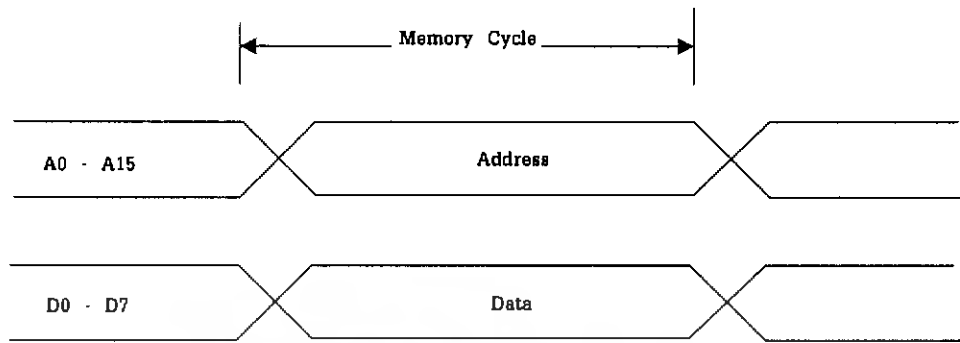
การอ้างตำแหน่งจะใช้แบบ Register Addressing ซึ่งขนาดของรหัสคำสั่งจะมีขนาด 1 ไบต์แต่ถ้าเขียนคำสั่งเป็น MOV A,05H ผลที่ได้จะเหมือนกันแต่การเขียนแบบนี้ถ้าแปลงเป็นรหัสคำสั่ง จะมีขนาด 2 ไบต์ ซึ่งจะทำให้โปรแกรมยาวกว่าแบบแรก ในการติดต่อกับ Register Bank นั้น เราสามารถเลือกให้ Bank ไคแอดที่ฟได้โดยเขียนข้อมูลไปที่ Program Status Word ซึ่งอยู่ในส่วนของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ เช่น ถ้าโปรแกรมให้ Bank 3 แอดที่ฟ จะย้ายข้อมูลจากรีจิสเตอร์ A ไปที่ตำแหน่ง 18H ได้ดังนี้ คือ MOV R0,A

ถ้าไม่มีการเลือก Bank จะเป็นการติดต่อกับรีจิสเตอร์ Bank แรกเสมอ

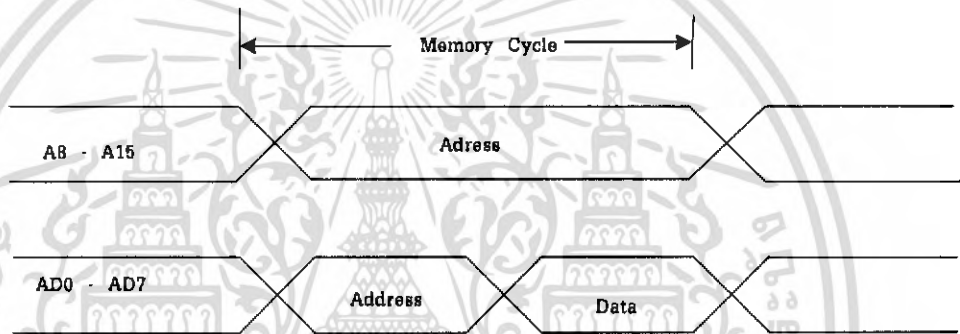
2.1.5 หน่วยความจำภายนอก (External Memory)

MCS-51 สามารถอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 k bytes และอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 k bytes MCS-51 จะใช้พอร์ต 0 ในการอ้างตำแหน่งหน่วยความจำ 8 บิตล่างและใช้พอร์ต 0 เป็นพอร์ตข้อมูล (DATA) ด้วย โดยใช้ขา ALE มาเป็น Latch ข้อมูลพอร์ต 0 และใช้พอร์ต 2 เป็นขาอ้างตำแหน่ง 8 บิตบน (รวมขาอ้างตำแหน่ง 16 เส้น ซึ่งอ้างได้ 64 k bytes)

เนื่องจากพอร์ต 0 จะใช้งาน 2 หน้าที่ในการติดต่อกับหน่วยความจำ จะใช้วิธี Multiplex ระหว่าง Address กับ Data พิจารณาจากรูป ถ้าต้องการติดต่อกับหน่วยความจำที่เก็บข้อมูล 8 บิต และเก็บได้ 64 k bytes จะต้องใช้สายสัญญาณ 24 เส้น คือ เป็นขา Address 16 เส้น และขาข้อมูล 8 เส้น ดังรูป 2.9 (ก) แต่ถ้าใช้วิธี Multiplex คือใช้ขา A0 - A7 เป็นขาข้อมูลด้วย คือ D0 - D7 จะใช้สายสัญญาณเพียง 16 เส้นเท่านั้น จากรูป 2.9 (ข) จะเห็นว่าเมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำจะส่งสัญญาณ Address A0 - A15 ออกมาก่อน 16 เส้น และเวลาต่อมาขา A0 - A7 จะถูกเปลี่ยนเป็น D0 - D7 ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกของ MCS-51 จะใช้วิธีนี้



(ก) Nonmultiplexed (24pins)

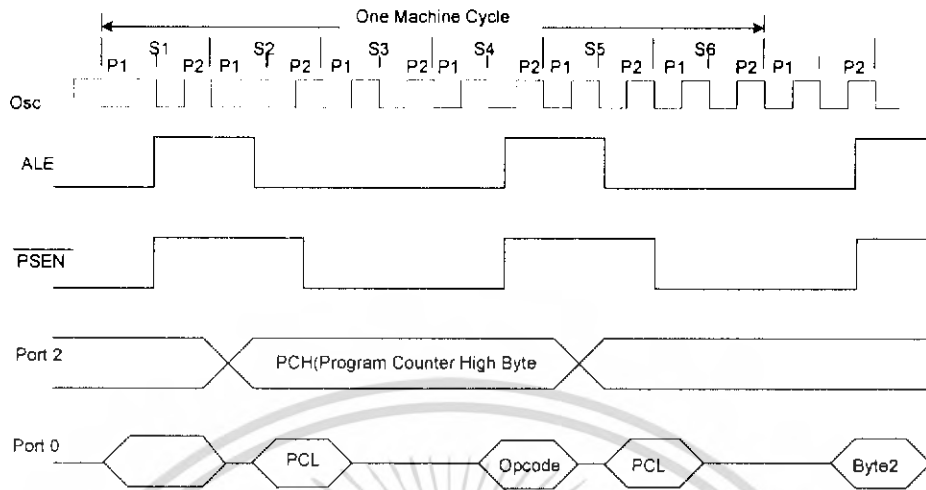


(ข) Multiplexed (16pins)

รูปที่ 2.9 แผนผังเวลากลุ่มสัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูล

2.1.5.1 การติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

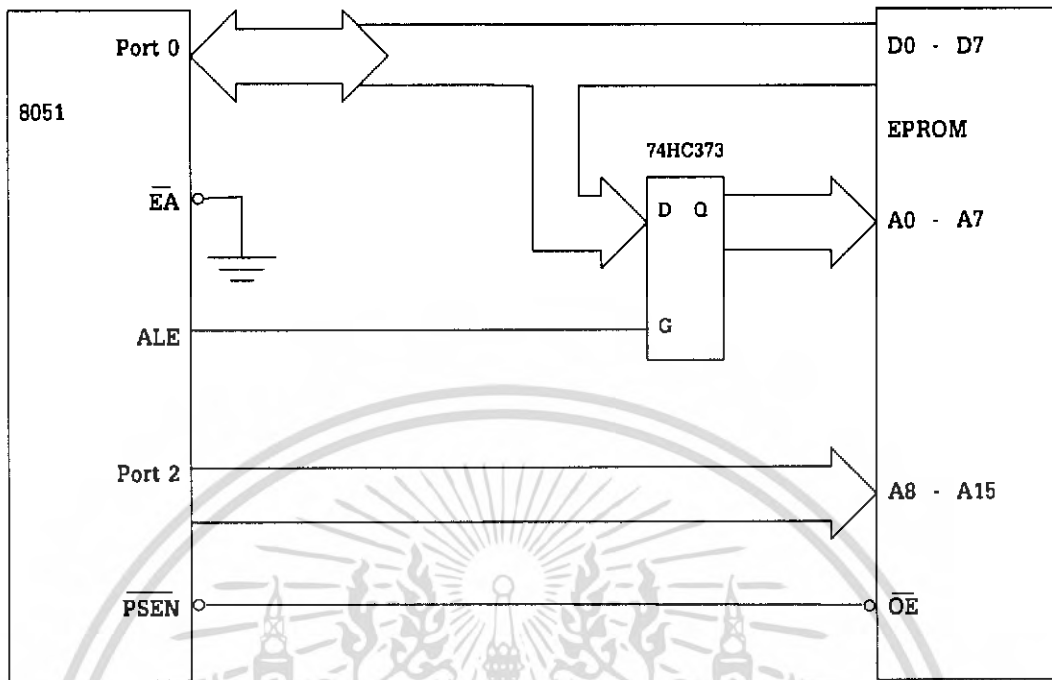
ในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก MCS-51 จะส่งค่าตำแหน่งของหน่วยความจำออกไปก่อน ซึ่งค่าตำแหน่งจะเก็บอยู่ใน PC โดยส่งออกไปทางพอร์ต 0 และพอร์ต 2 จากนั้นเวลาต่อมาจะส่งค่า ALE ให้เป็นลอจิก "0" เพื่อ Latch ค่า Address ของ 8 บิตค่า คือ พอร์ต 0 จากนั้นจะส่งสัญญาณทางขา \overline{PSEN} ให้เป็นลอจิก "0" เพื่ออ่านข้อมูลซึ่งจะได้ Opcode เข้าไปทางขา Data Bus คือ พอร์ต 0 โดยระยะเวลาการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แผนผังเวลาการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

จากรูปช่วงเวลาทำงานของ MCS-51 เรียกว่า State โดยแต่ละ State จะใช้สัญญาณนาฬิกาสองคาบการทำงานของคำสั่งต่าง ๆ จะใช้เวลาหก State เรียกว่า แมซซึนไซเคิล จากรูปจะเห็นว่าใน S2 MCS-51 จะส่งค่าตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรม (ค่า PC) ออกมาทางพอร์ต 0 และพอร์ต 2 เวลาต่อมา ALE จะเป็น "0" เพื่อ Latch อุปกรณ์ภายนอกให้คงค่าตำแหน่งไมต์ต่ำไว้ (จากพอร์ต 0) เพื่อใช้พอร์ต 0 เป็นขาข้อมูลต่อไป เวลาต่อมา \overline{PSEN} จะเป็น "0" เพื่ออ่าน Opcode เข้าทางพอร์ต 0

สำหรับการต่อหน่วยความจำกับ MCS-51 แสดงได้ดังรูปที่ 2.11 โดยขา \overline{EA} จะต่อเป็น "0" เพื่อบอก MCS-51 ว่าให้อ่านหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก สำหรับการ Multiplex จะใช้ฟลิปฟล็อป 8 ตัว เบอร์ 74373 เก็บค่าตำแหน่ง 8 บิตต่ำเอาไว้ เมื่อ MCS-51 ส่งค่าตำแหน่งพอร์ตออกไป เวลาต่อมาจะส่งขา ALE ให้เป็น "0" ซึ่งจะใช้ขานี้ต่อกับ 74373 เพื่อให้ Latch ข้อมูลสำหรับขา \overline{PSEN} จะต่อกับขา Output Enable (\overline{OE}) ของหน่วยความจำดังรูปที่ 2.11

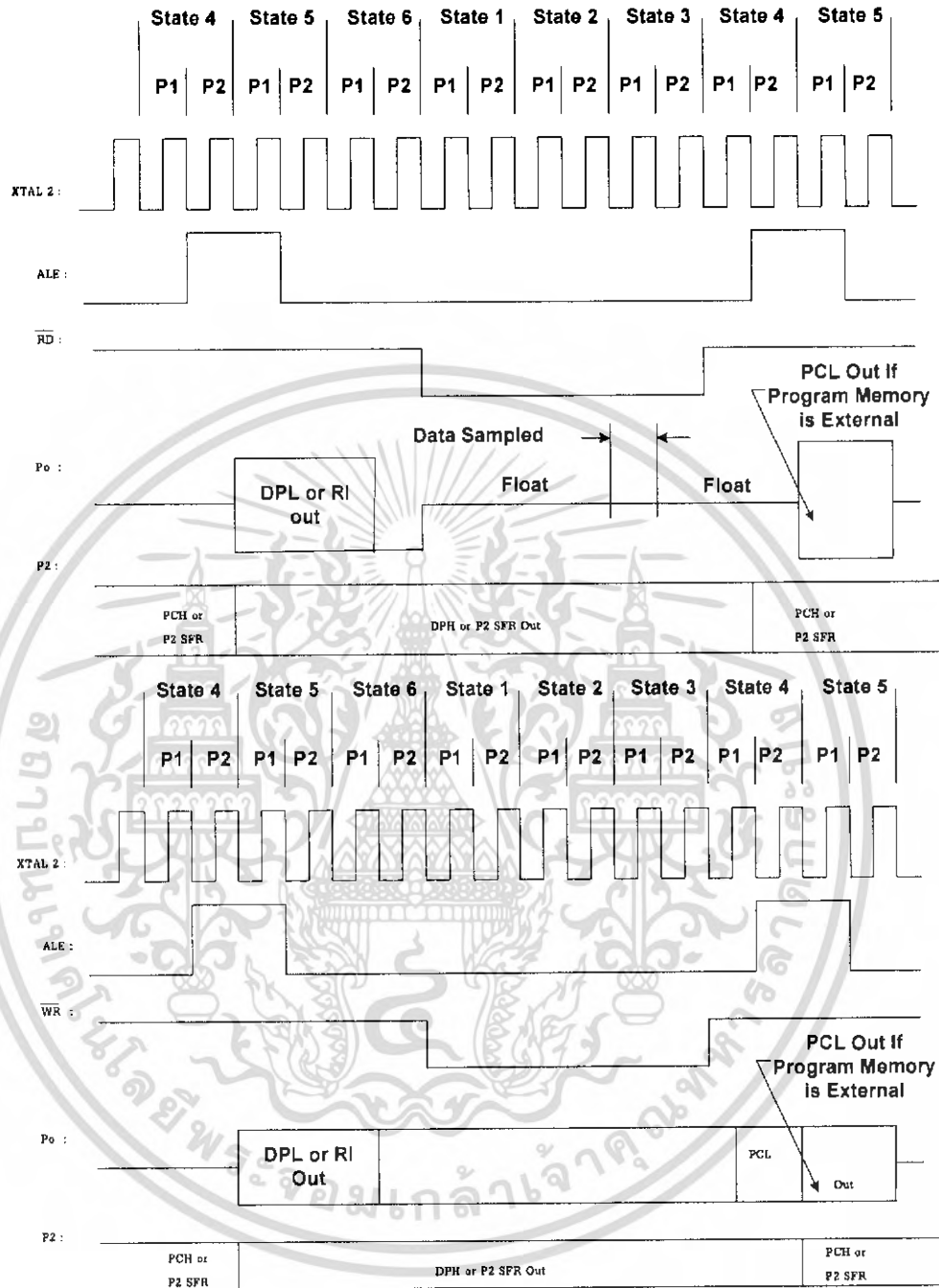


รูปที่ 2.11 การต่อ MCS-51 กับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

2.1.5.2 การติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

หน่วยความจำข้อมูลภายนอก MCS-51 สามารถอ่านและเขียนได้ ในการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก MCS-51 จะส่ง Address ออกไปทางพอร์ต 0 และพอร์ต 2 จากนั้นจะส่ง ALE เพื่อไป Latch Address 8 บิตต่ำ โดยการอ่านเขียนข้อมูลนั้นจะใช้ \overline{RD} หรือ P3.7 และ \overline{WR} หรือ P3.6 ตามลำดับ

ไทม์แอกเรมเวลาการอ่านและเขียนข้อมูลกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกแสดงได้ดังรูปที่ 2.12

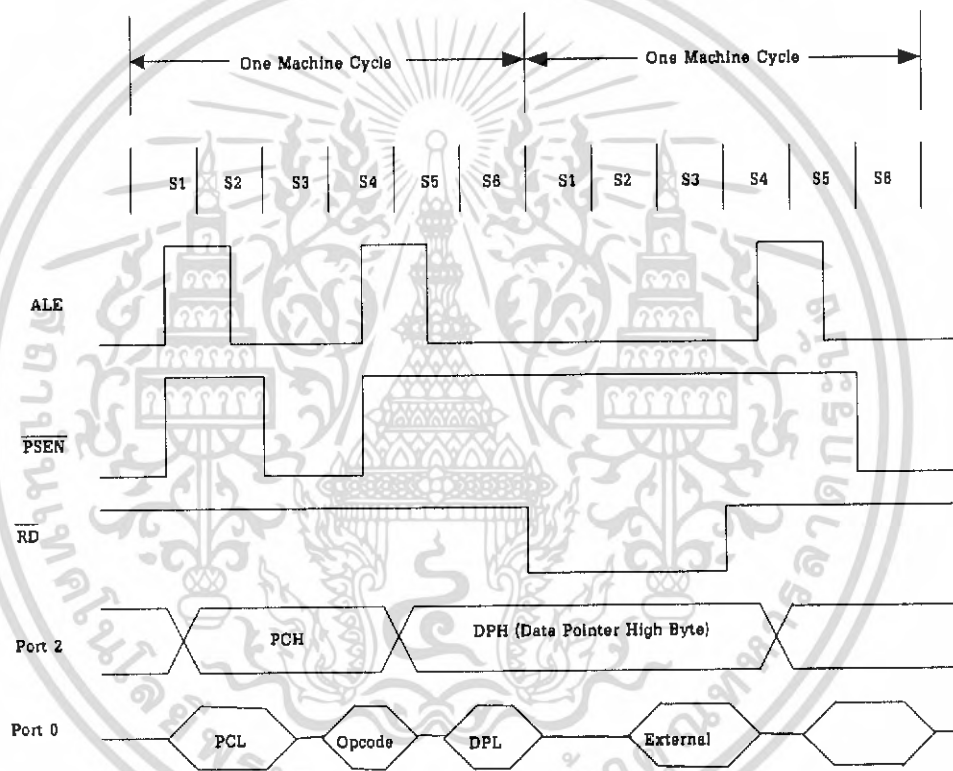


รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมเวลาการอ่านและเขียนข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก

เนื่องจากตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอกมีได้ถึง 64 k bytes รีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอกจะใช้รีจิสเตอร์ 16 บิต คือ DPTR นอกจากนี้ยังใช้รีจิสเตอร์ 8 บิต ได้ 2 ตัว คือ R0 และ R1 ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกจะใช้คำสั่ง MOVX

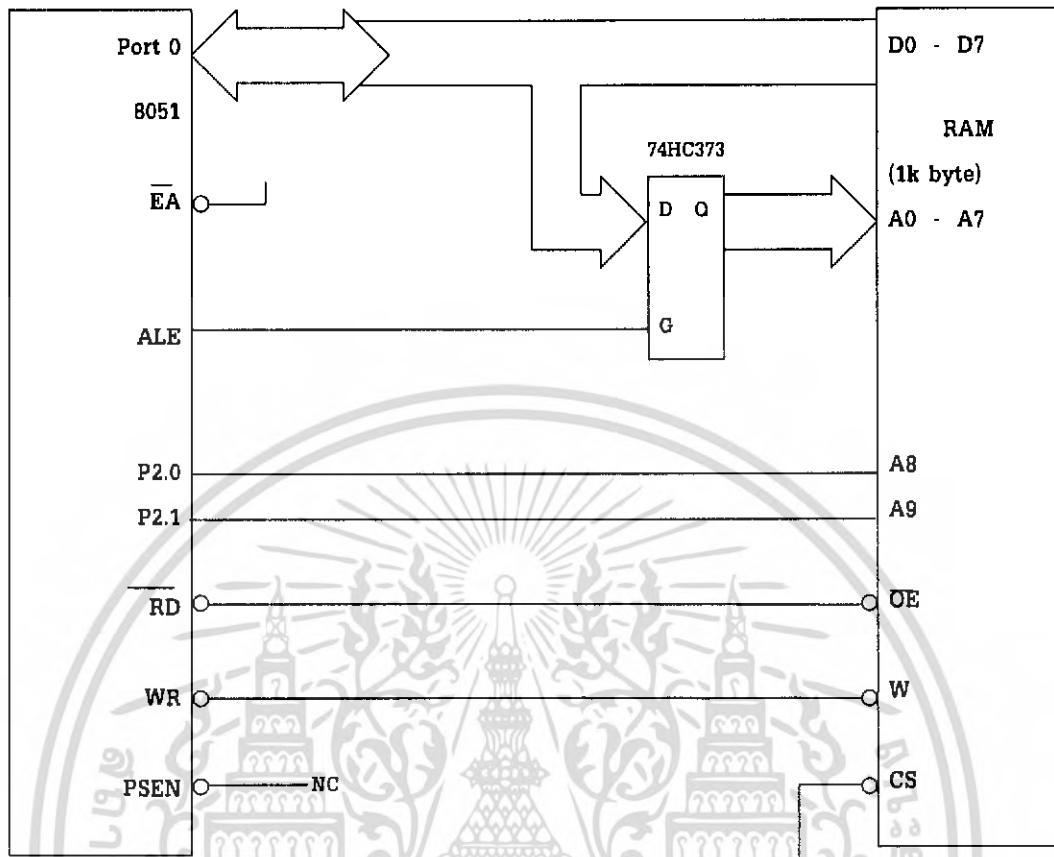
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหาก MCS-51 ทำคำสั่ง MOVX A , @DPTR ซึ่งหมายความว่าให้อ่านค่าจากตำแหน่งที่ DPTR ซึ่งอยู่มาเก็บในรีจิสเตอร์ A โดยอะแกรมเวลาจะเป็นดังรูปโดย Machine Cycle แรกจะเป็นการอ่านค่า Opcode ของโปรแกรมให้รู้ว่าทำคำสั่ง MOVX A , @DPTR ซึ่งในการอ่านค่าจากโปรแกรมจะได้ Opcode เข้ามาและตีความจากนั้น MCS-51 จะรู้ว่าต้องอ่านข้อมูลจากตำแหน่งที่ DPTR ซึ่งอยู่ใน Machine Cycle ต่อไปก็จะนำค่า DPTR ส่งออกเป็นค่า Address โดย DPH จะส่งไปทางพอร์ต 2 และ DPL จะส่งไปทางพอร์ต 0 จากนั้นเอา ALE จะเป็น "0" เพื่อ Latch ข้อมูล Address 8 บิตค่า เวลาต่อมา RD จะเป็น "0" จากนั้นข้อมูลจะถูกอ่านเข้ามาทาง Data Bus คือพอร์ต 0 โดยอะแกรมเวลาการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 สัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำคำสั่ง MOVX

สำหรับการเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลกับ MCS-51 โดยให้ 8051 ทำงานกับหน่วยความจำ แสดงได้ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งจะเป็นการเชื่อมต่อ RAM ขนาด 1 k byte ซึ่งจะใช้ขา Address เพียง 10 เส้น ดังนั้น A8 และ A9 จะต่อกับ P2.0 และ P2.1 ส่วนขา EA จะต่อกับสวิตช์ "1" เพื่อบอกว่าให้อ่านโปรแกรมจาก ROM ภายในและขา PSEN จะไม่ใช่เพราะไม่ได้ต่อ ROM แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.14 การต่อหน่วยความจำโปรแกรมกับ MCS-51

ข้อสังเกต ขนาดที่ MCS-51 ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม หรือหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะใช้ขา Address เหมือนกัน แต่จะต่างกันตรงที่ ถ้าติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมขา \overline{PSEN} จะแอกทีฟ ถ้าติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลขา \overline{WR} , \overline{RD} จะแอกทีฟและ MCS-51 จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยคำสั่ง MOVC และติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลด้วยคำสั่ง MOVX

2.2 สเตปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor)

2.2.1 การทำงานของสเตปปีงมอเตอร์

สเตปปีงมอเตอร์มีความแตกต่างจากมอเตอร์ทั่ว ๆ ไป โดยเมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับมัน มันจะหมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งแตกต่างจากมอเตอร์ทั่ว ๆ ไป ซึ่งจะหมุนทันทีและตลอดเวลาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า สเตปปีงมอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลขได้อย่างละเอียด โดยการให้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกำหนดและจัดเก็บตัวเลขเหล่านั้นไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตปป์มอเตอร์โดยทั่วไปมีจำนวนของขั้วแม่เหล็กหรือจำนวนสเตปป์ต่อรอบเป็นจำนวนมากปกติอยู่ที่ประมาณ 100-400 สเตปป์ (Step) ต่อรอบ การมีจำนวนสเตปป์มาก ๆ นี้ไม่ได้เพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าที่สเตเตอร์ (Stator) แต่ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนขั้วของขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์จำนวนสเตปป์ต่อรอบทั้งหมดจะได้ออกจากการคูณจำนวนขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์และจำนวนขั้วที่โรเตอร์ ดังเช่น ถ้ามีขั้วแม่เหล็ก 3 ขั้วบนสเตเตอร์และ 8 ขั้วแม่เหล็กบนโรเตอร์ (Rotor) สเตปป์มอเตอร์นี้จะทำงานที่ 24 สเตปป์ต่อรอบหรือหมุนไปเป็นมุม 15 องศาต่อสเตปป์

การให้วงจรดิจิทัลคอนโทรลการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดบนสเตเตอร์แบบที่ควบคุมความเร็วทำให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ทุกสเตปป์ได้เช่นเดียวกับการควบคุมในวงจรดีซีเซอร์โว (DC servo) แต่การควบคุมด้วยดิจิทัลไม่จำเป็นต้องมีการป้อนกลับ การเคลื่อนที่ทุกสเตปป์ได้จากคำนวณจำนวนรอบหรือมุมในการหมุนที่ต้องการ แล้วจึงส่งข้อมูลที่ไปควบคุมการหมุนของมอเตอร์, พิกัดในการทำงาน อาทิเช่นความเร็ว, มุมในการเคลื่อนที่, ตำแหน่งของเพลส ทั้งหมดนี้จะถูกควบคุมด้วยข้อมูลที่ส่งมาควบคุม

2.2.2 ชนิดของสเตปป์มอเตอร์

สเตปป์มอเตอร์แบ่งตามพื้นฐานได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.2.2.1. วาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable Reluctance: VR)

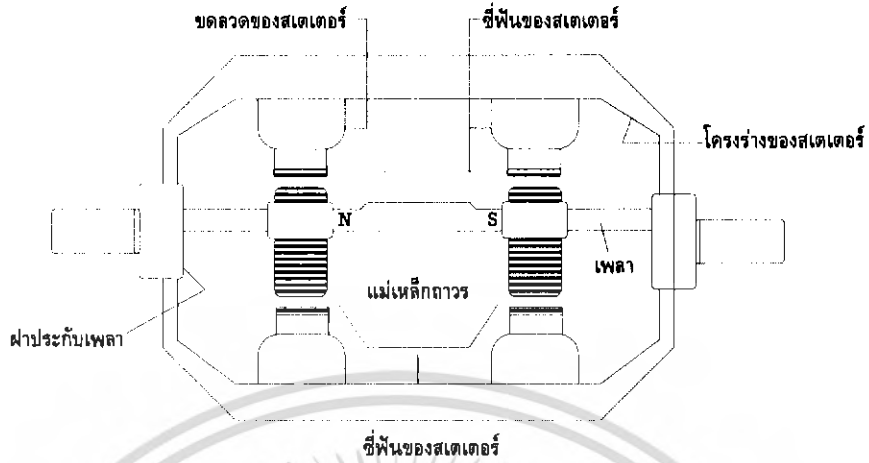
ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์มีโครงสร้างของโรเตอร์แบบมัลติทูธ (Multi-tooth) ทำจากเหล็กอ่อนเราจะทราบได้ว่าเป็นมอเตอร์ชนิดนี้ โดยการทดสอบได้ง่ายมากคือ ใช้นิ้วหมุนเพลสของมอเตอร์ และสังเกตมอเตอร์ชนิดนี้ที่โรเตอร์จะไม่ปรากฏการณ์ทางแม่เหล็ก (Magnetism) มันจึงหมุนได้ตลอดโดยไม่ติดขัด

2.2.2.2. เพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Permanent Magnet: PM)

ชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ตมีโครงสร้างของโรเตอร์แบบเรียบไม่มีขั้วแม่เหล็กและบนโรเตอร์จะเป็นแบบแม่เหล็กถาวร การควบคุมทำได้โดยป้อนพัลส์กระตุ้นที่ขดลวดบนสเตเตอร์ เช่น ถ้าเป็นสเตปป์มอเตอร์แบบ 4 เฟส จะมีขั้วแม่เหล็กอยู่ 4 ขั้ว ซึ่งมีขั้วแม่เหล็กอยู่แยกจากกัน ขั้วแม่เหล็กถาวรบนโรเตอร์จะถูกดึงดูดจากขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดโรเตอร์จะอยู่คงที่ ที่ขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์นั้นถึงแม้ว่าจะไม่ป้อนกระแสไฟฟ้าอีกต่อไป ทำให้เกิดเป็นแรงยึดเหนี่ยวขึ้น สเตปป์มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อดีในเรื่องของความถูกต้องของตำแหน่ง และความเร็วมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น

2.2.2.3. แบบไฮบริดจ์ (Hybrid)

ชนิดไฮบริดจ์เป็นชนิดที่นิยมใช้งานกันมากที่สุด โดยเฉพาะนำมาใช้ งานอย่างมากในอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ชนิดไฮบริดจ์มีโครงสร้างภายในซึ่งได้จากการรวมเอาโครงสร้างของ สเตเตอร์ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ และโครงสร้างของโรเตอร์จากชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ตมาประกอบเข้าด้วยกัน จึงทำให้เป็นมอเตอร์ชนิดที่มีแรงยึดเหนี่ยวสูง, มีแรงบิดดีและผลักได้ดีซึ่งมีความคงที่และทำงานได้ดีถึงแม้ว่าจะมีสเตปป์ต่อรอบในการหมุนสูง

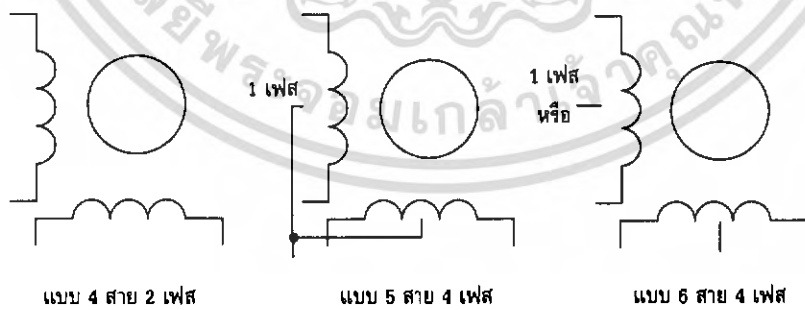


รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายในของสแตปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ (Hybrid)

2.2.3 การจำแนกชนิดของสแตปิ้งมอเตอร์ด้วยการพันคอยล์

การพันขดลวดหรือคอยล์บนสแตปิ้งมอเตอร์มีอยู่ 2 วิธี คือ แบบไบโพลาร์ (Bipolar) และแบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) ดังแสดงในรูปที่ 2.16

สแตปิ้งมอเตอร์แบบไบโพลาร์มีการพันขดลวด 1 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสแตเตอร์ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนสแตเตอร์ถูกกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าและสามารถทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามได้ โดยการกลับทิศทางกระแสของกระแสไฟฟ้าซึ่งการกำหนดทิศทางกระแสไหลและการกลับทิศทางกระแสของกระแสไฟฟ้า ทำได้โดยการใช้วงจรสวิตชิงกลับขั้วไฟฟ้า



(ก) สแตปิ้งแบบไบโพลาร์

(ข) แบบยูนิโพลาร์ทั้งแบบ 5 สายและ 6 สาย
ชนิด 4 เฟส

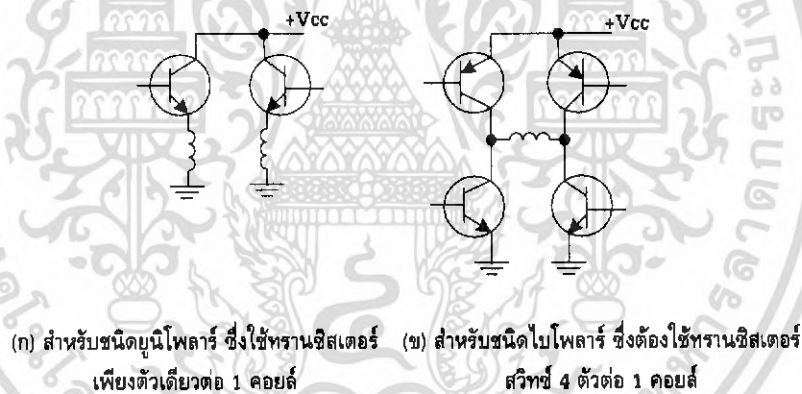
รูปที่ 2.16 การพันขดลวดบนสแตเตอร์ของสแตปิ้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับยูนิโพลาร์จะมีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้าม การกลับขั้วแม่เหล็กเปลี่ยนไปมาทำได้โดยการสวิตชิงกระแสไฟฟ้าจากขดลวดขดหนึ่งแทนเท่านั้น โดยปกติขดลวดทั้งสองจะมีการเชื่อมต่อกันหรือมีจุดร่วมเพื่อลดจำนวนของสายไฟที่ต่อจากมอเตอร์ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ทำได้กว่าชนิดไบโพลาร์ เพราะมันต้องการเพียงสวิตช์ธรรมดาในการเปิดและปิดกำลังไฟฟ้าให้กับขดลวดบนสเตเตอร์ในทิศทางที่ต้องการให้หมุนได้ทันที รูปที่ 2.17 แสดงวงจรจ่ายไฟฟ้าซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวสวิตชิงให้กับสเตปป์มอเตอร์ที่มีการพันขดลวดทั้ง 2 แบบ จะเห็นได้ว่าในแบบยูนิโพลาร์เป็นวงจรที่ง่ายและไม่มีความซับซ้อนเลย

อย่างไรก็ตามการพันขดลวดแบบยูนิโพลาร์ก็มีจุดด้อยตรงที่การพันแบบนี้จะทำให้เกิดแรงบิดน้อยกว่าแบบไบโพลาร์เพราะจะมีเพียงครึ่งหนึ่งของขดลวดที่ถูกกระตุ้นให้ทำงานเท่านั้นในระยะเวลาหนึ่ง

การพิจารณาว่าสเตปป์มอเตอร์ตัวใดมีการพันขดลวดแบบใด สังเกตได้ง่ายโดยถ้าเป็นแบบไบโพลาร์จะมีสายไฟต่อออกจากมอเตอร์เพียง 4 สาย และถ้าเป็นแบบยูนิโพลาร์จะมี 5 สายหรือ 6 สายหรือทราบได้โดยการอ่านจากป้าย (Name plate) ที่ติดอยู่กับมอเตอร์ได้



รูปที่ 2.17 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับสเตปป์ทั้ง 2 แบบ

2.2.4 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเตปป์มอเตอร์

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเตปทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องบ่อนเป็นแบบสี่เหลี่ยมในรูปแบบที่ถูกต้องแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ แบบเวฟ (Wave), แบบ 2 เฟส (Two phase) และแบบครึ่งสเตป (Half step) ทั้ง 3 แบบต่างก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป

แบบเวฟ เป็นการกระตุ้นรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งและเรียงถัดกันไป ดังเช่นขดที่ 1,2,3,4,1 หรือ 1,4,3,2,1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุน ดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบเวฟจึงมีราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการกระตุ้นเฟสแบบเวฟ

| STEP | เฟสที่ 1 | เฟสที่ 2 | เฟสที่ 3 | เฟสที่ 4 |
|------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | ทำงาน | - | - | - |
| 2 | - | ทำงาน | - | - |
| 3 | - | - | ทำงาน | - |
| 4 | - | - | - | ทำงาน |

แบบ 2 เฟส เป็นการกระตุ้นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งคล้ายกับแบบเวฟแต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำได้โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและเรียงถัดกันไปเช่น เกี่ยวกับแบบเวฟ คือ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 12,23,34,41,14 หรือ 14,43,32,21,14 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนการเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงแบบเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่กระตุ้นพร้อมกันและต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือ การกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส

| STEP | เฟสที่ 1 | เฟสที่ 2 | เฟสที่ 3 | เฟสที่ 4 |
|------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | ทำงาน | ทำงาน | - | - |
| 2 | - | ทำงาน | ทำงาน | - |
| 3 | - | - | ทำงาน | ทำงาน |
| 4 | ทำงาน | - | - | ทำงาน |

แบบครึ่งสเตปเป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบเวฟและแบบ 2 เฟสเพื่อเพิ่มจำนวนของสเตปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 1,12,2,23,3,34,4,41,1 หรือในการหมุนอีกทิศทางหนึ่งได้เป็น 1,14,4,43,3,32,2,21,1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้น เพราะช่วงสเตปมีระยะสั้นลงและแต่ละสเตปเกิดแรงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่งว่าเมื่อถูกกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเตปจึงจะได้เท่ากับ 1 สเตปเต็มเหมือนกับในการควบคุมแบบ 2 แบบแรก ขั้นตอนการทำงานต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

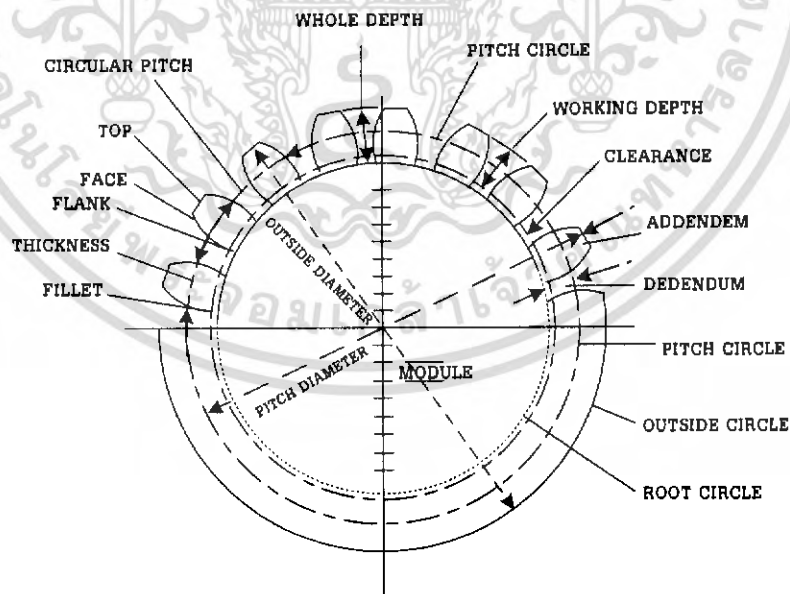
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเตป

| STEP | เฟสที่ 1 | เฟสที่ 2 | เฟสที่ 3 | เฟสที่ 4 |
|------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | ทำงาน | - | - | - |
| 2 | ทำงาน | ทำงาน | - | - |
| 3 | - | ทำงาน | - | - |
| 4 | - | ทำงาน | ทำงาน | - |
| 5 | - | - | ทำงาน | - |
| 6 | - | - | ทำงาน | ทำงาน |
| 7 | - | - | - | - |
| 8 | ทำงาน | - | - | ทำงาน |

2.3 เฟือง (Gear)

เฟือง เป็นที่รู้จักกันแพร่หลาย ใช้เฟืองประกอบเพื่อขนส่งกำลัง เมื่อเฟืองขบกัน จะส่งแรงได้อย่างสม่ำเสมอ และนิ่มนวล ไม่เกิดการสั่นโกลขณะส่งแรงและการขนส่ง กำลังของเฟือง ขณะส่งกำลังเสียงดังน้อย นิยมใช้ในเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ จำนวนมาก เช่น เฟืองส่งกำลังในเครื่องยนต์ เฟืองส่งกำลังในเครื่องจักรต่าง ๆ



รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ชนิดของเฟือง

2.3.1.1 Spur Gear หรือเฟืองตรง เฟืองชนิดนี้จะมีพื้นที่ขนานกับแนวแกนการหมุนของเฟืองและถ่ายทอดกำลังจากเพลานึงสู่อีกเพลานึง

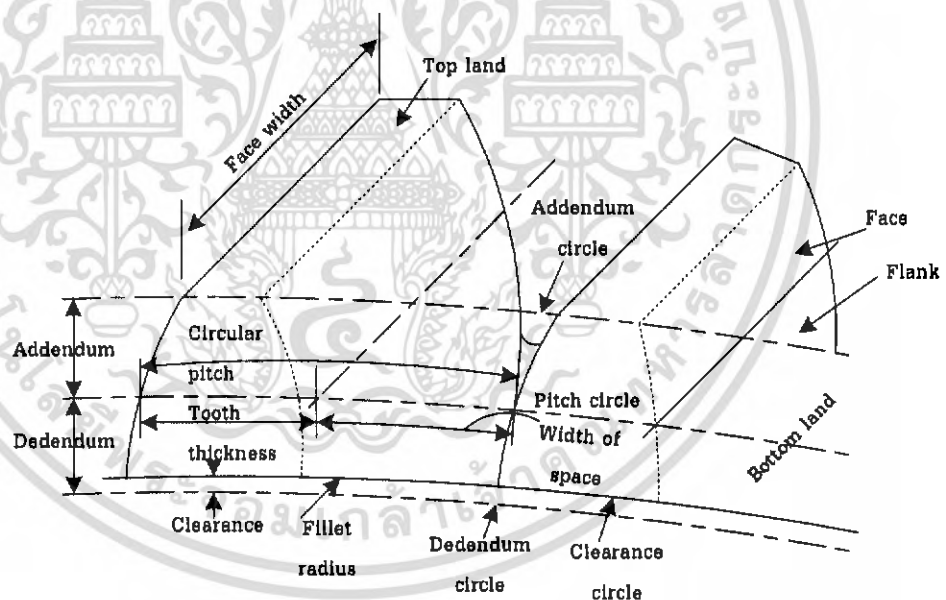
2.3.1.2 Helical Gear หรือเฟืองเฉียง จะมีพื้นที่ทำมุมกับแนวแกนการหมุนของเฟือง สามารถใช้งานเช่นเดียวกับเฟืองตรง เฟืองชนิดนี้จะทำงานเร็วกว่าเฟืองตรงแต่จะมีแรงรบกวนเกิดขึ้นมา

