สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การควบคุมวาล์วโดยใช้ STEP MOTOR

# STEPPING MOTOR CONTROL VALVE

T050236

นายวรพนธ์ วัฒนาธร

นายวรากร เหลืองสุวิมล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50236
วัน,เดือน,ปี 28 เม.ย. 2547

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STEPPING MOTOR CONTROL VALVE

WORAPHON WATTANATORN

WARAKORN LEARN-SUVIMOL

A THESIS SUMITTED PARTIAL FULFILMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THHE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE TECNOLOGY LARDKRABANG

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อปริญญานิพนธ์** | การควบคุมวาลว์โดย STEP MOTOR |
| | STEPPING MOTOR CONTROL VALVE |
| **นักศึกษาผู้จัดทำ** | นายวรพนธ์ วัฒนาธร |
| | นายวรากร เหลืองสุวิมล |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | รศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร |
| | รศ. วิริยะ กองรัตน์ |
| **ปีการศึกษา** | 2545 |


## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นระบบเกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของ Motor เพื่อควบคุมการเปิดและ ปิด Valve โดยการควบคุมทั้งหมดจะอยู่บน PC ผ่าน โปรแกรม Visual Basic ชุดคำสั่งทั้งหมดจะถูกสั่งงานผ่าน Micro-controller (PC89C51RD2) เพื่อใช้ขับ Stepmotor โดยการเปิดปิด valve จะถูกสั่งเป็น % ในการรเปิดหรือปิด มี potentiometer เป็นตัว check ค่าความถูกต้องและ ส่งค่ากลับมายัง Micro-Controller เพื่อแปลงค่าและส่งกลับมายัง PC การควบคุมวาว์ลโดยใช้ Step motor มีข้อดีเนื่องจาก ความแม่นยำของ step motor สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ต่างๆได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **Thesis Title** | **Stepping Motor Control Valve** | |
| **Author** | **Mr.Woraphon** | **Wattanatorn** |
| | **Mr.Warakorn** | **Learn-Suvimol** |
| **Thesis Adviser** | **Assoc.Prof.Vittaya** | **Tipsuwanporn** |
| | **Asst.Prof.Viriya** | **Kongratana** |
| **Year** | **2002** | |


## ABSTRACT

"Stepping Motor Control Valve" is a project for control step motor by personal computer. We can control all functions easily by setting the open point(percentage) in Visual Basic and then every command will be sending direct to micro-controller for driving step motor. Potentiometer will check the error and send it back to micro-controller and the data will be transferred to PC. One advantage of stepping motor is to reduce the error, since the step motor have a high accuracy.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิริยะ กองรัตน์ และ รองศาสตราจารย์วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

และที่ลืมเสียมิได้ ขอราบขอบพระคุณคุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

**คณะผู้จัดทำ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


**บทคัดย่อภาษาไทย**.....I

**บทคัดย่อภาษาอังกฤษ**.....II

**กิตติกรรมประกาศ**.....III

**สารบัญ**.....IV

**สารบัญตาราง**.....VII

**สารบัญภาพ**.....VIII

**บทที่ 1 บทนำ**..... 1

1.1ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย..... 1

1.2วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์..... 1

1.3ของเขตของปริญญานิพนธ์..... 2

1.4ขั้นตอนการศึกษา..... 2

**บทที่ 2 STEPPING MOTOR**.....3

2.1 กล่าวนำ.....3

2.2 หลักการ.....3

2.3 โครงสร้างและหลักการทำงานของ Stepping Motor .....5

2.3.1 VR Motor..... 5

2.3.2 PM Stepping Motor.....10

2.3.3 Hybrid Stepping Motor.....11

2.4 การกระตุ้นเฟสขอลวดสเตเตอร์.....14

2.4.1 การกระตุ้นแบบ 1 เฟส.....17

2.4.2 การกระตุ้นแบบ 2 เฟส.....17

2.4.3 การกระตุ้นแบบกึ่งเฟส.....17

2.5 ตัวแปรที่สำคัญของมอเตอร์.....18

2.6 การเกิดออสซิสเลเตอร์ของ Stepping Motor.....21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

**บทที่ 3 รายละเอียดของโครงงาน**..... 22

3.1 กล่าวนำ .....22

3.2 ระบบที่ใช้ในการทำงาน.....22

3.3 หลักการทำงานของวงจรใน Micro-controller .....22

3.4 วงจรขับ Stepmotor.....22

3.4.1 การกระตุ้นเฟสขดลวดสเตเตอร์.....25

3.4.2 การคำนวนหากำลังงานที่มอเตอร์ใช้.....27

3.4.3 การต่อไดโอดเข้ากับวงจรขับมอเตอร์.....28

3.5 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม.....30

**บทที่ 4 การแปลงสัญญาณเพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์**.....31

4.1 กล่าวนำ.....31

4.2 การแปลงผันสัญญาณ Analog To Digital.....31

**บทที่ 5 potentiometer**..... 32

5.1 กล่าวนำ.....32

5.2 หลักการทำงานของ potentiometer.....32

**บทที่ 6 ผลการทดลอง**.....33

6.1ตารางบันทึกผลการทดลอง.....33

6.2สรุปผลการทดลอง.....36

**บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**..... 37

7.1บทสรุป.....37

7.2ข้อเสนอแนะ.....37

บรรณานุกรม..... 38

ภาคผนวก.....39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

2.20 ตารางแสดงการกระตุ้นแบบเฟสเดียว.....17

2.21 ตารางแสดงการกระตุ้นแบบสองเฟส.....17

2.22 ตารางแสดงการกระตุ้นแบบครึ่งเฟส.....17

3.30 ตารางแสดงการกระตุ้นขดลวด.....26

3.31 ตารางแสดงการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์.....27

6.10 ตารางแสดงผลการทดลองเปิดและปิดวาวล์จาก 0 – 100 % .....33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