2.3.1.3 Bevel Gear จะมีเฟืองรูปกรวยตัด มีใช้มากในการถ่ายทอดกำลังที่ต้องการเปลี่ยนทิศทางการหมุน เช่น เฟืองท้าย

2.3.1.4 Worms and worms Gear มีลักษณะคล้ายรูปทศทางการหมุนไปตามแนวแกน จะมีทั้งหมุนซ้ายและหมุนขวา

2.3.2 คำจำกัดความของเกียร์

เป็นคำที่ใช้ในการเรียกส่วนต่าง ๆ ของเฟืองโดยพิจารณาตามรูป



รูปที่ 2.19 ส่วนต่าง ๆ ของเฟือง

2.3.2.1 วงกลมพิตซ์ (Pitch circle) d เป็นมิติหลักในการเรียกขนาดของเฟือง โดยบอกขนาดของเฟืองด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตซ์ (pitch diameter) ในทางทฤษฎีแล้วเฟืองที่ขบกันต้องมีเส้นสัมผัส ณ วงกลมพิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 เซอร์คิวลาพิทช์ (circular pitch) p เป็นระยะที่วัดบนวงกลมพิทช์ จากจุดหนึ่งบนฟันเฟืองไปยังอีกจุด ณ ตำแหน่งเดียวกันบนฟันถัดไป

2.3.2.3 โมดูล (module) m เป็นอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์กับจำนวนฟันเฟือง หน่วยที่ใช้วัดคือมิลลิเมตรในหน่วย SI

2.3.2.4 ไดอะมิทรัลพิทช์ (diameter pitch) เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันเฟืองต่อเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ ดังนั้นจึงเป็นส่วนกลับของโมดูล ไดอะมิทรัลพิทช์เป็นหน่วยของอังกฤษ

2.3.2.5 แอดเดนดัม (addendum) หรือช่วงสูงบน เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างยอดฟัน (top land) ถึงวงกลมพิทช์

2.3.2.6 ดีเดนดัม (dedendum) d หรือช่วงสูงล่างเป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างโคนฟัน (bottom land) ถึงวงกลมพิทช์ ฉะนั้นความสูงของฟันเฟืองคือ ผลรวมของแอดเดนดัมและดีเดนดัม

2.3.2.7 เคลียร์นซ์ (clearance) c ในการที่เฟืองสองอันขบกันดีเดนดัมของเฟืองหนึ่งต้องมากกว่า แอดเดนดัมของอีกเฟืองหนึ่ง เพื่อจะไม่ให้เกิดการขัดกัน ผลต่างระหว่างค่าดีเดนดัมและแอดเดนดัมเรียกว่า clearance

2.3.2.8 แบ็คแล็ช (backlash) คือผลต่างระหว่างความกว้างของฟันเฟืองหนึ่งกับความกว้างของอีกฟันเฟืองหนึ่งที่ขบกัน โดยวัดตามแนวเส้นวงกลมพิทช์ ฉะนั้นในการขบด้วยเฟืองที่มีแบ็คแล็ชเฟืองขับ จะหมุนไปได้เล็กน้อยก่อนที่เฟืองตามจะหมุน ซึ่งแบ็คแล็ชนี้ต้องมีอยู่เสมอเพื่อให้มีช่องว่างให้น้ำมันเข้าไปหล่อลื่น

$$P = \frac{N}{d} \quad (2.1)$$

$$m = \frac{d}{N} \quad (2.2)$$

$$p = \frac{\pi d}{N} = \pi m \quad (2.3)$$

$$pP = \pi \quad (2.4)$$

| | | |
|-------|-----|---------------------|
| เมื่อ | P | คือ ไดอะมิทรัลพิทช์ |
| | m | คือ โมดูล |
| | d | คือ วงกลมพิทช์ |
| | N | คือ จำนวนฟัน |
| | p | คือ เซอร์คิวลาพิทช์ |

2.3.2.9 ความหนาของฟัน (face width) b คือความหนาของฟันเฟืองวัดในทิศทางแนวเดียวกับแกนเฟือง

2.3.2.10 แฟล็ง (flank) คือผิวด้านข้างของฟันเฟืองซึ่งอยู่ระหว่างวงกลมพิทช์กับวงกลมดีเดนดัม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.11 อัตราทด (velocity ratio) m_v คืออัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับต่อความเร็วเชิงมุมของเฟืองถ้าให้ 1 และ 2 แทนเฟืองขับและเฟืองตามลำดับแล้วจะได้ว่า

$$m_v = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{2.5}$$

โดยที่ ω แทนความเร็วเชิงมุม
 n ความเร็วรอบ
 d เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์
 N จำนวนฟันเฟือง

อัตราส่วนเฟือง (gear ratio) m_g คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันเฟืองต่อจำนวนฟันของพีเนียน ถ้าพีเนียนเป็นตัวขับแล้ว

$$m_g = m_v = \frac{N_1}{N_2} \tag{2.6}$$

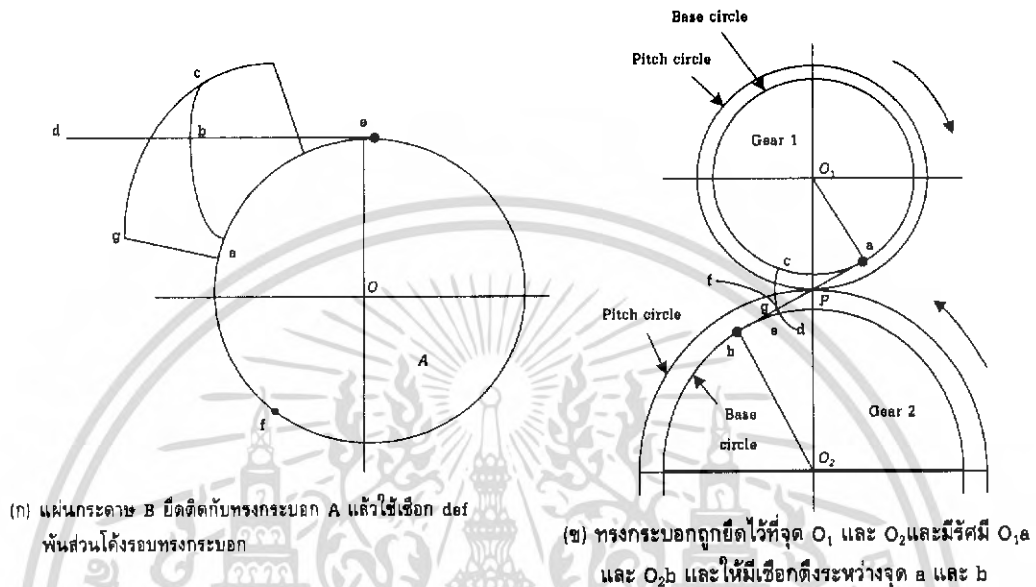
ตารางที่ 2.5 ขนาดเฟืองมาตรฐาน

| โมดูล | โมดูล | โมดูล | Diametral pitch P(1/in) | Diametral pitch P(1/in) | Diametral pitch P(1/in) |
|-------|-------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 4 | 16 | 20 | 5 | 1.25 |
| 1.25 | 5 | 20 | 16 | 4 | 1 |
| 1.5 | 6 | 25 | 12 | 3 | 0.75 |
| 2 | 8 | 32 | 10 | 2.5 | 0.625 |
| 2.5 | 10 | 40 | 8 | 2 | 0.50 |
| 3 | 12 | 50 | 6 | 1.5 | |

2.3.3 คุณสมบัติแบบ Involute

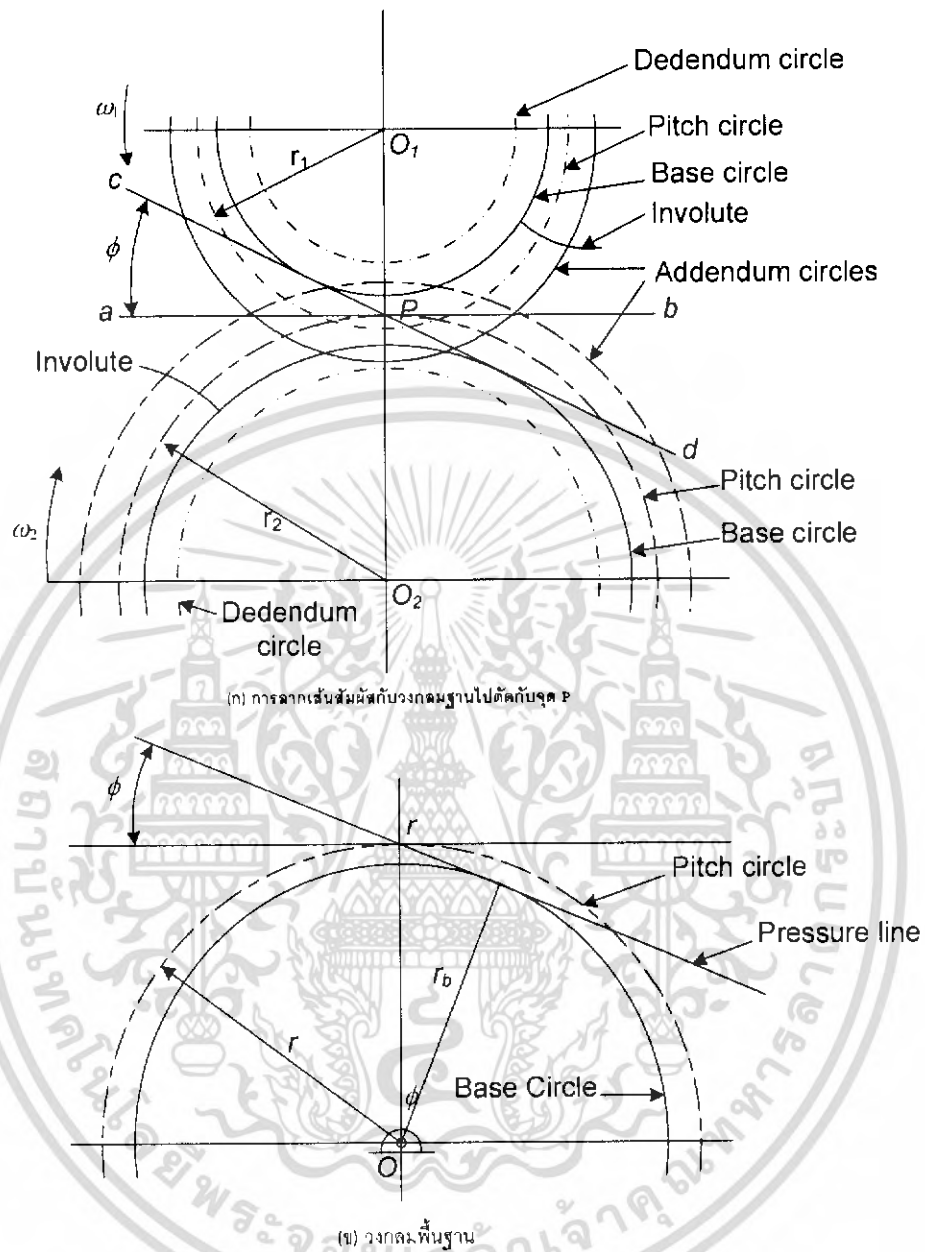
เฟืองแบบ Involute curve สามารถสร้างได้จากรูปที่ 2.20 (ก) โดยแผ่นกระดาษ B ยึดติดกับทรงกระบอก A แล้วใช้เชือก def พันส่วนโค้งรอบทรงกระบอกแล้วกำหนดจุดที่บนแผ่นกระดาษเป็นจุดเคลื่อนที่ คือจุด b ในรูปเมื่อหมุนทรงกระบอกจะทำให้เกิดเป็นเส้นโค้งจากการเคลื่อนที่ของจุด b ซึ่งเป็นเอกสารถึงเป็นเอกสารถึงสองวงสำหรับใช้ในการช่างเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติไหนไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของ Involute curve ซึ่งความยาวของ ab จะเท่ากับความยาวของ de วงกลมที่เป็นฐานของ Involute curve เรียกว่าวงกลมฐาน (base circle)



รูปที่ 2.20 ลักษณะเฟืองแบบ Involute curve

เมื่อพิจารณาในรูปที่ 2.20 (ข) ซึ่งทรงกระบอกถูกยึดไว้ที่จุด O_1 และ O_2 และมีรัศมี O_1a และ O_2b และให้มีเชือกตึงระหว่างจุด a และ b แล้วหมุนทรงกระบอกให้เชือกตึงตลอดเวลาจะทำให้เกิดเป็นเส้นการเคลื่อนที่คือเส้น cd และ ef ในรูปซึ่งเส้น ab จะตั้งฉากกับเส้น cd และ ef ตลอดเวลาและทำให้เป็นจุดที่เกิดการสัมผัสกันตลอดเวลา เมื่อเป็นอย่างนี้จะไม่เกิดการรบกวนที่หน้าสัมผัสเฟืองและจุด P นี้เป็นเส้นวงกลมพิตซ์



รูปที่ 2.21 ส่วนทั้งหมดของเฟือง

เมื่อลากเส้นสัมผัสกับวงกลมฐานไปตัดกับจุด P จะเป็นเส้นแสดงถึงแนวแรงที่กระทำซึ่งเรียกว่า มุมกด (pressure angle) ที่นิยมสร้างคือมุมกด 20, 25 และ 14.5 องศา โดยที่วงกลมฐานสามารถหาจากสมการ

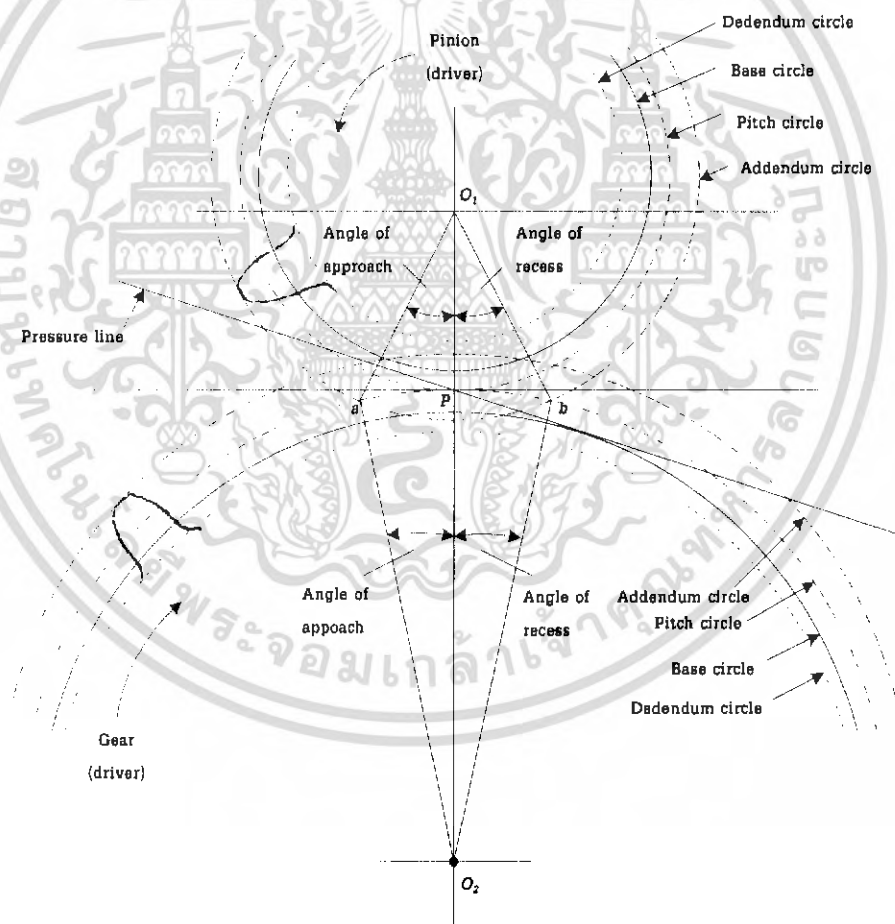
$$r_b = r \cos \phi \tag{2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ r_p คือ รัศมีวงกลมฐาน
 r คือ รัศมีของวงกลมพิตช์

2.3.4 กฎการขับเฟืองและการทำงานของฟันเฟือง

รูปร่างของฟันเฟืองจะต้องทำให้เส้นตั้งฉากร่วม (common normal) ที่ลาก ณ จุดสัมผัสระหว่างฟันทั้งสองผ่านจุดคงที่จุดหนึ่ง ซึ่งอยู่บนเส้นที่โยงระหว่างศูนย์กลางของเฟืองทั้งสองและจุดนี้เรียกว่า จุดพิตช์ โดยพิจารณาจากรูป จุด P ซึ่งอยู่ระหว่างจุด O_1 และ O_2 ของเฟืองทั้งสองรูปร่างฟันเฟืองที่เป็นลักษณะนี้เรียกว่า คอนจูเกตเคอฟ (conjugate curves) และที่นิยมใช้กันมากคือแบบอินโวลูตเคอฟ (Involute curve) แนวเส้นแรงที่กระทำผ่านจุด a, b และ P แนวของแรงกดนี้เรียกว่า มุมกดในปัจจุบันที่นิยมใช้คือ 20 และ 25 องศา



รูปที่ 2.22 ลักษณะการขับของเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจุด a จะเป็นจุดที่เริ่มต้นการขบและจุด b เป็นจุดที่เฟืองกำลังที่จะจากกัน ซึ่งการขบกันขอบเฟืองจะต้องขบกันมากกว่าหนึ่งคู่

ตารางที่ 2.6 มาตรฐาน SI ของฟันเฟือง

| รายละเอียด | 14.5FD | 20FDพิตซ์หยาบ | 20FDพิตซ์ละเอียด | 20FD Stub | 25FD |
|---------------|--------|---------------|------------------|-----------|-------|
| แอดเดนดัม | m | m | m | 0.8m | m |
| ดีเดนดัม | 1.157m | 1.25m | 1.2m+0.05 | M | 1.25m |
| เคลียร์นซ์ | 0.157m | 0.25m | 0.2m+0.05 | 0.2m | 0.25 |
| ความสูงใช้งาน | 2m | 2m | 2m | 1.6m | 2m |
| ความสูงฟัน | 2.157m | 2.25m | 2.2m+0.05 | 1.8m | 2.25m |

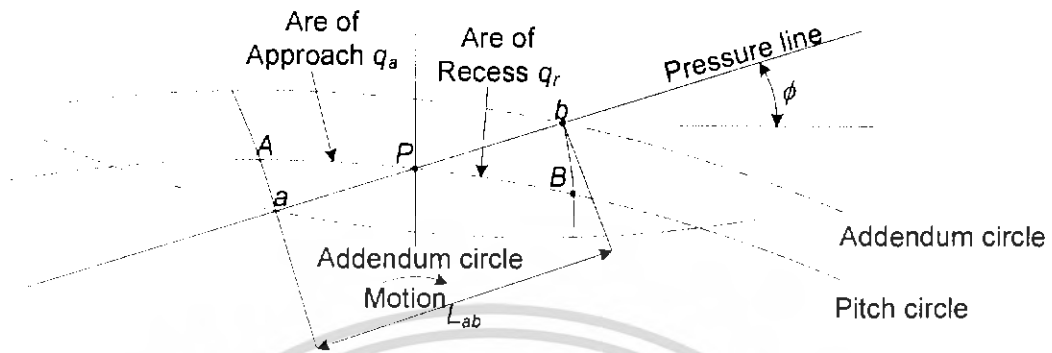
ตารางที่ 2.7 มาตรฐานอังกฤษฟันเฟือง

| รายละเอียด | 14.5FD | 20FDพิตซ์หยาบ | 20FDพิตซ์ละเอียด | 20FD Stub | 25FD |
|---------------|---------|---------------|------------------|-----------|--------|
| แอดเดนดัม | 1/P | 1/P | 1/P | 0.8/P | 1/P |
| ดีเดนดัม | 1.157/P | 1.25/P | 1.2/P+0.05 | 1/P | 1.25/P |
| เคลียร์นซ์ | 0.157/P | 0.25/P | 0.2/P +0.05 | 0.2/P | 0.25/P |
| ความสูงใช้งาน | 2/P | 2/P | 2/P | 1.6/P | 2/P |
| ความสูงฟัน | 2.157/P | 2.25/P | 2.2/P +0.05 | 1.8/P | 2.25/P |

2.3.5 ระยะเวลาขบและอัตราการขบ

เมื่อเฟืองขบกันจุดสัมผัสระหว่างฟันเฟืองเริ่มขึ้น เมื่อผิวด้านข้างของฟันเฟืองขับสัมผัสกับปลายฟันเฟืองของเฟืองตาม และการสัมผัสจะสิ้นสุดลงเมื่อปลายฟันเฟืองของเฟืองขับสัมผัสกับผิวด้านข้างของฟันเฟืองตาม เนื่องจากปลายฟันอยู่บนวงกลมแอดเดนดัม การสัมผัสระหว่างฟันเฟืองเริ่มขึ้นเมื่อวงกลมแอดเดนดัมของเฟืองตามตัดกับแนวแรงกดและการสัมผัสสิ้นสุดลงเมื่อวงกลมแอดเดนดัมของเฟืองขับตัดกับแนวแรงกดอีกครั้งหนึ่งดังจุด a และ b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ระยะการขบของฟันเฟือง

ในขณะที่เฟืองขบกันนั้นจะต้องมีเฟืองอย่างน้อยหนึ่งคู่ที่ขบกันอยู่ตลอดเวลา โดยปกติการขบกันมักมากกว่าหนึ่งคู่การบอกรจำนวนฟันที่ขบกันจะบอกเป็นอัตราส่วนการขบ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างระยะการขบและพิทช์ฐานเทียบเป็นสมการ

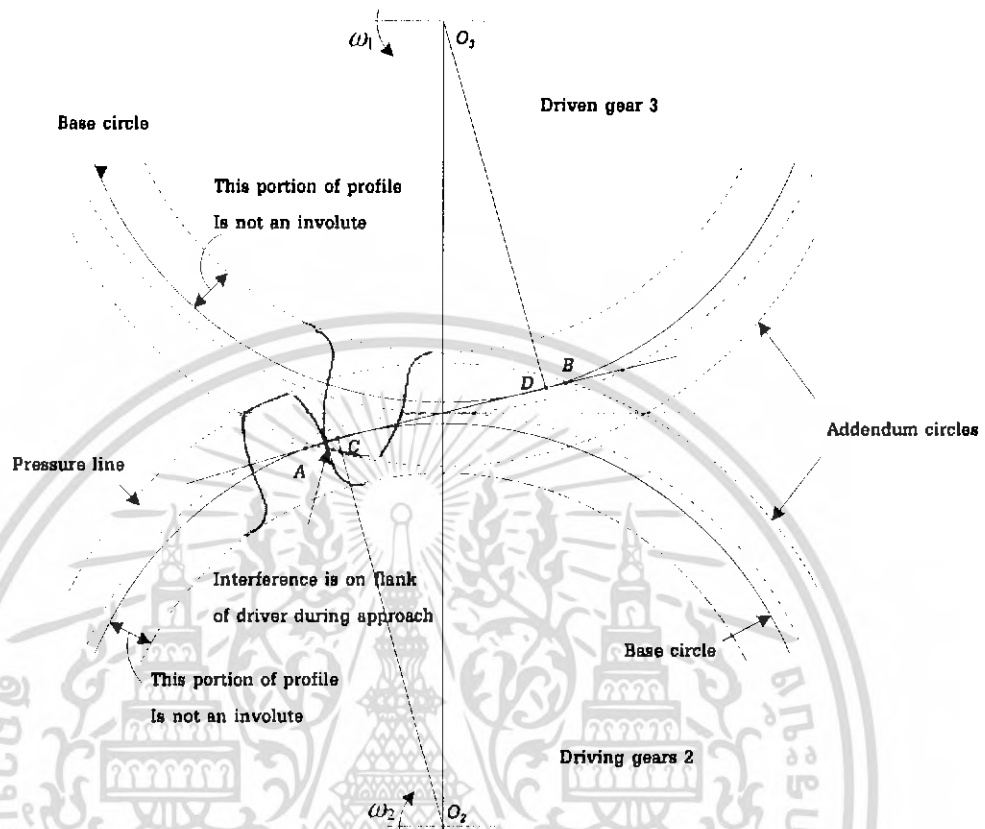
$$m_c = \frac{AB}{p \cos \phi} \tag{2.8}$$

เพื่อให้การทำงานราบรื่น อัตราส่วนการขบควรอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 1.5 ในกรณีอัตราส่วนการขบน้อยกว่าหนึ่งหมายความว่า ฟันของเฟืองคู่หนึ่งจะจากกันก่อนที่ฟันเฟืองอีกคู่หนึ่งจะมาขบกันซึ่งทำให้การทำงานของเฟืองไม่ราบรื่นและมีแรงจากการกระแทกที่หน้าสัมผัสเฟืองมาก

2.3.6 การขัดกัน

ในการสร้างเฟืองแบบอินโวลูตเคอฟ (Involute curve) จะเริ่มจากวงกลมฐาน ฉะนั้นในส่วนของฟันที่อยู่ต่ำกว่าวงกลมฐานจะไม่ใช่ Involute curve ซึ่งทำให้ใช้กฎการขบของเฟืองตรงส่วนนี้ไม่ได้ ดังนั้นการขบกันที่ส่วนต่ำกว่าวงกลมฐานอาจเกิดการขัดกันได้ จุด A และ B เรียกว่าจุดขัดกัน (Interference point)

เฟืองในรูปที่ 2.22 เป็นเฟืองที่ไม่มีการขัดกันเมื่อการสัมผัสระหว่างฟันเฟืองนอกจุด A และ B ก็คือวงกลมแอดเดนดัมตัดแนวแรงกตนอกจุดนี้จะไม่เกิดการขัดกันซึ่งในรูปจุด C และ D



รูปที่ 2.24 การขบของเฟืองไม่ขัดกัน

วิธีการป้องกันการขัดกันของฟันเฟืองทำได้หลายวิธีต่อไปนี้

1. ใช้วิธีการตัดเนื้อโลหะที่ต่ำกว่าวงกลมฐานออกบ้าง เพื่อไม่ให้เกิดการสัมผัสระหว่างเฟืองตรงบริเวณนี้ แต่มีข้อเสียคือทำให้อัตราส่วนการขบลดลงเฟืองอ่อนแอลง
2. การตัดปลายเฟืองให้สั้นลง แต่ทำให้อัตราส่วนการขบลดลง
3. การเพิ่มมุมกดจะลดขนาดของวงกลมฐานทำให้ส่วนของ Involute curve เพิ่มขึ้นจึงสามารถจำกัดการขัดได้ แต่การทำเช่นนี้จะทำให้แรงปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นทำให้ความราบเรียบน้อยลง
4. การใช้เฟืองที่ไม่เป็นมาตรฐาน คือให้เฟืองอันเล็กมีแอดเดนดัมเพิ่มขึ้นและให้เฟืองอันใหญ่มีแอดเดนดัมลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 วิธีการตัดเฟือง

การผลิตเฟืองนอกจากการหล่อขึ้นรูปแล้วยังมีวิธีการผลิตเฟืองโดยการตัดด้วยวิธีการต่าง ๆ กันดังนี้

2.3.7.1 มิลลิ่งคัตเตอร์ (milling cutter) ซึ่งตัวตัดเฟืองเรียกว่า มิลลิ่งคัตเตอร์ มีรูปร่างฟันตัดตามลักษณะช่องว่างระหว่างฟันเฟือง วิธีการคือ การให้คัตเตอร์หมุนตัดโลหะ โดยคัตเตอร์จะอยู่กับที่และจะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า จานแบ่ง เป็นตัวหมุนโลหะที่จะตัดเฟือง ซึ่งจานแบ่งสามารถปรับระยะในการหมุนให้สอดคล้องกับจำนวนฟันเฟือง

2.3.7.2 แร็คคัตเตอร์ (rack cutter) โดยตัวตัดเฟืองนี้จะไม่มีความโค้งจะเป็นลักษณะเฟืองสะพาน โดยในการตัดจะเลื่อนไปมาเพื่อค่อย ๆ ตัดเนื้อโลหะจนกระทั่งวงกลมพิตซ์ของคัตเตอร์และเฟืองสัมผัสกันแล้วเลื่อนไปตัดตำแหน่งอื่นต่อไป



รูปที่ 2.25 การตัดเฟืองแบบแร็คคัตเตอร์

2.3.7.3 พินเนียนคัตเตอร์ (pinion cutter) ใช้วิธีเช่นเดียวกับแบบแร็คคัตเตอร์แต่คัตเตอร์เป็นลักษณะเฟืองแทน วิธีการตัดเฟืองนี้จะให้เฟืองเปล่าหมุนไปในขณะเดียวกันคัตเตอร์เลื่อนกลับไปมาตัดโลหะ

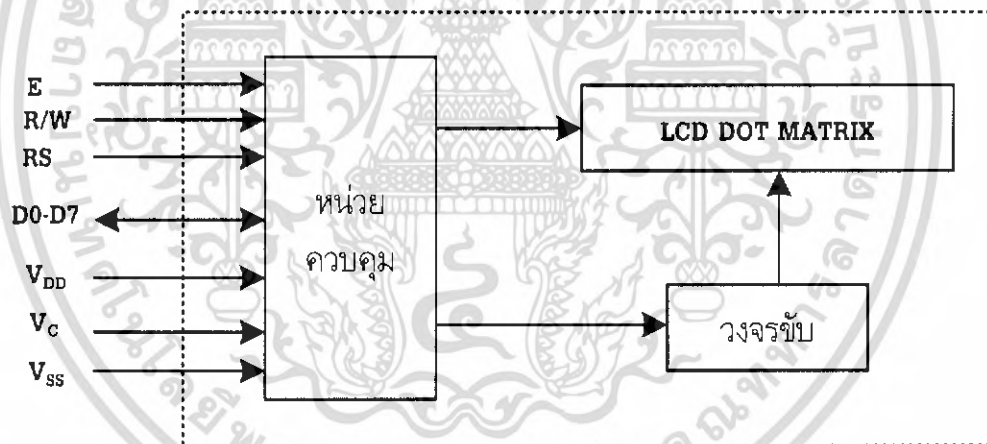
2.3.7.4 ฮีบบิง (hobbing) มีวิธีการเหมือนแร็คคัตเตอร์แตกต่างกันคือ การใช้ฮีบบิงจะคล้ายตัวหนอน โดยตัวฮีบบิงจะหมุนไปพร้อมกับรอบแกนหมุนของตัวเอง

2.4 การแสดงผลทาง LCD

อุปกรณ์ที่ใช้เป็นหน่วยแสดงผลของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายชนิด หน่วยแสดงผลแบบ LCD (Liquid Crystal Display) ที่มีโครงสร้างเป็นแบบดอตเมทริกซ์ เป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ เนื่องจากเป็นหน่วยแสดงผลที่กินพลังงานต่ำ เหมาะกับระบบที่ต้องใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ นอกจากนี้ยังเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก มีความละเอียดสูง สามารถแสดงตัวอักษรและรูปภาพได้หลายแบบ การที่จะทำให้ LCD แต่ละดอตสว่างเป็นรูปร่างหรือตัวอักษรต่าง ๆ นั้นจะต้องใช้วงจรขับที่มีความซับซ้อนมาก ในปัจจุบันจึงมีการสร้างเป็นบอร์ด LCD สำเร็จรูป (LCD Model) เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน โดยโครงสร้างภายในประกอบด้วย จอภาพแบบ LCD วงจรขับสัญญาณและตัวควบคุม LCD การทำให้บอร์ด LCD แสดงผลลักษณะต่างๆ จะทำได้โดยการเขียนคำสั่งควบคุมและเขียนข้อมูลให้กับ LCD โมดูลเท่านั้น

2.4.1 โครงสร้างทั่วไปของ LCD โมดูล

หน่วยแสดงผลแบบ LCD โมดูลที่พบทั่วไปในท้องตลาดจะมีโครงสร้างที่สะดวกต่อการใช้งาน โดยส่วนประกอบทั่วไปเป็นดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 โครงสร้างทั่วไปของ LCD โมดูล

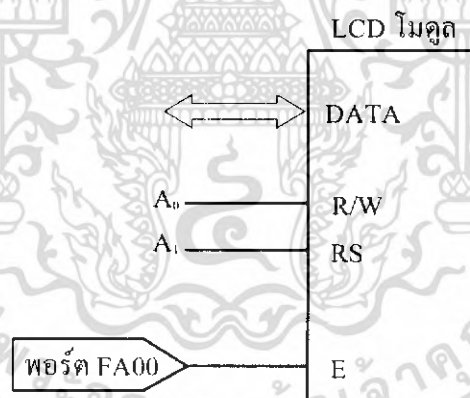
ส่วนที่เป็น LCD DOT MATERIX จะประกอบด้วยจุดขนาดเล็กจำนวนมาก โดยแต่ละจุดจะถูกบังคับให้ติดสว่างเป็นรูปร่างต่างๆ ด้วยวงจรขับ ส่วนหน่วยควบคุมจะประกอบด้วยหน่วยความจำและรีจิสเตอร์ต่าง ๆ ทำหน้าที่กำหนดลักษณะการทำงานของ LCD รูปภาพของการแสดงผล รวมทั้งควบคุมส่วนต่าง ๆ ภายในโมดูล โดยทั่วไปแล้วขาต่าง ๆ ของ LCD โมดูลประกอบด้วย

1. ขา V_{cc} ขานี้จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์
2. ขา V_{ss} ขานี้จะต่อกับกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขา V_{cc} ขานี้เป็นขาที่ควบคุมความสว่างของ LCD
4. ขา RS เป็นขาที่ใช้ควบคุมรีจิสเตอร์ภายในหน่วยควบคุม เนื่องจากมีรีจิสเตอร์อยู่สองประเภทคือรีจิสเตอร์คำสั่งและรีจิสเตอร์ข้อมูล ถ้าหากขานี้เป็นลอจิก "0" หมายความว่าเลือกรีจิสเตอร์คำสั่ง ถ้าเป็นลอจิก "1" หมายความว่าเลือกรีจิสเตอร์ข้อมูล
5. ขา R/W เป็นขาสัญญาณที่ใช้เลือกว่าจะอ่านหรือเขียนข้อมูลให้กับ LCD ถ้าเป็นลอจิก "0" หมายความว่าอ่านข้อมูล แต่ถ้าเป็นลอจิก "1" หมายความว่าเขียนข้อมูล
6. ขา E (Enable) เป็นขากำหนดลักษณะการอ่านเขียนข้อมูล

สำหรับการเชื่อมต่อ LCD โมดูลกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นทำได้หลายวิธี โดยอาจต่อ LCD โมดูลเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง โดยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มองว่าเป็นชิปตัวหนึ่งคล้ายกับหน่วยความจำ การต่อแบบนี้เรียกว่า การต่อแบบ Memory Map แต่จะทำให้เสียเนื้อที่หน่วยความจำบางส่วน อีกวิธีหนึ่งเราอาจต่อ LCD โมดูลเข้ากับพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของระบบที่มีอยู่แล้ว จากนั้นใช้การเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณขึ้นมาเพื่อติดต่อกับ LCD โมดูล นอกจากนี้สัญญาณข้อมูลที่จะส่งให้กับ LCD โมดูลสามารถเลือกให้แบบ 8 บิตหรือ 7 บิตได้อีกด้วย ตัวอย่างการออกแบบวงจรการเชื่อมต่อ LCD โมดูลดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 วงจรอย่างง่ายสำหรับการเชื่อมต่อ LCD โมดูลกับระบบ JAZZ-31

ถ้าหากมีการถอดรหัสพอร์ตสำหรับต่อกับ LCD โมดูลเป็นแบบ Memory Map ดังรูปที่ 2.26 จะพบว่าแอดเดรสต่าง ๆ สำหรับติดต่อกับ LCD โมดูลจะเป็น FA00-FB00H แอดเดรสต่าง ๆ จะใช้ติดต่อกับ LCD โมดูล



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างการออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อกับ LCD โมดูล

2.4.2 ขาสัญญาณของแอลซีดีโมดูล

ตารางที่ 2.8 ขาสัญญาณของแอลซีดีโมดูล

| PIN | SYMBOL | LEVEL | FUNCTION |
|-----|--------|-------|---|
| 1 | Vss | - | 0V GND |
| 2 | Vcc | - | +5V Power Supply |
| 3 | Vee | - | +V For Liquid Crystal Drive |
| 4 | RS | H/L | Register Select H: Data Input L: Instruction Input |
| 5 | R/W | H/L | H: data Read L: Data Write |
| 6 | E | H | Enable Signal (L->H) |
| 7 | DB0 | H/L | Data Bus Bit 0 |
| 8 | DB1 | H/L | Data Bus Bit 1 |
| 9 | DB2 | H/L | Data Bus Bit 2 |
| 10 | DB3 | H/L | Data Bus Bit 3 |
| 11 | DB4 | H/L | Data Bus Bit 4 |
| 12 | DB5 | H/L | Data Bus Bit 5 |
| 13 | DB6 | H/L | Data Bus Bit 6 |
| 14 | DB7 | H/L | Data Bus Bit 7 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การต่อเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

แอลซีดีโมดูลจะต่อเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ 2 ลักษณะ ซึ่งทั้งสองแบบจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป โดยแต่ละแบบจะมีหลักการดังนี้

2.4.3.1 การต่อแบบ Memory map

1. สามารถต่อเข้ากับชิปเบอร์ทั่วไปได้ เช่น 8051 โดยจะทำให้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มองเห็นแอลซีดีโมดูลในลักษณะของหน่วยความจำได้ทันที

2. ผู้ใช้สามารถเขียนและอ่านข้อมูลจากแอลซีดีโมดูลได้ ทำให้มองเสมือนว่าเป็นบัพเฟอร์ของหน่วยความจำไปในตัว

3. เนื่องจากสามารถอ่านข้อมูลกับได้จึงทำให้สามารถตรวจสอบเฟรคความพร้อมในขณะที่แอลซีดีโมดูลกำลังทำงานได้

4. ใช้ได้กับบอร์ดที่มีแอลซีดีบัสมาให้พร้อมเท่านั้น

5. ทำให้กินพื้นที่ของหน่วยความจำไปส่วนหนึ่งและต้องมีการถอดรหัสละเอียดพอสมควร

6. การจัดหาสัญญาณจะต้องเป็นไปตามแบบของชิป

2.4.3.2 การต่อแบบ I/O พอร์ต

1. สามารถต่อเข้ากับ I/O พอร์ตใด ๆ ก็ได้ โดยใช้สายสัญญาณจำนวน 11 เส้นและใช้โปรแกรมเป็นตัวสร้างสัญญาณขึ้นมาให้ตรงกับข้อกำหนดของแอลซีดีโมดูล

2. ผู้ใช้จะเขียนข้อมูลให้กับแอลซีดีโมดูลได้อย่างเดียว ซึ่งผู้ใช้ควรกำหนดหน่วยความจำส่วนหนึ่งให้เสมือนบัพเฟอร์ให้กับแอลซีดีโมดูล

3. เนื่องจากไม่สามารถอ่านข้อมูลกับได้จึงต้องใช้การหน่วงเวลาของระบบเองเพื่อรอให้แอลซีดีโมดูลกระทำกระบวนการต่าง ๆ

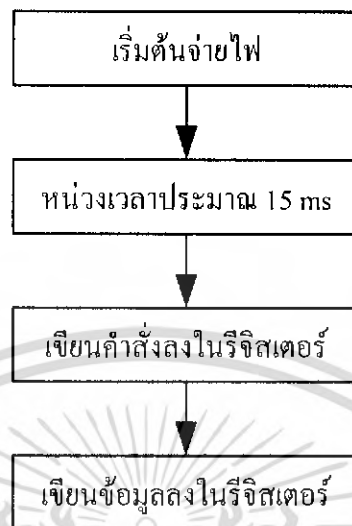
4. ใช้ได้กับบอร์ดทั่ว ๆ ไปที่มีพอร์ต

5. ไม่เปลืองส่วนของหน่วยความจำในการใช้งาน

6. การจัดหาสัญญาณกระทำได้อย่างอิสระ

2.4.4 การใช้งาน LCD โมดูลเบื้องต้น

ในการใช้งาน LCD โมดูลเราจะต้องทำความเข้าใจคำสั่งต่าง ๆ ของมันด้วย โดยการเริ่มต้นใช้งานจะต้องส่งรหัสควบคุมให้กับบริจิสเตอร์คำสั่งและส่งข้อมูลให้กับบริจิสเตอร์ข้อมูล โดยมีได้การทำงานดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 ขั้นตอนการควบคุม LCD โมดูล

ในรูปที่ 2.29 พบว่าหลังจากจ่ายไฟให้กับ LCD โมดูลจะต้องหน่วงเวลาประมาณ 15 มิลลิวินาที เนื่องจากเมื่อเริ่มจ่ายไฟ จะต้องรอให้แรงดันไฟเปลี่ยนจาก 0 โวลต์ ไปจนถึง 4.5 โวลต์เสียก่อนจึงทำงานได้ แต่โดยทั่วไปแล้วขั้นตอนนี้อาจไม่จำเป็นเสมอไปเพราะเมื่อนำ LCD โมดูลไปต่อกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อระบบได้รับพลังงานไฟฟ้า ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเสียเวลาการทำงานต่าง ๆ ไปก่อน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่นานพอที่ LCD โมดูลจะรับคำสั่งต่างๆ ได้ขั้นตอนต่อไปจะต้องเขียนคำสั่งควบคุมต่างๆ ให้กับรีจิสเตอร์คำสั่งของ LCD โมดูลมีคำสั่งหลายคำสั่งสำหรับกำหนดการทำงานของ LCD โมดูล

สรุปได้ว่าการเขียนข้อมูลให้กับ LCD โมดูล จะมีสองลักษณะคือเป็นคำสั่งและเป็นข้อมูล ซึ่งจะถูกกำหนดด้วยขา RS ถ้าขา RS = 0 หมายความว่า เป็นคำสั่งควบคุม ถ้า RS = 1 หมายความว่า เป็นข้อมูล