**รูปที่** **หน้า**

**2.1** แสดงรูปสเต็ปมอเตอร์ 2 ขั้วอย่างง่าย.....3

**2.2** แสดงCUT AWAY VIEW OF SINGLE-STACK VR MOTOR.....5

**2.3** แสดงแบบจำลองภาคตัดขวางของ VR STEPPING MOTOR แบบ 3 เฟส.....6

**2.4**แสดงเส้นโค้งของสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรงบิด..... 6

**2.5** แสดงลักษณะของการเคลื่อนที่ไป 1 step เมื่อการกระตุ้นถูกเปลี่ยนจาก 1 เฟส เป็น 2 เฟส.....7

**2.6** แสดงการเคลื่อนที่แต่ละสเตปในรูปแบบการสับสวิตช์ใน VR MOTOR 3 เฟส.....8

**2.7** แสดง COMPARISON OF FLUX LINES IN A LONG AND A SHORT GAP..... 9

**2. 8** แสดง CROSS-SECTION MODEL OF A FOUR0PHASE PM MOTOR.....10

**2.9** แสดง BASIC DRIVE CIRCUIT FOR A FOUR-PHASE MOTOR.....10

**2.10** แสดง STEPS IN A FOUR-PHASE PM MOTOR.....11

**2.11** แสดงรูป CUT AWAY VIEW OF A HYBRID MOTOR.....12

**2.12** แสดงโครงสร้างของ HYBRID MOTOR.....13

**2.13** แสดงโครงสร้างภายในของ STEP MOTOR แบบ VR.....14

**2.14** แสดงภาพตัดตามแนวยาวของ STEPMOTOR แบบหลายชั้น.....15

**2.15** แสดงภาพตัดขวางของ STEP MOTOR แบบหลายชั้น.....15

**2.16** แสดงตำแหน่งของสเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์แบบ 3 ชั้น.....16

**2.17** แสดงเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อขับแบบ 2 เฟส.....18

**2.18** แสดงกราฟแรงบิดกับความเร็วของสเตปมอเตอร์.....20

**3.1** แสดงภาพรวมของโครงงาน.....22

**3.2** แสดงโครงสร้างพื้นฐานของสเตปมอเตอร์.....22

**3.3** แสดงลักษณะการต่อวงจรขับมอเตอร์เข้ากับแต่ละเฟสของขดลวดเข้ากับมอเตอร์.....23

**3.4** แสดงรูปวงจรที่ใช้ในการคำนวนหา $R_b$.....23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)


รูปที่ หน้า

3.5 แสดงการต่อมอเตอร์เข้ากับ PORT IO ของ P89C51RD2.....26

3.6 แสดงการต่อไดโอดเข้ากับทรานซิสเตอร์.....28

3.7 แสดงผังการต่อวงจนบน Micro-Controller.....29

3.8 แสดงโครงสร้างของโปรแกรม (Flow Chart).....30

4.1 แสดงโครงสร้างของ IC ADS7841.....31

5.1 แสดงรูปวงจรสมมูลย์ ของโพเทนทิโอมิเตอร์.....32

5.2 แสดงรูปตัวอย่างของโพเทนทิโอมิเตอร์.....32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจ

เนื่องจากเครื่องจักรกลได้เข้ามามีบทบาทมากในงานทางด้านอุตสาหกรรม และเครื่องจักรกลเกือบทุกชนิดจะใช้มอเตอร์ช่วยในการทำงาน การควบคุมมอเตอร์จึงถูกพัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ จนในปัจจุบันได้มีการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานมอเตอร์เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น

ในปัจจุบันมอเตอร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน จึงมีมอเตอร์หลายชนิดด้วยกันแต่ในหนังสือเล่มนี้จะกล่าวถึงการควบคุม stepping motor ซึ่งเป็น ดีซีมอเตอร์ที่มีตำแหน่งการหยุดที่แน่นอนโดยมีการหมุนเป็น step โดย 1 step จะมีขนาดกี่องศาจะขึ้นอยู่กับเฟส จำนวนขั้วของสเตเตอร์และจำนวนขั้วของโรเตอร์ การเลือกใช้ stepping motor จะขึ้นอยู่กับการใช้งานคือถ้าต้องการควบคุมตำแหน่งที่ต้องการความละเอียดน้อยก็จะใช้ stepping motor ที่มีจำนวน step น้อย และถ้าต้องการควบคุมตำแหน่งที่ต้องการความละเอียดมากก็จะใช้ stepping motor ที่มีจำนวน step มากซึ่งราคาก็จะแพงมากขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาการทำงานของ STEPPING MOTOR

2.เพื่อศึกษาการใช้ MSC-51 ในการควบคุม MOTOR

3.เพื่อศึกษาการควบคุม STEPPING MOTOR โดยใช้เครื่อง Personal Computer ในการสั่งงาน

## 1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์

ขอบเขตของปริญญานิพนธ์นี้คือสามารถควบคุมการเปิดปิดของ valve ด้วย stepping motor ผ่านทาง Personal Computer และแสดงตำแหน่งของ stepping motor ทางจอภาพของคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Visual Basic

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำวิจัยในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาการทำงานของ Stepping Motor หลักการของปริญญานิพนธ์นี้คือจะใช้เครื่อง Personal Computer ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

stepping motor ผ่านทาง Serial Port โดยใช้ จะสั่งงานไปที่ Micro-controller เพื่อกำเนิดสัญญาณไปควบคุมมอเตอร์ โดยมี IC ULN2003 (Opto-diode) เป็นตัวจ่ายสัญญาณทำให้มอเตอร์หมุน โดยมี Potentiometer เป็น Feedback เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ Motor ว่าถูกต้องแน่นอนตามตำแหน่งที่สั่งงานไปหรือไม่ โดยสัญญาณจาก Potentiometer จะถูกส่งผ่าน A/D เบอร์ ADS7841 ซึ่งทำหน้าที่เป็น Analog to Digital Converter 12 Bit 4 Channels สำงานในลักษณะ Single-End หลังจากสัญญาณถูกแปลงให้กลายเป็น Digital ซึ่งเป็นสัญญาณที่ Micro-controller สามารถติดต่อกับ PC ได้โดยผ่านทาง Serial Port ข้อมูลที่ถูกส่งมาจะได้รับมาได้ ลักษณะ 16 bits(HEX) สัญญาณที่ออกมาจาก ADC จะเป็นตัว ตัววัดการเคลื่อนที่ ของ วาวล์ว่าหมุนไปมากน้อยแค่ไหนแล้วส่งสัญญาณกลับไปที่ PC เพื่อให้ PC สั่งงานไปยัง Micro-controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2

# STEPPING MOTOR

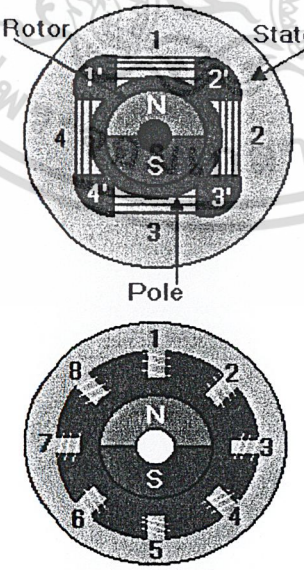
## 2.1 กล่าวนำ

สเตปปิ้งมอเตอร์ (Stepping motor) หรือ สเตปมอเตอร์ (Step motor) ได้เข้ามามีบทบาทอยู่ในวงการเครื่องจักรกลไฟฟ้าเป็นเวลาหลายปีมาแล้ว แต่ในการนำมาใช้งานทั่วไปเพิ่งจะเริ่มต้นในประมาณปี ค.ศ. 1960 เมื่อเทคนิคการสร้างทรานซิสเตอร์ได้รับการพิจารณา จนกระทั่งสามารถผลิตทรานซิสเตอร์ที่สามารถป้อนกระแสจำนวนมาก ๆ ให้กับมอเตอร์โดยวิธีสวิทชิ่ง ( Switching) ได้ลักษณะการป้อนกระแสไฟฟ้าแบบสวิทชิ่งให้กับขดลวดของมอเตอร์ ทำให้สเตปปิ้งมอเตอร์มีคุณสมบัติเป็น " เครื่องจักรกลแบบดิจิตอล " ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นข้อได้เปรียบกว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ เมื่อนำเข้ามาอินเทอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ หรือรวมไปถึงระบบดิจิตอลโดยทั่วไป

## 2.2 หลักการทำงาน

สเตปปิ้งมอเตอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยน electrical pulses ไปเป็นการเคลื่อนที่โดยการหมุน ซึ่งแต่ละพัลส์จะทำให้มอเตอร์หมุนไปด้วยมุมคงที่ค่าหนึ่ง ถึงแม้ว่าสเตปปิ้งมอเตอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่ให้แรงบิดต่ำก็ตาม เราก็ยังนับรวมได้ว่าเป็น small proportion of the servo motor

โดยทั่วไปแล้วสเตปปิ้งมอเตอร์จะประกอบด้วยโรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กและขดลวดสเตเตอร์ที่ตั้งฉากกันอยู่ 2 ขด ดังรูปที่ 2.1




**รูปที่ 2.1 สเตปมอเตอร์อย่างง่าย แบบ 2 ขั้ว**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 นี้แสดงถึงสเตปมอเตอร์ 2 ขั้วอย่างง่าย ๆ ถ้าป้อนกระแสไฟฟ้าให้ผ่านขดลวดทั้งสองนี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น โดยที่แนวของฟลักซ์แม่เหล็กของทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์จะพยายามให้มีค่ารีลัคแตนซ์ ( Reluctance ) น้อยที่สุด นั่นคือ โรเตอร์หมุนไปเพื่อวางตัวในแนวสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ และโรเตอร์จะถูกยึดในตำแหน่งนี้ไปจนกว่าจะมีกระแสไฟฟ้าถูกป้อนเข้าไปในสเตเตอร์ใหม่ ถ้าเราป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดในแนวใหม่จะทำให้สนามแม่เหล็กและโรเตอร์หมุนติดต่อกันไปได้ ดังนั้นทิศทางการหมุนของโรเตอร์จึงขึ้นกับว่าขดลวดจะถูกสวิทช์อย่างไร โดยที่โรเตอร์จะพยายามวางตัวในแนวที่ค่ารีลัคแตนซ์ ( Reluctance ) มีค่าน้อยที่สุด แรงบิดของโรเตอร์นี้เรียกว่า holding torque แต่ถ้ากลับทิศกระแสไฟฟ้าในขดลวดสเตเตอร์อย่างรวดเร็วจะทำให้ มอเตอร์หมุนไม่เป็นสเตป ซึ่งจะพบว่าเป็นข้อเสียของสเตปปิ้งมอเตอร์

ขดลวดสเตเตอร์อาจจะถูกขับโดยรีเลย์ (Relay) หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก็ได้ สำหรับการประยุกต์ใช้งานง่ายๆ การใช้รีเลย์ก็ให้ความเร็วเพียงพอ แต่ถ้าใช้งานที่ต้องการความละเอียดและแม่นยำสูง มักจะใช้การขับมอเตอร์แบบ bi-stables โดยใช้อุปกรณ์ขยายที่เหมาะสม เช่น ทรานซิสเตอร์แบบ bi-stables ทรานซิสเตอร์แบบ bi-stables นี้ มีสถานะอยู่สองสถานะ คือ สถานะ low และ สถานะ high ซึ่งสามารถถูกขับจากวงจรเกทซึ่งมี 2 อินพุท คือ พัลส์ (pulse) หนึ่งชุดจะทำให้มอเตอร์หมุนทีละ 1 สเตปในทิศทางเดียวกัน และพัลส์ชุดอื่นจะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศตรงกันข้าม

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่า ถ้าต้องการมอเตอร์ที่สามารถสร้างแรงบิดได้มากพอควร โดยที่ขนาดของมอเตอร์ไม่ใหญ่โตเกินไปนักแล้ว ทั้งองค์ประกอบที่อยู่กับที่ (Stator) และ ที่หมุน (Rotor) จะต้องมีจำนวนฟัน (teeth) มากพอสมควร และซี่ฟันจะต้องสามารถนำความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กที่ค่อนข้างสูงได้ ซึ่งวิธีปฏิบัติที่สามารถจะนำมาสร้างสเตปปิ้งมอเตอร์จนนำมาใช้งานทั่วไปได้นั้นมีเพียงไม่กี่วิธี และในปัจจุบันเราก็สามารถแบ่งชนิดของสเตปปิ้งมอเตอร์ได้เป็น 3 ชนิดอย่างกว้างๆ คือ

1. VR MOTOR
2. PM STEPPING MOTOR
3. HYBRID STEPPING MOTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

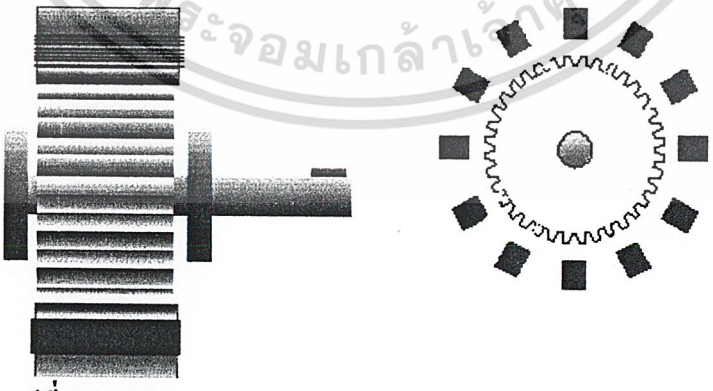
แม้ว่าโครงสร้างภายในของมอเตอร์ที่มีอยู่ในท้องตลาดจะมีลักษณะแตกต่างกันแต่จากคุณสมบัติของมันเมื่อพิจารณาจากขั้วต่อ (terminal behavior) จะสามารถแยกออกได้ว่า เป็นชนิดใดชนิดหนึ่งในสามชนิดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

คุณสมบัติที่สำคัญของสเตปปิ้งมอเตอร์ คือ ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาแบบสวิทชิ่งเป็นการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ ที่แน่นอน แม่นยำ และกำหนดค่าได้ ความสามารถที่จะกำหนดให้โรเตอร์เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งที่แน่นอนตำแหน่งหนึ่งนั้น เกิดจากแรงแม่เหล็กระหว่างฟันของสเตเตอร์กับโรเตอร์ สำหรับไฮบริดมอเตอร์ แหล่งกำเหนิดหลักของฟลักซ์แม่เหล็ก คือ แม่เหล็กถาวรและไฟฟ้ากระแสตรงในขดลวดเดียวหรือหลายขด ส่วนแวริเอเบิ้ลรีลัคแตนซ์มอเตอร์นั้นมีโครงสร้างสองแบบ ซึ่งสนามแม่เหล็กของทั้งสองแบบนี้เกิดขึ้นโดยกระแสไฟฟ้า ตรงในขดลวดเพียงอย่างเดียว

## 2.3 โครงสร้างและการทำงานของ Stepping Motor

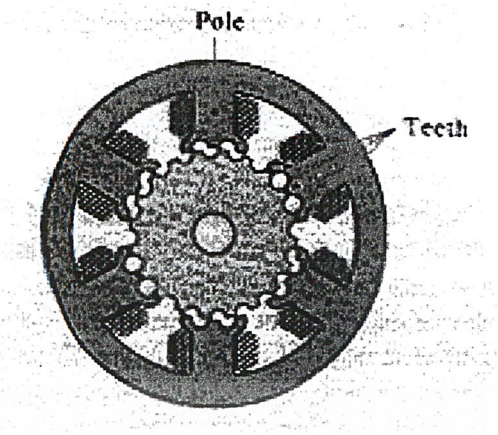
### 2.3.1.VR MOTOR

STEPPING MOTOR แบบ VARIABLE-RELUCTANCE หรือเรียกว่า VR MOTOR ซึ่งเป็น STEPPING MOTOR อย่างง่าย ๆ โครงสร้างภายในของ VR MOTOR แสดงดังรูป 2.2 เราจะใช้ภาพตัดขวางรูปที่ 2.3 อธิบายส่วนต่าง ๆ ขอมอเตอร์ชนิดนี้ มอเตอร์ชนิดนี้เป็นมอเตอร์ 1 เฟส มีสเตเตอร์และโรเตอร์ สเตเตอร์แต่ละคู่จะอยู่ตรงข้ามกันในเฟสเดียวกัน ขดลวดที่พันจะต่ออนุกรมกัน โรเตอร์และ สเตเตอร์ทำจากแผ่น SILICON STEEL วัสดุที่ใช้ทำโรเตอร์ และสเตเตอร์ ต้องมีค่า PERMEABILITY สูงและสามารถให้ FLUX แม่เหล็กสูง