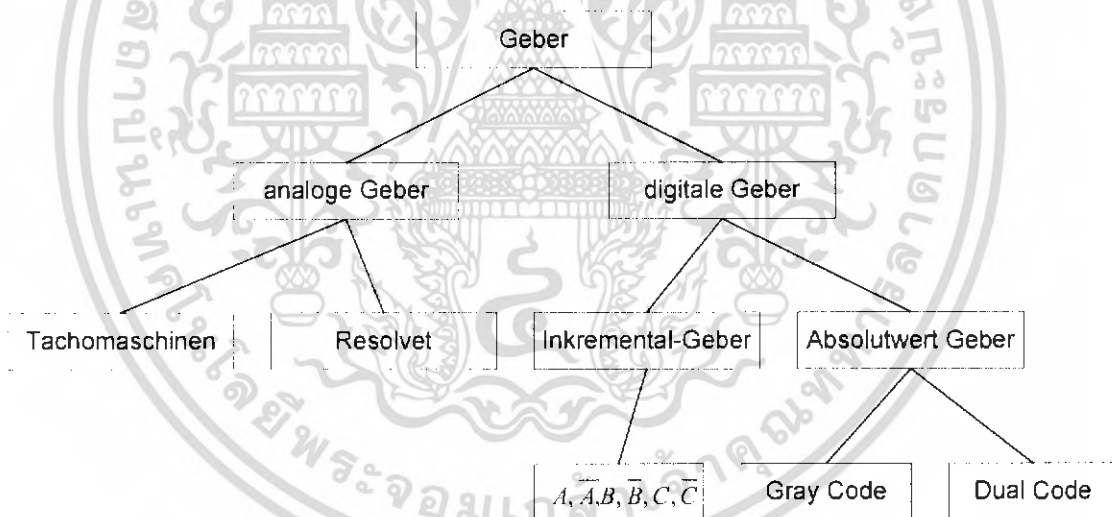
สำหรับหน่วยความจำภายใน LCD โมดูลมีอยู่สองชนิดคือ DDRAM (Display Data RAM) และ CGRAM (Character Generator RAM) โดย DDRAM เป็นหน่วยความจำภายในตัว LCD โมดูล ถ้าหากเขียนคำสั่ง ASCII ลงไปในหน่วยความจำจะทำให้ LCD โมดูลแสดงตัวอักษร ส่วน CGRAM เป็นหน่วยความจำที่ผู้ใช้สามารถสร้างภาพตัวอักษรเองได้ ดังนั้นถ้าหากเราต้องการให้ LCD โมดูลแสดงข้อความต่าง ๆ หลังจากเขียนคำสั่งควบคุมต่าง ๆ ลงไปแล้ว จะต้องเขียนข้อมูลรหัส ASCII ที่แสดงผลให้กับแอดเดรสของตำแหน่งต่าง ๆ บน LCD โมดูล สำหรับการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เมื่อทำการกำหนดได้แล้วการอ่านเขียนข้อมูลต่อจากนี้ เป็นไปตามแอดเดรสที่กำหนดทันที โดยแอดเดรสของ LCD โมดูลแต่ละรุ่นจะแตกต่างกันบ้าง

2.5 เอนโคดเดอร์ (encoder)

อุปกรณ์ป้อนกลับ (Feedback Device) หรือที่นิยมเรียกขานกันในแวดวงอุตสาหกรรมว่า "เอนโคดเดอร์ (encoder)" ถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งในระบบขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ และระบบขับเคลื่อนไฟฟ้าแบบเอซีชนิดที่ควบคุมแบบโคลสลูป (ระบบเซอร์โวไม่สามารถควบคุมได้ หากระบบปราศจากเอนโคดเดอร์)

เอนโคดเดอร์จะทำหน้าที่เสมือนกับผู้ตรวจการ โดยจะทำหน้าที่ตรวจวัดความเร็ว (speed) , ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ (Direction of Rotation) และตำแหน่งเพลลาของโรเตอร์ (shaft position) แล้วรายงานผลกลับไปยังคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมให้ทรานซิสเตอร์กำลังในวงจรกำลังของชุดขับเคลื่อนเซอร์โวเกิดการตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าให้สัมพันธ์กับตำแหน่งของโรเตอร์

จากบทบาทของเอนโคดเดอร์ซึ่งทำหน้าที่ตรวจวัดความเร็ว (speed) และตำแหน่ง(position) ของมอเตอร์ จึงทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้ถูกเรียกชื่อตามบทบาทและหน้าที่ว่า speed sensor หรือไม่ก็เรียกว่า shaft Position Sensor (ซึ่งมักนิยมเรียกในระบบเซอร์โว) โดยประกอบด้วยชนิดต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 2.30 การแยกประเภทของเอนโคดเดอร์ (ภาษาเยอรมัน)

2.5.1 ลักษณะการทำงานของเอนโคดเดอร์

จากรูปที่ 2.30 เอนโคดเดอร์ (Geber=Encoder) สามารถแยกประเภทตามหลักการได้ 2 กลุ่ม คือ

2.5.1.1 ชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำ หรือเรียกว่า เอนะลอก เอนโคดเดอร์ (Analog Geber = Analog Encoder) จะประกอบด้วยเทคโนโลยีเจนเนอเรเตอร์ (TachoMaschinen = TachoGenerator) และ รีโซลเวอร์ (Resolver)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 ชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการดิจิตอล (digital Geber=digital Encoder) ที่เรียกว่า ออปติคอลลหรือแบบดิจิตอลจะแยกเป็นแบบ incremental encoder และ absolute encoder ซึ่งแต่ละชนิดมีหลักการทำงานดังนี้

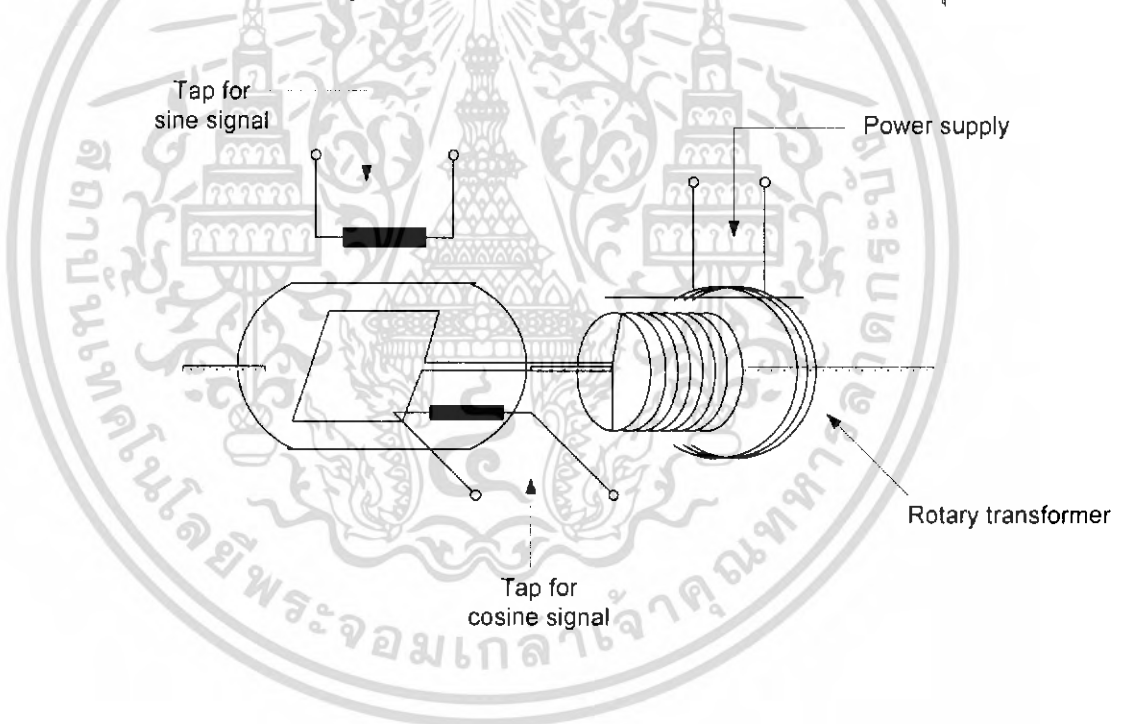
1. เทคโคเจนเนอเรเตอร์ (TachoGenerator)

นิยามของเทคโคเจน ก็คือเจนเนอเรเตอร์ขนาดเล็ก ที่ทำหน้าที่แปลงความเร็วรอบมาเป็นแรงดันไฟฟ้าสำหรับควบคุม 0-10 V. เพื่อป้อนกลับไปยังชุดไดร์ฟ (โดยทั่วไปจะใช้ในระบบตีซีไดร์ฟ)

2. รีโซลเวอร์ (Resolver)

รีโซลเวอร์เป็นเซนเซอร์ชนิดที่มีการใช้งานมากในระบบเซอร์โว เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน ทนต่อสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรมได้ดี เช่นแรงสั่นสะเทือน , แรงกระแทก และอุณหภูมิรอบข้าง เป็นต้น

รีโซลเวอร์มีลักษณะคล้ายกับหม้อแปลงตัวเล็ก ๆ (small Transformer) หรือในหนังสือบางเล่มใช้คำอธิบายในเชิงเปรียบเทียบว่า "Rotary Transformer" ซึ่งต้องการสื่อถึงหม้อแปลงไฟฟ้าแบบหมุนนั่นเอง

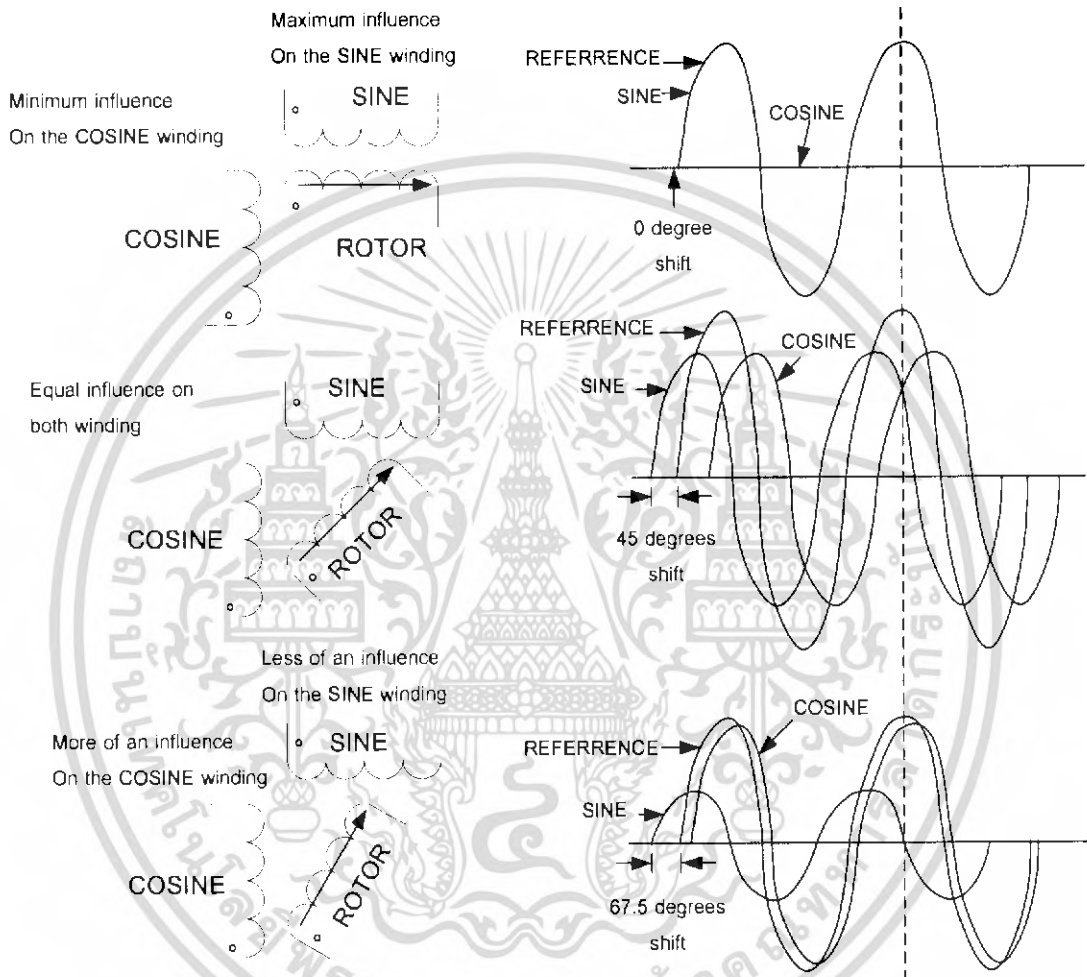


รูปที่ 2.31 ตัวอย่าง Resolver หรือ Brushless Resolver

โครงสร้างของรีโซลเวอร์จะมีลักษณะคล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ 2 ชุด โดยชุดแรก (ขวามือ) จะเป็นชุดที่รับสัญญาณอ้างอิงหรือสัญญาณกระตุ้น ซึ่งมีความถี่สูงในย่าน 2-10 KHz จากคอนโทรลเลอร์เพื่อสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ เพื่อให้เกิดกระแสไหลไปสร้างสนามแม่เหล็กให้กับขดลวดชุดที่สอง ส่วนชุดที่สอง (ซ้ายมือ) จะประกอบด้วย ขดลวดปฐมภูมิที่ติดกับโรเตอร์ 1 ชุด และมีขดลวดทุติยภูมิ 2 ชุด

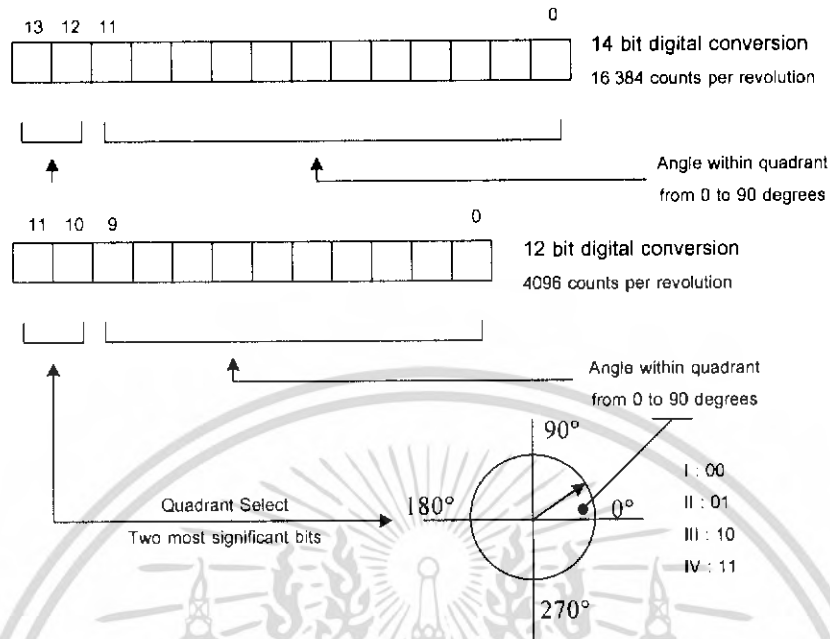
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(one primary and two secondary windings) วางในตำแหน่งที่ทำมุมห่างกัน 90 องศา ซึ่งเรียกว่าขดลวด sine และ cosine



รูปที่ 2.32 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเพลากับแรงดันค่ายอดที่เกิดขึ้นบนขดลวดแต่ละชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 การแปลงสัญญาณดิจิทัลของ RDC

2.5.2 การทำงานของขดลวดในเอนโคเดอร์

เมื่อเริ่มต้นเปิดสวิตช์จ่ายไฟเข้าสู่ขดลวดคอนโทรลเลอร์หรือชุดเซอร์โวไดรฟ์ คอนโทรลเลอร์จะจ่ายสัญญาณอ้างอิงความถี่สูงเข้าไปที่ขดลวดสเตเตอร์ชุดที่หนึ่ง จากนั้นก็เกิดการเหนี่ยวนำ และเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดที่พันอยู่ที่โรเตอร์

แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำนี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่าย จ่ายกระแสให้กับขดลวดปฐมภูมิชุดที่สองทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและเหนี่ยวนำข้ามไปยังขดลวดทุติยภูมิ sine และ cosine

สัญญาณที่ได้จากการเหนี่ยวนำของขดลวดทุติยภูมิ sine และ cosine จะมีมูตต่างเฟสกัน 90 องศา ตามลักษณะของขดลวดที่วางทำมุมต่างกัน ส่วนขนาดของสัญญาณในแต่ละช่วงเวลาจะมีขนาดไม่เท่ากัน โดยขึ้นอยู่กับมุมของสนามแม่เหล็กจากโรเตอร์ที่ไปตัดกับขดลวด sine และ cosine ดังรูป 2.32

อินพุต $U_c = U_s \cdot \sin \omega t$

เอาต์พุต $U_1 = U_s \cdot \sin \omega t \cdot \cos \gamma$

$U_2 = U_s \cdot \sin \omega t \cdot \sin \gamma$

จากนั้นสัญญาณทั้งสอง (sine signal และ cos signal) ที่ได้ก็จะถูกป้อนกลับไปยังชุดคอนโทรลเลอร์ และถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า resolver-to-digital converter (RDC ซึ่งเป็น IC เพียงตัวหนึ่ง) ซึ่งมีจำนวนอยู่ในช่วง 1000-4000 พัลส์ ต่อการหมุน 1 รอบ โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของ RDC ดังรูป 2.33

ตัวอย่างเช่น RDC 14 บิต ก็จะสามารถแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ความละเอียดเท่ากับ 16,384 พัลส์/รอบ โดยบิตที่ 12 และ 13 จะรายงานตำแหน่งว่าอยู่ในควอดแรนท์ใด ส่วนบิตที่ 0 ถึง 12 จะทำหน้าที่รายงานตำแหน่งของโรเตอร์ในควอดแรนท์นั้น ๆ

ตารางที่ 2.9 ค่าความละเอียดเป็นระบบดิจิทัลตลอด 360 องศา

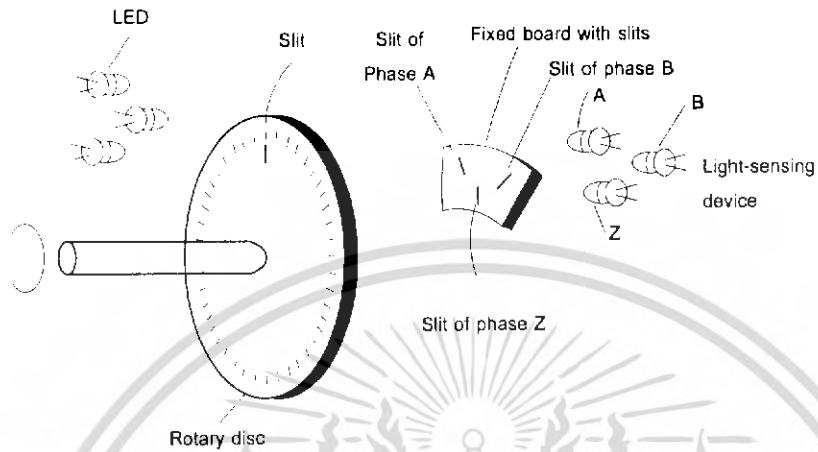
| Number of bit | Angle in radians | Angle in degrees |
|---------------|------------------|------------------|
| 1 | 3.1415 | 180 |
| 2 | 1.5707 | 90 |
| 4 | 0.3927 | 22.5 |
| 6 | 0.0981 | 5.625 |
| 8 | 0.02454 | 1.4063 |
| 10 | 0.00614 | 0.3516 |
| 12 | 0.001534 | 0.08789 |
| 16 | 0.000096 | 0.00549 |

2.5.3 Incremental encoder

incremental encoder ทำงานโดยอาศัยหลักการรอกพติคอลล บ่อยครั้งจึงถูกเรียกตามหลักการว่า Optical encoder หรือบางกรณีก็จะถูกเรียกว่า digital encoder ซึ่งมีลักษณะดังรูป 2.34(a) โครงสร้างจะประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง, ตัวจับแสงซึ่งถูกคั่นกลางด้วยแผ่นจานกลมๆที่มีการทำรูเจาะไว้รอบ ๆ แผ่น (จำนวนรูจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของ incremental encoder) และหน้ากากแยกช่องของสัญญาณพัลส์ A ,B และ Z

สัญญาณพัลส์ที่ได้จากเอนโคเดอร์ชนิดนี้จะประกอบด้วย 3 แทรค (tracks) คือ A ,B และ Z ดังรูป 2.34(b)

POSITION TRANSDUCERS



(a) โครงสร้างของ incremental encoder



(b) สัญญาณพัลส์ที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์ประกอบด้วย 3 แทรค

รูปที่ 2.34 โครงสร้างและสัญญาณพัลส์ของ incremental encoder

พัลส์ที่เกิดจาก แทรค A และ B จะเกิดการเหลื่อมกันมีความต่างเฟสกัน 90 องศา เพื่อทำหน้าที่รายงานผลของความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้คอนโทรลเลอร์ ดังนี้

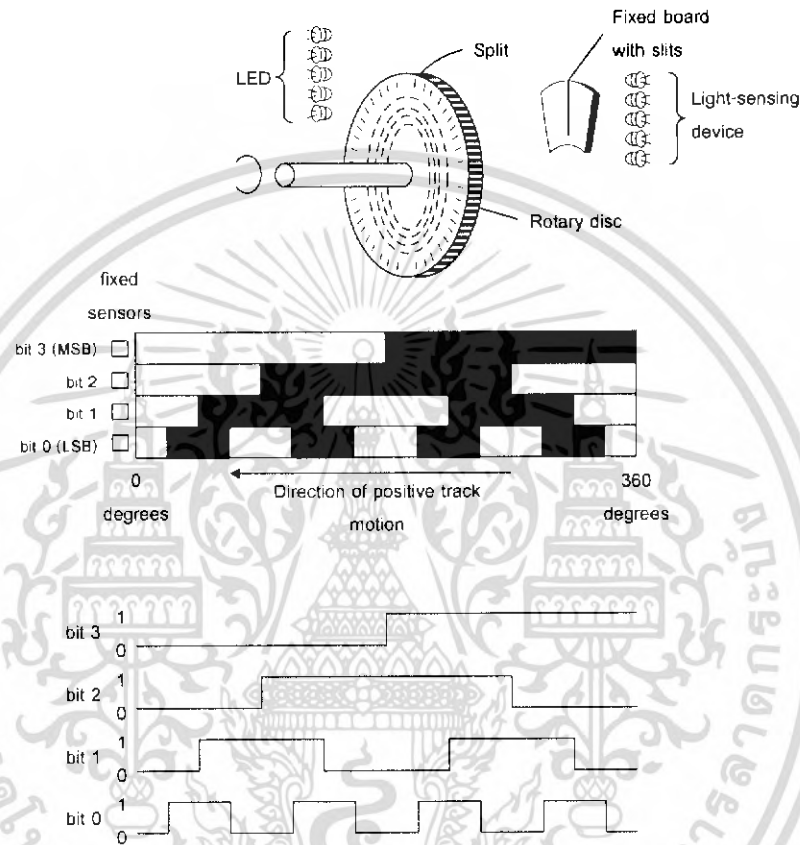
กรณีพัลส์ A เกิดขึ้นก่อน B คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามีมอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าหากพัลส์ B เกิดขึ้นก่อน A คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามีมอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ส่วนแทรค Z หรือพัลส์อ้างอิง จะเกิดขึ้น 1 พัลส์ในการหมุน 1 รอบ ทำหน้าที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งของโรเตอร์

incremental encoder โดยทั่วไปจะไม่นิยมใช้กับระบบเซอร์โวที่มีการควบคุมตำแหน่ง เนื่องจากไม่สามารถจำตำแหน่งเดิมได้กรณีที่มีการปิดเครื่องหรือไฟดับ ซึ่งจะต้องทำการหาจุดอ้างอิงใหม่ทุกครั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 Absolute encoder

Absolute encoder เป็นดิจิทัล เอนโคเดอร์ อีกชนิดหนึ่งที่อาศัยหลักการออปติคอล คล้ายกับ incremental encoder โดยประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง, ตัวจับแสง และจานเข้ารหัสดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 โครงสร้างแผ่นดิสก์พิเศษซึ่งมีลักษณะเป็น GrayScales

Absolute encoder มีโครงสร้างแผ่นดิสก์พิเศษ ซึ่งมีลักษณะเป็น Gray Scales ความละเอียดตำแหน่งของ Absolute encoder จะขึ้นกับจำนวนบิต Absolute encoder จะให้ข้อมูลตำแหน่งค่อนข้างละเอียดและสามารถรายงานบอกตำแหน่งได้ทุกๆ จุดที่โรเตอร์หมุนเคลื่อนที่ไป ไม่มีปัญหาเรื่องจุดอ้างอิงกรณีที่ไฟดับหรือปิดเครื่อง แต่จะไม่ทนต่อสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรม เช่นการสั่นสะเทือนและฝุ่นควัน นอกจากนี้จานเข้ารหัสยังเปราะและแตกง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

การออกแบบ การสร้างและการทำงานของเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติได้แบ่งโครงสร้างออกเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

1. ส่วนควบคุมและประมวลผล (Processing and Control Unit)
2. ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface Unit)
3. ส่วนการขับเคลื่อนสายอากาศ (Rotation Unit)



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของระบบ

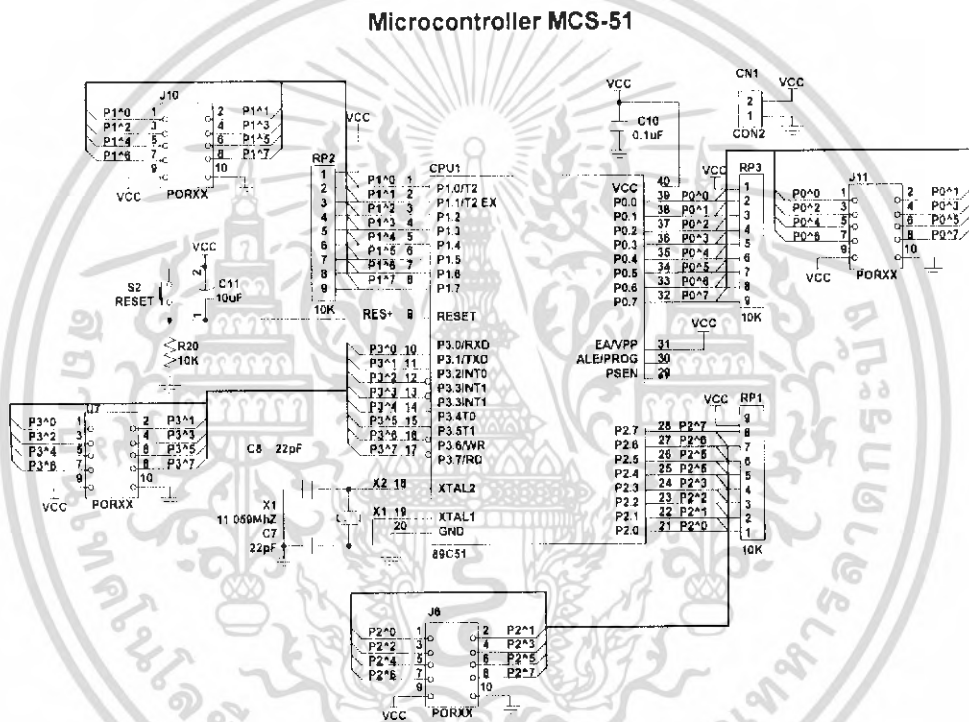
จากแผนผังการทำงานของเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติจะเริ่มต้นที่ผู้ใช้ที่จะป้อนค่าการทำงานผ่านคีย์สวิตช์เข้ามายังส่วนควบคุมและประมวลผลซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252 เมื่อส่วนควบคุมและประมวลผลทำการประมวลผลแล้วก็จะส่งงานไปยังส่วนการหมุนสายอากาศเพื่อขับเคลื่อนสายอากาศแบบทิศทางต่อไป

3.1.1 ส่วนควบคุมและประมวลผล (Processing and Control Unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานของเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติเป็นต้องมีส่วนควบคุมและประมวลผล (Processing and Control Unit) เพราะในการควบคุมตำแหน่งของสายอากาศต้องการความถูกต้องและแม่นยำ ส่วนควบคุมและประมวลผลนี้จึงเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้สายอากาศสามารถหมุนไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องได้

ในส่วนควบคุมและประมวลผลนี้ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252 ซึ่งมี EPROM ขนาด 2 กิโลไบต์ อยู่ในตัวซึ่งสามารถใช้ในการเก็บบันทึกค่าตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างเพียงพอ และส่วนที่สำคัญที่สุดในส่วนนี้คือโปรแกรม ซึ่งเป็นส่วนที่จะทำให้เครื่องทำงานตามที่เรากำลังต้องการได้



รูปที่ 3.2 วงจรส่วนประมวลผล

จากรูปที่ 3.2 การทำงานจะเริ่มจากส่วนผู้ใช้งานซึ่งติดต่อผ่านคีย์สวิตช์เข้ามายังพอร์ต 1 โดยมีจอแอลซีดีขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัดแสดงผลทางพอร์ต 2 จากนั้นส่วนควบคุมและประมวลผลจะส่งงานผ่านพอร์ต3 ไปยังส่วนการหมุนสายอากาศ โดยจะมีเอนโคเดอร์ต่ออยู่กับพอร์ต 0.6 และ0.7 และลิมิตสวิตช์จะต่ออยู่กับพอร์ต 0.4 และ 0.5

3.1.2 ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface Unit)

ในส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งาน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

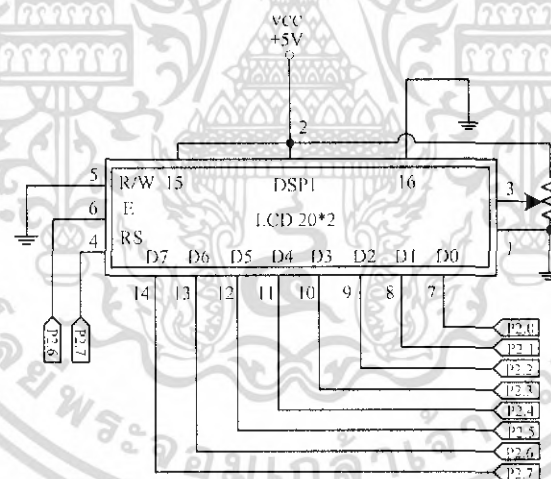
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.1 ส่วนแสดงผล (Display)

ในส่วนนี้เราเลือกใช้หน้าจอแอลซีดี (LCD Display) แบบดอทเมตริกซ์ (Dot Matrix) ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

1. แสดงตัวอักษรด้วยดอทเมตริกซ์ขนาด 5*8dot/character
2. สามารถติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ได้โดยขาสัญญาณทั้งหมด 14 ขา
3. การใช้งานง่ายและสะดวก ระบบไมโครโปรเซสเซอร์เพียงแค่ส่งข้อมูลให้กับจอแอลซีดีเท่านั้น ข้อความก็จะปรากฏบนแผงแสดง
4. กินกระแสไฟน้อยและมีน้ำหนักเบา รวมทั้งทำงานได้ด้วยไฟเลี้ยงระดับ 5 โวลต์เท่านั้น

การแสดงผลโดยการใช้จอ LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ขนาด 5x8 จุด จำนวนของหลักตัวเลขที่แสดงมีทั้งหมด 5 หลัก เพื่อให้การแสดงผลสามารถรับค่าได้สูงขึ้น คือ ได้ถึง 99999 สำหรับ 5 หลักและความชัดเจนสะดวกในการอ่านค่าแรงดึงแสดงผล



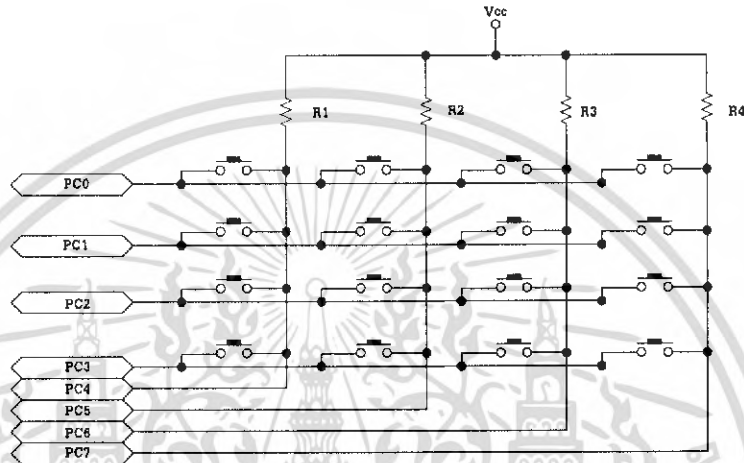
รูปที่ 3.3 วงจรแสดงผล

จากรูปที่ 3.3 จอ LCD จะได้รับคำสั่งให้แสดงผลตามข้อมูลที่ได้จากวงจรประมวลผล โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ และหัวใจหลักในการทำงานของจอ LCD อยู่ที่การเขียนโปรแกรมที่ไมโครคอนโทรลเลอร์

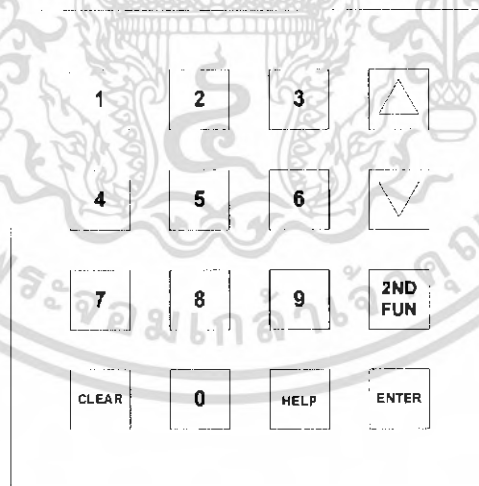
3.1.2.2 คีย์แพด (Keypad)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับอินพุตจากผู้ใช้เข้ามาในระบบ เลือกใช้คีย์แพดขนาด 4x4 หรือสวิตช์แบบเมตริกซ์สวิตช์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับค่าอินพุตจากคีย์แพด ใช้วิธีการสแกนคีย์แบบ XY เมตริกซ์กล่าวคือ ทำการต่อสวิตช์แบบเมตริกซ์ที่จะทำให้สวิตช์แต่ละตัวเกิดค่าแตรกับหลักของตัวเองเกิดขึ้น จากนั้นจะทำการส่งค่า "0" ออกมาให้กับหลักที่ละหลัก ในขณะที่เดียวกันก็ทำการตรวจสอบว่าแถวใดเป็น "0" เกิดขึ้นแสดงว่าที่คีย์ที่มีค่าแตรและหลักที่พบนั้นถูกกดก็ไปทำการถอดรหัสต่อไปว่าเป็นคีย์ใดและต้องทำอะไร



รูปที่ 3.4 วงจรภายในของคีย์แพด



รูปที่ 3.5 ลักษณะคีย์ที่ใช้งาน

จากรูปที่ 3.5 สามารถอธิบายการทำงานของคีย์แต่ละตัวได้ดังนี้

1. ตัวเลข (Number Key) 0-9 = ใช้สำหรับป้อนค่าตำแหน่งที่ต้องการหมุนสายอากาศ
2. ฟังก์ชัน (Function Key) = เป็นฟังก์ชันเพื่อเลือกลักษณะการทำงานของเครื่องประกอบด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Enter = ใช้สั่งให้เครื่องทำงานตามฟังก์ชันที่เราได้เลือกไว้
- HELP = ใช้เมื่อต้องการบันทึกค่า
- 2 NDFUN (FUNCTION) = เลือกว่าจะใช้ฟังก์ชัน MANUAL, AUTOMATIC, DATA
- CLEAR = ใช้เมื่อต้องการให้ค่ากลับไปตำแหน่ง 0 องศา
- \triangle (INCREASE) = ใช้เมื่อต้องการเพิ่มค่าจากตำแหน่งเดิม ค่าจะเพิ่มขึ้นทีละ 1 องศา
- ∇ (DECREASE) = ใช้เมื่อต้องการลดค่าจากตำแหน่งเดิม ค่าจะลดลงทีละ 1 องศา



รูปที่ 3.6 การต่อใช้งานของส่วนประกอบต่าง ๆ

3.1.3 ส่วนการหมุนสายอากาศ (Rotation Unit)

ในส่วนการหมุนสายอากาศจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

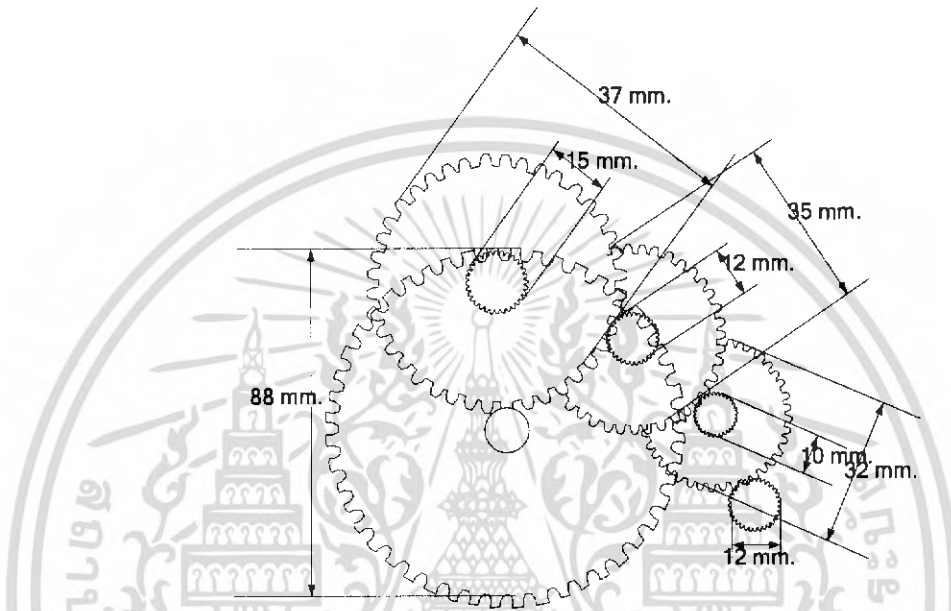
3.1.3.1 สเตปป์มอเตอร์ 2.5 โวลต์ 2.1 แอมแปร์ และวงจรถับ

ในการหมุนสายอากาศจะใช้สเตปป์มอเตอร์ เนื่องจากสามารถควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่ายและสามารถหยุดตรงตำแหน่งที่เราต้องการได้อย่างแม่นยำ

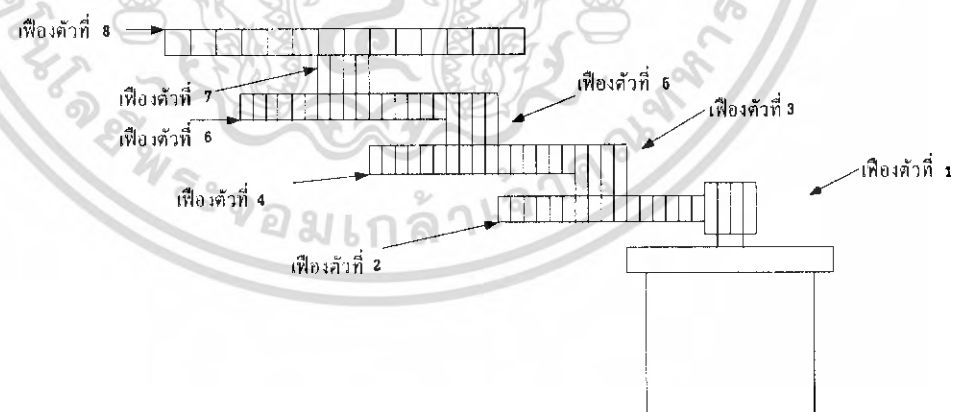
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 ชุดเฟืองทด

เนื่องจากสเตปป์มอเตอร์ที่ใช้ในนั้นไม่สามารถที่จะขับโหลดที่มีน้ำหนักมากๆ ได้จึงจำเป็นต้องใช้ชุดเฟืองทดกำลังเข้ามาช่วย ชุดเฟืองทดจะมีลักษณะการจัดวางดังรูปที่ 3.8 และ รูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 ลักษณะของชุดเฟืองที่มองจากด้านบน



รูปที่ 3.9 ลักษณะของชุดเฟืองที่มองจากด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของเฟืองทดจะพิจารณาได้จากสมการ

$$\text{อัตราทด} = \frac{rpm1}{rpm2} = \frac{N2}{N1} = \frac{d2}{d1} \quad (3.1)$$

$rpm1$ = ความเร็วรอบของเฟืองตัวที่ 1

$rpm2$ = ความเร็วรอบของเฟืองตัวที่ 2

$N1$ = จำนวนฟันเฟืองของเฟืองตัวที่ 1

$N2$ = จำนวนฟันเฟืองของเฟืองตัวที่ 2

$d1$ = เส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตัวที่ 1

$d2$ = เส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตัวที่ 2

เฟืองตัวที่ 1 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 ซม. และเฟืองตัวที่ 2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 ซม. ดังนั้น อัตราทด = 1 : 2.666

เฟืองตัวที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. และเฟืองตัวที่ 4 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 ซม. ดังนั้น อัตราทด = 1 : 3.5

เฟืองตัวที่ 5 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 ซม. และเฟืองตัวที่ 6 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.7 ซม. ดังนั้น อัตราทด = 1 : 3.083

เฟืองตัวที่ 7 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม. และเฟืองตัวที่ 8 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.8 ซม. ดังนั้น อัตราทด = 1 : 5.866

ดังนั้นเมื่อทำอัตราทดทั้งหมดที่ได้คือ

$$(\text{อัตราทด} = 1 : 2.666) \times (\text{อัตราทด} = 1 : 3.5) \times (\text{อัตราทด} = 1 : 3.083) \times (\text{อัตราทด} = 1 : 5.866)$$

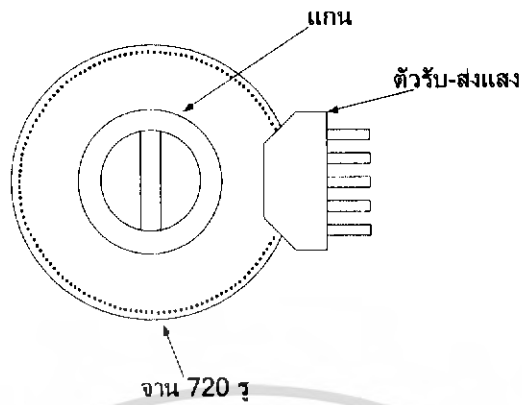
$$= 1 : (2.666 \times 3.5 \times 3.083 \times 5.866)$$

$$= 1 : 168.37 \text{ หรือ } 1 : 168$$

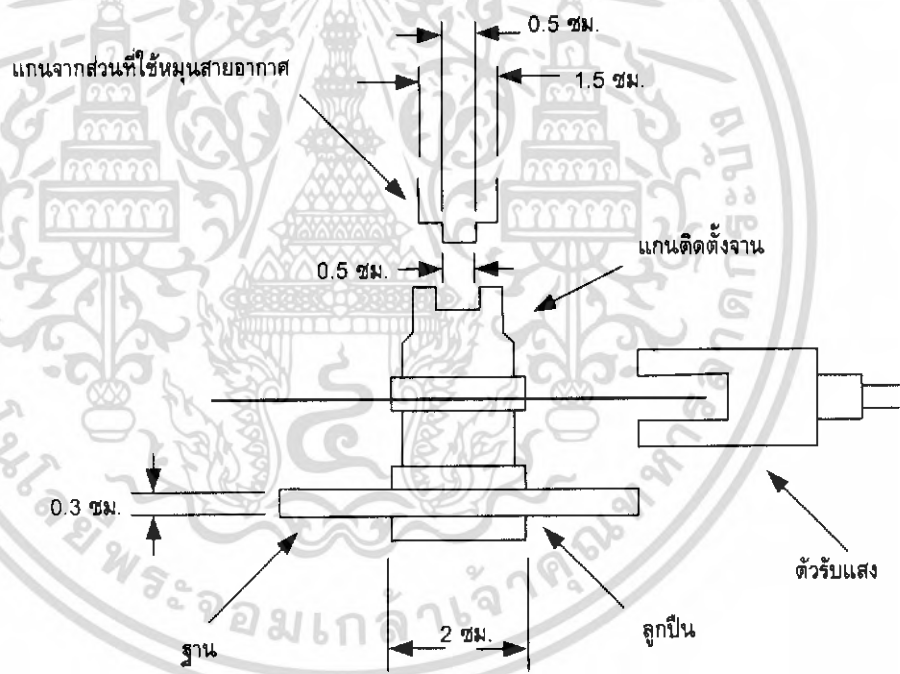
3.1.3.3 เอนโคเดเดอร์

ในด้านการขับเคลื่อนสายอากาศให้ถูกต้องตามตำแหน่งที่เราต้องการนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ป้อนกลับเข้ามาช่วย เพราะอุปกรณ์เหล่านี้จะช่วยให้เราสามารถควบคุมตำแหน่งได้อย่างถูกต้องและมีค่าความผิดพลาดน้อยลงและอุปกรณ์ป้อนกลับที่เลือกใช้ในเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติก็คือ เอนโคเดเดอร์

เอนโคเดเดอร์ของเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัตินี้จะเลือกใช้เอนโคเดเดอร์แบบออปติคอลเอนโคเดเดอร์ ที่มีลักษณะเป็นจานเจาะรู ซึ่งมีลักษณะการติดตั้งดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ลักษณะของงานเอนโคเดเดอร์



รูปที่ 3.11 การติดตั้งเอนโคเดเดอร์

เมื่อสายอากาศหมุน แกนจากส่วนที่หมุนสายอากาศก็จะมาขับแกนที่ติดตั้งงานเอนโคเดเดอร์ให้หมุนตามไปด้วย เมื่อเอนโคเดเดอร์หมุนตัดกับตัวรับส่งแสงก็จะเกิดพัลส์ขึ้นตามจำนวนรูที่ตัดผ่าน งานที่ใช้เครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติจะมีรูทั้งหมด 720 รู ซึ่งจะทำให้เกิดพัลส์ 720 พัลส์ พัลส์ที่ได้ก็จะส่งไปยังพอร์ต 0.6 และ 0.7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำค่าที่ได้ไปนับและประมวลผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

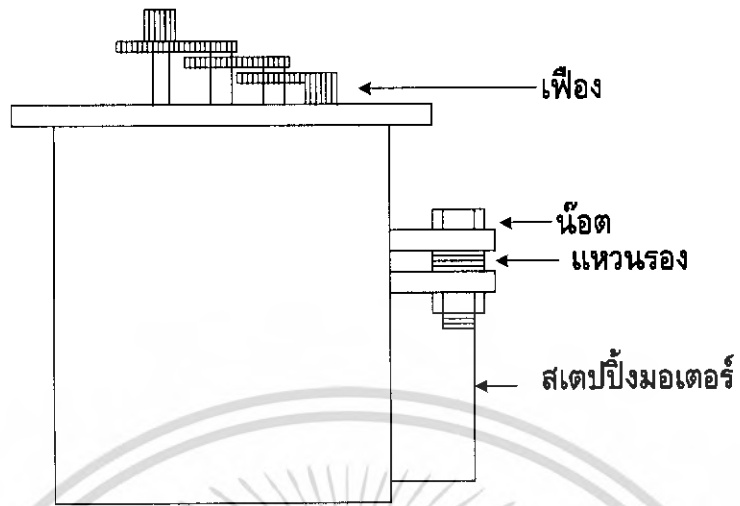
ลักษณะโครงสร้างของส่วนขับเคลื่อนสายอากาศแสดงดังรูปที่ 3.12, รูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.14



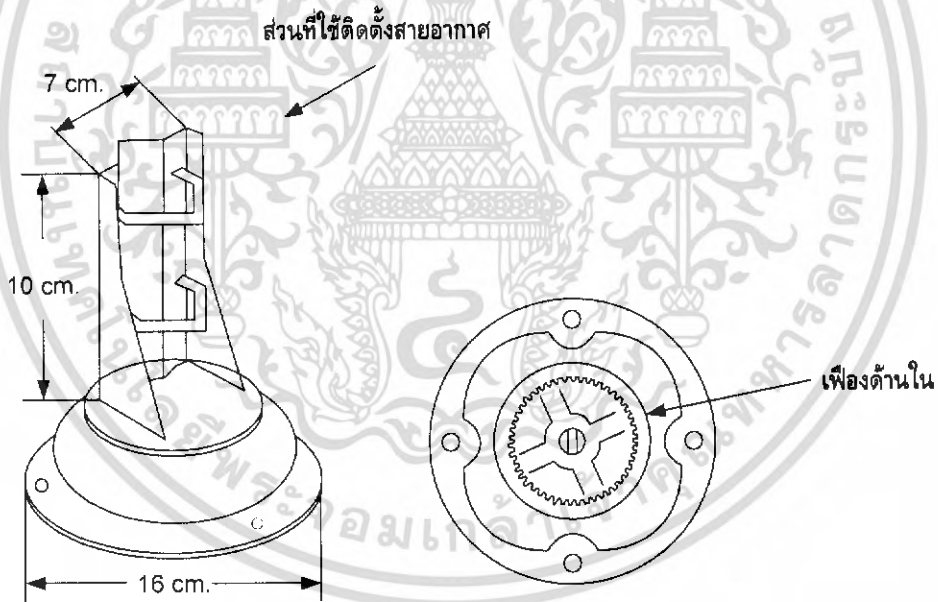
รูปที่ 3.12 ลักษณะชุดขับเคลื่อนด้านบนที่ยังไม่ใส่ชุดเฟือง

รูปที่ 3.13 ลักษณะชุดขับเคลื่อนด้านบนที่ใส่ชุดเฟืองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

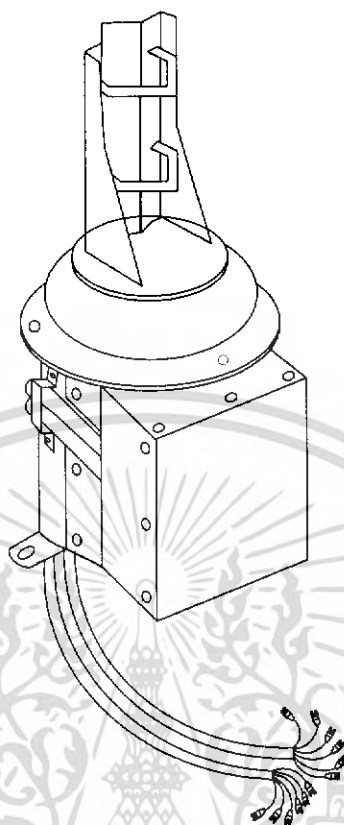


รูปที่ 3.14 ลักษณะด้านข้างของชุดขับเคลื่อน



รูปที่ 3.15 ส่วนที่ใช้ติดตั้งสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



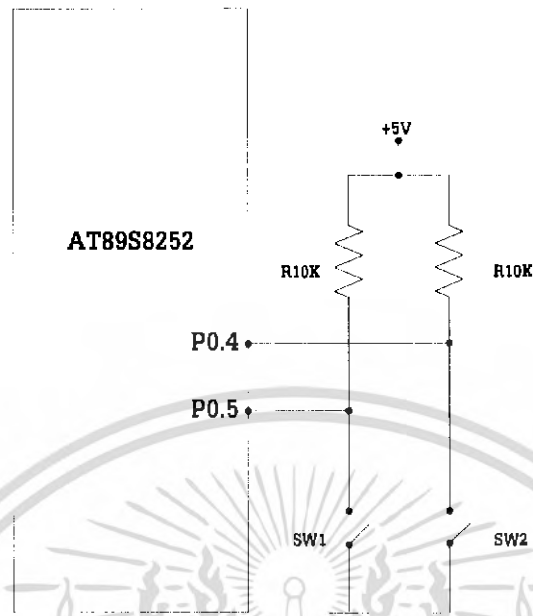
รูปที่ 3.16 โครงสร้างของส่วนการหมุนสายอากาศที่สมบุรณ์

หลักการทำงานของส่วนการหมุนสายอากาศ คือ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการคำนวณตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการได้แล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งงานไปที่สเตปป์มอเตอร์ ให้สเตปป์มอเตอร์หมุนเพื่อไปขับเคลื่อนเฟืองทด สายอากาศก็就会被ขับเคลื่อนไปในตำแหน่งที่เราต้องการ และในขณะที่สายอากาศหมุนไปเอนโคดเดอร์ก็ทำงานตามไปด้วย เอนโคดเดอร์ก็จะสร้างสัญญาณพัลส์แล้วส่งไปยังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผล เพื่อทำการตรวจสอบว่าสายอากาศได้หมุนไปในทิศทางและตำแหน่งที่ถูกต้องตามที่กำหนดหรือไม่

3.1.3.4 ลิมิตสวิตช์

ในการติดตั้งสายอากาศแบบทิศทางนั้น จำเป็นที่จะต้องกำหนดตำแหน่งไว้ตั้งแต่ 0-360 องศา จึงได้เลือกใช้ลิมิตสวิตช์ในการกำหนดจุดเริ่ม คือ 0 องศา และจุดสิ้นสุดคือ 359 องศา ที่เป็น 359 องศา เพราะว่าที่ตำแหน่ง 0 องศาและ 360 องศา คือจุดเดียวกันอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

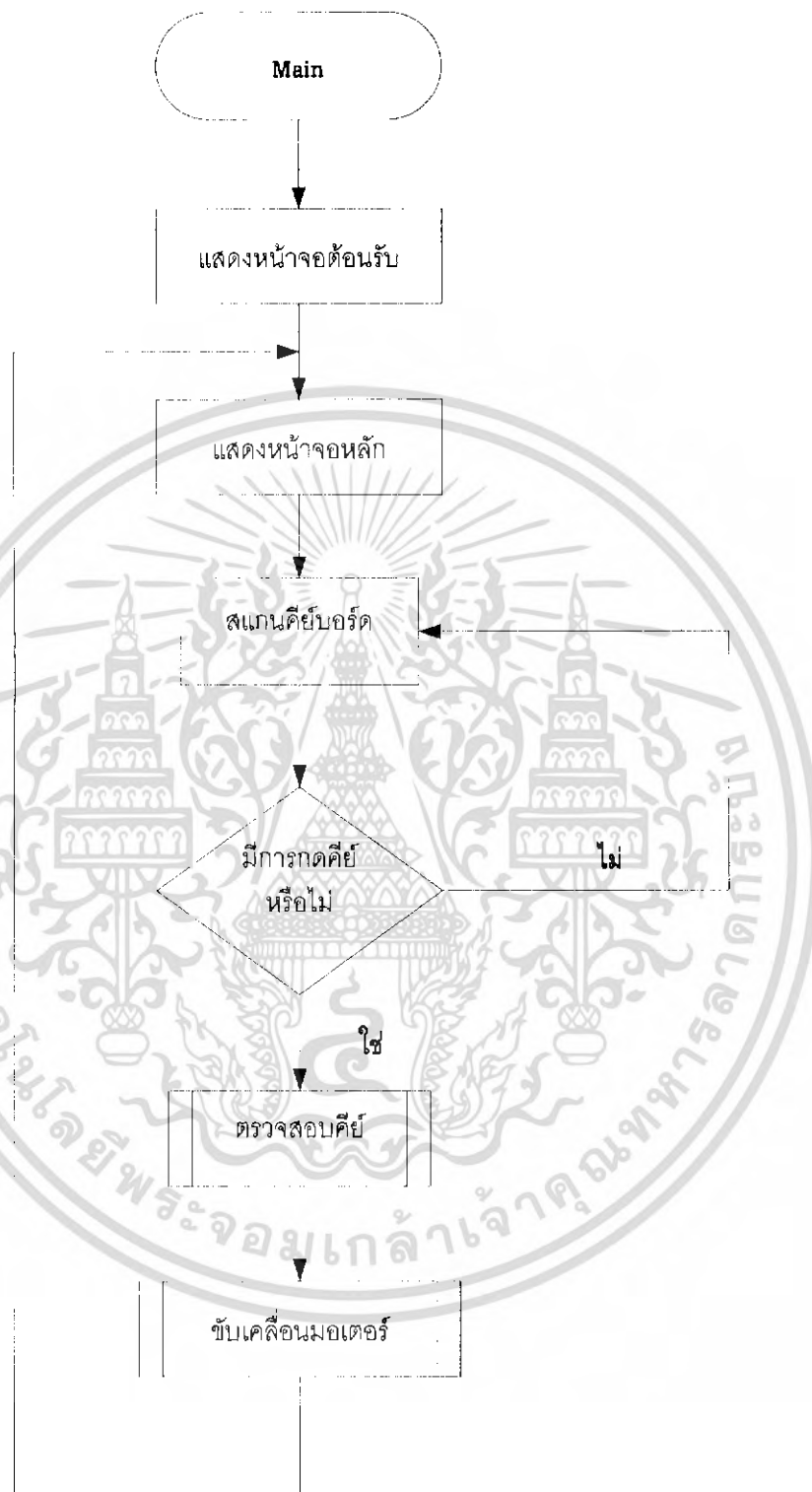


รูปที่ 3.17 วงจรลิมิตสวิตช์

หลักการงานจะใช้พอร์ต P0.4 และ P0.5 ในการรับค่ากำหนดให้ SW1เป็น SW ในการควบคุมตำแหน่ง 0 องศาและ SW2 เป็นตัวควบคุมตำแหน่ง 360 องศา ในขณะที่มอเตอร์หมุน ตัวประมวลผลจะได้รับไฟ 5 โวลต์ จากวงจรแต่ถ้า ตัวใดตัวหนึ่งมีการ ON จะทำให้ตัวประมวลผลได้รับไฟ 0 โวลต์ทำให้รู้ว่ามอเตอร์ได้หมุนมาถึงจุด 0 องศาหรือ 360 องศาแล้วตัวประมวลผลก็จะสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุนทันที

3.2 การออกแบบในส่วนของซอฟต์แวร์

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมการหมุนของสายอากาศ จะเลือกใช้ภาษาซีเขียน เพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีหลักการงานของโปรแกรมหาดังนี้



รูปที่ 3.18 โฟลว์ชาร์ตการทำงานทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

การทดลองและผลการทดลองของเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติในแต่ละส่วนของวงจร และจากการนำเอาแต่ละภาคของการทำงานเข้ามาต่อรวมกัน เพื่อทำการทดสอบวัดประสิทธิภาพการทำงาน

4.2 วงจรแสดงผล

วงจรแสดงผลแบบจอ LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ขนาด 5x8 จุด สามารถแสดงตัวอักษร ภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กและตัวพิมพ์ใหญ่ได้ และประกอบด้วยตัวความต้านทานปรับค่าได้ 10 กิโลโอห์ม 1 ตัว เพื่อปรับความสว่างของจอ LCD และความเข้มของตัวอักษร วงจรแสดงผลจะทำงานร่วมกับวงจรถวลผล โดยการเขียนโปรแกรมให้แสดงผลตามต้องการและทำการทดลองดังนี้

4.2.1 การทดลอง

1. ประกอบจอ LCD เข้ากับบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ทำการเขียนโปรแกรมให้แสดงคำว่า "KMITL id ed 26" สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่จอ LCD พร้อมทั้งบันทึกผลลงตารางที่ 4.1
3. ทำการปรับตัวความต้านทานปรับค่าได้ (VR) ตามเข็มนาฬิกา สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่จอ LCD พร้อมทั้งบันทึกผลลงตารางที่
4. ทำการปรับตัวความต้านทานปรับค่าได้ (VR) ทวนเข็มนาฬิกา สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่จอ LCD พร้อมทั้งบันทึกผลลงตารางที่ 4.1

4.2.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรแสดงผล

| การทดลอง | ผลการทดลอง |
|---|------------------------------------|
| เขียนโปรแกรมให้แสดงคำว่า "KMITL id ed 26" | จอ LCD แสดงคำว่า "KMITL id ed 26" |
| ปรับตัวความต้านทานปรับค่าได้ (VR) ตามเข็มนาฬิกา | ตัวอักษรที่จอ LCD จะค่อยๆ เข้มขึ้น |
| ปรับตัวความต้านทานปรับค่าได้ (VR) ทวนเข็มนาฬิกา | ตัวอักษรที่จอ LCD จะค่อยๆ จางลง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองวงจรแสดงผลสามารถทำงานได้ตามคุณสมบัติของจอ LCD และสามารถทำงานร่วมกับวงจรประมวลผลได้

4.3 ชุดคีย์สวิตช์เมทริกซ์

ชุดคีย์สวิตช์เมทริกซ์จะต้องทดลองร่วมกับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจร LCD โมดูลซึ่งเป็นชุดคีย์สวิตช์เมทริกซ์แบบ 4x4

4.3.1 การทดลอง

1. ต่อชุดชุดคีย์สวิตช์เมทริกซ์เข้ากับบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ทำการเขียนโปรแกรมการทดลอง ชุดคีย์สวิตช์เมทริกซ์ให้กับบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์
3. กดปุ่มที่ใช้ในการทดลอง สังเกตผลจาก LED บนที่แสดงผลลงตารางที่ 4.2

4.3.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองชุดคีย์สวิตช์เมทริกซ์

| ลำดับที่ | ค่าที่กด | ผลที่ได้ |
|----------|----------|----------|
| 1 | 0 | 00000000 |
| 2 | 1 | 00000001 |
| 3 | 2 | 00000010 |
| 4 | 3 | 00000011 |
| 5 | 4 | 00000100 |
| 6 | 5 | 00000101 |
| 7 | 6 | 00000110 |
| 8 | 7 | 00000111 |
| 9 | 8 | 00001000 |
| 10 | 9 | 00001000 |
| 11 | △ | 00001010 |
| 12 | ▽ | 00001011 |
| 13 | 2ND FUN | 00001100 |
| 14 | CLEAR | 00001101 |
| 15 | HELP | 00001110 |
| 16 | ENTER | 00001111 |

หมายเหตุ 0 = หลอด LED ดับ, 1 = หลอด LED ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองเมื่อกดปุ่มตามที่กำหนดแล้วหลอด LED จะติดตามลำดับที่กำหนดไว้ คือ ตั้งแต่ 00000000 - 00001111

4.4 วงจรขับสเตปป์มอเตอร์และสเตปป์มอเตอร์

วงจรมอเตอร์สเตปป์มอเตอร์และสเตปป์มอเตอร์เป็นส่วนที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายอากาศไปในทิศทางที่ต้องการซึ่งจะต้องผ่านการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์

4.4.1 การทดลอง

1. ต่อวงจรมอเตอร์สเตปป์มอเตอร์และสเตปป์มอเตอร์เข้ากับบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เขียนโปรแกรมทดลองการหมุนของสเตปป์มอเตอร์ให้กับบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ทำการทดลอง สังเกตผลที่ได้พร้อมบันทึกค่าลงตารางที่ 4.3

4.4.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรมอเตอร์สเตปป์มอเตอร์และสเตปป์มอเตอร์

| ลำดับที่ | การหมุน | ผลที่ได้ |
|----------|-----------------------------------|----------------------------|
| 1 | สั่งให้สเตปป์มอเตอร์หมุนไปทางขวา | สเตปป์มอเตอร์หมุนไปทางขวา |
| 2 | สั่งให้สเตปป์มอเตอร์หมุนไปทางซ้าย | สเตปป์มอเตอร์หมุนไปทางซ้าย |
| 3 | สั่งให้สเตปป์มอเตอร์หยุดหมุน | สเตปป์มอเตอร์หยุดหมุน |

จากการทดลอง เมื่อสั่งให้สเตปป์มอเตอร์หมุนไปทางขวาหรือทางซ้าย สเตปป์มอเตอร์ก็จะหมุนไปตามที่ต้องการและเมื่อสั่งให้สเตปป์มอเตอร์หยุดหมุน สเตปป์มอเตอร์ก็จะหยุดหมุนทันที

4.5 เอนโคเดอร์

เป็นตัวนับสัญญาณพัลส์ในส่วนที่ติดกับแกนหมุนสายอากาศ ซึ่งเป็นตัวตรวจสอบการหมุนของสายอากาศว่าหมุนครบตามตำแหน่งที่ป้อนหรือยัง เอนโคเดอร์ที่ใช้เป็นแบบจาน 720 รู

4.5.1 การทดลอง

1. ต่อชุดเอนโคเดอร์และจอ LCD เข้ากับบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เขียนโปรแกรมเพื่อนับพัลส์ที่ได้จากเอาต์พุตของเอนโคเดอร์
3. ทำการทดลอง แสดงผลทางจอ LCD สังเกตและบันทึกผลลงตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเอนโคเดเตอร์

| ลำดับที่ | ขั้นตอนการทดลอง | ผลการทดลอง |
|----------|-----------------------------------|---------------------------|
| 1 | หมุนเอนโคเดเตอร์ตามเข็มนาฬิกา1รอบ | ค่าจะนับขึ้นตั้งแต่ 0-720 |
| 2 | หมุนเอนโคเดเตอร์ทวนเข็มนาฬิกา1รอบ | ค่าจะนับลงตั้งแต่ 720-0 |
| 3 | หมุนเอนโคเดเตอร์ครึ่งรอบแล้วหยุด | ค่าจะอยู่ที่ 360 |

จากการทดลอง เมื่อหมุนเอนโคเดเตอร์ตามเข็มนาฬิกาจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0 - 720 เมื่อหมุนเอนโคเดเตอร์ทวนเข็มนาฬิกาจะนับลงตั้งแต่ 720 - 0 และเมื่อหยุดหมุนเอนโคเดเตอร์แล้ว เอนโคเดเตอร์ก็จะหยุดส่งพัลส์ออกไปทันที

4.6 ลิมิตสวิตช์

เป็นสวิตช์ที่ติดตั้งไว้ในตัวหมุนสายอากาศเพื่อทำการตรวจสอบเมื่อหมุนครบรอบจะมีแผ่นอะลูมิเนียม มากดลิมิตสวิตช์ทำให้สเตปป์มอเตอร์หยุดหมุนทันที

4.6.1 การทดลอง

1. ต่อดวงจรมลิตสวิตช์ สเตปป์มอเตอร์และวงจรรับสเตปป์มอเตอร์เข้ากับบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์โดยต่อดวงจรมลิตสวิตช์เข้ากับพอร์ต 0.4 และ 0.5 แล้วต่อดวงจรรับสเตปป์มอเตอร์เข้ากับพอร์ต 3 ของบอร์ดการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เขียนโปรแกรมควบคุมสเตปป์มอเตอร์และลิมิตสวิตช์ให้กับบอร์ดการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ทำการทดลอง สังเกตและบันทึกผลลงในตารางที่ 4.5

4.6.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองของลิมิตสวิตช์

| ลำดับที่ | ขั้นตอนการทดลอง | ผลการทดลอง |
|----------|---|-----------------------|
| 1 | หมุนสเตปป์มอเตอร์ตามเข็มนาฬิกาจนแผ่นอะลูมิเนียมแตะลิมิตสวิตช์ตัวที่ 1 | สเตปป์มอเตอร์หยุดหมุน |
| 2 | หมุนสเตปป์มอเตอร์ทวนเข็มนาฬิกาจนแผ่นอะลูมิเนียมแตะลิมิตสวิตช์ตัวที่ 2 | สเตปป์มอเตอร์หยุดหมุน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองเมื่อแผ่นอะลูมิเนียมและลิมิตสวิตช์ไม่ว่าจะเป็นลิมิตสวิตช์ตัวที่ 1 หรือตัวที่ 2 สเตปปีงมอเตอร์ก็จะหยุดหมุนทันที

4.7 ระบบ MANUAL

4.7.1 การทดลอง

1. ประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกันทุกส่วน
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับเครื่องควบคุม
3. กดปุ่ม 2NDFUN เพื่อเลือกฟังก์ชัน MANUAL
4. กดปุ่ม เพิ่ม หรือ ลด ตำแหน่งตามค่าที่เราต้องการ เช่น กดเลื่อนไปที่ 10 องศา (ดูจากจอLCD) ทำการอ่านค่าจากปลายลูกศรตรงส่วนของการหมุนสายอากาศว่าหยุดอยู่ที่ตำแหน่งใด
5. บันทึกผลลงตารางที่ 4.6

4.7.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองระบบ MANUAL

| ลำดับที่ | ค่าที่ต้องการ | ค่าที่ได้ | ค่าผิดพลาด (องศา) | ค่าผิดพลาด (%) |
|-------------------------|---------------|-----------|----------------------|----------------|
| 1 | 10 | 13 | 3 | 30 |
| 2 | 45 | 48 | 3 | 6.7 |
| 3 | 30 | 30 | 0 | 0 |
| 4 | 90 | 88 | 2 | 2.2 |
| 5 | 270 | 272 | 2 | 0.7 |
| 6 | 225 | 222 | 3 | 1.3 |
| 7 | 180 | 176 | 4 | 2.2 |
| 8 | 191 | 190 | 1 | 0.5 |
| 9 | 300 | 302 | 2 | 0.6 |
| 10 | 354 | 354 | 0 | 0 |
| ค่าผิดพลาดเฉลี่ย (องศา) | | 2 | ค่าผิดพลาดเฉลี่ย (%) | 4.42 |

จากการทดลองเมื่อทำการเลื่อนค่าไปที่ตำแหน่งที่ต้องการตามตารางซึ่งทดลองมา 10ค่า ด้วยกันนั้น ค่าที่ได้จากการอ่านจะมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 2 องศา เมื่อนำค่าที่ได้มาคิดค่าผิดพลาดเฉลี่ยเป็น(%) จะมีความผิดพลาดอยู่ที่ 4.42 (%) ในทางปฏิบัตินั้นค่าผิดพลาดดังที่กล่าวมานั้นไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ระบบ AUTOMATIC

4.8.1 การทดลอง

1. ประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกันทุกส่วน
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับเครื่องควบคุม
3. กดปุ่ม 2NDFUN เพื่อเลือกฟังก์ชัน AUTOMATIC
4. ป้อนค่าตามที่เราต้องการ เช่น ป้อนค่าไปที่ 26 องศา แล้วทำการกดปุ่ม ENTER ทำการอ่านค่าจากปลายลูกศรตรงส่วนของการหมุนสายอากาศว่าหยุดอยู่ที่ตำแหน่งใด
5. บันทึกผลลงตารางที่ 4.7

4.8.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองระบบ AUTOMATIC

| ลำดับที่ | ค่าที่ต้องการ | ค่าที่ได้ | ค่าผิดพลาด (องศา) | ค่าผิดพลาด (%) |
|-------------------------|---------------|-----------|----------------------|----------------|
| 1 | 25 | 27 | 2 | 8 |
| 2 | 73 | 76 | 3 | 4.1 |
| 3 | 111 | 113 | 2 | 1.8 |
| 4 | 94 | 94 | 0 | 0 |
| 5 | 139 | 142 | 3 | 2.2 |
| 6 | 245 | 247 | 2 | 0.8 |
| 7 | 161 | 159 | 2 | 1.2 |
| 8 | 354 | 357 | 3 | 0.8 |
| 9 | 321 | 324 | 3 | 0.9 |
| 10 | 300 | 305 | 5 | 1.7 |
| ค่าผิดพลาดเฉลี่ย (องศา) | | 2.5 | ค่าผิดพลาดเฉลี่ย (%) | 2.15 |

จากการทดลองเมื่อทำการเลื่อนค่าไปที่ตำแหน่งที่ต้องการตามตารางซึ่งทดลองมา 10 ค่า ด้วยกันนั้นค่าที่ได้จากการอ่านจะมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.5 องศา เมื่อนำค่าที่ได้มาคิดค่าผิดพลาดเฉลี่ยเป็น(%) จะมีความผิดพลาดอยู่ที่ 2.15 (%) ในทางปฏิบัตินั้นค่าผิดพลาดดังที่กล่าวมานั้นไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานสัญญาณแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 การแสดงผล 0 - 360 องศา

4.9.1 การทดลอง

1. ประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกันทุกส่วน
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับเครื่องควบคุม
3. กดปุ่ม 2NDFUN เพื่อเลือกฟังก์ชัน MANUAL
4. กดปุ่มเพิ่มตำแหน่งค้างไว้จนส่วนหมุนสายอากาศหมุนถึงค่าสุดท้าย ทำการอ่านค่าจากปลายลูกศรตรงส่วนของการหมุนสายอากาศว่าหยุดอยู่ที่ตำแหน่งใด
5. กดปุ่มลดตำแหน่งค้างไว้จนส่วนหมุนสายอากาศหมุนถึงค่าสุดท้าย ทำการอ่านค่าจากปลายลูกศรตรงส่วนของการหมุนสายอากาศว่าหยุดอยู่ที่ตำแหน่งใด
6. บันทึกผลลงตารางที่ 4.8

4.9.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการแสดงผล 0 - 360 องศา

| ลำดับที่ | ขั้นตอนการทดลอง | ผลที่ได้ | ค่าผิดพลาด (องศา) | ค่าผิดพลาด (%) |
|----------|---|----------|-------------------|----------------|
| 1 | เลือกฟังก์ชัน MANUAL กดเพิ่มตำแหน่งจนตำแหน่งท้ายสุด | 354 | 6 | 1.7 |
| 2 | เลือกฟังก์ชัน MANUAL กดลดจนตำแหน่งท้ายสุด | 0 | 0 | 0 |

จากการทดลองเมื่อเลือกฟังก์ชัน MANUAL แล้วทำการกดเพิ่มตำแหน่งจนถึงตำแหน่งสุดท้ายค่าที่ได้คือ 354 องศาทำให้เกิดการผิดพลาด 6 องศา ส่วนการกดลดตำแหน่งจนถึงตำแหน่งสุดท้ายค่าที่ได้คือ 0 องศาตามที่ต้องการ ซึ่งค่าผิดพลาดดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อการรับสัญญาณแต่อย่างใด

4.10 การจำค่าตำแหน่งเดิม

4.10.1 การทดลอง

1. ประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกันทุกส่วน
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับเครื่องควบคุม
3. กดปุ่ม 2NDFUN เพื่อเลือกฟังก์ชัน MANUAL หรือ AUTOMATIC ก็ได้
4. กดปุ่ม เพิ่ม หรือ ลด ตำแหน่งตามค่าที่เราต้องการ เช่น กดเลื่อนไปที่ 58 องศา (ดูจากจอLCD)

ทำการปิดเครื่องควบคุม
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการเปิดเครื่องควบคุมสังเกตการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่ง อ่านค่า บันทึกผลลงตารางที่ 4.9

4.10.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการจำค่าตำแหน่งเดิม

| ลำดับที่ | ตำแหน่งสุดท้ายตอน ปิดเครื่อง | ตำแหน่งแรกตอน เปิดเครื่อง | ค่าผิดพลาด (องศา) | ค่าผิดพลาด (%) |
|-------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------|
| 1 | 58 | 58 | 0 | 0 |
| 2 | 42 | 42 | 0 | 0 |
| 3 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 4 | 180 | 180 | 0 | 0 |
| 5 | 172 | 172 | 0 | 0 |
| 6 | 250 | 250 | 0 | 0 |
| 7 | 199 | 199 | 0 | 0 |
| 8 | 300 | 300 | 0 | 0 |
| 9 | 333 | 333 | 0 | 0 |
| 10 | 350 | 350 | 0 | 0 |
| ค่าผิดพลาดเฉลี่ย (องศา) | | 0 | ค่าผิดพลาดเฉลี่ย (%) | 0 |

จากการทดลองเมื่อเราเลื่อนค่าไปที่ตำแหน่งที่เราต้องการแล้วขณะใช้งานไฟฟ้าดับหรือเราไปปิดเครื่องเมื่อเปิดขึ้นมาค่าที่ได้ก็จะอยู่ที่ตำแหน่งเดิม ดังตารางที่ 4.9

4.11 การบันทึกตำแหน่ง 10 ค่า

4.11.1 การทดลอง

1. ประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกันทุกส่วน
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับเครื่องควบคุม
3. กดปุ่ม 2NDFUN เพื่อเลือกฟังก์ชัน MANUAL หรือ AUTOMATIC ก็ได้ เพื่อระบุค่าที่ต้องการบันทึก
4. กดปุ่ม HELP เพื่อทำการบันทึกตำแหน่ง
5. กดปุ่ม 2NDFUN เพื่อเลือกฟังก์ชัน DATA แล้วกดปุ่มเลื่อนขึ้นเพื่อดูค่าที่บันทึก
6. บันทึกค่าลงตารางที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการบันทึกตำแหน่ง 10 ค่า

| ลำดับที่ | ค่าที่ต้องการบันทึก | เลื่อนค่าไปด้านหลัง | เลื่อนค่าไปด้านหน้า |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 64 | NO DATA | NO DATA |
| 2 | 95 | 64 | NO DATA |
| 3 | 33 | 95 | NO DATA |
| 4 | 90 | 33 | NO DATA |
| 5 | 123 | 90 | NO DATA |
| 6 | 255 | 123 | NO DATA |
| 7 | 200 | 255 | NO DATA |
| 8 | 180 | 200 | NO DATA |
| 9 | 220 | 180 | NO DATA |
| 10 | 14 | 220 | 64 |

จากการทดลองเราสามารถทำการบันทึกค่าได้ 10 ค่า โดยในการบันทึกค่าเมื่อครบ 10 ตำแหน่งแล้วนั้น หากต้องการทำการบันทึกค่าอีก ก็สามารถทำได้โดยการใช้ขั้นตอนตามตารางการทดลองที่ 4.10 แต่การบันทึกจะไปแทนที่ในค่าแรกและหากมีการบันทึกไปเรื่อย ๆ ก็ทำบันทึกแทนที่ค่าที่มีอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุป

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้จัดทำขึ้น เพื่อพัฒนาเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศที่มีเพียงฟังก์ชันเดียว เป็นเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถให้มากขึ้น โดยมีหลักการทำงานเบื้องต้น คือ นำคีย์สวิตช์มาเป็นตัวรับค่า เพื่อนำไปประมวลผลยังชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ส่งคำสั่งไปขับสเตปป์มอเตอร์ให้หมุนไปตามองศาที่ต้องการ โดยใช้เอนโคเดอร์เป็นตัวควบคุมองศาและสามารถแสดงผลการหมุนของสายอากาศผ่านจอ LCD พร้อมกับบันทึกองศาที่ต้องการใช้บ่อย ๆ ได้ถึง 10 ค่าด้วยกัน ดังนั้นทางกลุ่มผู้จัดทำจึงเพิ่มขีดความสามารถในการควบคุมการหมุนของสายอากาศ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเครื่องควบคุมสายอากาศแบบเก่า

5.2 บทวิจารณ์

การออกแบบเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศทิศทางอัตโนมัติ เลือกใช้สเตปป์มอเตอร์และชุดเฟืองมาขับเคลื่อนสายอากาศ ใช้ตัวเอนโคเดอร์ในการควบคุมตำแหน่งให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการ แต่ชุดเฟืองที่ใช้มีการทดกำลังให้สามารถใช้กับโหลดที่มีน้ำหนักไม่มากเกินไป ถ้าต้องการใช้กับโหลดที่มีน้ำหนักมาก ๆ จะต้องทำการเพิ่มอัตราทดของชุดเฟืองใหม่ให้มีอัตราทดกำลังที่เพิ่มขึ้น แต่โดยรวมแล้วโครงงานสามารถทำตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

5.3 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

1. ปัญหา การออกแบบชุดเฟือง เนื่องจากขนาดเฟืองตามที่ต้องการมีราคาในการสั่งทำสูงมากและหาซื้อไม่ได้ยาก

แนวทางการแก้ไข จึงได้มีการใช้ชุดเฟืองที่อยู่ในเครื่องควบคุมสายอากาศรุ่นเก่ามาดัดแปลงซึ่งสามารถใช้ทดแทนได้ดี

2. ปัญหา โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมก็มีความซับซ้อนพอสมควร

แนวทางการแก้ไข จึงต้องปรึกษาอาจารย์และผู้ที่มีความรู้ในการเขียนโปรแกรมส่วนที่มีความซับซ้อน ต้องใช้ความพิถีพิถันและความรอบคอบในการเขียนโปรแกรมมาก

3. ปัญหา การเดินทางไปซื้ออุปกรณ์ในแต่ละครั้งต้องใช้ระยะทางไกลและเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการแก้ไข อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ทั่วไป ก็สามารถซื้อได้จากร้านค้าในพื้นที่ลาดกระบัง ส่วนอุปกรณ์ที่หาซื้อยากก็จะรวบรวมหลาย ๆ รายการ แล้วไปหาซื้อที่บ้านหม้อและบริเวณใกล้เคียง

5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อ

เครื่องควบคุมสายอากาศอัตโนมัตินอกจากการทำงานที่ได้ตามขีดความสามารถที่กำหนดแล้ว ยังสามารถที่จะเพิ่มขีดความสามารถของระบบออกไปอีกให้สูงขึ้นกว่าเดิมได้ ดังต่อไปนี้

1. พัฒนาโครงสร้างของเครื่องควบคุมสายอากาศอัตโนมัติให้มีขนาดเล็กลง
2. พัฒนาการขับเคลื่อนสายอากาศ ให้สามารถรับสายอากาศที่มีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น
3. พัฒนาสามารถแสดงผลผ่านจอมอนิเตอร์ เช่น การพล็อตกราฟและสามารถป้อนข้อมูลได้
4. พัฒนาให้สามารถรับข้อมูลจากเสียงพูด เช่น ต้องการหมุนสายอากาศไปที่ 45 องศาป้อนข้อมูล

โดยการพูดได้เลย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- จิรวิทย์ เติริยมมานะวงศ์. 2541. "การขับเคลื่อนสแตปปีงมอเตอร์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เจษฎาพร สานทรัพย์. 2545. "ระบบควบคุมตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทาง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ธีรวัฒน์ ประกอบผล. 2541. **การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: แชนโพรฟรินติ้ง.
- นพดล พวงสอน. 2546. "การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการหล่อลื่นของเฟือง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ทศพล สังข์อยู่. 2544. **ทฤษฎีเครื่องมือกล 2**. สระบุรี: ปากเหียวการช่าง.
- วารี มะโนวันและคนอื่น ๆ. 2547. "เครื่องวัดค่าแรงดึงขาดที่ลวดล้อรถจักรยานยนต์." วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- www.alldatasheet.com.
- www.datasheet.com.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ภาพด้านบนของเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 ภาพด้านหน้าของเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติ



รูปที่ ก.3 ภาพด้านหลังของเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 ภาพด้านบนของชุดขับเคลื่อนสายอากาศที่ยังไม่ใส่ชุดเฟือง



รูปที่ ก.5 ภาพด้านบนของชุดขับเคลื่อนสายอากาศที่ใส่ชุดเฟืองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

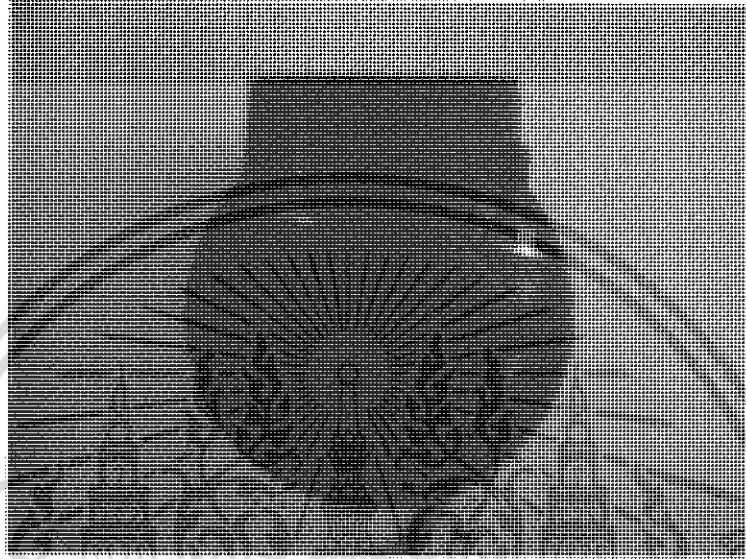


รูปที่ ก.6 ภาพด้านข้างของชุดชั้นเคลื่อนสายอากาศที่สมบูรณ์แบบแล้ว



รูปที่ ก.7 ภาพด้านข้างของชุดชั้นเคลื่อนสายอากาศที่สมบูรณ์แบบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.๘ ภาพด้านบนของชุดชั้นเคลือบสายอากาศที่สมบูรณ์แบบแล้ว