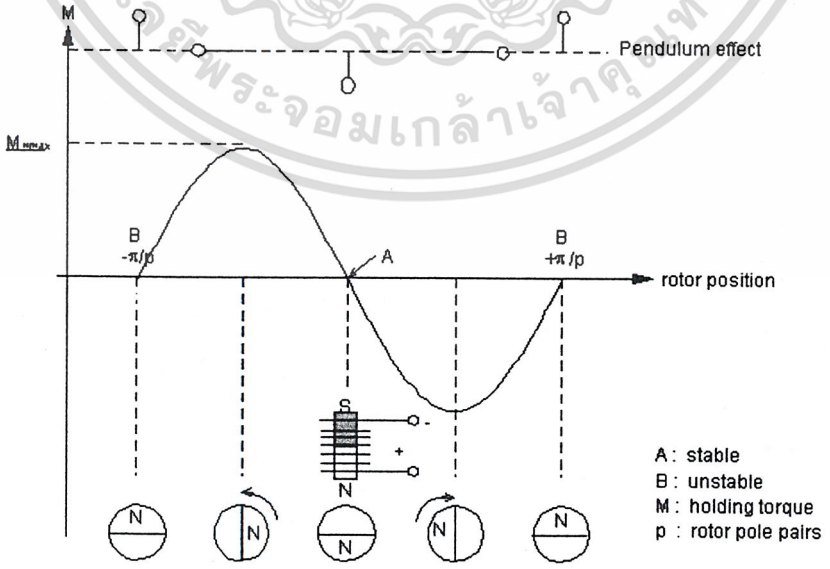
**รูปที่ 2.2 CUT AWAY VIEW OF A SINGLE-STACK VR MOTOR**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.3 แบบจำลองภาคตัดขวางของ VR STEPPING MOTOR แบบ 3 เฟส และการวางตำแหน่งของขดลวด**

จะสังเกตได้ว่าคู่ของ สเตเตอร์ในเฟสเดียวกันจะมีขั้วตรงข้ามคือ ซีก I, II, III เป็นขั้วเหนือ และซีก I, II, III เป็นขั้วใต้ กระแสที่จ่ายให้มอเตอร์จะถูกควบคุมโดย SWITCH เมื่อขดลวดเฟสถูกกระตุ้น ฟลักส์แม่เหล็กจะเกิดขึ้นตามรูปที่ 2.4 (จุด A) โรเตอร์จะอยู่ในสภาวะสมดุล ถ้าโรเตอร์ถูกแรงภายในทำให้เสียสมดุลย์ก็จะมีแรงบิดเนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กด้านในทิศทางตรงข้าม(RESTORING TORQUE) ตามรูปที่ 2.4 เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กจะพยายามทำตัวเองให้สั้น และเป็นเส้นตรงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นในรูปที่ 2.4 เส้นแรงแม่เหล็กจะพยายามทำตัวให้ตรง ดังนั้นจึงมีแรงด้านในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (CCW) เพื่อให้โรเตอร์อยู่ตรงกับสเตเตอร์มากที่สุด



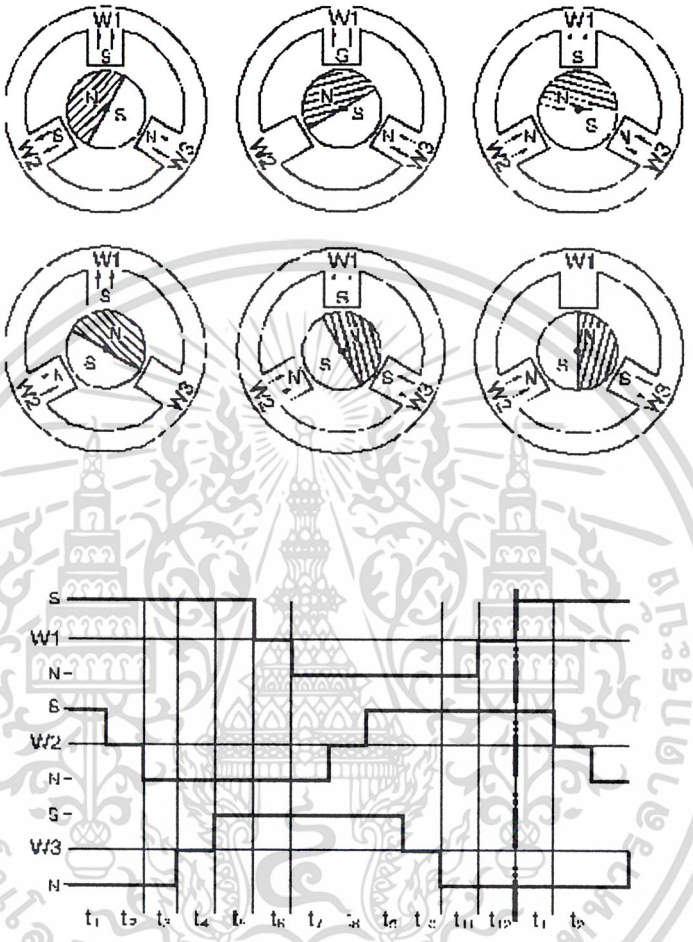

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.4 เส้นโค้งของสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรงบิด**

ในทำนองเดียวกัน ถ้าโรเตอร์และสเตเตอร์ อยู่ไม่เป็นแนวเดียวกัน เฟสที่ถูกกระตุ้นจะมีค่าความต้านทานแม่เหล็ก (MAGNETIC RELUCTANCE) สูง VR MOTOR จะให้ค่าความต้านทานแม่เหล็ก มีค่าต่ำที่สุด จากรูปที่ 2.5 เมื่อเฟส 1 หยุดทำงาน และเฟส 2 ทำงาน โรเตอร์จะหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (CCW) เพื่อทำให้ค่าความต้านทานแม่เหล็กต่ำที่สุด การที่มอเตอร์เคลื่อนที่ไปนี้จะเรียกว่า มอเตอร์เคลื่อนไป 1 สเตป (step) การเคลื่อนที่แต่ละสเตป (step) แสดงดังรูปที่ 2.6

**รูปที่ 2.5 ลักษณะของการเคลื่อนที่ไป 1 สเตปเมื่อการกระตุ้นถูกเปลี่ยนจากเฟส 1 ไปเฟส 2**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

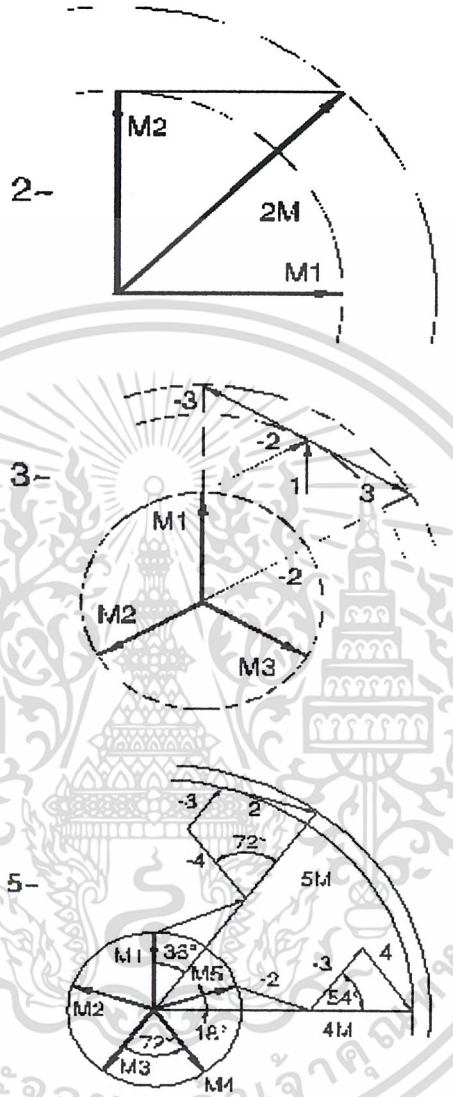



**รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่แต่ละสเตปในรูปแบบของการสับสวิชท์ ใน VR MOTOR แบบ 3 เฟส**

การพิจารณาโครงสร้างต่างๆของ VR MOTOR

1.AIR-GAP ควรจะมีระยะห่างน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ช่องว่างระหว่างซีกโรเตอร์และสเตเตอร์ใน STEPPING MOTOR ต้องเล็กที่สุดเท่าที่เป็นไปได้เพื่อให้ได้แรงบิดสูงและตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่ถูกต้อง ถ้าเปรียบเทียบระหว่าง AIR-GAP ที่กว้างและแคบดังในรูป 2.7 เมื่อระดับของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (MAGNETROMOTEVE FORCE) เท่ากัน AIR-GAP ที่เล็กกว่าจะให้ฟลักซ์แม่เหล็กมากกว่าซึ่งจะได้ TORQUE ที่สูงกว่า ขนาดของ AIR-GAP ในมอเตอร์สมัยใหม่มีค่าระหว่าง 30-100 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.7 COMPARISON OF FLUX LINES IN A LONG AND A SHORT GAP**

2. มุมของสเตปที่เล็ก ลักษณะอย่างหนึ่งที่ไม่เหมือนใครของ STEPPING MOTOR ก็คือ STEP ของการเคลื่อนที่เป็นมุมที่เล็กมาก มอเตอร์ในรูปที่ 2.3 เคลื่อนที่ 30 องศาต่อสเตป ส่วนความสัมพันธ์ของมุม 1 STEP $\theta_m$ จำนวนเฟส m ซีก โรเตอร์ $N_r$ และจำนวน STEP กำหนดโดย

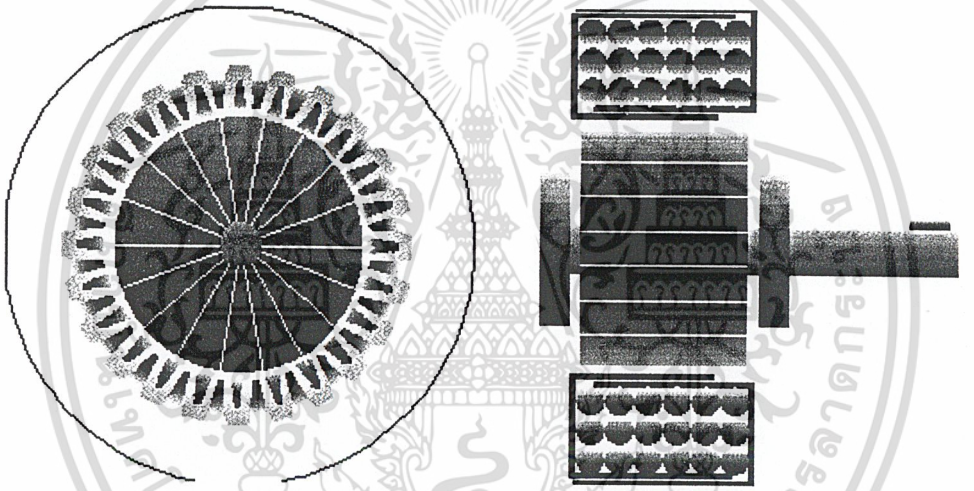
$$S = 360/\theta_m = mN_r$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2. PM STEPPING MOTOR

STEPPING MOTOR ที่โรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรจะเรียกว่า PERMANENT MAGNATIC MOTOR (PM) แสดงในรูปที่ 2.8 เป็นตัวอย่างของมอเตอร์ 4 เฟส ที่โรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร โดยใช้แม่เหล็กถาวรรูปทรงกระบอกทำโรเตอร์ ส่วนสเตเตอร์ 4 ซีกพันด้วยขดลวด ในรูปที่ 2.9 แสดงถึงรูปแบบของวงจรขับมอเตอร์ (DRIVER CIRCUIT) โดยขั้ว C ที่แต่ละเฟสถูกต่อเข้ากับขั้วบวกของ ไฟเลี้ยง ถ้าเฟสของมอเตอร์ถูกกระตุ้น จาก PH 1 => 2 => 3 ... ไปตามลำดับ จะทำให้โรเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (CW) ตามรูปที่ 2.10 โดยมีมุมในการ

เคลื่อนที่เท่ากับ 90 องศา/STEP และถ้าจำนวนซีกของสเตเตอร์ และขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์เพิ่มเป็น 2 เท่า มุมในการเคลื่อนที่จะเป็น 45 องศา/STEP



**รูปที่ 2.8 CROSS-SECTION MODEL OF A FOUR-PHASE PM MOTOR**

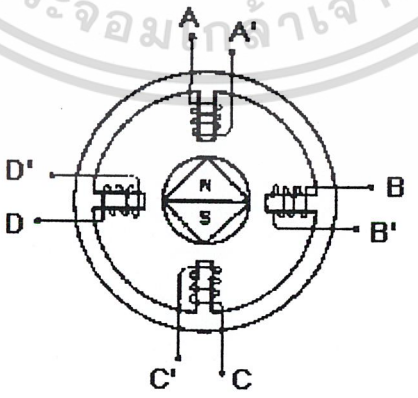
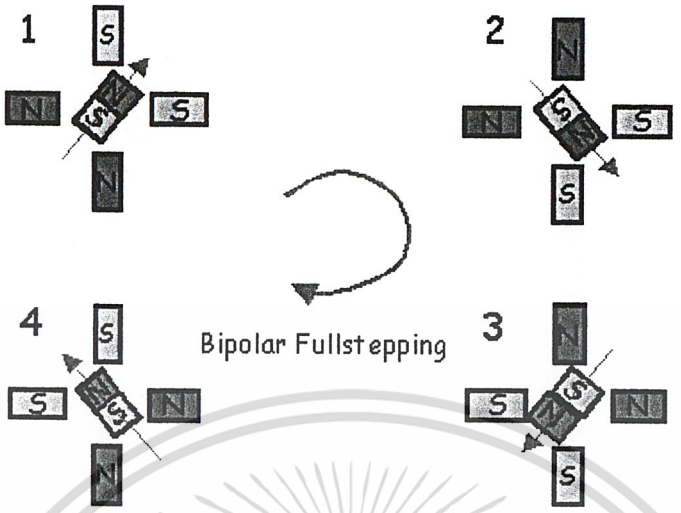



Figure 6:Permanent Magnet Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.9 BASIC DRIVE CIRCUIT FOR A FOUR-PHASE MOTOR**