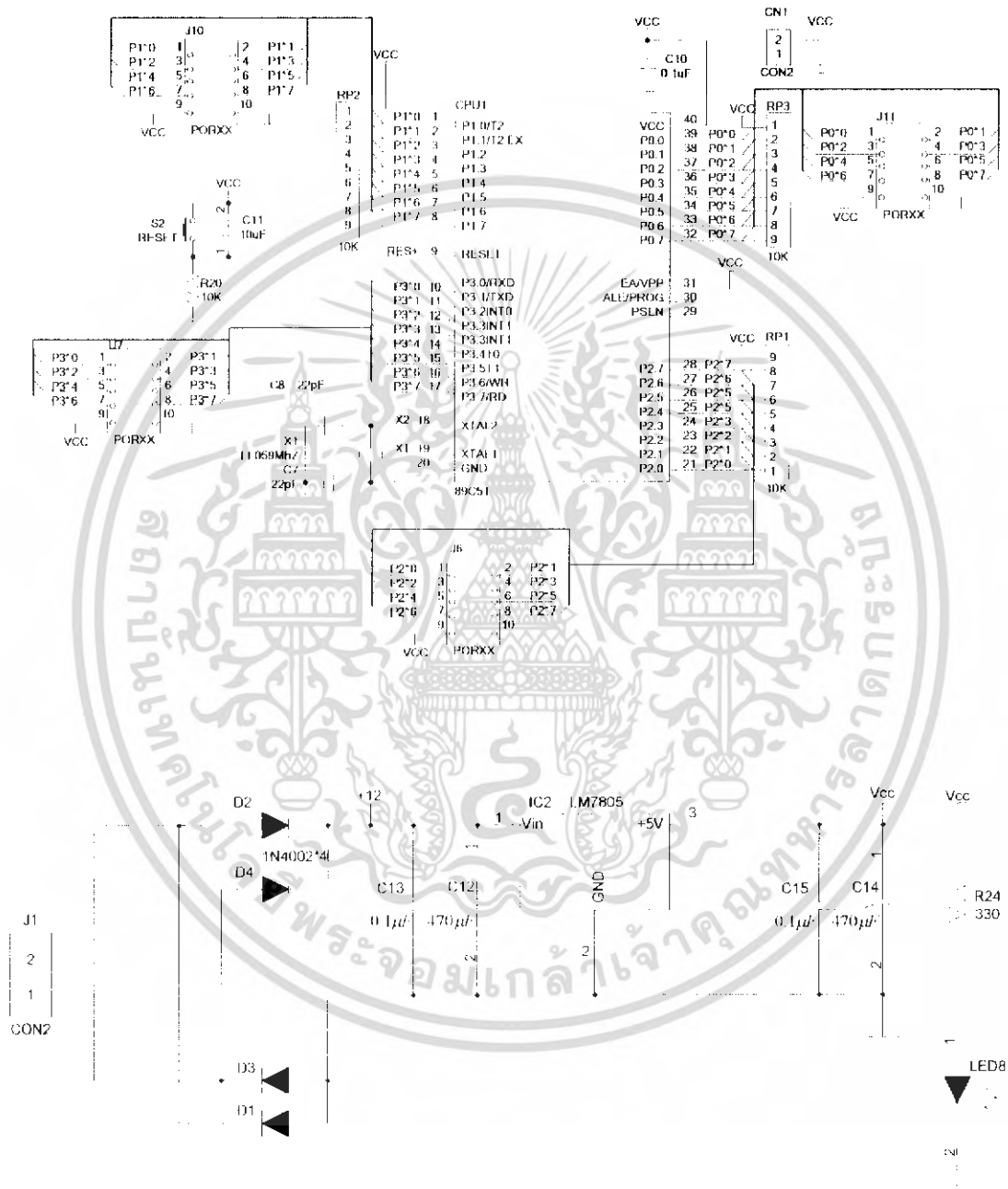
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
วงจรและแผนวงจรพิมพ์

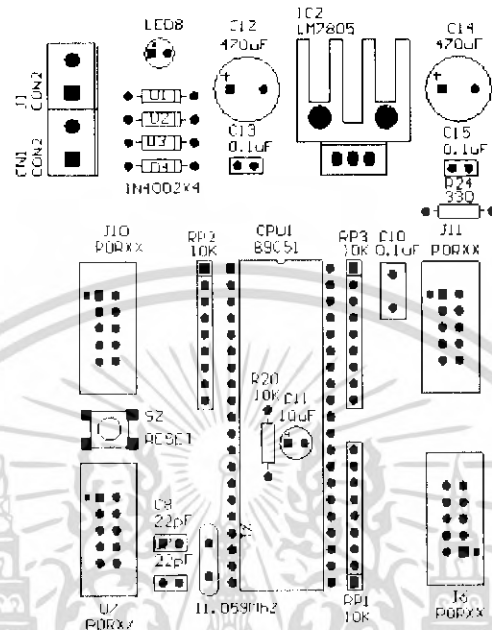
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microcontroller MCS-51

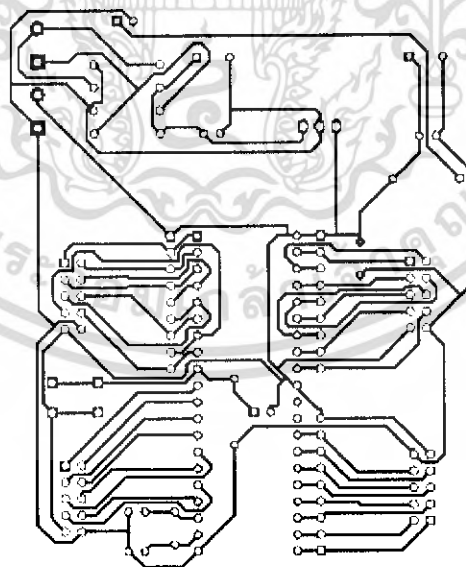


รูปที่ ข.1 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจร POWER SUPPLY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

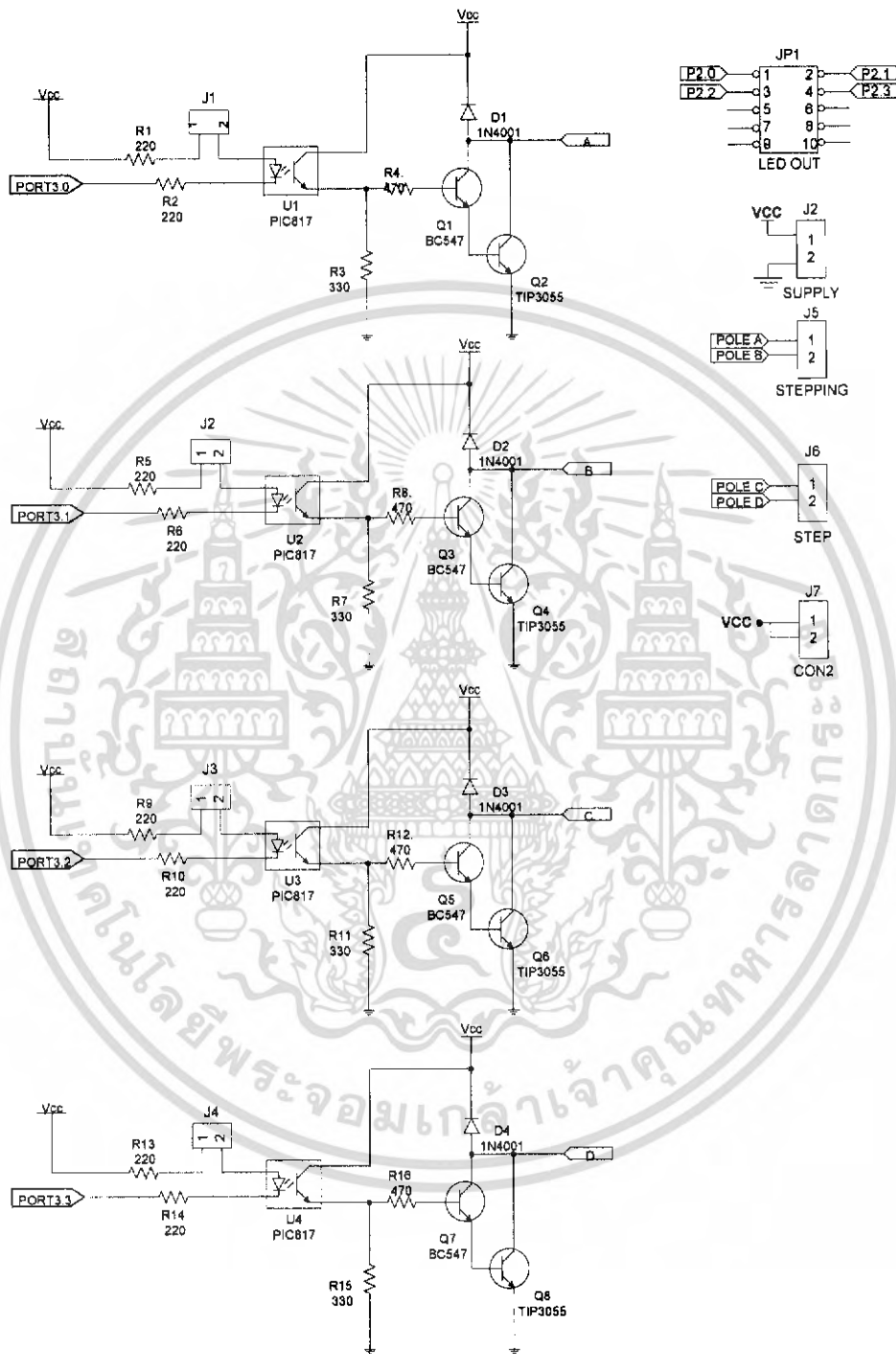


รูปที่ ข.2 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรวงจรมicroคอนโทรลเลอร์



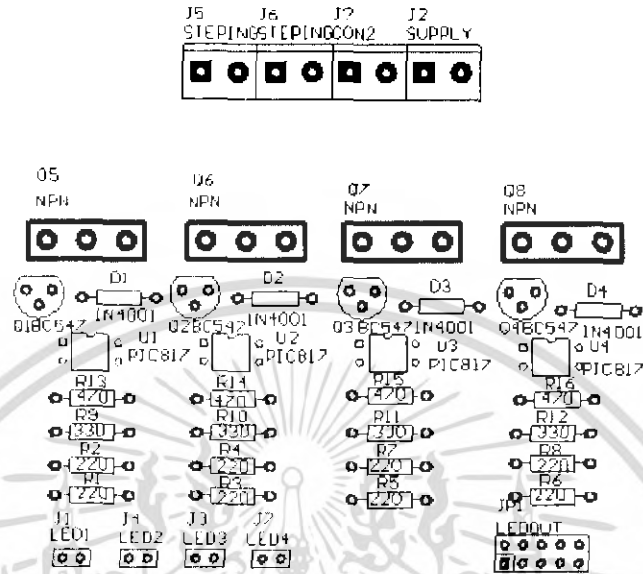
รูปที่ ข.3 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรมicroคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

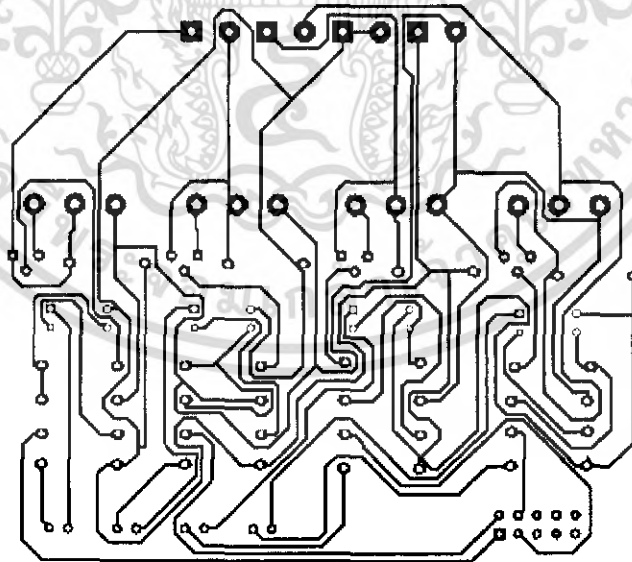


รูปที่ ๒.4 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรขับสเต็ปมอเตอร์



รูปที่ ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์วงจรขับพลาสมา

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|----------------------------|----------------------|-------|
| วงจรรวม | | |
| IC1 | L7805 | 1 ตัว |
| อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ | | |
| D1 , D2, D3 , D4 | 1N4002 | 4 ตัว |
| LED1 | สีเขียว | 1 ดวง |
| ตัวเก็บประจุ | | |
| C1 , C2 | 0.1 μF เซรามิก | 2 ตัว |
| C3 , C4 | 470 μF 16V | 2 ตัว |
| ตัวความต้านทาน | | |
| R1 | 330 Ω 1/4 W5% | 1 ตัว |
| อุปกรณ์อื่น ๆ | | |
| เทอร์มินอล | 2 ซอง | 2 ตัว |
| ขั้วคเกต | 10 ขา | 4 ตัว |
| ขั้วคเกต | 40 ขา | 1 ตัว |

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---------------------|---------------------|-------|
| วงจรรวม | | |
| IC1 | 89S8252 | 1 ตัว |
| ตัวเก็บประจุ | | |
| C1 | 0.1 μF เซรามิก | 1 ตัว |
| C2 , C3 | 30 pF เซรามิก | 2 ตัว |
| C4 | 10 μF 16V | 1 ตัว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|--------------------------------|---------------|-------|
| ตัวความต้านทาน | | |
| R1 | 10 K Ω | 1 ตัว |
| R Pack 1 , R Pack 2 , R Pack 3 | 10 K Ω | 3 ตัว |
| สวิตช์ | | |
| คริสตรอล | 11.0592 MHz | 1 ตัว |

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์วงจร LCD โมดูล

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|-----------------------|----------------------|-------|
| ตัวความต้านทาน | | |
| VR1 | 10 K Ω | 1 ตัว |
| อุปกรณ์อื่นๆ | | |
| จอ LCD | 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด | 1 ตัว |

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์วงจรขับสเตปมิ่งมอเตอร์

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|----------------------------|------------|-------|
| วงจรรวม | | |
| IC1 , IC2 , IC3 , IC4 | OPTO | 4 ตัว |
| อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ | | |
| Q1 , Q2 , Q3 , Q4 | TIP3055 | 4 ตัว |
| Q5 , Q6 , Q7 , Q8 | BC547 | 4 ตัว |
| D1 , D2 , D3 , D4 | 1N4001 | 4 ตัว |
| LED1 , LED2 , LED3, LED4 | สีแดง | 4 ดวง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|--|-----------------------|-------|
| ตัวความต้านทาน | | |
| R1 , R2 , R3 , R4 , R5 , R6 , R7 , R8 | 220 Ω 1/4 W 5% | 8 ตัว |
| R9 , R10 , R11 , R12 | 330 Ω 1/4 W 5% | 4 ตัว |
| R13 , R14 , R15 , R16 | 470 Ω 1/4 W 5% | 4 ตัว |
| อุปกรณ์อื่น ๆ | | |
| เทอร์มินอล | 2 ซอง | 4 ตัว |
| ซีลเกต | 10 ขา | 1 ตัว |

ตารางที่ ค.5 รายการอุปกรณ์วงจรกิจต์แพด

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|--------------------|------------|-------|
| อุปกรณ์ | | |
| คิย์สวิตช์เมทริกซ์ | 4*4 | 1 ตัว |

ตารางที่ ค.6 รายการอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟ

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|------------------------|------------|-------|
| สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย | 5V 10A | 1 ตัว |
| หม้อแปลง | 12V 1A | 1 ตัว |
| พัดลมระบายอากาศ | 5V | 1 ตัว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 รายการอุปกรณ์ชุดขับเคลื่อนสายอากาศ

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---------------|--------------------------------|-------|
| อุปกรณ์ | | |
| สเตปป์มอเตอร์ | 2.5 V 2.1 A | 1 ตัว |
| เอนโคดเดอร์ | Optical Encoder งานขนาด 720 รู | 1 ตัว |
| ลิมิตสวิทช์ | 220 V. | 2 ตัว |

ตารางที่ ค.8 รายการอุปกรณ์ชุดเฟือง

| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|--------------|------------|-------|
| ขนาดของเฟือง | | |
| เฟือง | 37 mm. | 1 ตัว |
| | 35 mm. | 1 ตัว |
| | 32 mm. | 1 ตัว |
| | 15 mm. | 1 ตัว |
| | 12 mm. | 2 ตัว |
| | 10 mm. | 1 ตัว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
รายการละเอียดและคุณสมบัติอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



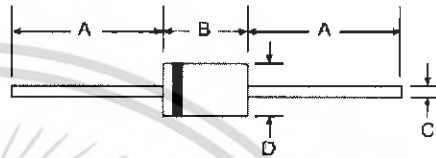
1N4001/L - 1N4007/L

1.0A RECTIFIER

SPICE MODELS: 1N4001 1N4002 1N4003 1N4004 1N4005 1N4006 1N4007

Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- **Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 4)**



Mechanical Data

- Case: DO-41, A-405
- Case Material: Molded Plastic, UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020C
- Terminals: Finish - Bright Tin, Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 209
- Polarity: Cathode Band
- Mounting Position: Any
- Ordering Information: See Last Page
- Marking: Type Number
- Weight: DO-41 0.30 grams (approximate)
A-405 0.20 grams (approximate)

| Dim | DO-41 Plastic | | A-405 | |
|-----|---------------|-------|-------|------|
| | Min | Max | Min | Max |
| A | 25.40 | — | 25.40 | — |
| B | 4.06 | 5.21 | 4.10 | 5.20 |
| C | 0.71 | 0.864 | 0.53 | 0.64 |
| D | 2.00 | 2.72 | 2.00 | 2.70 |

All Dimensions in mm

"L" Suffix Designates A-405 Package
No Suffix Designates DO-41 Package

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @ T_A = 25°C unless otherwise specified

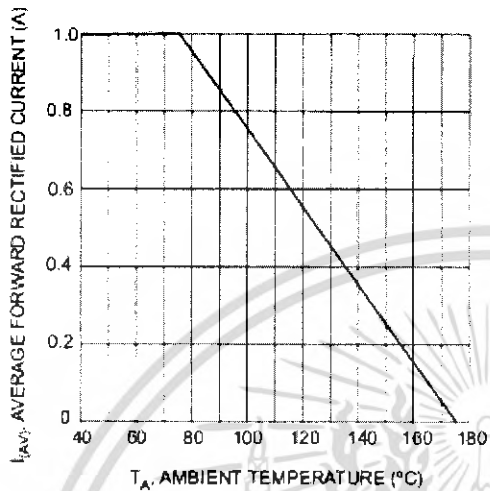
Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

| Characteristic | Symbol | 1N4001/L | 1N4002/L | 1N4003/L | 1N4004/L | 1N4005/L | 1N4006/L | 1N4007/L | Unit |
|---|--|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage | V _{RRM} V _{RWM} V _R | 50 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | V |
| RMS Reverse Voltage | V _{R(RMS)}} | 35 | 70 | 140 | 280 | 420 | 560 | 700 | V |
| Average Rectified Output Current (Note 1) @ T _A = 75°C | I _O | 1.0 | | | | | | | A |
| Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method) | I _{FSM} | 30 | | | | | | | A |
| Forward Voltage @ I _F = 1.0A | V _{FM} | 1.0 | | | | | | | V |
| Peak Reverse Current @ T _A = 25°C at Rated DC Blocking Voltage @ T _A = 100°C | I _{RM} | 5.0 50 | | | | | | | µA |
| Typical Junction Capacitance (Note 2) | C _J | 15 | | | 8 | | | | pF |
| Typical Thermal Resistance Junction to Ambient | R _{θJA} | 100 | | | | | | | K/W |
| Maximum DC Blocking Voltage Temperature | T _A | +150 | | | | | | | °C |
| Operating and Storage Temperature Range (Note 3) | T _J , T _{STG} | -65 to +175 | | | | | | | °C |

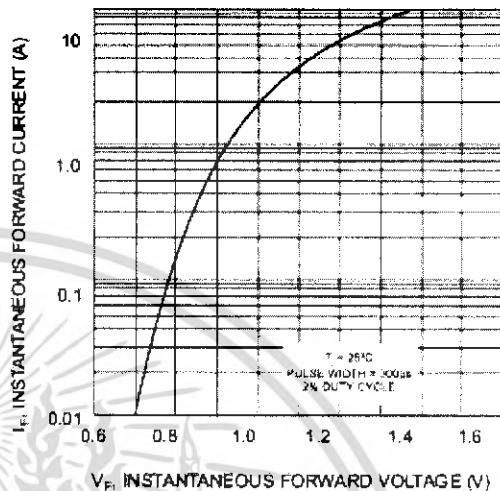
- Notes:
1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
 2. Measured at 1. MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
 3. JEDEC Value.
 4. RoHS revision 13.2.2003. Glass and High Temperature Solder Exemptions Applied, see EU Directive Annex Notes 5 and 7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIODES



T_A , AMBIENT TEMPERATURE (°C)
Fig. 1 Forward Current Derating Curve



V_F , INSTANTANEOUS FORWARD VOLTAGE (V)
Fig. 2 Typical Forward Characteristics

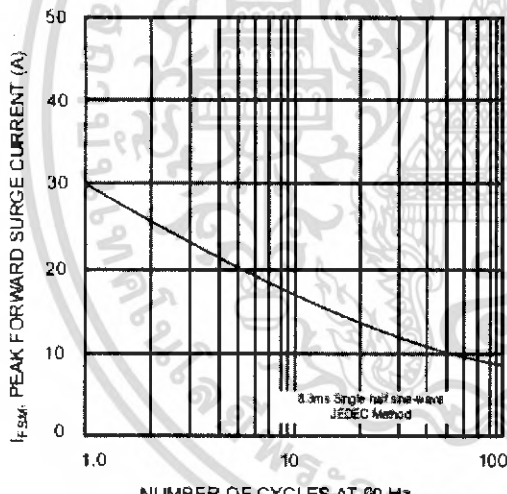


Fig. 3 Max Non-Repetitive Peak Fwd Surge Current

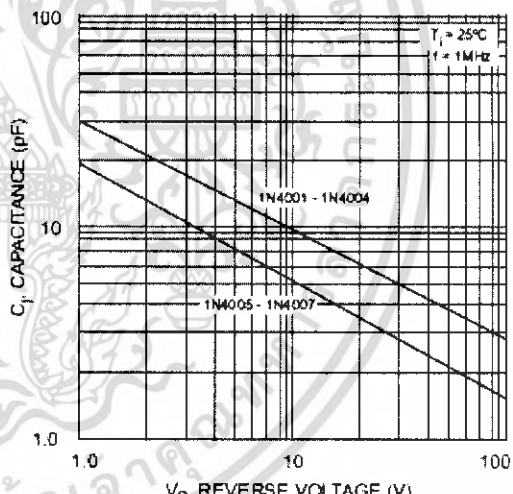


Fig. 4 Typical Junction Capacitance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FORWARD INTERNATIONAL ELECTRONICS LTD.

SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA7805
LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

3-TERMINAL POSITIVE VOLTAGE REGULATOR

FEATURES

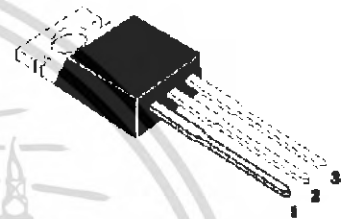
- *Output current in excess of 1A
- *Fixed output voltage of 5V available
- *Thermal overload shutdown protection
- *Short circuit current limiting
- *Output transistor SOA protection

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(Operating temperature range applies unless otherwise specified)

| Characteristic | Symbol | Rating | Unit |
|--------------------------------------|-----------|--------------------|--------------------|
| Input voltage | V_I | 35 | V |
| Output Current | I_O | 1.5 | A |
| Power Dissipation | P_D | Internally Limited | mW |
| Operating Junction Temperature Range | T_{OPR} | -20~150 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Storage Temperature Range | T_{STG} | -55~150 | $^{\circ}\text{C}$ |

Package: TO-220



| PIN: STYLE | 1 | 2 | 3 |
|---------------|---|---|---|
| NO.1 | I | G | O |

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

 $(V_I=10\text{V}, I_O=0.5\text{A}, 0^{\circ}\text{C}<T_J<125^{\circ}\text{C}, C_I=0.33\mu\text{F}, C_O=0.1\mu\text{F}, \text{ unless otherwise specified})(\text{Note 1})$

| Characteristic | Symbol | Min | Typ | Max | Unit | Test Conditions |
|----------------------------------|-------------------------|------|-------|------|------------------------|--|
| Output Voltage | V_O | 4.8 | 5 | 5.2 | V | $T_J=25^{\circ}\text{C}$ |
| Output Voltage | V_O | 4.75 | | 5.25 | V | $8\text{V} \leq V_I \leq 20\text{V}, I_O=5\text{mA}-1.0\text{A}$ $P_D < 15\text{W}$ |
| Load Regulation | ΔV_O | | 1.3 | 100 | mV | $T_J=25^{\circ}\text{C}, I_O=5\text{mA}-1.5\text{A}$ |
| Load Regulation | ΔV_O | | 0.15 | 50 | mV | $T_J=25^{\circ}\text{C}, I_O=0.25\text{A}-0.75\text{A}$ |
| Line Regulation | ΔV_O | | 5 | 100 | mV | $7\text{V} \leq V_I \leq 25\text{V}, T_J=25^{\circ}\text{C}$ |
| Line Regulation | ΔV_O | | 1.3 | 50 | mV | $8\text{V} \leq V_I \leq 12\text{V}, T_J=25^{\circ}\text{C}$ |
| Quiescent Current | I_q | | 3.2 | 8 | mA | $T_J=25^{\circ}\text{C}$ |
| Quiescent Current Change | ΔI_q | | | 1.3 | mA | $8\text{V} \leq V_I \leq 25\text{V}$ |
| Quiescent Current Change | ΔI_q | | | 0.5 | mA | $5\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ |
| Output Noise Voltage | V_N | | 10 | | μV | $10\text{Hz} \leq f \leq 100\text{kHz}$ |
| Temperature coefficient of V_O | $\Delta V_O / \Delta T$ | | -0.30 | | mV/ $^{\circ}\text{C}$ | |
| Ripple Rejection | RR | | 68 | | dB | $8\text{V} \leq V_I \leq 18\text{V}, f=120\text{Hz}, T_J=25^{\circ}\text{C}$ |
| Peak Output Current | I_{pk} | | 2.2 | | A | $T_J=25^{\circ}\text{C}$ |
| Short-Circuit Current | I_{sc} | | 200 | | mA | $V_I=35\text{V}, T_J=25^{\circ}\text{C}$ |
| Dropout Voltage | V_D | | 2.0 | | V | $T_J=25^{\circ}\text{C}, I_O=1\text{A}$ |

Note1: The maximum steady state usable output current is dependent on input voltage, heat sinking, lead length of the package and copper pattern of PCB. The data above represent pulse test conditions with junction temperatures specified at the initiation of test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN general purpose transistors

BC546; BC547

FEATURES

- Low current (max. 100 mA)
- Low voltage (max. 65 V).

APPLICATIONS

- General purpose switching and amplification.

DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92, SOT54 plastic package.
PNP complements: BC556 and BC557.

PINNING

| PIN | DESCRIPTION |
|-----|-------------|
| 1 | emitter |
| 2 | base |
| 3 | collector |

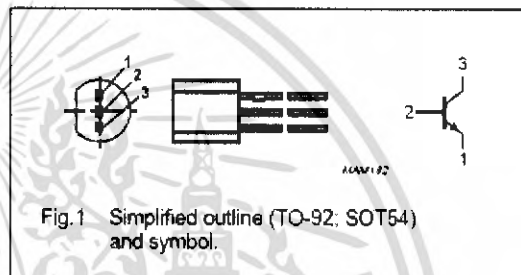


Fig. 1 Simplified outline (TO-92; SOT54) and symbol.

LIMITING VALUES

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

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN. | MAX. | UNIT |
|-----------|-------------------------------|--|------|------|------------------|
| V_{CB0} | collector-base voltage | open emitter | | | |
| | BC546 | | - | 80 | V |
| | BC547 | | - | 50 | V |
| V_{CE0} | collector-emitter voltage | open base | | | |
| | BC546 | | - | 65 | V |
| | BC547 | | - | 45 | V |
| V_{EB0} | emitter-base voltage | open collector | | | |
| | BC546 | | - | 6 | V |
| | BC547 | | - | 6 | V |
| I_C | collector current (DC) | | - | 100 | mA |
| I_{CM} | peak collector current | | - | 200 | mA |
| I_{BM} | peak base current | | - | 200 | mA |
| P_{tot} | total power dissipation | $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$; note 1 | - | 500 | mW |
| T_{stg} | storage temperature | | -65 | +150 | $^\circ\text{C}$ |
| T_j | junction temperature | | - | 150 | $^\circ\text{C}$ |
| T_{amb} | operating ambient temperature | | -65 | +150 | $^\circ\text{C}$ |

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

NPN general purpose transistors

BC546; BC547

THERMAL CHARACTERISTICS

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | VALUE | UNIT |
|------------------|---|------------|-------|------|
| $R_{\theta J-A}$ | thermal resistance from junction to ambient | note 1 | 0.25 | K/mW |

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

CHARACTERISTICS

$T_J = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

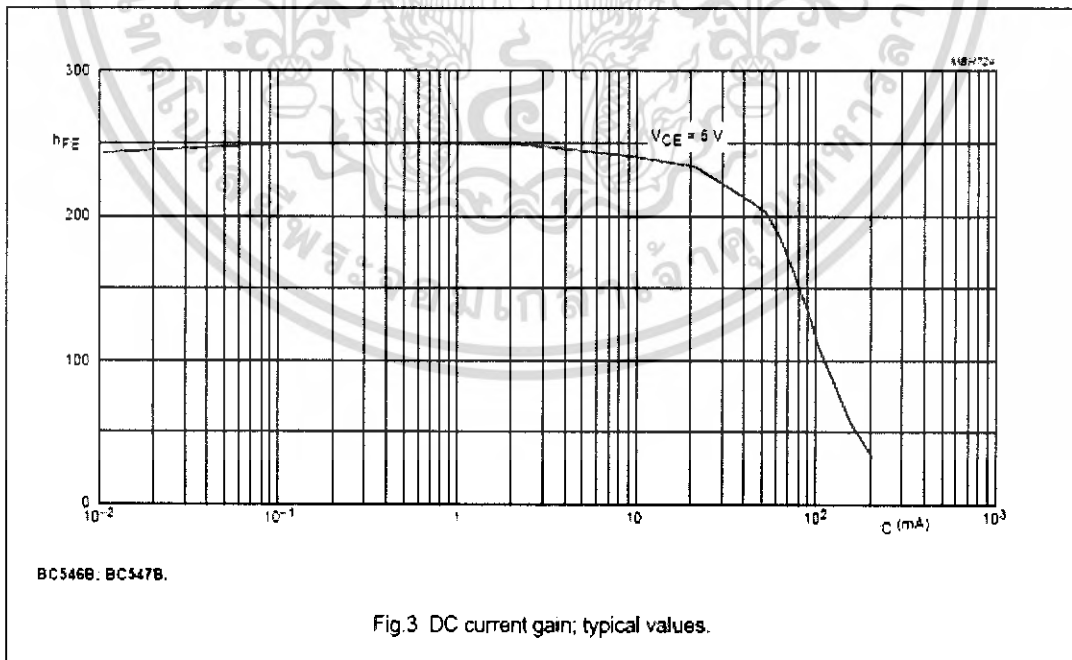
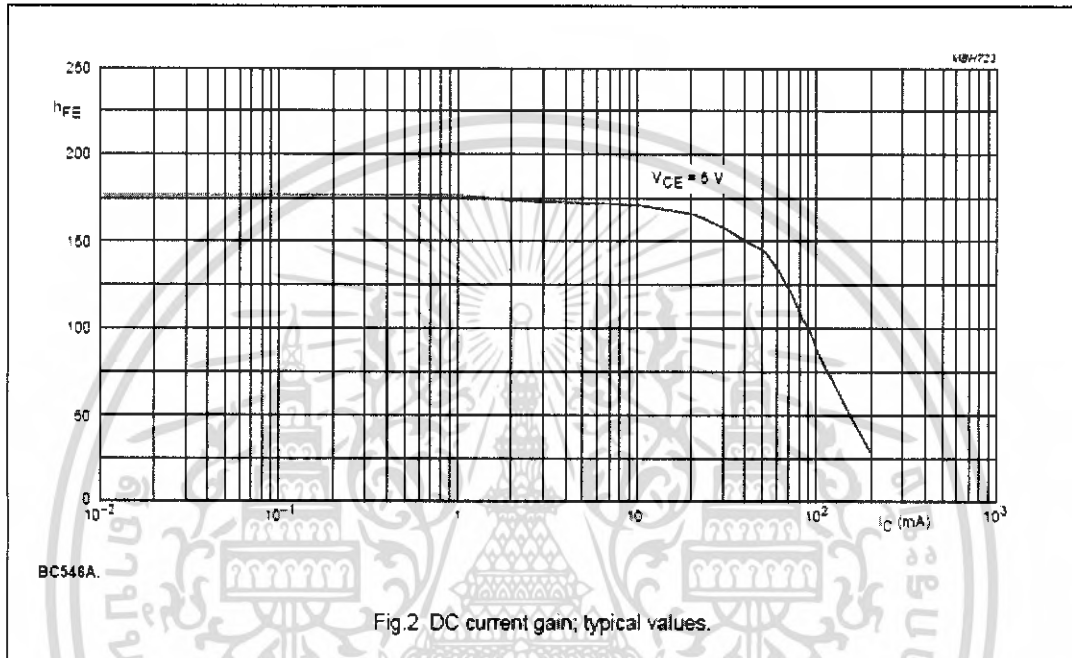
| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT |
|-------------|---|---|------|------|------|---------------|
| I_{CBO} | collector cut-off current | $I_E = 0; V_{CB} = 30\text{ V}$ | - | - | 15 | nA |
| | | $I_E = 0; V_{CB} = 30\text{ V}; T_J = 150^\circ\text{C}$ | - | - | 5 | μA |
| I_{EBO} | emitter cut-off current | $I_C = 0; V_{EB} = 5\text{ V}$ | - | - | 100 | nA |
| h_{FE} | DC current gain BC546A BC546B; BC547B BC547C | $I_C = 10\ \mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4 | - | 90 | - | |
| | | | - | 150 | - | |
| | | | - | 270 | - | |
| | DC current gain BC546A BC546B; BC547B BC547C BC547 BC546 | $I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4 | 110 | 180 | 220 | |
| 200 | | | 290 | 450 | | |
| 420 | | | 520 | 800 | | |
| 110 | | | - | 800 | | |
| 110 | | | - | 450 | | |
| V_{CEsat} | collector-emitter saturation voltage | $I_C = 10\text{ mA}; I_B = 0.5\text{ mA}$ | - | 90 | 250 | mV |
| | | $I_C = 100\text{ mA}; I_B = 5\text{ mA}$ | - | 200 | 600 | mV |
| V_{BEsat} | base-emitter saturation voltage | $I_C = 10\text{ mA}; I_B = 0.5\text{ mA};$ note 1 | - | 700 | - | mV |
| | | $I_C = 100\text{ mA}; I_B = 5\text{ mA};$ note 1 | - | 900 | - | mV |
| V_{BE} | base-emitter voltage | $I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ note 2 | 580 | 660 | 700 | mV |
| | | $I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}$ | - | - | 770 | mV |
| C_c | collector capacitance | $I_E = I_B = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$ | - | 1.5 | - | pF |
| C_e | emitter capacitance | $I_C = I_E = 0; V_{EB} = 0.5\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$ | - | 11 | - | pF |
| f_T | transition frequency | $I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$ | 100 | - | - | MHz |
| F | noise figure | $I_C = 200\ \mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V};$ $R_S = 2\text{ k}\Omega; f = 1\text{ kHz}; B = 200\text{ Hz}$ | - | 2 | 10 | dB |

Notes

1. V_{BEsat} decreases by about 1.7 mV/K with increasing temperature.
2. V_{BE} decreases by about 2 mV/K with increasing temperature.

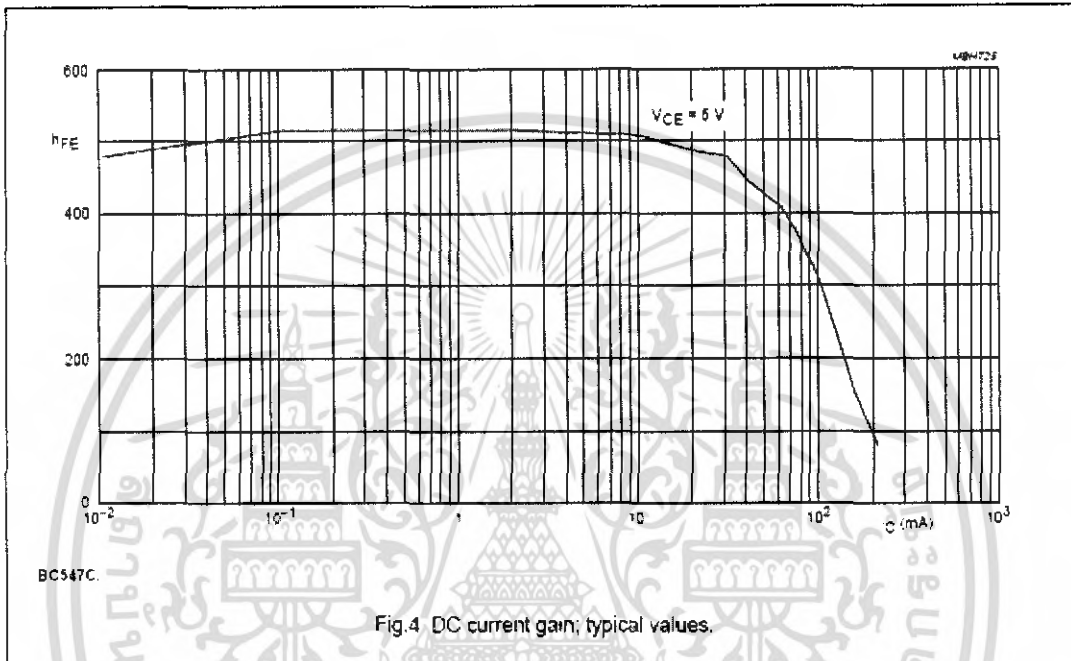
NPN general purpose transistors

BC546; BC547



NPN general purpose transistors

BC546; BC547



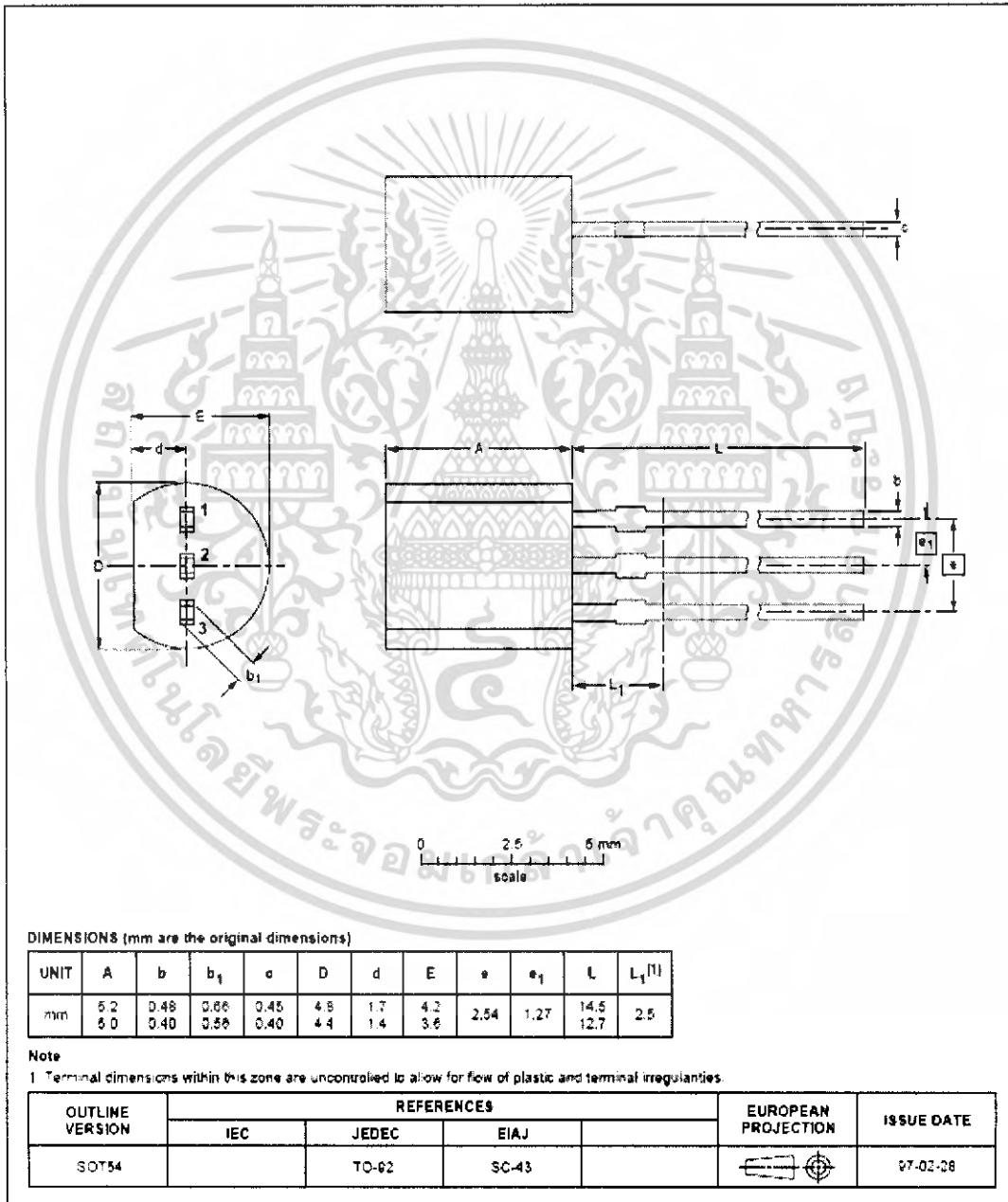
NPN general purpose transistors

BC546; BC547

PACKAGE OUTLINE

Plastic single-ended leaded (through hole) package; 3 leads

SOT54



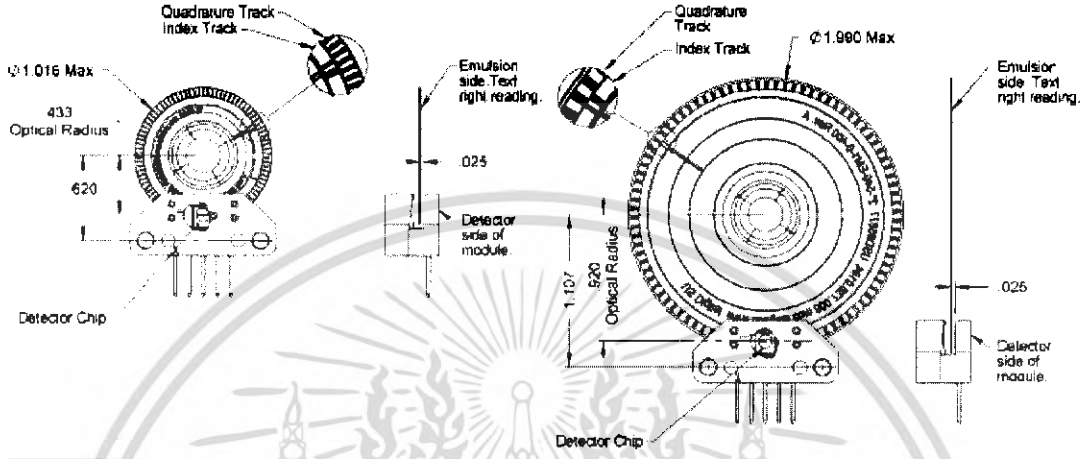
1999 Apr 15

6

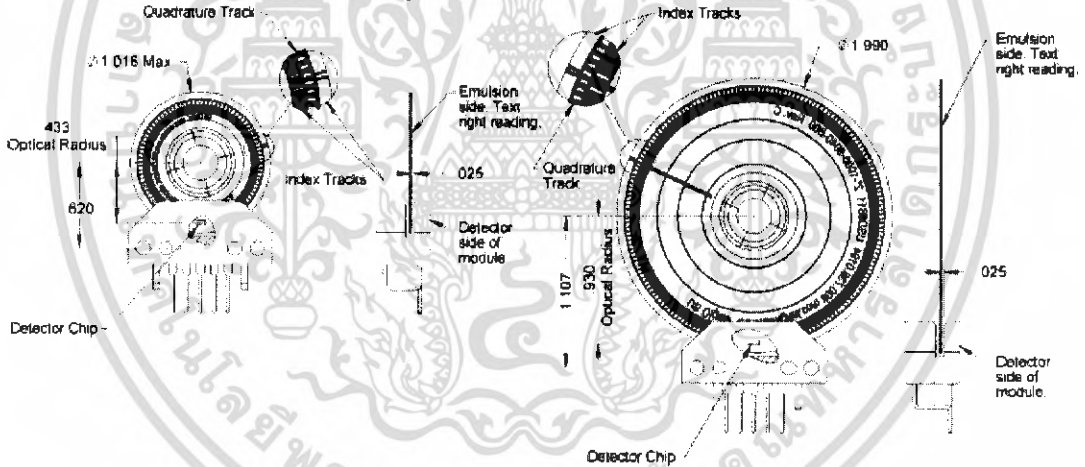
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EM1 & HEDS Transmissive Optical Encoder Module

EM1 Disk & Module Mechanical Alignment:



HEDS Disk & Module Mechanical Alignment:



US Digital
Corporation

phone: 360.260.2468 • sales: 800.736.0194 • fax: 360.260.2469
email: sales@usdigital.com • website: www.usdigital.com
11100 ne 34th circle • vancouver, washington 98682 USA

page
2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EM1 & HEDS Transmissive Optical Encoder Module

Recommended Operating Conditions:

| Parameter | Min. | Max. | Units | Notes |
|------------------|------|------|-------|------------------------------|
| Temperature | | | | |
| EM1 | -55 | 125 | °C | |
| HEDS | -40 | 100 | °C | |
| Supply Voltage | 4.5 | 5.5 | Volts | Ripple <100mV _{r-p} |
| Load Capacitance | - | 100 | pF | |
| Count Frequency | - | 100 | KHz | rpm/60 x cycles/rev. |

Encoding Characteristics:

> Specifications apply over entire operating temperature range.