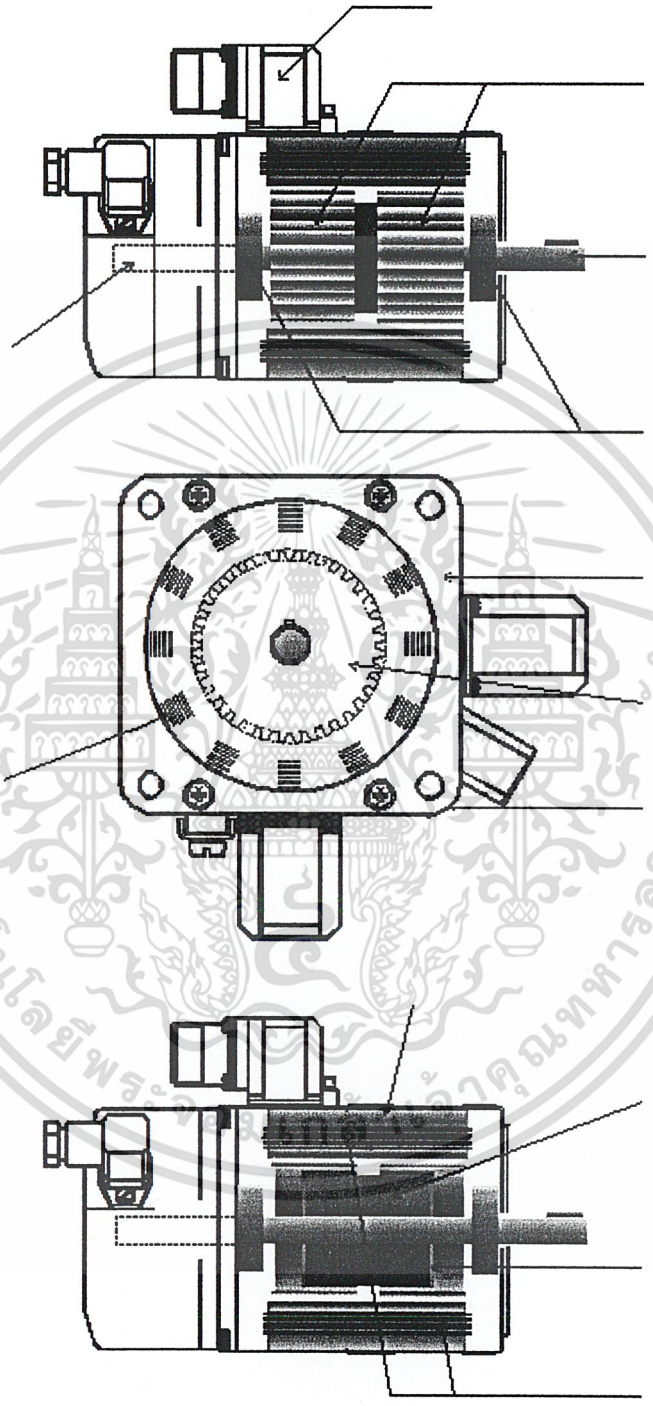



**รูปที่ 2.10 STEPS IN A FOUR-PHASE PM MOTOR**

### 2.3.3. HYBRID STEPPING MOTOR

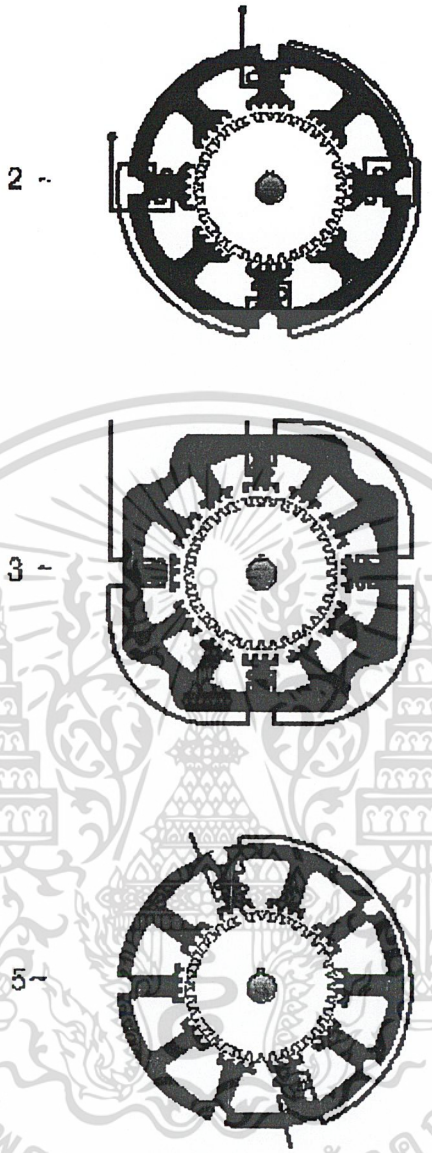
STEPPING MOTOR อีกแบบหนึ่งที่ใช้โรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร คือ HYBRID MOTOR คำว่า "HYBRID" มาจากการที่มอเตอร์ทำงานโดยใช้หลักของแม่เหล็กถาวรและมอเตอร์แบบ VARIABLE-RELUCTANCE รูปตัดมอเตอร์แสดงในรูปที่ 2.11 และ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.11 CUT AWAY VIEW OF A HYBRID MOTOR**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.12 โครงสร้างของ HYBRID MOTOR**

โครงสร้างของ สเตเตอร์ เหมือนกับ VR แต่การพันขดลวดและการต่อห่างจาก VR MOTOR คือใน VR MOTOR ขดลวด 1 ชุด จะพันกับ POLE 1 POLE และ 1 PHASE ขณะที่ HYBRID MOTOR 4 PHASE จะมี COIL 2 ชุด ที่เฟสต่างกันพื้นที่ POLE เดียวกัน ดังเช่น ในรูปที่ 2.12 ดังนั้น 1 POLE จะเป็นได้ทั้ง 2 PHASE

ขดลวดที่พันในลักษณะดังกล่าวเรียกว่า BIFILAR ซึ่งจะกล่าวต่อไป โดยทั่วไปมอเตอร์แบบ HYBRID นี้ในทางอุตสาหกรรมที่นิยมใช้จะเป็น 4 PHASE 200 STEP หมุน 1.8 องศา/STEP ส่วนมอเตอร์อื่นๆจะเป็น 2 องศา/STEP หรือ 5 องศา /STEP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

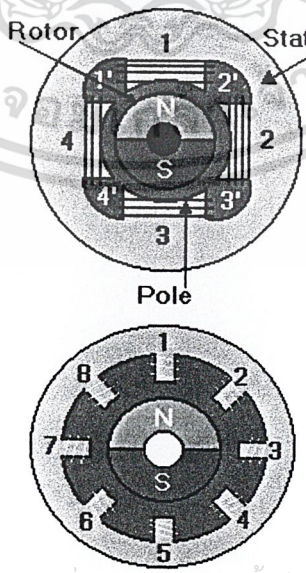
## 2.4 การกระตุ้นเฟสขดลวดสเตเตอร์

เมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งของมอเตอร์ ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟตรง (Direct Current DC) ที่สเตเตอร์ก็จะเกิดความเป็นแม่เหล็กขึ้นและดึงให้ฟันของโรเตอร์ที่อยู่ใกล้กับเฟสนั้นที่สุดให้มาตรงกับฟันของสเตเตอร์ที่ถูกกระตุ้น เพราะตำแหน่งนี้คือตำแหน่งที่มี Reluctance ต่ำที่สุดและมอเตอร์จะอยู่ในสภาวะคงตัว

รูปที่ 2.13 ก. แสดงให้เห็นตำแหน่งของโรเตอร์เมื่อเฟส C ถูกกระตุ้น ถ้าหากว่าตัดไฟจากเฟส C แล้วกระตุ้นเฟส B แทนที่จะทำให้ฟันของโรเตอร์ที่อยู่ใกล้เฟส B ที่สุดถูกดึงเข้ามาตรงกับฟันสเตเตอร์ของเฟส B ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.13 ข. การเปลี่ยนเฟสนี้จะทำให้มอเตอร์หมุนไป 1 ขั้น ซึ่งในกรณีนี้ 1 ขั้นจะเท่ากับ 15 องศาในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

การกระตุ้นเฟส A ตามรูปที่ 2.13 ค. จะทำให้มอเตอร์หมุนไปอีก 15 องศาในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา แต่ถ้าหากว่ากระตุ้นเฟส C แทนที่จะกระตุ้นเฟส A มอเตอร์ก็จะหมุนกลับไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาหนึ่งขั้น และตำแหน่งของโรเตอร์จะกลับไปที่ตำแหน่งเดิมในรูปที่ 2.13 ก.

เมื่อมีการกระตุ้นเฟส B และหยุดกระแสไฟที่เฟส C มอเตอร์จะหมุนไปที่หนึ่งขั้นเป็นมุมที่แน่นอน มุมนี้เรียกว่า มุมสเตป (Step Angle) และถ้าหากว่าเฟส A ถูกกระตุ้นและหยุดการกระตุ้นที่เฟส B ในเวลาต่อมาก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปอีกหนึ่งสเตป ดังนั้นตำแหน่งเชิงมุมของโรเตอร์สามารถจะควบคุมได้โดยการเลือกจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แต่ละเฟสตามลำดับ ถ้าหากว่าการสลับเฟสไปอย่างต่อเนื่อง ทิศทางการหมุน และความเร็วเฉลี่ยก็สามารถควบคุมได้โดยระบบสลับเฟส ซึ่งระบบสลับเฟสนี้อาจเป็นไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ หรือระบบลอจิกไฟฟ้าก็ได้ จำนวนสเตปต่อรอบสามารถหาได้จากข้อมูลทางเรขาคณิตของมอเตอร์ ดังตัวอย่างต่อไปนี้



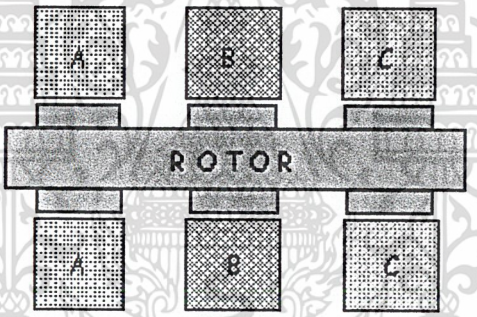

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.13 โครงสร้างภายในของสเตปมอเตอร์แบบ VR**

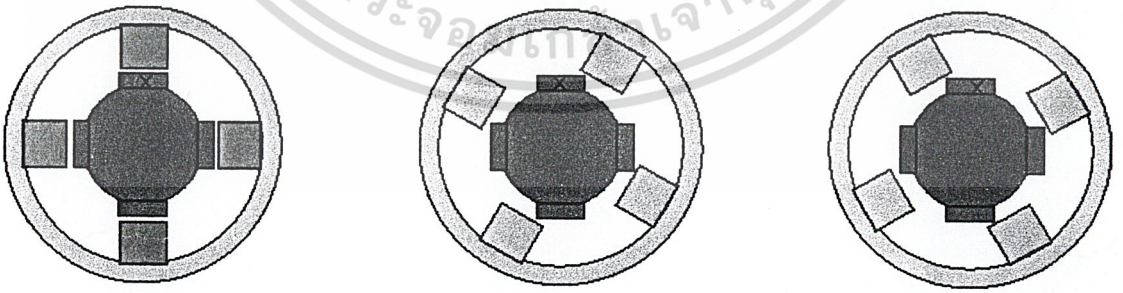
สมมติว่าลำดับการกระตุ้นของมอเตอร์เริ่มจากเฟสหนึ่งของมอเตอร์ที่มี m เฟส เมื่อกระตุ้นไปจนครบ m เฟสแล้ว และเฟสที่เริ่มต้นถูกกระตุ้นอีกครั้งก็หมายความว่ามอเตอร์หมุนไปแล้วเป็นจำนวน m สเตป ขณะที่ตัวโรเตอร์จะหมุนไป 1 ช่องฟันพอดี การที่ต้องใช้การกระตุ้น m ครั้ง เพื่อหมุนมอเตอร์ไปหนึ่งช่องฟันนั้นการหมุนหนึ่งรอบเต็มจึงต้องใช้การกระตุ้นเป็นจำนวน $mN_r$ ครั้ง โดยที่ $N_r$ เป็นจำนวนฟันของโรเตอร์

ดังนั้นจำนวนสเตปต่อรอบ S จะเท่ากับ $mN_r$ ในรูปที่ 2.16 ค่าของ $N_r = 8$ และ $m = 3$ ซึ่งก็จะทำให้ค่า $S = 8 * 3 = 24$ สเตปต่อรอบ มุมสเตปจึงเป็น $360/24 = 15$ องศา

มอเตอร์ในรูปที่ 2.13 เป็นมอเตอร์แบบชั้นเดียว โดยที่ทั้งสามเฟสอยู่ในระนาบเดียวกันหมด มอเตอร์อีกแบบหนึ่งคือแบบหลายชั้น (Multi-Stack) ซึ่งแต่ละชั้นจะหมายถึงหนึ่งเฟส และ โรเตอร์กับสเตเตอร์จะมีจำนวนฟันเท่ากัน รูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นถึงภาคหน้าตัดตามยาวของมอเตอร์แบบ 3 ชั้น และรูปหน้าตัดทางขวาง แสดงไว้ในรูปที่ 2.15 ในรูปนี้ฟันของสเตเตอร์จะจัดเป็น 4 กลุ่ม และฟันของโรเตอร์จะจัดเรียงอย่างสม่ำเสมอ ฟันสเตเตอร์และโรเตอร์มีมุมเท่ากัน ดังนั้นจึงจัดเรียงดังในรูปได้