Values are for the worst error over a full rotation.

> Refer to Timing Diagram on next page.

| Parameter | Symbol | Min. | Typ. | Max. | Units |
|--------------------------------------|----------------|------|------|------|-------|
| Cycle Error | | | | | |
| HEDS (2000 or 2048 CPR only) | | - | 3.0 | 7.5 | *e |
| EM1 & HEDS (All Other Resolutions) | | - | 3.0 | 5.5 | *e |
| Symmetry | | | | | |
| HEDS (2000 or 2048 CPR only) | | 130 | 180 | 230 | *e |
| EM1 & HEDS (All Other Resolutions) | | 150 | 180 | 210 | *e |
| Quadrature | | | | | |
| HEDS (2000 or 2048 CPR only) | | 40 | 90 | 140 | *e |
| EM1 & HEDS (All Other Resolutions) | | 60 | 90 | 120 | *e |
| Index Pulse Width | | | | | |
| HEDS (2000 or 2048 CPR only) | P ₀ | 40 | 90 | 140 | *e |
| EM1 & HEDS (All Other Resolutions) | P ₀ | 60 | 90 | 120 | *e |
| Ch. 1 Rise After Ch. B or Ch. A Fall | | | | | |
| EM1 | t ₁ | 10 | 100 | 250 | ns |
| HEDS (2000 or 2048 CPR only) | t ₁ | 10 | 450 | 1500 | ns |
| HEDS (All Other Resolutions) | t ₁ | -300 | 100 | 250 | ns |
| Ch. 1 Fall After Ch. A or Ch. B Rise | | | | | |
| EM1 | t ₂ | 70 | 150 | 300 | ns |
| HEDS (2000 or 2048 CPR only) | t ₂ | 10 | 250 | 1500 | ns |
| HEDS (All Other Resolutions) | t ₂ | 70 | 150 | 1000 | ns |

Electrical Specifications:

> Specifications apply over entire operating temperature range.

Typical values are specified at V_{cc} = 5.0V and 25°C.

> Refer to Timing Diagram on next page.

| Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Notes |
|---|------|------|-----------------|-------|-------------------------------|
| Output Voltage | -0.5 | - | V _{cc} | Volts | |
| Supply Current | | | | | |
| EM1 (32 or 64 CPR only) | - | 27 | 30 | mA | |
| EM1 (All Other Resolutions) | - | 55 | 57 | mA | |
| HEDS (Index or 1" >=1000 CPR or 2" >=2000 CPR only) | 30 | 57 | 85 | mA | |
| HEDS (Non-index or All Other Resolution) | - | 17 | 40 | mA | |
| Output Low* | | | | | |
| EM1 | - | - | 0.5 | Volts | I _{OL} = 8.0mA max. |
| HEDS (Index or 1" >=1000 CPR or 2" >=2000 CPR only) | - | - | 0.4 | Volts | I _{OL} = 3.85mA max. |
| HEDS (Non-index or All Other Resolution) | - | - | 0.4 | Volts | I _{OL} = 3.2mA max. |
| Output High* | | | | | |
| EM1 | 2.0 | - | - | Volts | I _{OH} = -8.0mA max. |
| HEDS (Index or 1" >=1000 CPR or 2" >=2000 CPR only) | 2.4 | - | - | Volts | I _{OH} = -200µA max. |
| HEDS (Non-index or All Other Resolution) | 2.4 | - | - | Volts | I _{OH} = -40µA max. |
| Output Current Per Channel | | | | | |
| EM1 | -8.0 | - | 8.0 | mA | |
| HEDS | -1.0 | - | 5.0 | mA | |

* Unloaded high level output voltage is 4.80V typically, 4.2V minimum.

US Digital
Corporation

phone: 360.260.2468 • sales: 800.736.0194 • fax: 360.260.2469
email: sales@usdigital.com • website: www.usdigital.com
11100 ne 34th circle • vancouver, washington 98682 USA

page
3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EM1 & HEDS Transmissive Optical Encoder Module

Phase Relationship:

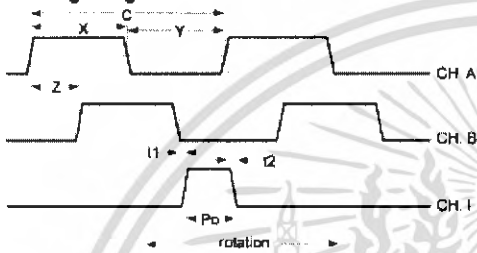
Shaft Rotation For Shaft Encoders: (View the encoder so the shaft / bushing side is facing up.)

- > A leads B in a clockwise rotation; B leads A in a counterclockwise rotation for the following products: H1, H15D, H15S, H3, H6D, H5S, H6D, H6S, HD25, \$1, \$2, \$6D, \$5S, \$6D, \$6S and SP-16.
- > B leads A in a clockwise rotation; A leads B in a counterclockwise rotation for the following products: E3, E6D, E6M, E6S, E6D, E6M and E6S.
- > B leads A in a clockwise rotation; A leads B in a counterclockwise rotation for the following products: E2.

Shaft Rotation For Kit Encoders: (View the encoder so the cover side is facing up.)

- > A leads B in a clockwise rotation; B leads A in a counterclockwise rotation for the following products: E3, E6D, E6M, E6S, E6D, E6M and E6S.
- > B leads A in a clockwise rotation; A leads B in a counterclockwise rotation for the following products: E2.

Timing Diagram:



CPR (N): The number of Cycles Per Revolution.
 One Shaft Rotation: 360 mechanical degrees, N cycles.
 One Electrical Degree (°e): 1/360th of one cycle.
 One Cycle (C): 360 electrical degrees (°e). Each cycle can be decoded into 1 or 4 codes, referred to as X1 or X4 resolution multiplication.
 Symmetry: A measure of the relationship between (X) and (Y) in electrical degrees, nominally 180°e.
 Quadrature (Z): The phase lag or lead between channels A and B in electrical degrees, nominally 90°e.
 Index (CH I): The index output goes high once per revolution, coincident with the low states of channels A and B, nominally 1/4 of one cycle (90°e).
 Position Error: The difference between the actual shaft position and the position indicated by the encoder cycle count.
 Cycle Error: An indication of cycle uniformity. The difference between an observed shaft angle which gives rise to one electrical cycle, and the nominal angular increment of 1/N of a revolution.

EM1 & HEDS Encoder Module Differences:

US Digital is the designer and manufacturer of the EM1 transmissive optical encoder module. The design of the EM1 provides electrical and mechanical compatibility with the Agilent HEDS-9000, HEDS-9100, HEDS-9200, HEDS-9040, and HEDS-9140 series modules. Non-index codewheels are interchangeable between the EM1 and HEDS modules. The process of switching from the HEDS to the EM1 module should not require any mechanical or electrical changes. Simply use the EM1 and matching codewheel in place of the HEDS module and codewheel.

The EM1 has a built-in index channel and is available on all resolutions, for both rotary disks and linear strips. The EM1 offers improved output drive capability and will source and sink 8mA at TTL levels. The current consumption is reduced over Agilent index versions (27mA vs. 57mA typical). Physically the EM1 has no external wire loops which interfere when mounting. The connector pins are 0.051" shorter than Agilent, while still providing .30" insertion depth. The EM1 uses a US Digital designed codewheel with 2 tracks rather than 3 tracks for index versions. US Digital's EM1 offers custom and special resolutions.

US Digital
 Corporation

phone: 360.260.2468 • sales: 800.736.0194 • fax: 360.260.2469
 email: sales@usdigital.com • website: www.usdigital.com
 11100 ne 34th circle • vancouver, washington 98682 USA

page
4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PC817 Series

High Density Mounting Type Photocoupler

✦ Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817/PC817P)
 ✦✦ TUV (VDE0884) approved type is also available as an option.

Features

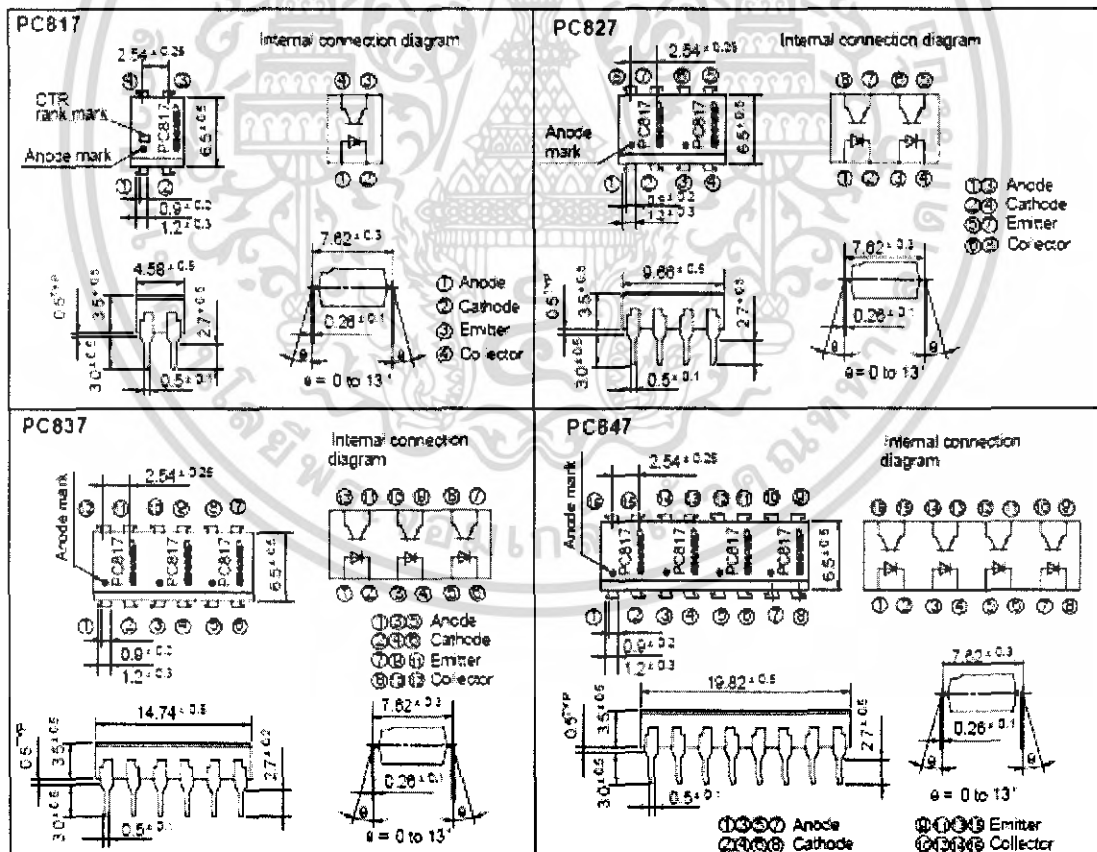
1. Current transfer ratio
(CTR: MIN. 50% at $I_f = 5\text{mA}$, $V_{ce} = 5\text{V}$)
2. High isolation voltage between input and output ($V_{iso} : 5000\text{V}_{rms}$)
3. Compact dual-in-line package
 PC817 : 1-channel type
 PC827 : 2-channel type
 PC837 : 3-channel type
 PC847 : 4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

Outline Dimensions

(Unit : mm)



* In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

| Parameter | Symbol | Rating | Unit |
|-----------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------|
| Input | Forward current | I _F | 50 mA |
| | Peak forward current | I _{FM} | 1 A |
| | Reverse voltage | V _R | 6 V |
| | Power dissipation | P | 70 mW |
| Output | Collector-emitter voltage | V _{CEO} | 35 V |
| | Emitter-collector voltage | V _{ECO} | 6 V |
| | Collector current | I _C | 50 mA |
| | Collector power dissipation | P _C | 150 mW |
| | Total power dissipation | P _{TOT} | 200 mW |
| | Isolation voltage | V _{ISO} | 5 000 V _{MS} |
| | Operating temperature | T _{OP} | -30 to +100 °C |
| Storage temperature | T _{STG} | -55 to +125 °C | |
| Soldering temperature | T _{SEL} | 260 °C | |

*1 Pulse width ≤ 100μs, Duty ratio ≤ 0.001
 *2 40 to 60% RH, AC for 1 minute
 *3 For 10 seconds

■ Electro-optical Characteristics (Ta = 25°C)

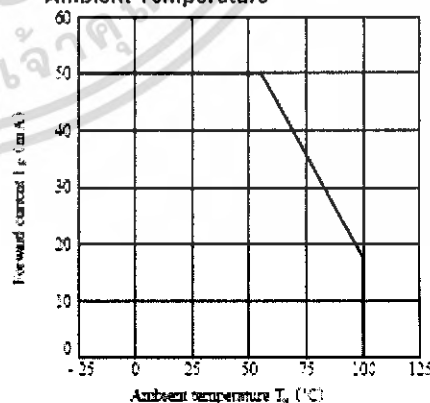
| Parameter | Symbol | Conditions | MIN. | TYP. | MAX. | Unit |
|--------------------------|--------------------------------------|--|--|------------------|------------------|------|
| Input | Forward voltage | V _F I _F = 20mA | - | 1.2 | 1.4 | V |
| | Peak forward voltage | V _{FM} I _{FM} = 0.5A | - | - | 3.0 | V |
| | Reverse current | I _R V _R = 4V | - | - | 10 | μA |
| | Terminal capacitance | C _T V = 0, f = 1kHz | - | 30 | 150 | pF |
| Output | Collector dark current | I _{CEO} V _{CE} = 20V | - | - | 10 ⁻⁷ | A |
| Transfer characteristics | *C Current transfer ratio | CTR I _F = 5mA, V _{CE} = 5V | 50 | - | 600 | % |
| | Collector-emitter saturation voltage | V _{CE(sat)} I _F = 20mA, I _C = 1mA | - | 0.1 | 0.2 | V |
| | Isolation resistance | R _{ISO} DC 500V, 40 to 60% RH | 5 × 10 ¹⁰ | 10 ¹² | - | Ω |
| | Floating capacitance | C _F V = 0, f = 1MHz | - | 0.6 | 1.0 | pF |
| | Cut-off frequency | f _c V _{CE} = 5V, I _F = 2mA, R _L = 100Ω, -3dB | - | 80 | - | kHz |
| | Response time | Rise time | t _r V _{CE} = 2V, I _F = 2mA, R _L = 100Ω | - | 4 | 18 |
| Fall time | | t _f | - | 3 | 18 | μs |

*4 Classification table of current transfer ratio is shown below

| Model No. | Rank mark | CTR (%) |
|-----------|-----------------------|------------|
| PC817A | A | 80 to 160 |
| PC817B | B | 130 to 260 |
| PC817C | C | 200 to 400 |
| PC817D | D | 300 to 600 |
| PC8*7AB | A or B | 80 to 260 |
| PC8*7BC | B or C | 130 to 400 |
| PC8*7CD | C or D | 200 to 600 |
| PC8*7AC | A, B or C | 80 to 400 |
| PC8*7BD | B, C or D | 130 to 600 |
| PC8*7AD | A, B, C or D | 80 to 600 |
| PC8*7 | A, B, C, D or No mark | 50 to 600 |

* 1 or 2 or 3 or 4

Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 2 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature

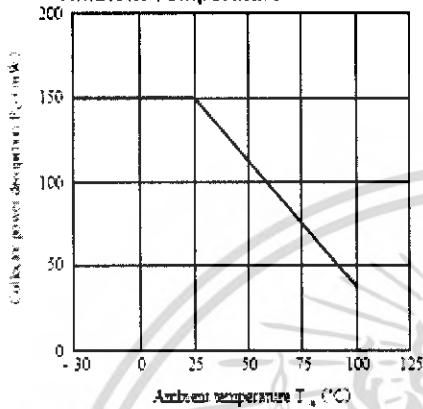


Fig. 3 Peak Forward Current vs. Duty Ratio

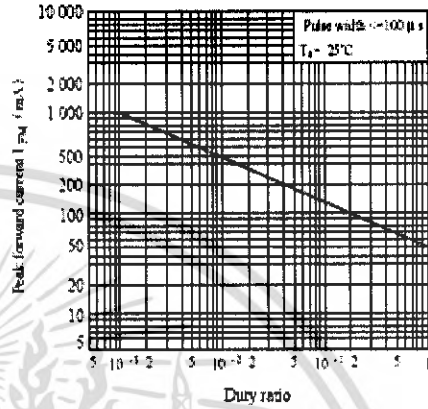


Fig. 4 Current Transfer Ratio vs. Forward Current

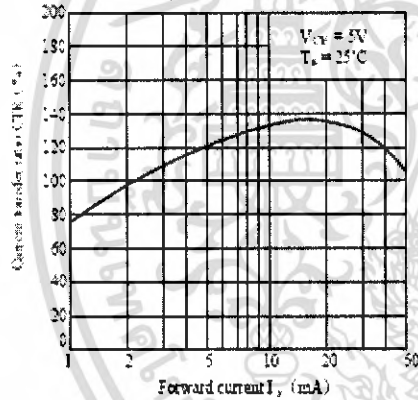


Fig. 5 Forward Current vs. Forward Voltage

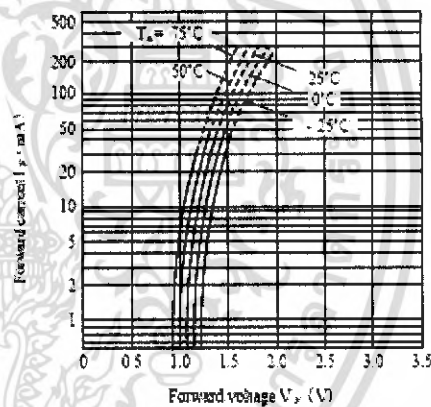


Fig. 6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage

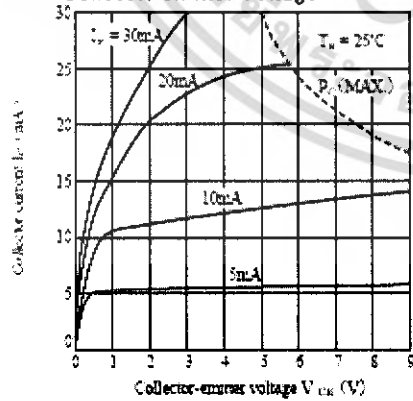
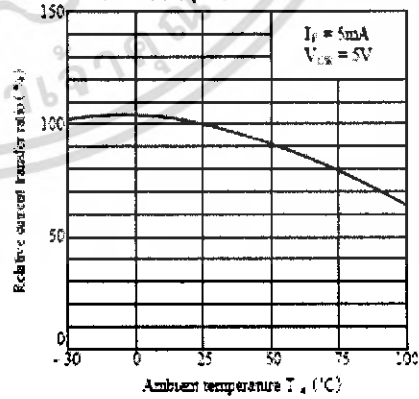


Fig. 7 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature

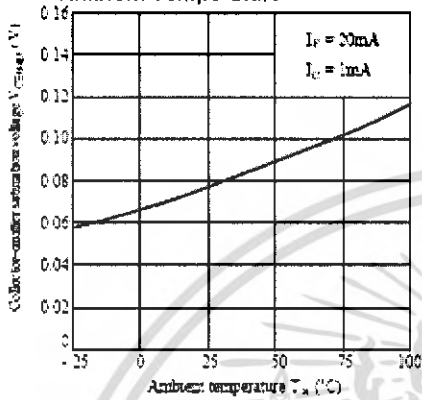


Fig. 9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature

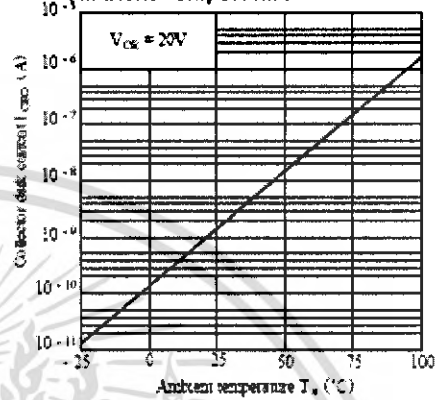


Fig.10 Response Time vs. Load Resistance

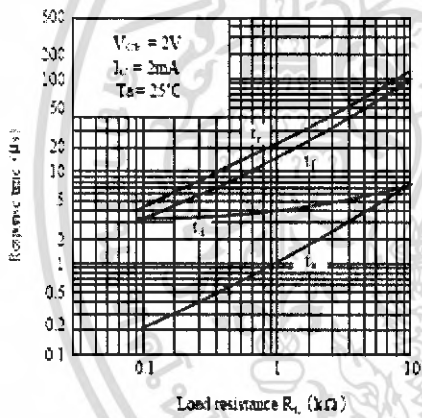
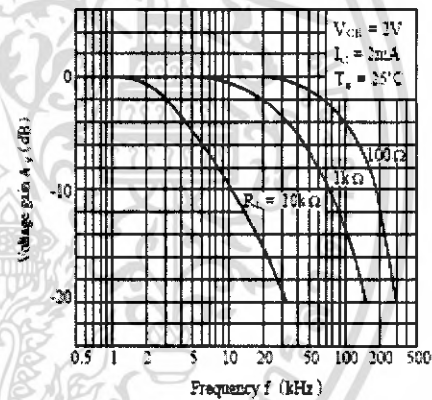
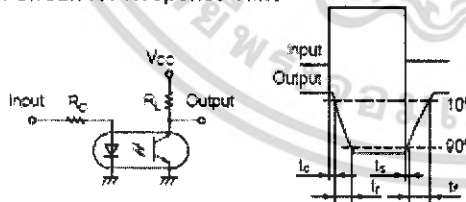


Fig.11 Frequency Response



Test Circuit for Response Time



Test Circuit for Frequency Response

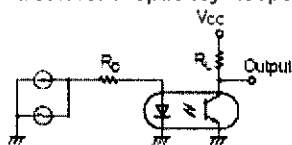
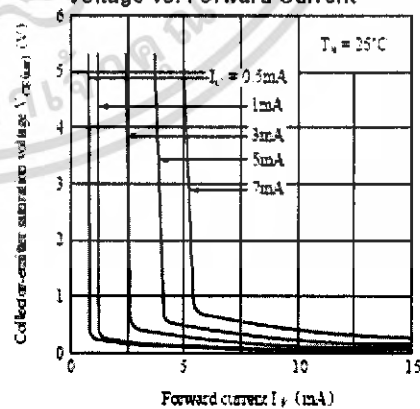


Fig.12 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current



● Please refer to the chapter "Precautions for Use"

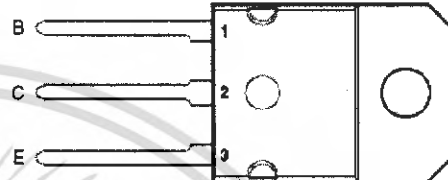
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP3055
NPN SILICON POWER TRANSISTOR

BOURNS®

- Designed for Complementary Use with the TIP2955 Series
- 90 W at 25°C Case Temperature
- 15 A Continuous Collector Current
- Customer-Specified Selections Available

SOT-93 PACKAGE
(TOP VIEW)



Pin 2 is in electrical contact with the mounting base.

NDTRAAA

absolute maximum ratings at 25°C case temperature (unless otherwise noted)

| RATING | SYMBOL | VALUE | UNIT |
|--|---------------------|-------------|------|
| Collector-base voltage ($I_E = 0$) | V_{CB0} | 100 | V |
| Collector-emitter voltage ($I_B = 0$) (see Note 1) | V_{CE0} | 70 | V |
| Emitter-base voltage | V_{EB0} | 7 | V |
| Continuous collector current | I_C | 15 | A |
| Continuous base current | I_B | 7 | A |
| Continuous device dissipation at (or below) 25°C case temperature (see Note 2) | P_{tot} | 90 | W |
| Continuous device dissipation at (or below) 25°C free air temperature (see Note 3) | P_{tot} | 3.5 | W |
| Unclamped inductive load energy (see Note 4) | $\frac{1}{2}LI_C^2$ | 62.5 | mJ |
| Operating junction temperature range | T_J | -65 to +150 | °C |
| Storage temperature range | T_{stg} | -65 to +150 | °C |
| Lead temperature 3.2 mm from case for 10 seconds | T_L | 260 | °C |

- NOTES: 1. This value applies when the base-emitter resistance $R_{BE} = 100 \Omega$.
 2. Derate linearly to 150°C case temperature at the rate of 0.72 W/°C.
 3. Derate linearly to 150°C free air temperature at the rate of 28 mW/°C.
 4. This rating is based on the capability of the transistor to operate safely in a circuit of: $L = 20$ mH, $I_{B(ON)} = 0.4$ A, $R_{BE} = 100 \Omega$, $V_{BE(ON)} = 0$, $R_B = 0.1 \Omega$, $V_{CC} = 10$ V.

PRODUCT INFORMATION

DECEMBER 1970 - REVISED SEPTEMBER 2002
 Specifications are subject to change without notice.

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP3055
NPN SILICON POWER TRANSISTOR

BOURNS®

electrical characteristics at 25°C case temperature

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|--|--|---|---------|-----|----------|---------------------|
| $V_{(BR)CEO}$ Collector-emitter breakdown voltage | $I_C = 30 \text{ mA}$ | $I_B = 0$ (see Note 5) | 60 | | | V |
| I_{CEP} Collector-emitter cut-off current | $V_{CE} = 70 \text{ V}$ | $R_{BE} = 100 \Omega$ | | | 1 | mA |
| I_{CEO} Collector cut-off current | $V_{CE} = 30 \text{ V}$ | $I_B = 0$ | | | 0.7 | mA |
| I_{CEV} Voltage between base and emitter | $V_{CE} = 100 \text{ V}$ | $V_{BE} = -1.5 \text{ V}$ | | | 5 | mA |
| I_{EBO} Emitter cut-off current | $V_{EB} = 7 \text{ V}$ | $I_C = 0$ | | | 5 | mA |
| h_{FE} Forward current transfer ratio | $V_{CE} = 4 \text{ V}$ $V_{CE} = 4 \text{ V}$ | $I_C = 4 \text{ A}$ $I_C = 10 \text{ A}$ (see Notes 5 and 6) | 20 5 | | 70 | |
| $V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage | $I_B = 0.4 \text{ A}$ $I_B = 3.3 \text{ A}$ | $I_C = 4 \text{ A}$ $I_C = 10 \text{ A}$ (see Notes 5 and 6) | | | 1.1 3 | V |
| V_{BE} Base-emitter voltage | $V_{CE} = 4 \text{ V}$ | $I_C = 4 \text{ A}$ (see Notes 5 and 6) | | | 1.8 | V |
| h_{fw} Small signal forward current transfer ratio | $V_{CE} = 10 \text{ V}$ | $I_C = 0.5 \text{ A}$ | 15 | | | $f = 1 \text{ kHz}$ |
| $ h_{fb} $ Small signal forward current transfer ratio | $V_{CE} = 10 \text{ V}$ | $I_C = 0.5 \text{ A}$ | 3 | | | $f = 1 \text{ MHz}$ |

NOTES: 5. These parameters must be measured using pulse techniques, $t_p = 300 \mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.

6. These parameters must be measured using voltage-sensing contacts, separate from the current carrying contacts.

thermal characteristics

| PARAMETER | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|--|-----|-----|------|------|
| $R_{\theta(jc)}$ Junction to case thermal resistance | | | 1.39 | °C/W |
| $R_{\theta(ja)}$ Junction to free air thermal resistance | | | 95.7 | °C/W |

resistive-load-switching characteristics at 25°C case temperature

| PARAMETER | TEST CONDITIONS † | | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|-------------------------|-----------------------------|---|-----|-----|-----|---------------|
| t_{on} Turn-on time | $I_C = 5 \text{ A}$ | $I_{B(on)} = 0.6 \text{ A}$ $I_{B(off)} = -0.6 \text{ A}$ | | 0.6 | | μs |
| t_{off} Turn-off time | $V_{BE(on)} = -4 \text{ V}$ | $R_L = 5 \Omega$ $t_p = 20 \mu\text{s}$, $dc \leq 2\%$ | | 1 | | μs |

† Voltage and current values shown are nominal; exact values vary slightly with transistor parameters.

PRODUCT INFORMATION

DECEMBER 1970 - REVISED SEPTEMBER 2002
Specifications are subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TYPICAL CHARACTERISTICS

TYPICAL DC CURRENT GAIN
VS
COLLECTOR CURRENT

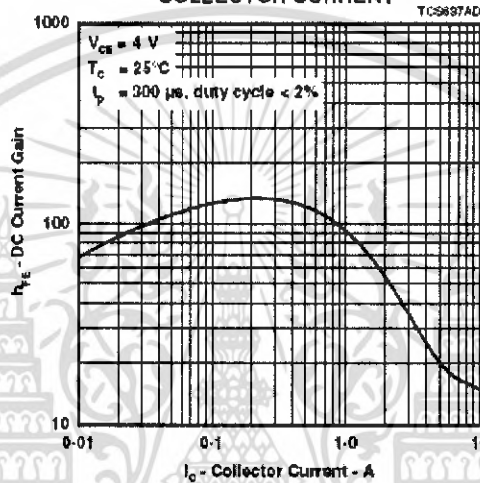


Figure 1.

MAXIMUM SAFE OPERATING REGIONS

MAXIMUM FORWARD-BIAS
SAFE OPERATING AREA

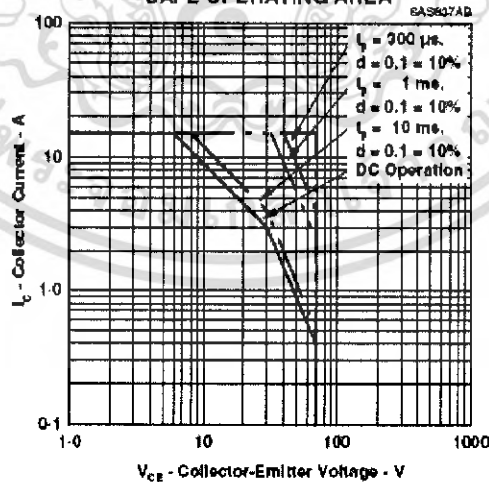


Figure 2.

PRODUCT INFORMATION

DECEMBER 1970 - REVISED SEPTEMBER 2002
Specifications are subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP3055
NPN SILICON POWER TRANSISTOR

BOURNS®

THERMAL INFORMATION

MAXIMUM POWER DISSIPATION
vs
CASE TEMPERATURE

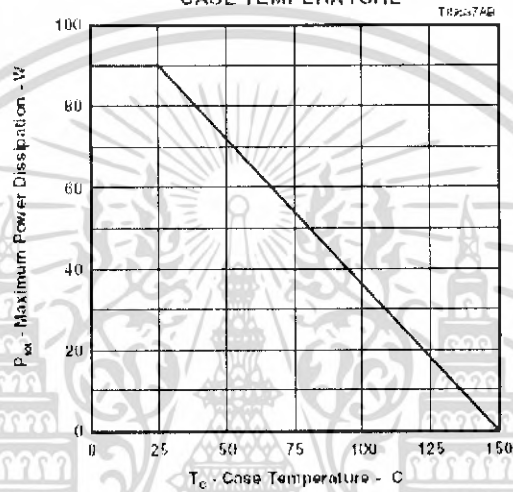


Figure 3.

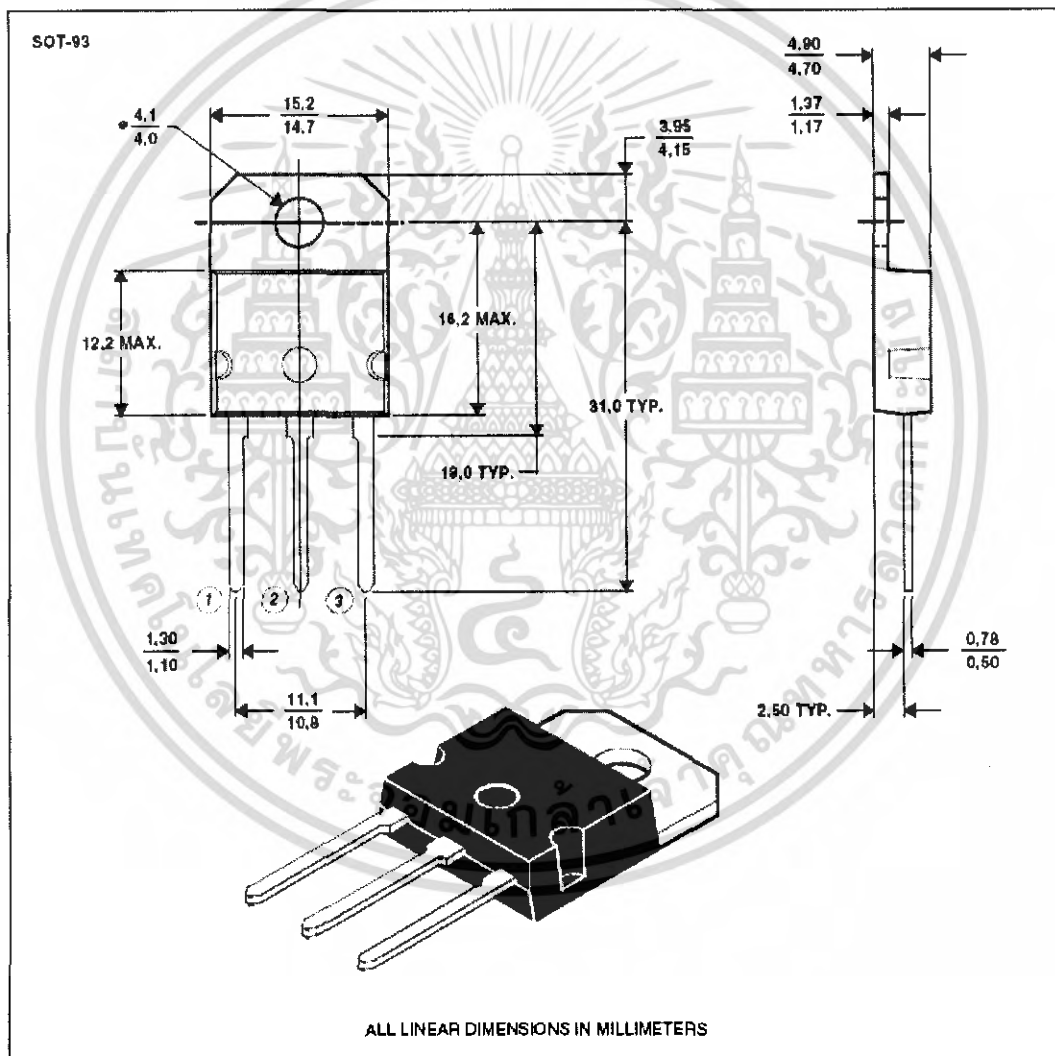
PRODUCT INFORMATION

DECEMBER 1970 - REVISED SEPTEMBER 2002
Specifications are subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BOURNS®**MECHANICAL DATA****SOT-93****3-pin plastic flange-mount package**

This single-in-line package consists of a circuit mounted on a lead frame and encapsulated within a plastic compound. The compound will withstand soldering temperature with no deformation, and circuit performance characteristics will remain stable when operated in high humidity conditions. Leads require no additional cleaning or processing when used in soldered assembly.



NOTE A: The centre pin is in electrical contact with the mounting tab.

MOXXAW

PRODUCT INFORMATION

DECEMBER 1970 - REVISED SEPTEMBER 2002
Specifications are subject to change without notice.

5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

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

Description

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

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

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



8-bit
Microcontroller
with 8K Bytes
Flash

AT89S8252

Not Recommended
for New Designs.
Use AT89S8253.

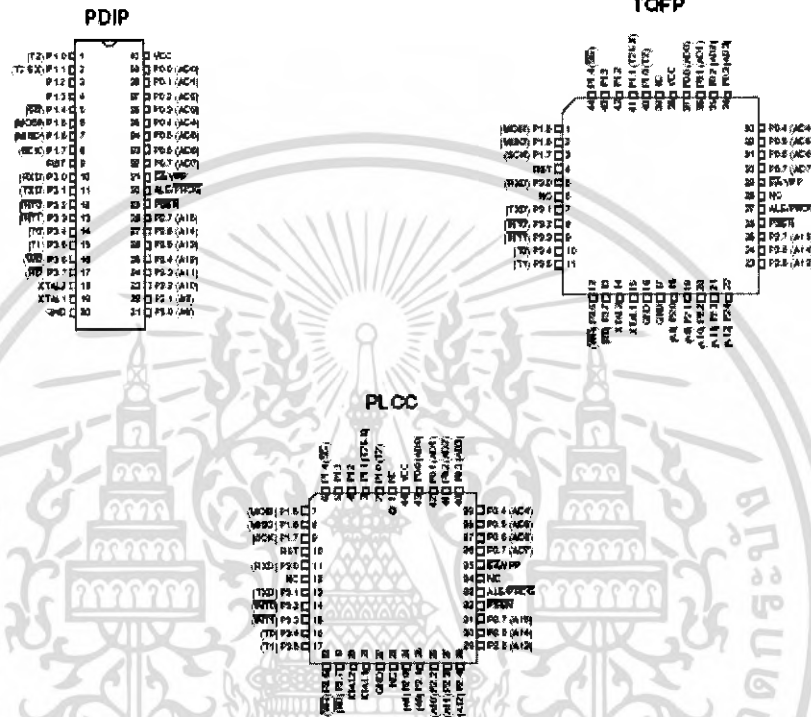
0401G-MICRO-308



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pin Configurations

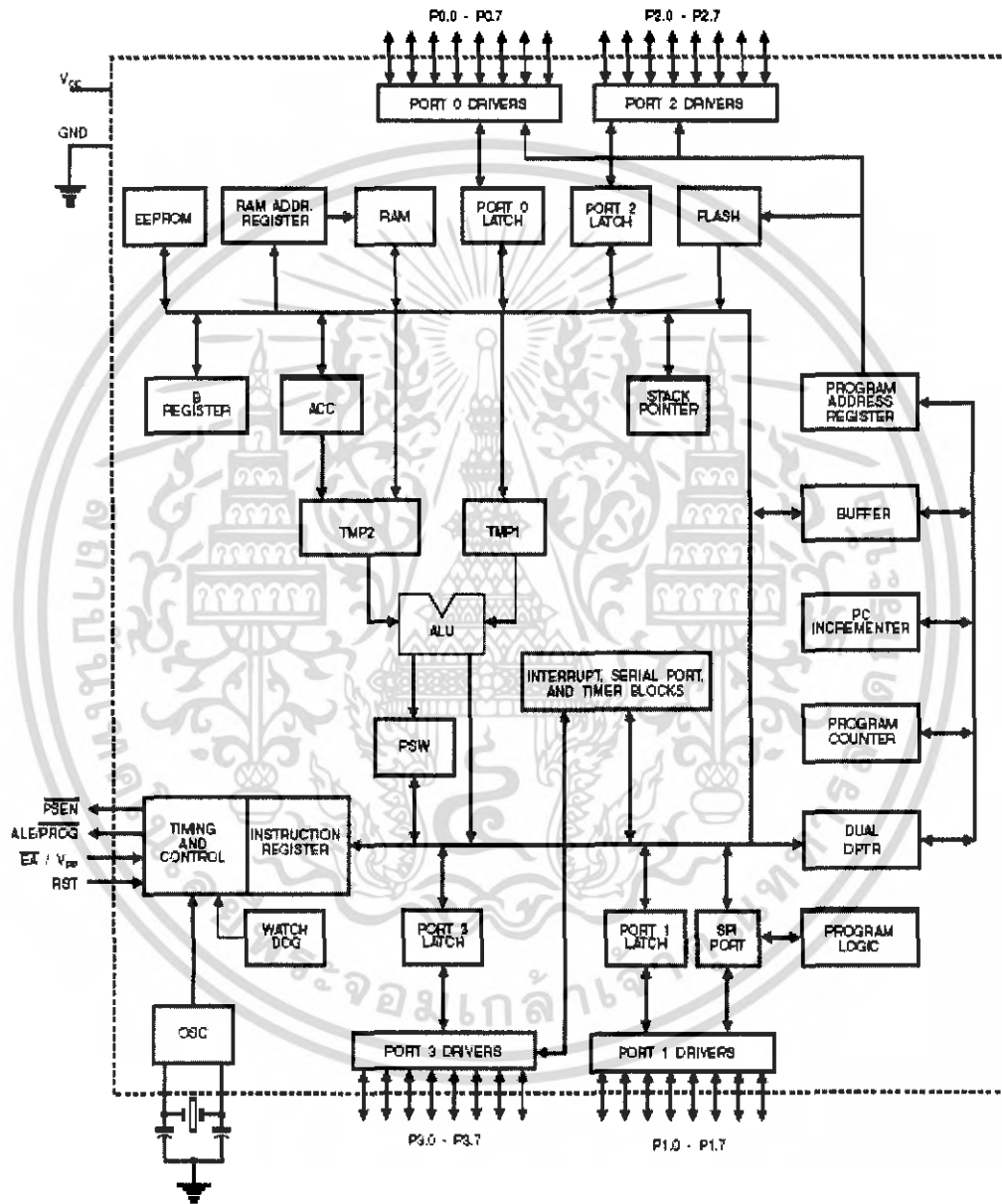


Pin Description

- VCC** Supply voltage.
- GND** Ground.
- Port 0** Port 0 is an 8-bit open drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.
Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pull-ups.
Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pull-ups are required during program verification.
- Port 1** Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. 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 pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{OL}) because of the internal pull-ups.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

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

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

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

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. 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 pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups.

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

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

Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. 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 pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pull-ups.

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

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89S8252, as shown in the following table.

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

RST

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

ALE/PROG

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

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

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

PSEN

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

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

EA/VPP

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

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






XTAL1

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

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Flash and EEPROM Parallel Programming Modes

| Mode | RST | PSEN | ALE/PROG | EA/V _{PP} | P2.6 | P2.7 | P3.6 | P3.7 | Data I/O P0.7:0 | Address P2.6:0 P1.7:0 |
|--------------------------|-----|------------------|---|--------------------|------|------|------|------|--------------------|--------------------------|
| Serial Prog. Modes | H | h ⁽¹⁾ | h ⁽¹⁾ | x | | | | | | |
| Chip Erase | H | L |  | 12V | H | L | L | L | X | X |
| Write (10K bytes) Memory | H | L |  | 12V | L | H | H | H | DIN | ADDR |
| Read (10K bytes) Memory | H | L | H | 12V | L | L | H | H | DOUT | ADDR |
| Write Lock Bits: | H | L |  | 12V | H | L | H | L | DIN | X |
| Bit - 1 | | | | | | | | | P0.7 = 0 | X |
| Bit - 2 | | | | | | | | | P0.6 = 0 | X |
| Bit - 3 | | | | | | | | | P0.5 = 0 | X |
| Read Lock Bits: | H | L | H | 12V | H | H | L | L | DOUT | X |
| Bit - 1 | | | | | | | | | ⊕P0.2 | X |
| Bit - 2 | | | | | | | | | ⊕P0.1 | X |
| Bit - 3 | | | | | | | | | ⊕P0.0 | X |
| Read Atmel Code | H | L | H | 12V | L | L | L | L | DOUT | 30H |
| Read Device Code | H | L | H | 12V | L | L | L | L | DOUT | 31H |
| Serial Prog. Enable | H | L |  | 12V | L | H | L | H | P0.0 = 0 | X |
| Serial Prog. Disable | H | L |  | 12V | L | H | L | H | P0.0 = 1 | X |
| Read Serial Prog. Fuse | H | L | H | 12V | H | H | L | H | ⊕P0.0 | X |

- Notes:
1. "h" = weakly pulled "High" internally.
 2. Chip Erase and Serial Programming Fuse require a 10 ms PROG pulse. Chip Erase needs to be performed first before reprogramming any byte with a content other than FFH.
 3. P3.4 is pulled Low during programming to indicate RDY/BSY.
 4. "X" = don't care



Figure 13. Programming the Flash/EEPROM Memory

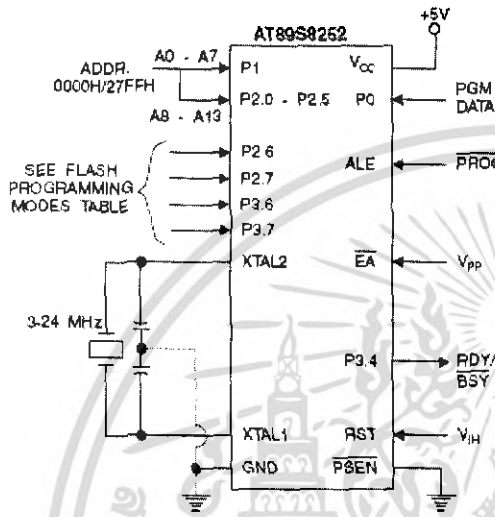


Figure 15. Flash/EEPROM Serial Downloading

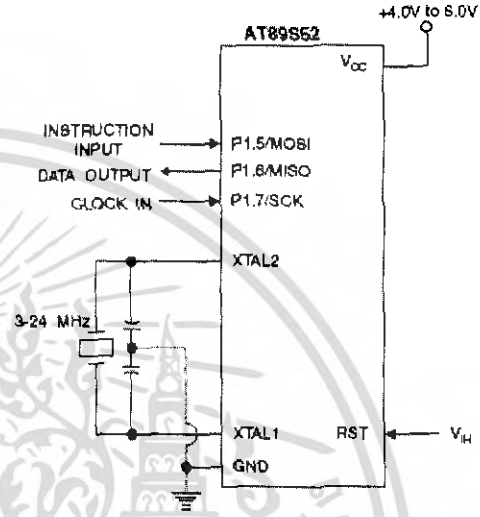
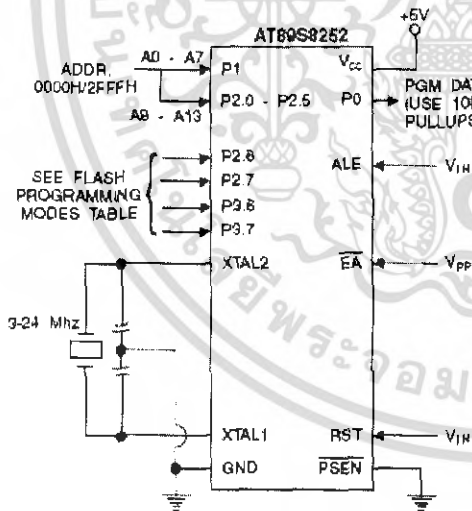
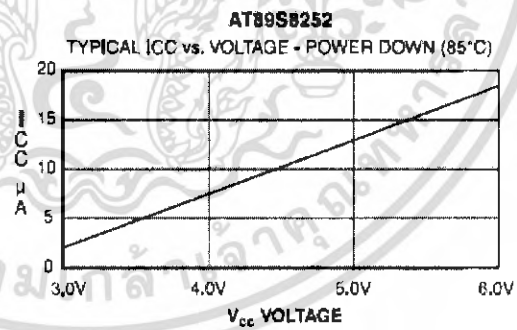
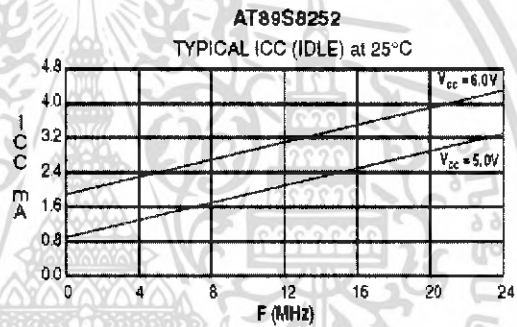
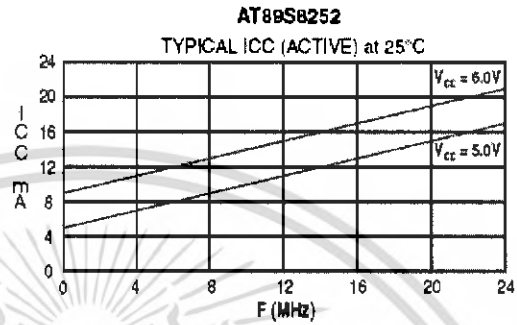


Figure 14. Verifying the Flash/EEPROM Memory



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Notes: 1. XTAL1 tied to GND for ICC (power-down)
2. Lock bits programmed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AT89S8252**Ordering Information**

| Speed (MHz) | Power Supply | Ordering Code | Package | Operation Range |
|-------------|--------------|----------------|---------|-------------------------------|
| 24 | 4.0V to 8.0V | AT89S8252-24AC | 44A | Commercial (0°C to 70°C) |
| | | AT89S8252-24JC | 44J | |
| | | AT89S8252-24PC | 40P6 | |
| | 4.0V to 6.0V | AT89S8252-24AI | 44A | Industrial (-40°C to 85°C) |
| | | AT89S8252-24JI | 44J | |
| | | AT89S8252-24PI | 40P6 | |

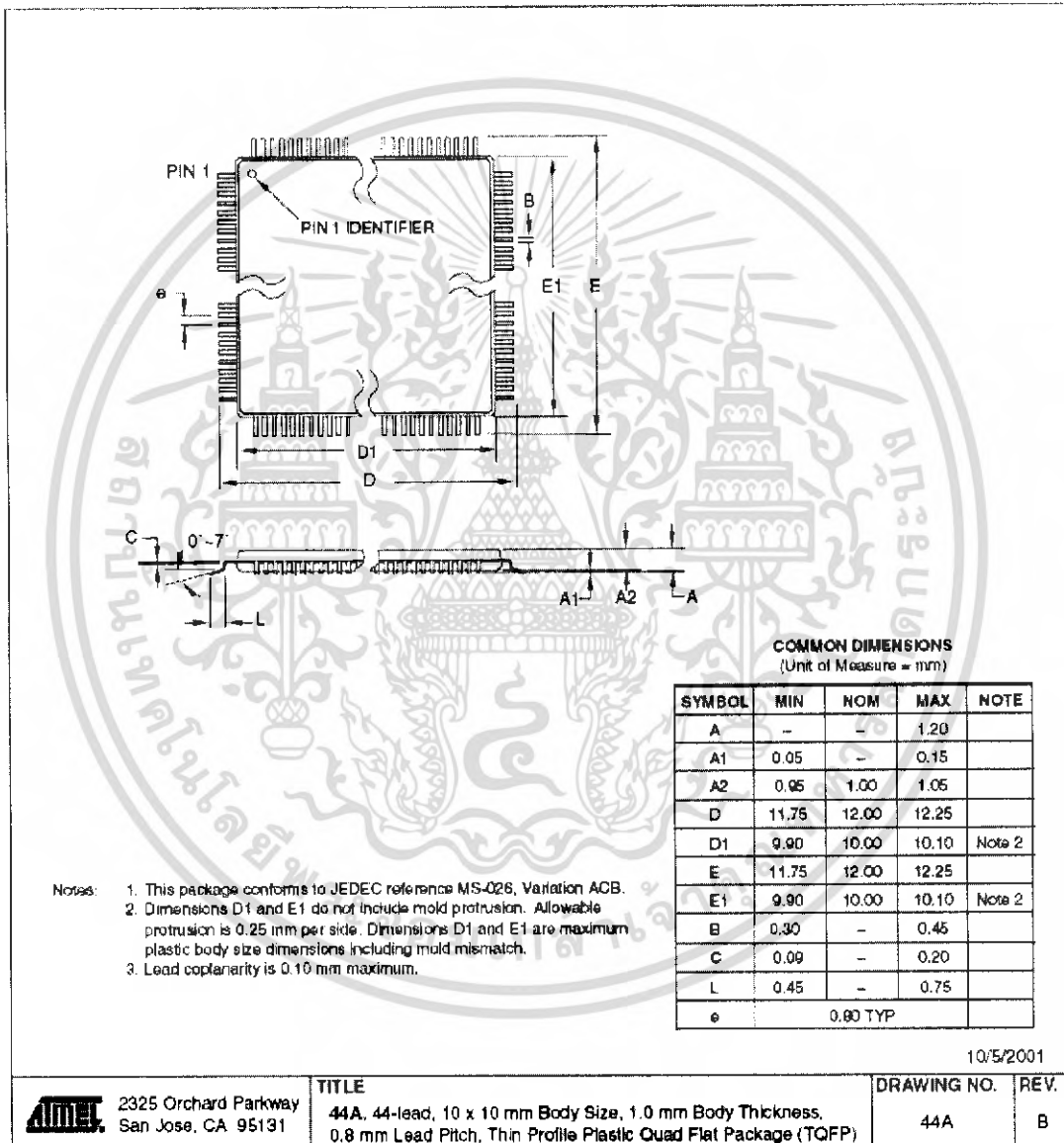
| Package Type | |
|--------------|---|
| 44A | 44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP) |
| 44J | 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC) |
| 40P6 | 40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



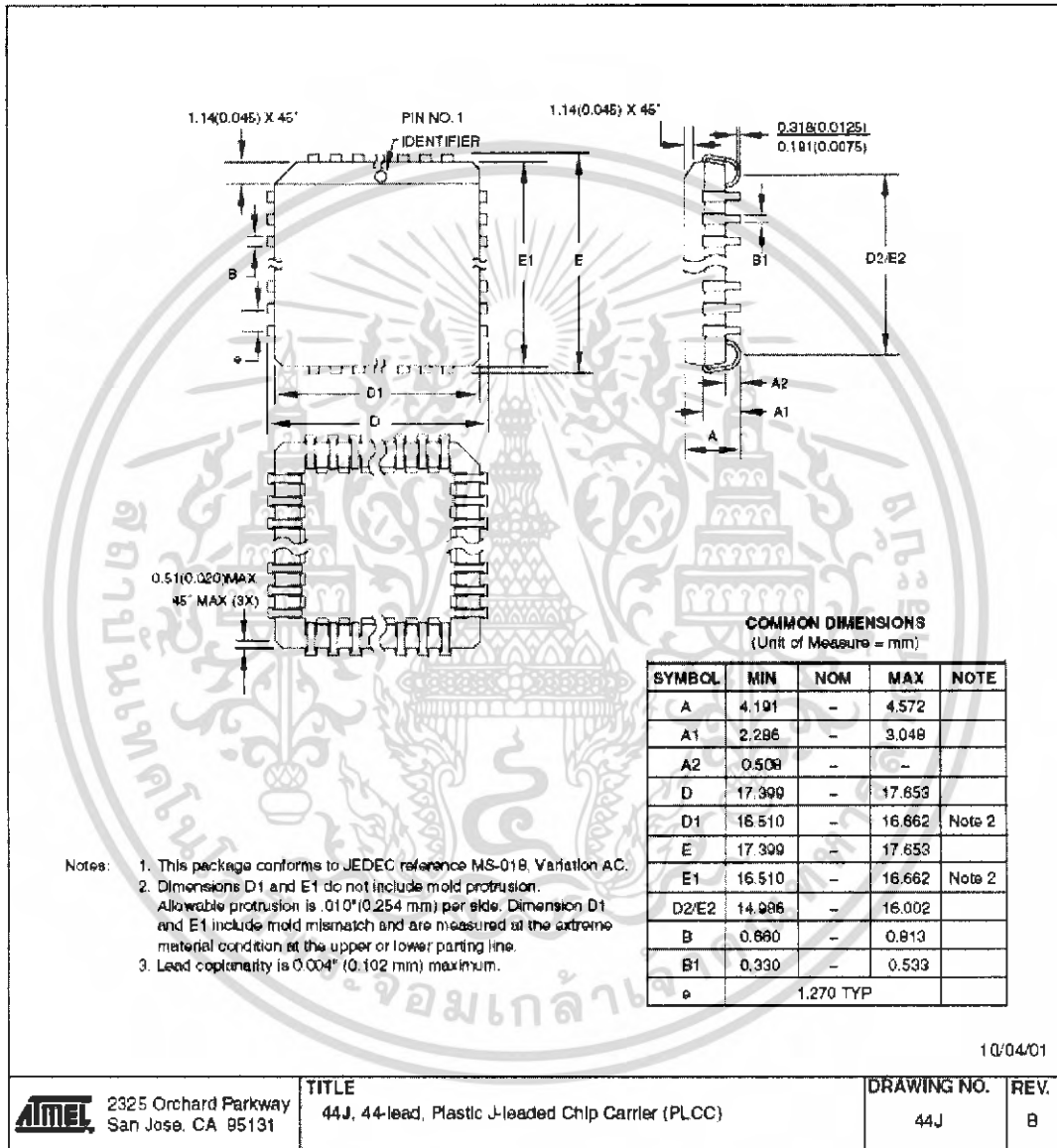
Packaging Information

44A - TQFP



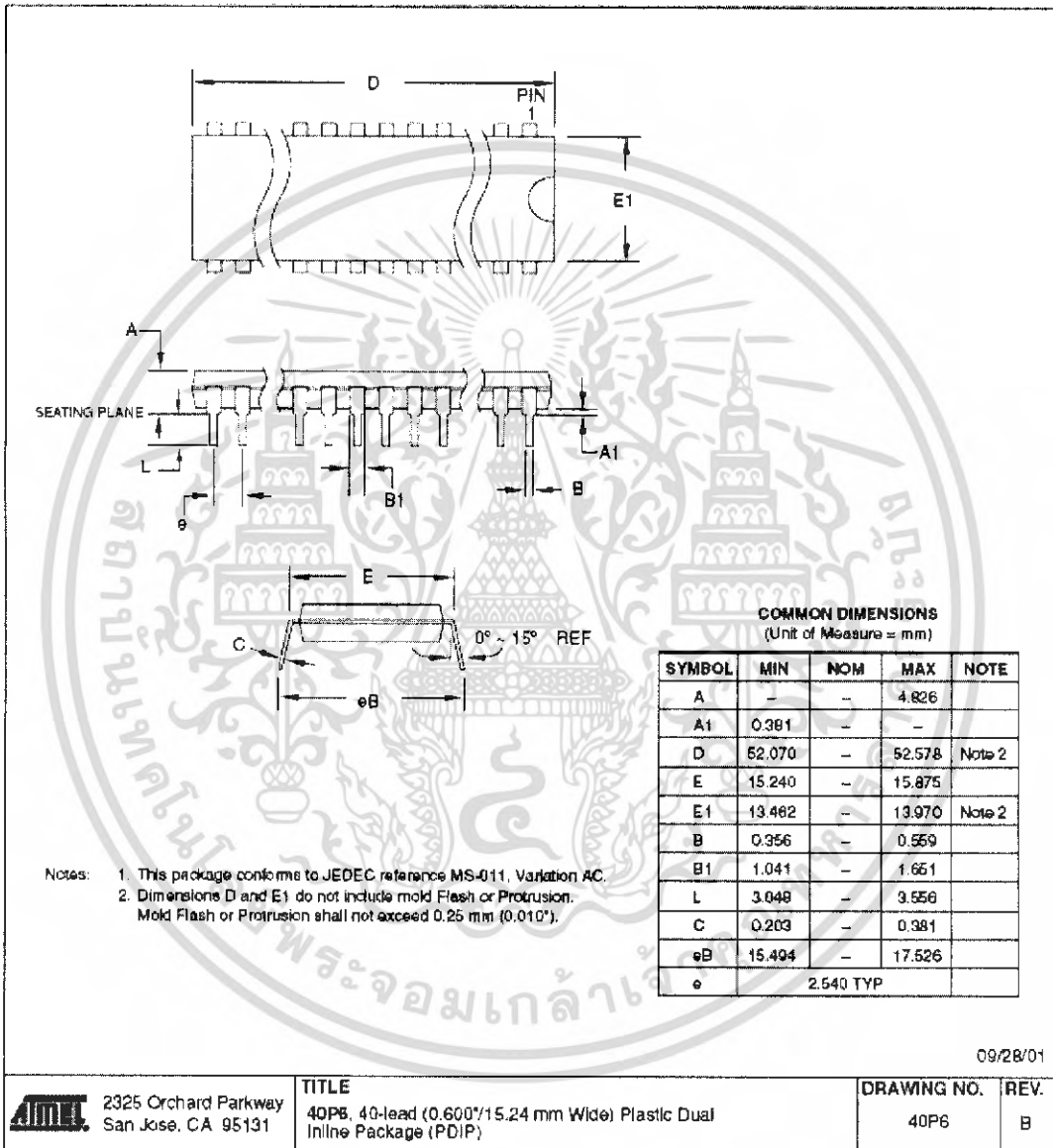
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

44J - PLCC





40P6 – PDIP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน
เครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ



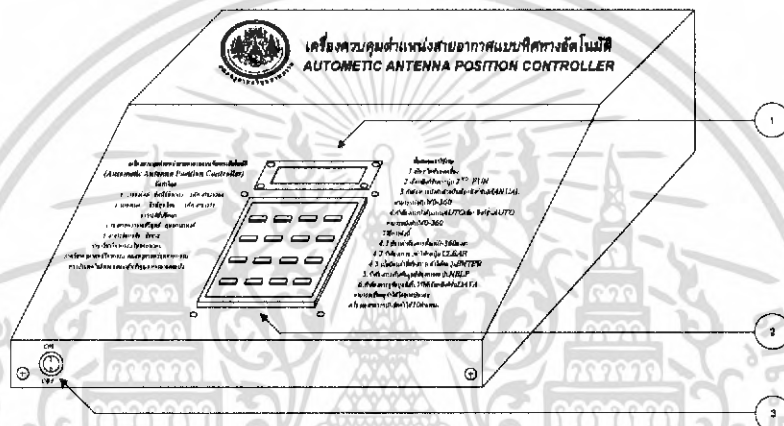
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

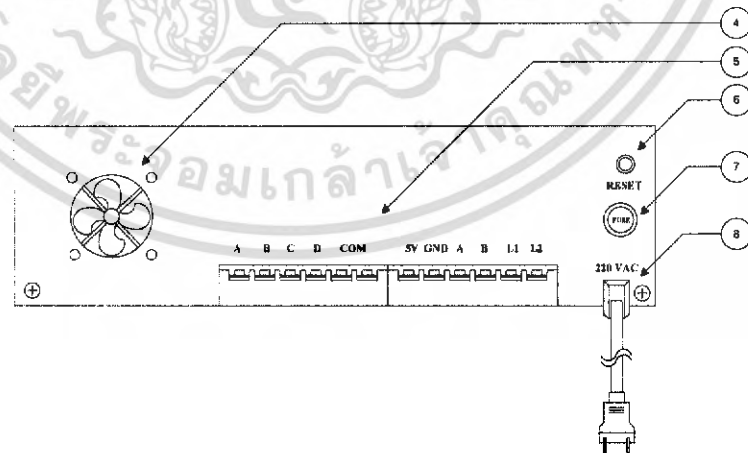
1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้งานเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ ควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจ เพื่อการใช้งานที่ถูกต้องและเพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่อง

2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม

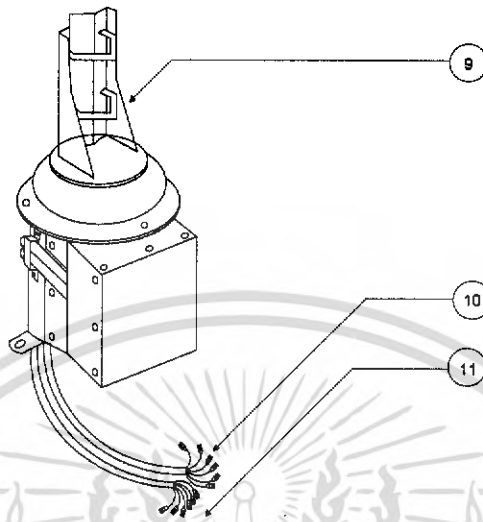


รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ (ด้านหน้า)



รูปที่ จ.2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศอัตโนมัติ (ด้านหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.3 ส่วนการขับเคลื่อนสายอากาศที่สมบูรณ์

จากรูปที่ จ.3 มีรายละเอียดดังนี้จากรูปที่ จ.1 รูปที่ จ.2 และ รูปที่ จ.3 มีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

- ① จอแสดงผล
- ② เป็นพิมพ์สำหรับป้องกันค่าเพื่อควบคุมการทำงาน
- ③ สวิตช์ ปิด-เปิดการทำงานของเครื่อง
- ④ พัดลมระบายความร้อน
- ⑤ จุดเชื่อมต่อสายจากส่วนที่ใช้หมุนสายอากาศ
- ⑥ สวิตช์รีเซ็ต
- ⑦ ครอบอกฟิวส์
- ⑧ ปลั๊กไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์
- ⑨ ส่วนที่ใช้ติดตั้งสายอากาศ
- ⑩ ขั้วต่อสายเอนโคเดอร์และลิมิตสวิตช์
- ⑪ ขั้วต่อสายสเตปปีงมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การติดตั้งและใช้งาน

3.1 ต่อสายระหว่างเครื่องควบคุมตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทางอัตโนมัติและส่วนที่ใช้หมุนสายอากาศเข้าด้วยกันให้ถูกต้อง

3.2 เปิดสวิตช์ของเครื่อง

3.3 เลือกฟังก์ชันการใช้งานหลักจากปุ่ม 2NDFUN

3.4 ถ้าต้องการบังคับด้วยมือเลือกฟังก์ชัน MANUAL เครื่องจะสามารถควบคุมตำแหน่งได้ตั้งแต่ 0-360 องศาและถ้าต้องการกลับไปยังตำแหน่ง 0 องศาทันที ให้กดปุ่ม CLEAR ส่วนที่หมุนสายอากาศจะกลับไปยัง 0 องศาโดยอัตโนมัติ

3.5 ถ้าต้องการบังคับแบบอัตโนมัติให้เลือกฟังก์ชัน AUTO เครื่องจะสามารถควบคุมตำแหน่งได้ตั้งแต่ 0-360 องศา ซึ่งมีวิธีการใช้ดังนี้

3.5.1 ป้อนค่าต้องการตั้งแต่ 0-360 องศา

3.5.2 ถ้าต้องการลบค่าที่ป้อนผิดให้กดปุ่ม CLEAR เพื่อลบค่าเดิมออก

3.5.3 เมื่อป้อนค่าที่ต้องการได้แล้วให้กดปุ่ม ENTER สายอากาศก็จะหมุนไปในตำแหน่งที่ต้องการ

3.6 ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลของสถานีต่างๆให้กดปุ่ม HELP เครื่องจะทำการบันทึกค่าให้ โดยการบันทึกจะเป็นการบันทึกแบบวนลูป คือค่าที่ 11 จะแทนค่าที่ 1 โดยอัตโนมัติ

3.7 ถ้าต้องการดูข้อมูลที่เก็บไว้ให้เลือกฟังก์ชัน DATA จะสามารถเลือกดูค่าได้โดยกดปุ่ม ∇ และ \triangle

หมายเหตุ

1. ป้อนค่าได้ไม่เกิน 360 องศา
2. บันทึกค่าที่ต้องการได้ 10 ค่า

4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

ตารางที่ จ.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้น

| อาการ | สาเหตุและ/หรือวิธีการแก้ไข |
|---------------------------|--|
| เครื่องไม่ทำงาน | ตรวจสอบสายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ว่าต่อแน่นแล้วหรือยัง |
| ส่วนควบคุมสายอากาศไม่หมุน | ตรวจสอบหัวต่อสายระหว่างเครื่องควบคุมและส่วนหมุนสายอากาศว่าต่อเรียบร้อยและแน่นหรือยัง |
| เครื่องค้างสภาวะการทำงาน | กดปุ่มรีเซ็ตเพื่อให้เครื่องพร้อมที่จะทำงานอีกครั้ง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

1. เช็ดทำความสะอาดด้วยผ้านุ่ม อย่าใช้สารใด ๆ เป็นตัวละลาย เพราะอาจทำให้ตัวเครื่องเป็นรอยเสียหาย

2. ตรวจสอบขั้วต่อสายไฟของวงจรทั้งภายนอกและภายในให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ

3. ควรหมั่นดูแลซ่อมบำรุงตัวเครื่องอยู่เสมอ เพื่อการใช้งานที่มีคุณภาพ และยาวนาน

5.2 ข้อควรระวัง

1. ควรศึกษาคู่มือให้ละเอียดก่อนใช้งาน

2. ไม่ควรวางตัวเครื่องไว้ในที่ร้อนและชื้น เพราะอาจทำให้เครื่องเสียหายได้

3. ควรเคลื่อนย้ายอย่างระมัดระวังอย่าให้มีการตกกระแทกหรือกระทบกระเทือน

6. ข้อมูลจำเพาะ

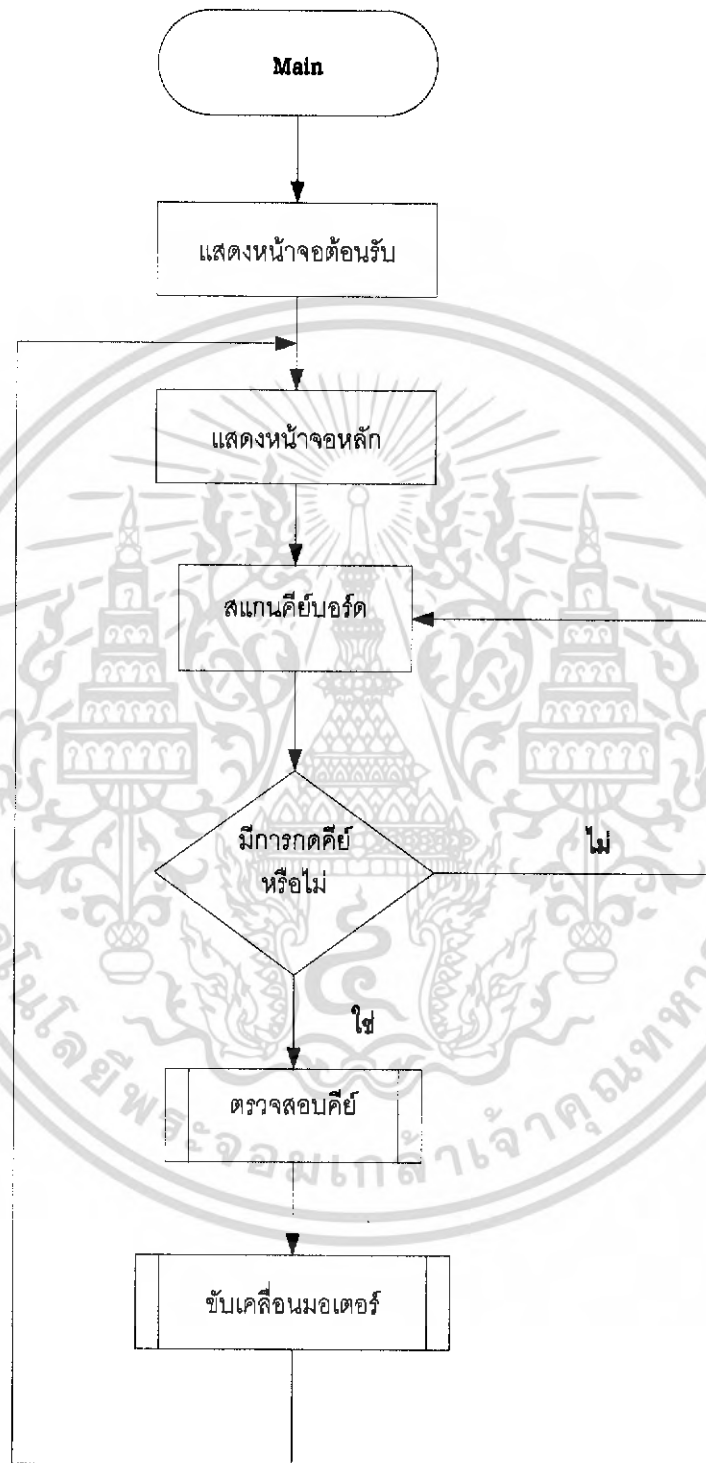
ตารางที่ จ.2 ข้อมูลจำเพาะ

| คุณสมบัติ | รายละเอียด |
|------------------------------|---|
| การควบคุมตำแหน่ง | ใช้เอนโคเดอร์ในการควบคุมตำแหน่ง |
| ส่วนควบคุมและประมวลผล | ใช้ เป็นตัวควบคุมและประมวลผล |
| ส่วนที่ใช้ขับเคลื่อนสายอากาศ | ใช้สเตปปีงมอเตอร์และชุดเฟืองในการขับเคลื่อนสายอากาศ |
| การบันทึกตำแหน่ง | สามารถบันทึกค่าได้ 10 ตำแหน่ง |
| ตำแหน่งที่สามารถควบคุมได้ | ตั้งแต่ 0-360 องศา |
| แหล่งจ่ายพลังงาน | ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50-60 เฮิร์ตซ์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

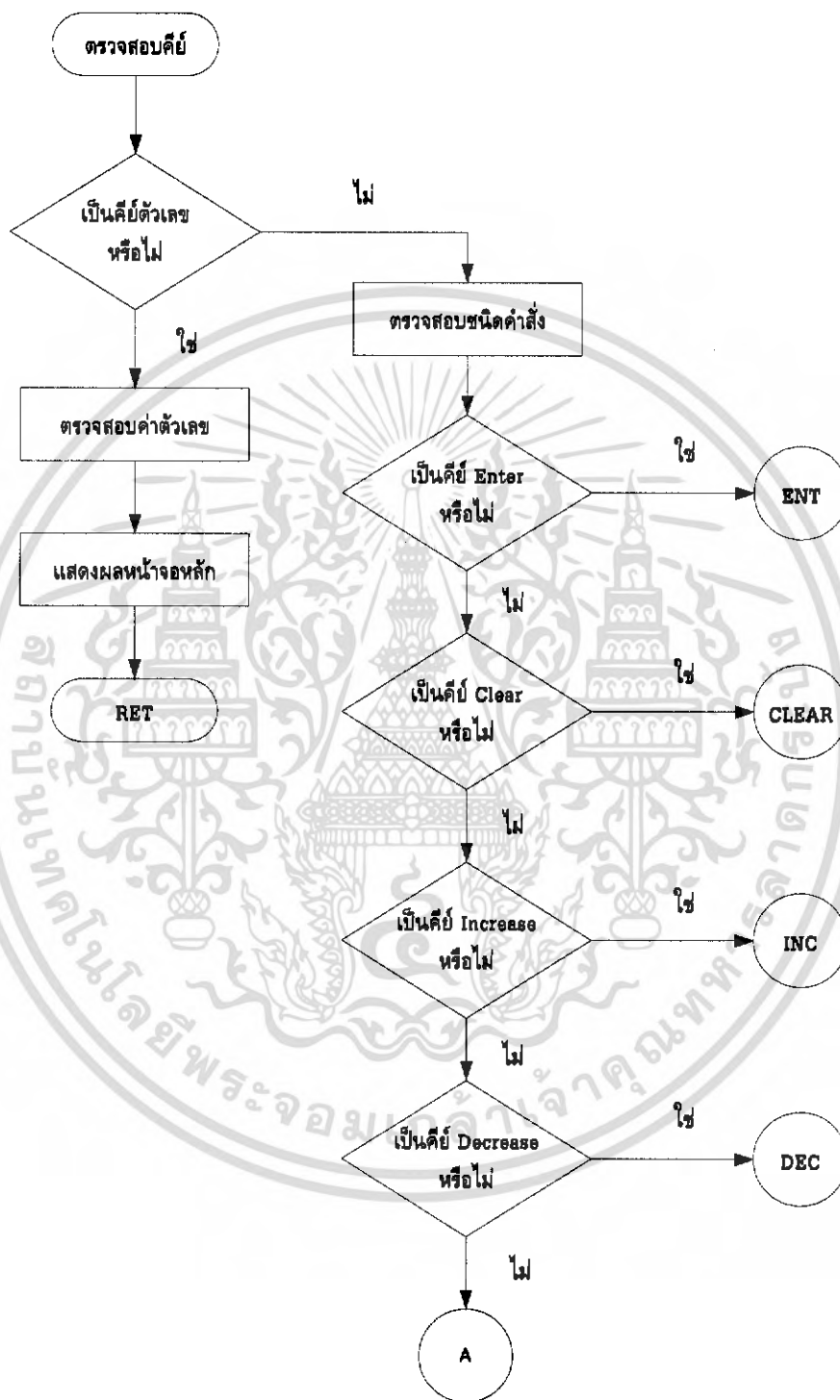


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.1 ผังการทำงานทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

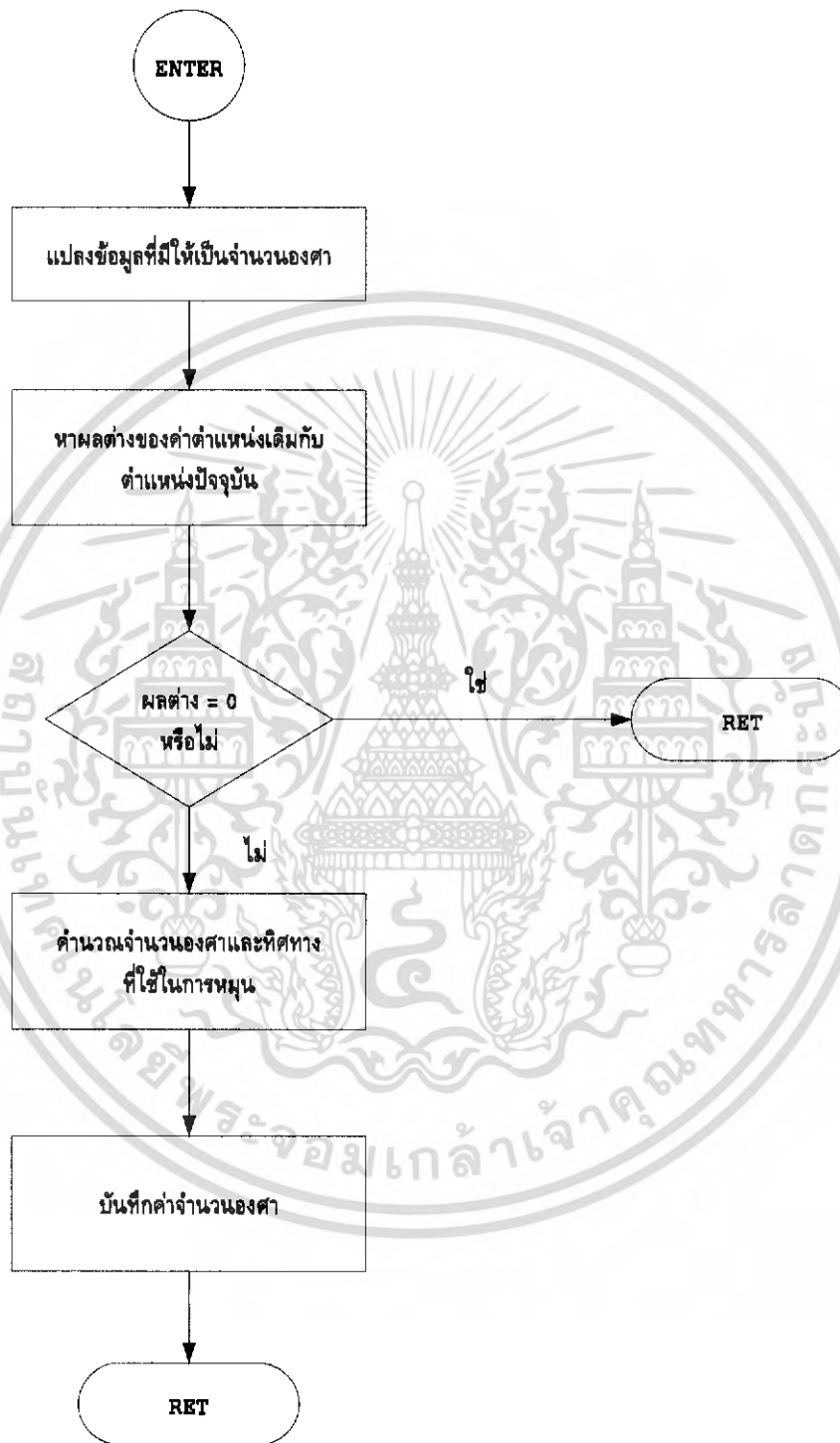


รูปที่ ๑.๒ ผังการทำงานของ การตรวจสอบคีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

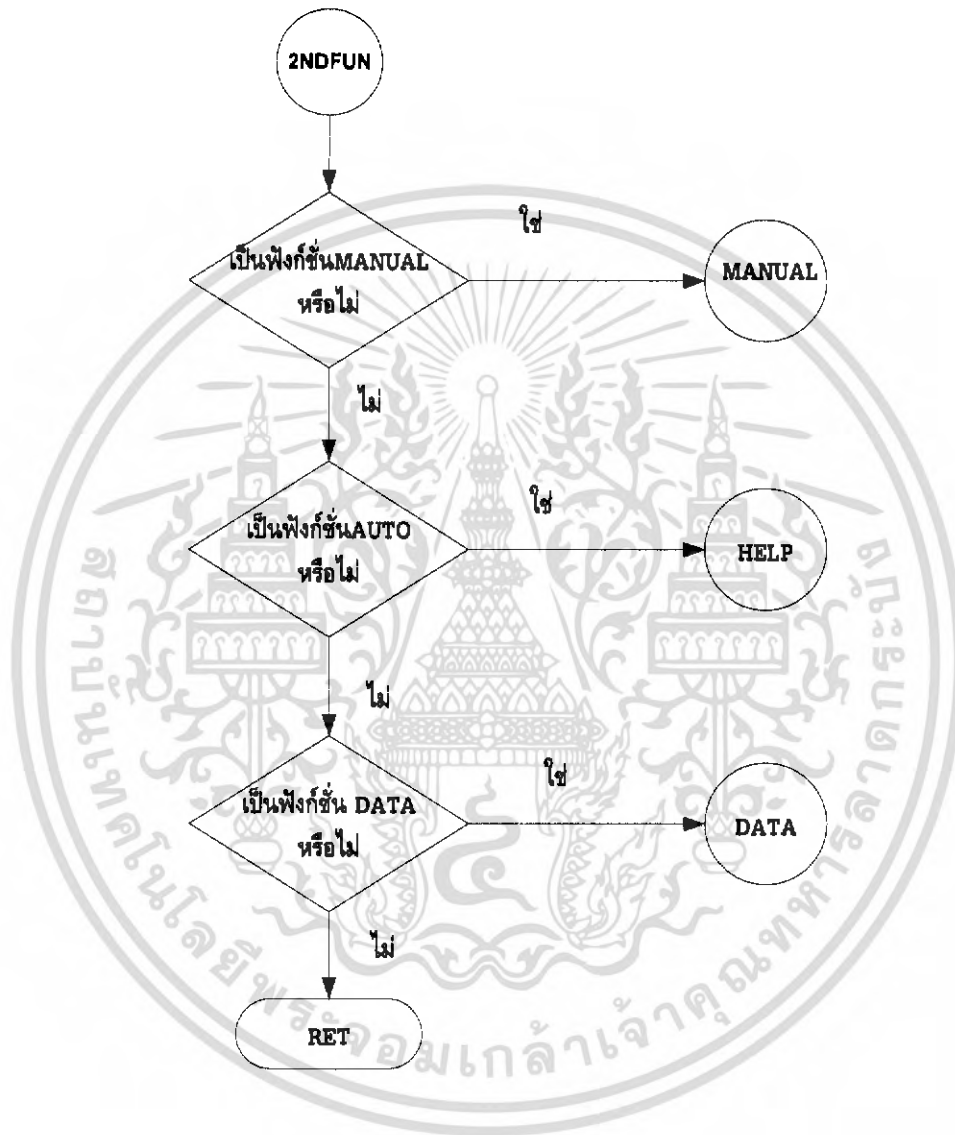


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



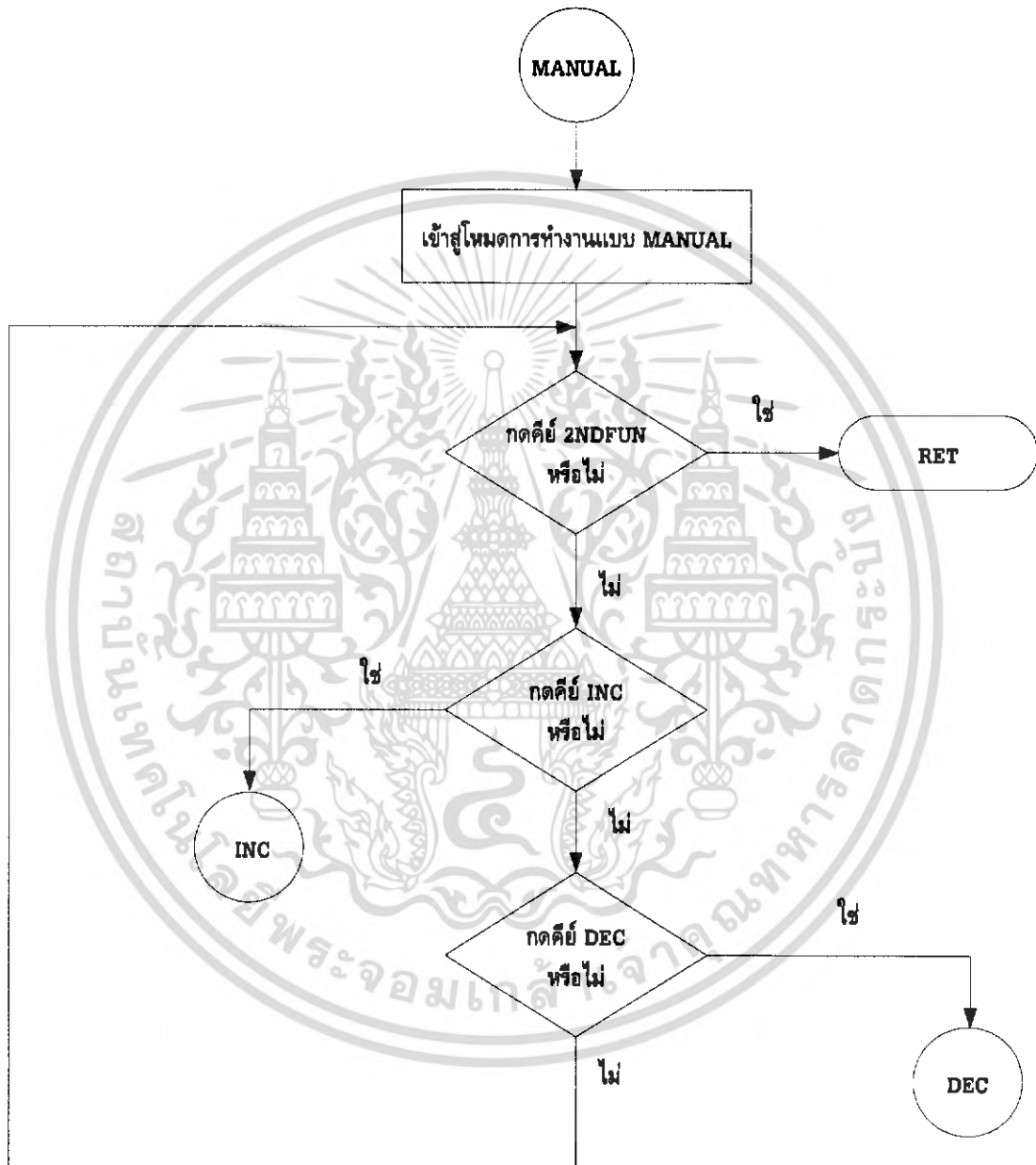
รูปที่ ๑.4 ฟังก์ชันการทำงานของ ENTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



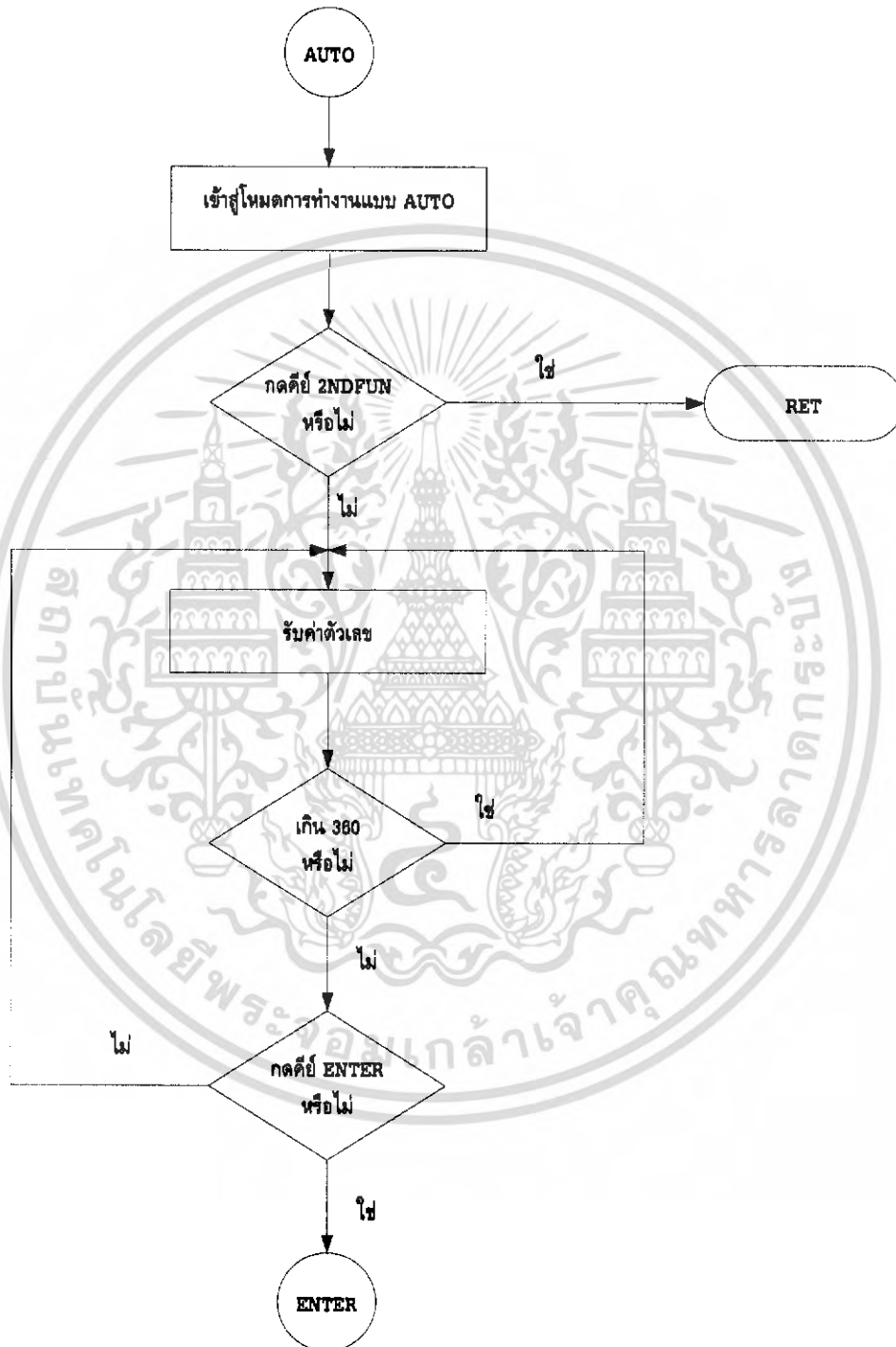
รูปที่ ๑.5 ผังการทำงานของ 2NDFUN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



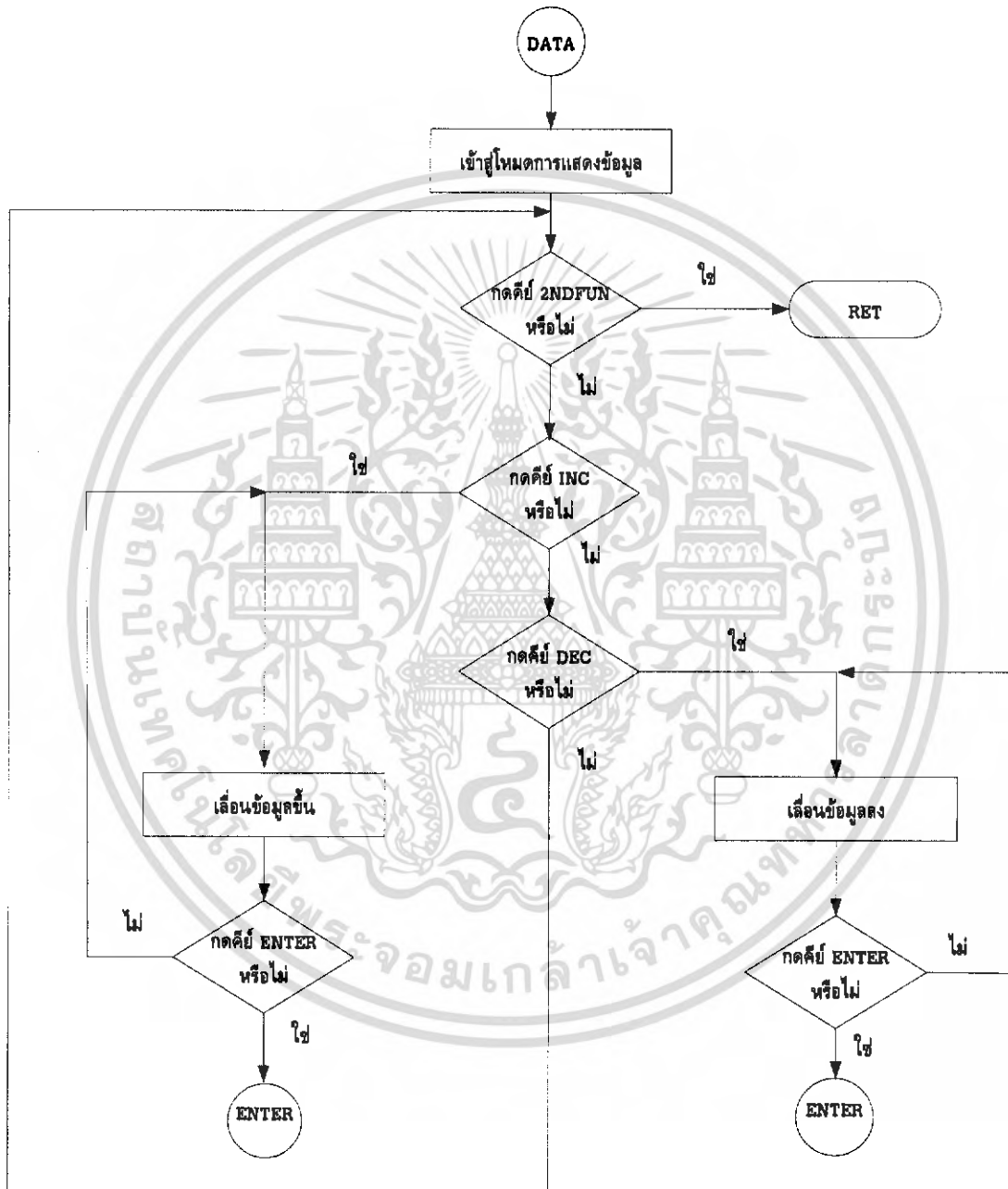
รูปที่ ๑.๘ ผังการทำงานของ MANUAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



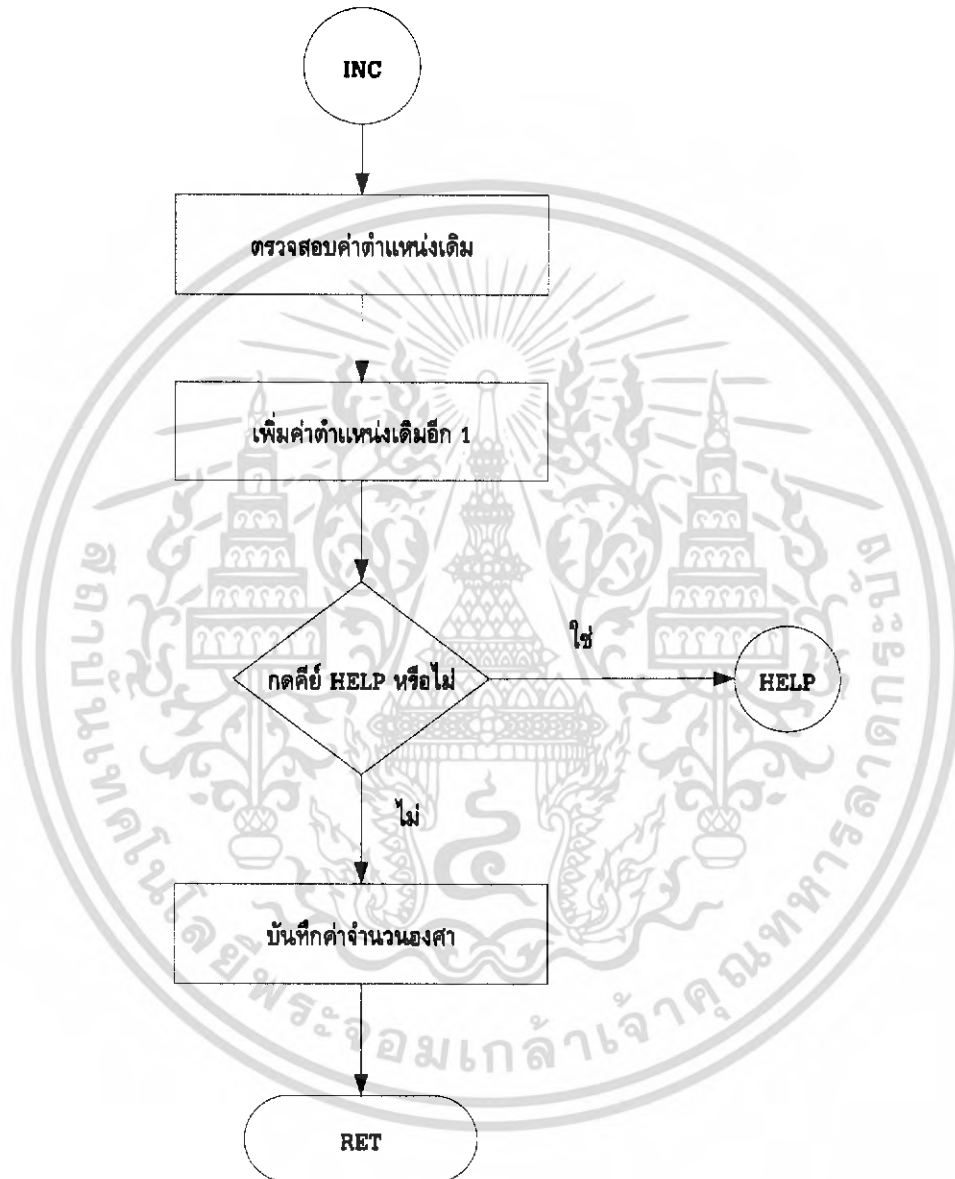
รูปที่ ๑.7 ผังการทำงานของ AUTO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



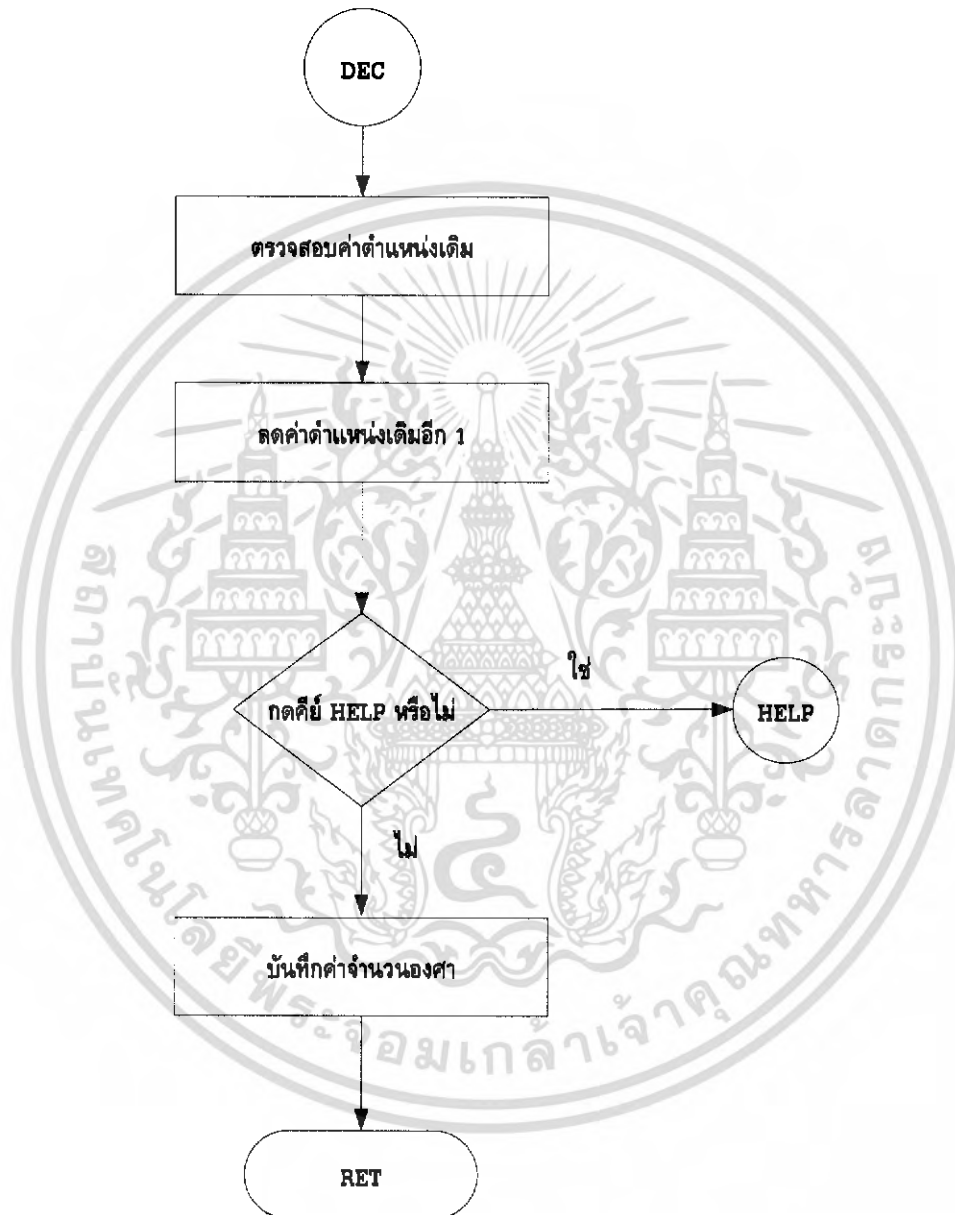
รูปที่ ๑.๘ ผังการทำงานของระบบ DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



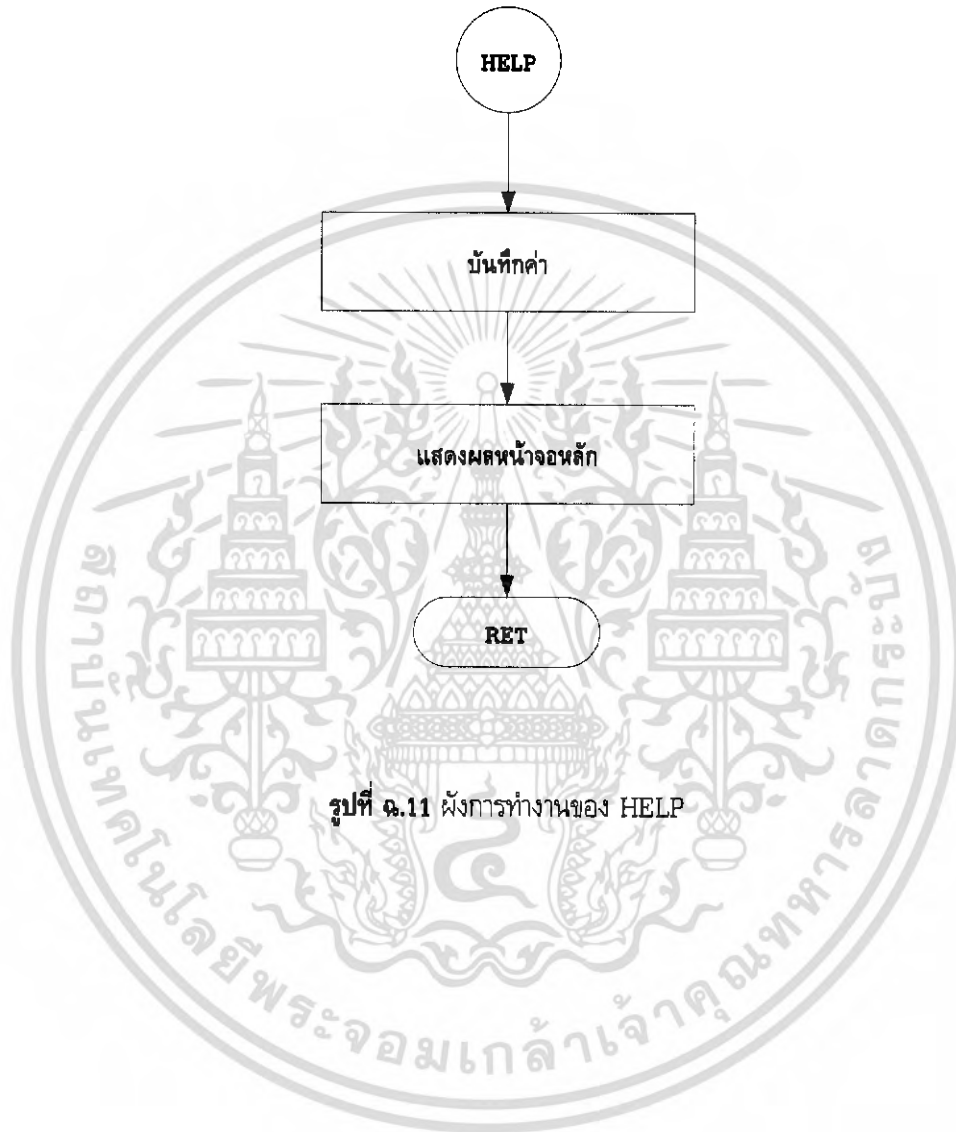
รูปที่ ๑.๑ ผังการทำงานของ INC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



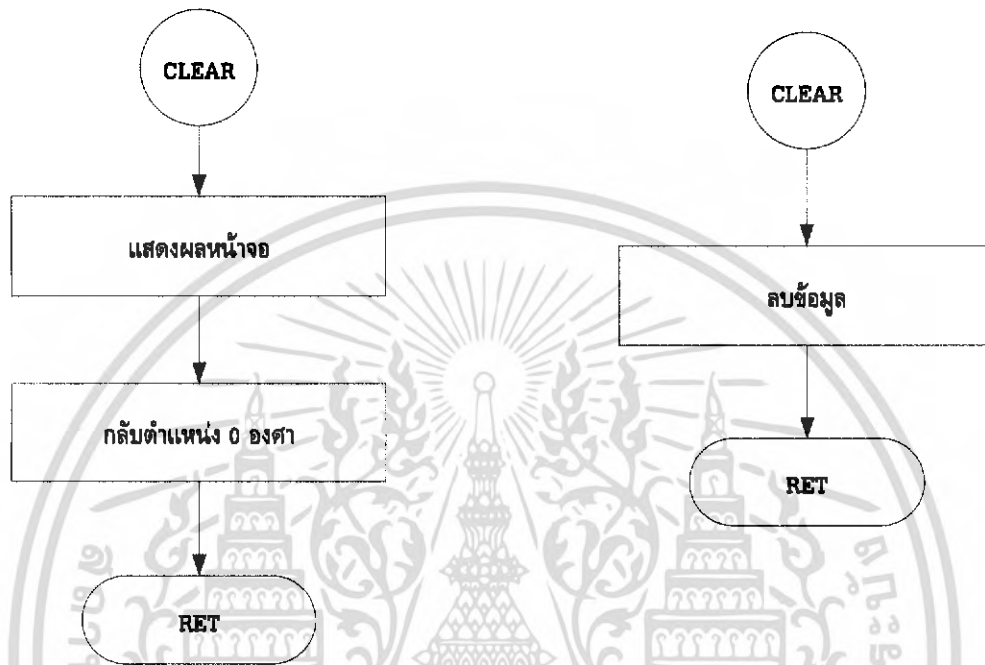
รูปที่ ๑.10 ผังการทำงานของ DEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.11 ฟังก์ชันการทำงานของ HELP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.12 ผังการทำงานของ CLEAR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ช
รหัสต้นฉบับของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง

```

#include <reg52.h>
#include <at89s8252.h>
#include <absacc.h>
#include <intrins.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#include <key.h>
#include <stdio.h>
//-----define value to P0-----
#define START    0x00
#define CLR      0x01
#define ON       0x0c
#define LCD_SET  0x38
//-----constant Port control LCD-----*/
sbit LCD_EN    = P3^4;
sbit LCD_RS    = P3^5;
sbit LCD_RW    = P3^6;
sbit SW_OFF    = P3^0;
sbit SW_ON     = P3^1;
/*===== Type Defines LCDBUF =====*/
unsigned char LCDBUF[15];
typedef unsigned char tChar;
typedef unsigned int  tInt;
typedef unsigned long tLong;
typedef unsigned int  BYTE1;
typedef unsigned int  TT;
unsigned char key=0;
bit value,value1,value2;
unsigned int degree;
unsigned int tsum;
int  curpos;
/*===== MAIN =====*/
//          delay about 1 mS unit
//          at 11.0592MHz
//=====
void msDelay(tInt msec)
{
tInt cntr_1, cntr_2;
for (cntr_1 = 0; cntr_1 <= msec; ++cntr_1 )
{
for ( cntr_2 = 0; cntr_2 <= 5000; ++cntr_2);
}
}

void delay_ms(unsigned int time)
{
unsigned char i2;
while (time)
{
for (i2=1;i2<=164;i2++);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        time--;
    }
}
//=====
void command(tChar cmd)
{
    delay_ms(15);
    P2 = cmd;
    LCD_RS = 0;
    LCD_RW = 0;
    LCD_EN = 1;
    LCD_EN = 0;
}
/*=====*/
void Display(tChar *msg)
{
    tInt count;
    for (count=0; count <= strlen(msg)-1; count++)
    {
        P2 = msg[count];
        LCD_RS = 1;
        LCD_EN = 1;
        LCD_EN = 0;
    }
}
void InitLcd(void)
{
    msDelay(10);
    command(LCD_SET);
    msDelay(1);
    command(LCD_SET);
    msDelay(1);
    command(LCD_SET);
    msDelay(1);
    command(ON);
    command(CLR);
    msDelay(5);
    command(START);
    command(ON);
}
void ModeStandby(void)//Mode standby
{
    command(0x86);
    strcpy (LCDBUF,"KMITL");
    Display(LCDBUF);
    command(0xc5);
    strcpy (LCDBUF,"ID.ED 26");
    Display(LCDBUF);
}
void dsp_digit1(char n)
{
    command(0x89);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    sprintf(LCDBUF,"%c ",(char)n|0x30);
    Display(LCDBUF);
}
void dsp_digit2(char m)
{
    command(0x88);
    sprintf(LCDBUF,"%c", (char)m|0x30);
    Display(LCDBUF);
}
void dsp_digit3(char p)
{
    command(0x87);
    sprintf(LCDBUF,"%c", (char)p|0x30);
    Display(LCDBUF);
}
void PositionR(void)
{
    degree=(int)(curpos/0.5)/4;
    WriteEEPROM(100,(int)(curpos/10));
    WriteEEPROM(101,(int)(curpos%10));
    command(0xc0);
    sprintf(LCDBUF,"Position:%3d Deg", (int)degree);
    Display(LCDBUF);
}
void timer0(void) interrupt 1
{
    TR0=0;
    if((SW_OFF==1)&&(value1==1))
    {
        P0=0x06;
        delay_ms(3);
        P0=0x03;
        delay_ms(3);
        P0=0x09;
        delay_ms(3);
        P0=0x0c;
        delay_ms(3);
    }
    else
    {
        P0=0xff;
    }
    if((SW_ON==1)&&(value==1))
    {
        P0=0x0c;
        delay_ms(3);
        P0=0x09;
        delay_ms(3);
        P0=0x03;
        delay_ms(3);
        P0=0x06;
        delay_ms(3);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        else
        {
            PO=0xff;
        }

        TH0=0xF8;
        TL0=0xC8;
        TR0=1;
    }
    void runAuto(unsigned int nsum)
    {
        unsigned int datn=0;
        if((nsum>=0)&&(nsum<361))
        {
            // if(datn>353) datn=353;
            // _nop_();
            // if(degree<=nsum)//0<=90
            degree++ UP
            //
            {
                datn=abs(nsum-1);
                if(datn>353) datn=353;
                value1=1;
                while(degree<=datn)
                {
                    PositionR();
                }
            }
            else // 180>90 degree-- DOWN
            {
                //datn=abs(nsum-1);
                value=1;
                while(degree!=nsum) //180>90
                {
                    PositionR();
                }
            }
            if(SW_OFF==0) break;
            if(SW_ON==0)
            {
                curpos=0;
                break;
            }
        }
    }
}
else
{
    nsum=0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Deg");
command(0xc0);
strcpy (LCDBUF,"PRESS 0->360
Display(LCDBUF);
}
nsum=0;
}
void ext0 () interrupt 0 using 1          /* External interrupt
force
{                                           /* Using reg bank 1
    if(value==1)
    {
        curpos--;
        if(curpos<0) curpos=0;
        // WriteEEPROM(100,(int)(curpos/10));
    }
}
void ext1 () interrupt 2 using 1          /* External interrupt
force
{                                           /* Using reg bank 1
    if(value1==1)
    {
        curpos++;
        if(curpos>720) curpos=720;
    }
}
void main(void)
{
    unsigned char page=0;
    unsigned char digit1=0;
    unsigned char digit2=0;
    unsigned char digit3=0;
    unsigned int num=0;
    unsigned int sum=0;
    unsigned int temp=0;
    unsigned int idx;
    unsigned int i,j,k,d;
    i=0;
    j=0;
    k=0;
    idx=0;
    SW_OFF=1;
    SW_ON=1;
    value=0;
    value1=0;
    degree=0;
    curpos=0;
    page=0;
    InitLcd();
    ModeStandby();
    delay_ms(1000);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

command(CLR);
//+++++ KEEP POSITION+++++
temp=(int)ReadEEPROM(100);
delay_ms(200);
curpos=(int)ReadEEPROM(101);
delay_ms(200);
curpos=(int)(temp*10)+(curpos*1); // position curpos
if(curpos==2805) curpos=0;
//+++++
idx=(int)ReadEEPROM(70);
if(idx==255)
{
    idx=0;
}
//+++++ SET TIMER 0 INTERRUPT+++++
TMOD=0x01;
TH0=0xF8;
TL0=0xC8;
TR0=1;
IE=0x82;
//+++++
IT0=IT1=PX0=PX1=EX0=EX1=1; /* External int for encoder */
EA=1; /* Enable all interrupt */
command(0x80);
strcpy (LCDBUF," AUTOMETIC ");
Display(LCDBUF);
command(0xc0);
strcpy (LCDBUF," ANTENNA CONTROL ");
Display(LCDBUF);
delay_ms(1000);
command(CLR);
command(0x80);
strcpy (LCDBUF," Please Select ");
Display(LCDBUF);
command(0xc0);
strcpy (LCDBUF," Function ");
Display(LCDBUF);
while(1)
{
    key=(int)scankey();
    if(key!=0xff)
    {
        //command(CLR);
        if(key==14)
        {
            delay_ms(500);
            page++;
            if(page>3) page=1;
            if(page==1)
            {
                command(CLR);
                command(0x80);
                strcpy (LCDBUF,"Manual:");
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Display(LCDBUF);
  delay_ms(500);
}
if (page==2)
{
  digit1=digit2=digit3=0;
  d=0;
  command(CLR);
  command(0x80);
  strcpy (LCDBUF,"AUTO:");
  Display(LCDBUF);
  delay_ms(500);
}
if (page==3)
{
  command(CLR);
  command(0x80);
  strcpy (LCDBUF,"DATA:");
  Display(LCDBUF);
  delay_ms(500);
}
}
switch(page)
{
  case 0: break;
//+++++ MODE MANUAL+++++
  case 1: key=(int)scankey();
    if (key==11)
    {
      while(key==11)
      {
        key=(int)scankey();
        value=1;
        PositionR();
        if(SW_ON==0) curpos=0;
      }
      key=(int)scankey();
      if (key==12)
      {
        while(key==12)
        {
          key=(int)scankey();
          value1=1;
          PositionR();
        }
      }
      if(key==16)//key save
      {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        // key_save();
        delay_ms(200);
    if(idx==20) idx=0;
        idx+=1;
        WriteEEPROM(idx, (int)(degree/10));
        delay_ms(10);
        idx+=1;
        WriteEEPROM(idx, (int)(degree%10));

        delay_ms(10);
        WriteEEPROM(70, (int)idx);
        delay_ms(10);
        //command(CLR);
        command(0xc0);
        strcpy (LCDBUF, "SAVE ");
        Display(LCDBUF);
        delay_ms(1000);
        command(CLR);
        command(0x80);
        strcpy (LCDBUF, "Manual:");
        Display(LCDBUF);
        delay_ms(20);
    }
    if(key==15)
    {
        delay_ms(200);
        command(CLR);
        command(0xc0);
        strcpy (LCDBUF, "Adjust 0 Degree ");
        Display(LCDBUF);
        delay_ms(100);
        while(SW_ON==1)
        {
            value=1;
        }
        curpos=0;
        command(0xc0);
        strcpy (LCDBUF, "Position 0 Degree ");
        Display(LCDBUF);
    }
    value=0;
    value1=0;
    break;
//+++++ Mode
AUTOMETIC+++++
    case 2: key=(int)scankey();
        if((key>=0)&&(key<=9))
        {
            d++;
            delay_ms(500);
            if(d==1)
            {
                digit1=key;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        dsp_digit1(digit1);
    }
    if(d==2)
    {
        digit2=digit1;
        digit1=key;
        dsp_digit1(digit1);
        dsp_digit2(digit2);
    }
    if(d==3)
    {
        digit3=digit2;
        digit2=digit1;
        digit1=key;
        dsp_digit1(digit1);
        dsp_digit2(digit2);
        dsp_digit3(digit3);
        d=0;
    }
    }
    //else i=0;
    if(key==13)//Key enter Move STEP MOTOR
    {
        tsum=(int)((digit3*100)+(digit2*10)+(digit1*1));
        delay_ms(100);

        command(0xc0);

        sprintf(LCDBUF,"sum=%3d", (int)tsum);
        Display(LCDBUF);
        delay_ms(500);
        command(0xc0);
        strcpy (LCDBUF,"
    ");
        Display(LCDBUF);
        runAuto(tsum);
    }
    if(key==16)
    {
        delay_ms(200);
    }
    if(idx==20) idx=0;
    idx+=1;
    WriteEEPROM(idx, (int)(degree/10));
    delay_ms(10);
    idx+=1;
    WriteEEPROM(idx, (int)(degree%10));

    delay_ms(10);
    WriteEEPROM(70, (int)idx);
    delay_ms(10);
    //command(CLR);
    command(0xc0);
    strcpy (LCDBUF,"      SAVE      ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Display(LCDBUF);
        delay_ms(1000);
        command(CLR);
        command(0x80);
        strcpy (LCDBUF,"AUTO:");
        Display(LCDBUF);
        delay_ms(20);
    }
    if(key==15) //key clear lcd
    {
        digit1=digit2=digit3=0;
        d=0;
        tsum=0;
        command(0x87);
        strcpy (LCDBUF,"");
        Display(LCDBUF);
    }
    value=0;
    value1=0;
    break;
//+++++ MODE DATA+++++
    case 3: key=(int)scankey();
        if(key==11)
        {
            delay_ms(300);
            i++;
            if(i>10) i=1;
            if(k>19){ k=0;}
            k++;
            sum=(int)ReadEEPROM(k);
            j=k;
            k++;
            temp=(int)ReadEEPROM(k);
            num=(int)(sum*10)+(temp*1);
            if((int)num==2805)
            {
                command(0xc0);
                sprintf(LCDBUF,"%2d) NO DATA
", (int)i);
                Display(LCDBUF);
                delay_ms(50);
            }
            else
            {
                // command(CLR);
                command(0xc0);
                sprintf(LCDBUF,"Station
%2d:%3d", (int)i, (int)num);
                Display(LCDBUF);
                delay_ms(50);
            }
        }
        // key=(int)scankey();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(key==12)
{
delay_ms(300);
i--;
if((i<1)||i==0){i=10;}
j--;
if((j<1)||j==0){j=20;}
sum=(int)ReadEEPROM(j);

k=j;
j--;
temp=(int)ReadEEPROM(j);

num=(int)(temp*10)+(sum*1);
if((int)num==2805)
{
command(0xc0);
sprintf(LCDBUF,"%2d" NO
DATA ",(int)i);
Display(LCDBUF);
delay_ms(50);
}
else
{
// command(CLR);
command(0xc0);
sprintf(LCDBUF,"Station
%2d:%3d",(int)i,(int)num);
Display(LCDBUF);
delay_ms(50);
}
}

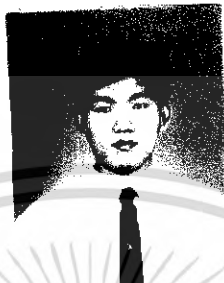
break;
} // END SWITCH CASE

} //end while
} //End Program Main

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อสกุล

นายจงจิตต์ ทศนีย์ทิพากร

วันเดือนปีเกิด

29 สิงหาคม พ.ศ. 2526

ภูมิลำเนา

45 หมู่ 1 ซอยศาลเจ้าตาเอียด ถนนเจ้าฟ้า ตำบลฉลอง
อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านตลาดเหนือ (วันครู 2502) จังหวัดภูเก็ต

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนภูเก็ตวิทยาลัย จังหวัดภูเก็ต

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

เกียรติบัตรชมรมวิทยุสมัครเล่น สจล.

เกียรติบัตรผู้จัดรายการเสียงตามสายของ

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

เกียรติบัตรผู้ร่วมประสานงานของชมรมกรีฑา สจล.

คติพจน์

ความรู้ไม่ใช่มีแค่ในตำราเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



| | |
|-----------------------------|--|
| ชื่อสกุล | นายธนศ จิรพิสุทธิกุล |
| วันเดือนปีเกิด | 1 มีนาคม พ.ศ. 2526 |
| ภูมิลำเนา | 10/4 หมู่ 7 ถนนวิจิตรสงคราม ตำบลกะทู้ อำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต 83120 |
| ประวัติการศึกษา | |
| ประถมศึกษา | โรงเรียนเทศบาลปลุกปัญญา จังหวัดภูเก็ต |
| มัธยมศึกษาตอนต้น | โรงเรียนประศาสน์วิทยา จังหวัดภูเก็ต |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพ | วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง | วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต |
| ปริญญาตรี | สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. |
| คดีพจน์ | มีผิดต้องมิถูก |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้