**รูปที่ 2.14 ภาคหน้าตัดตามยาวของสเตปมอเตอร์แบบหลายชั้น**

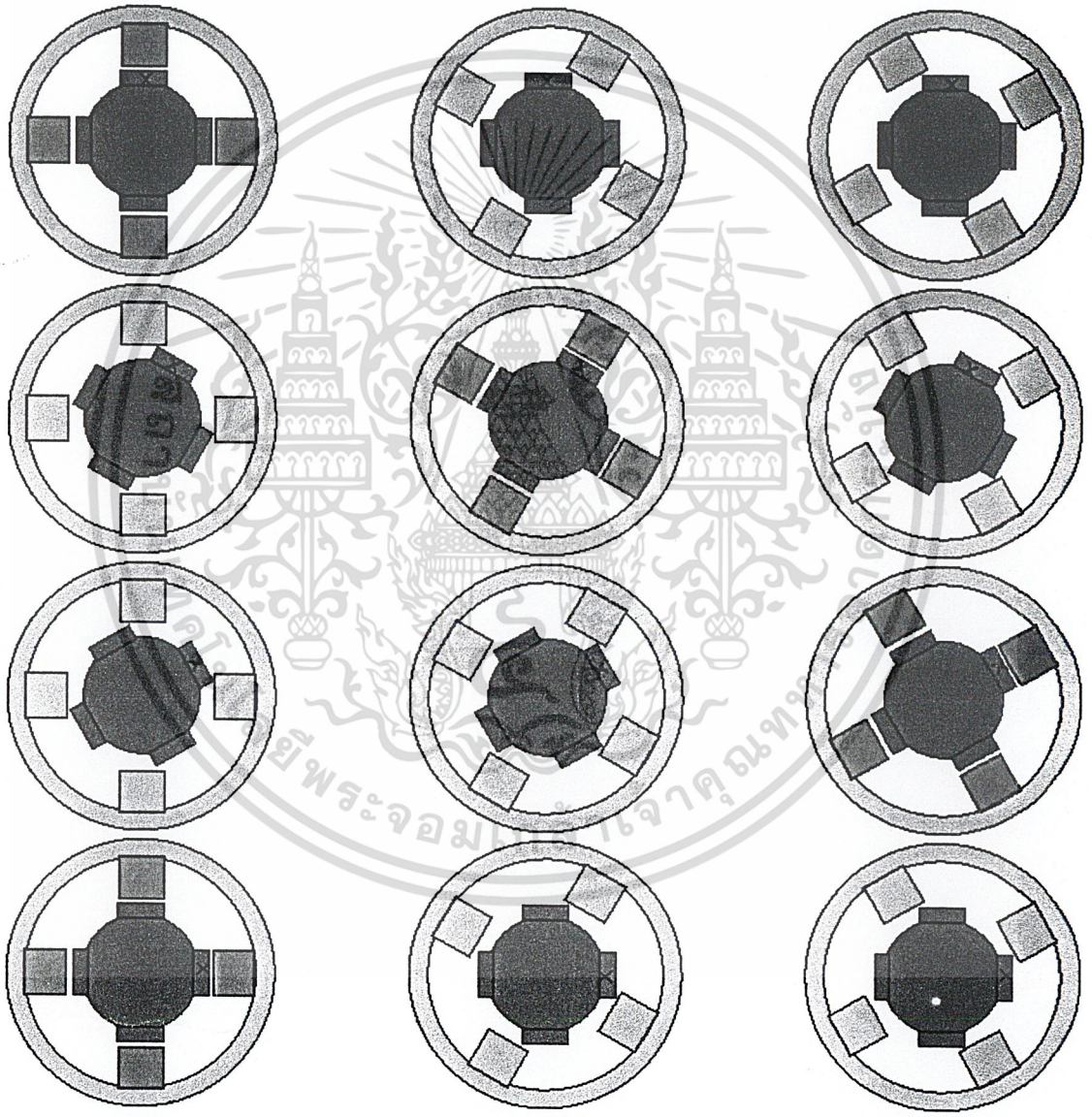


**รูปที่ 2.15 ภาคหน้าตัดตามขวางของสเตปมอเตอร์แบบหลายชั้น**

การจัดเรียงของโรเตอร์ในทั้งสามชั้นของมอเตอร์แบบนี้จะตรงกันหมด แต่สเตเตอร์ของแต่ละอันจะเยื้องกันเป็นมุม $360/mN_r$ เมื่อ $N_r$ เป็นจำนวนฟันของโรเตอร์ และ m คือจำนวนเฟส หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนชั้นของมอเตอร์ สำหรับมอเตอร์สามชั้นในรูปที่ 2.15 นั้น ถ้าคลี่ออกมาจะเห็นเป็นรูปที่ 2.16 โดยอยู่ในสภาพที่โรเตอร์จะตรงกับฟันของสเตเตอร์ A ถ้าหากว่าเฟส B ถูกกระตุ้น โรเตอร์จะหมุนไป 10 ในทิศทางที่แสดงไว้ในรูป และถ้าหากว่ากระตุ้นเฟส C โรเตอร์จะหมุนกลับทางไป 10 การกระตุ้นด้วยลำดับ A B C A B จะทำให้มอเตอร์หมุนไปทิศทางที่บ่งไว้ในรูป และการกระตุ้นด้วยลำดับ A C B A C จะทำให้หมุนกลับทิศทาง ดังนั้นการควบคุมทิศทางจะทำได้สำหรับมอเตอร์ที่มีสามเฟสหรือมากกว่า



**รูปที่ 2.16 ตำแหน่งของโรเตอร์และสเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 ชั้น**

มอเตอร์แบบสเตปเปอร์นี้สามารถจะมีมุมสเตปน้อยได้ สำหรับมอเตอร์ที่ใช้กันมากอาจมีโรเตอร์ที่มีฟัน 50 ฟัน และขับด้วยดอยล์ 4 เฟส ซึ่งก็ทำให้ได้มุมสเตปเป็น 1.8 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



โดยทั่วไปการกระตุ้นเฟสของขดลวดสเตเตอร์มีอยู่ 3 แบบคือ

1. การกระตุ้นเฟสเดียวเรียกว่า single phase excitation ดังรูปที่ 2.20
2. การกระตุ้นสองเฟสเรียกว่า two phase excitation ดังรูปที่ 2.21
3. การกระตุ้นเฟสโดยใช้แบบ 1 และ 2 สลับกันเรียกว่า แบบ one-two-phase excitation หรือแบบ half step excitation ดังรูปที่ 2.22

| สัญญาณclockที่ | R | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เฟสที่ 1 | X | | | X | | | X | | |
| เฟสที่ 2 | | X | | | X | | | X | |
| เฟสที่ 3 | | | X | | | X | | | X |

**ตารางที่2.20 แสดงการกระตุ้นแบบเฟสเดียว**

| สัญญาณclockที่ | R | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เฟสที่ 1 | X | X | | X | X | | X | X | |
| เฟสที่ 2 | | X | X | | X | X | | X | |
| เฟสที่ 3 | | | X | X | | X | X | | |

**ตารางที่ 2.21 แสดงการกระตุ้นแบบสองเฟส**

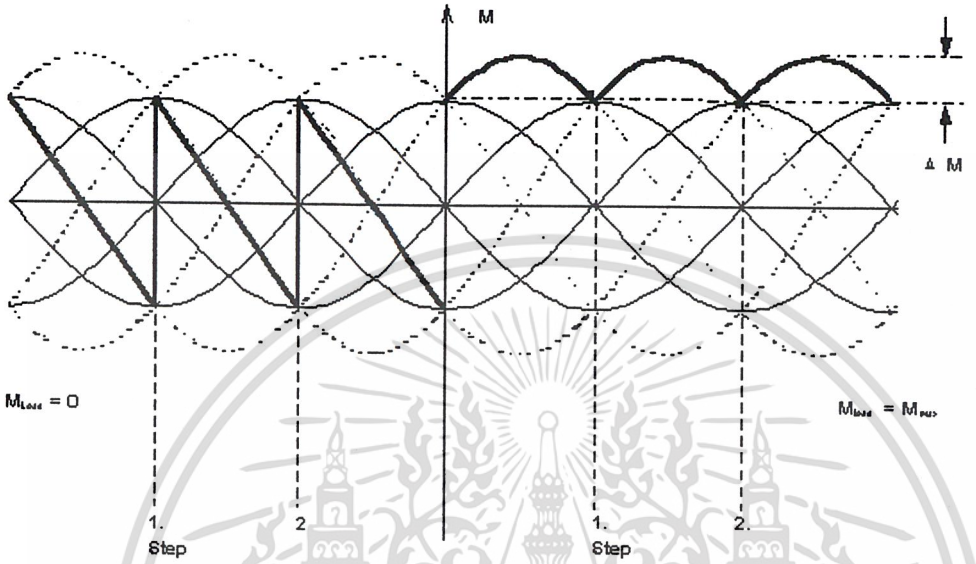
| สัญญาณclockที่ | R | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เฟสที่ 1 | X | X | | | | | X | X | X |
| เฟสที่ 2 | | X | X | X | | | | | X |
| เฟสที่ 3 | | | | X | X | X | | | |

**ตาราง 2.22 แสดงการกระตุ้นแบบครึ่งสเตป**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50236

ในทางขับแบบกระตุ้น 2 เฟส เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ผ่านแกนเหล็กเป็นเส้นตรงเลยทีเดียว เหมือนแบบกระตุ้นเฟสเดียว แต่จะวกกลับมาเข้าสู่ด้านข้างๆ ดังรูปที่ 2.23




**รูปที่ 2.17 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อขับแบบ 2 เฟส**

การขับสเตปปิ้งมอเตอร์แบบกระตุ้น 2 เฟสนี้มีลักษณะเดียวกับแบบกระตุ้นเฟสเดียว แต่ในการกระตุ้นแต่ละครั้งนั้นจะกระตุ้นทีเดียวพร้อมกันทั้ง 2 เฟส จะต่างกันตรงที่การขับแบบ 2 เฟส เข้าตำแหน่งได้เร็วกว่าแบบเฟสเดียว และแรงบิดมากกว่าการขับแบบเฟสเดียวด้วย

## 2.5 ตัวแปรที่สำคัญของมอเตอร์

มุมสเตป (Step Angle): การขับสเตปมอเตอร์นั้นกระทำได้โดยการกระตุ้นแต่ละเฟสตามลำดับและในการเปลี่ยนเฟสแต่ละครั้ง เพลาของมอเตอร์จะหมุนไปเป็นมุมที่มีค่าคงที่ มุมนี้เรียกว่ามุมสเตป หรือ $\theta_t$ สเตปมอเตอร์อาจมีมุมได้ดังต่อไปนี้คือ $18^\circ$,$15^\circ$,$7.5^\circ$,$5^\circ$,$2.5^\circ$,$2.0^\circ$,$1.8^\circ$,$0.9^\circ$ หรือ $0.72^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนสเตปต่อรอบ : ค่านี้คือ จำนวนสเตปรวมที่จะต้องใช้เพื่อหมุนมอเตอร์ไปหนึ่งรอบพอดี ดังนี้

$$\text{จำนวนสเตปต่อรอบ } S = 360/\theta_t$$

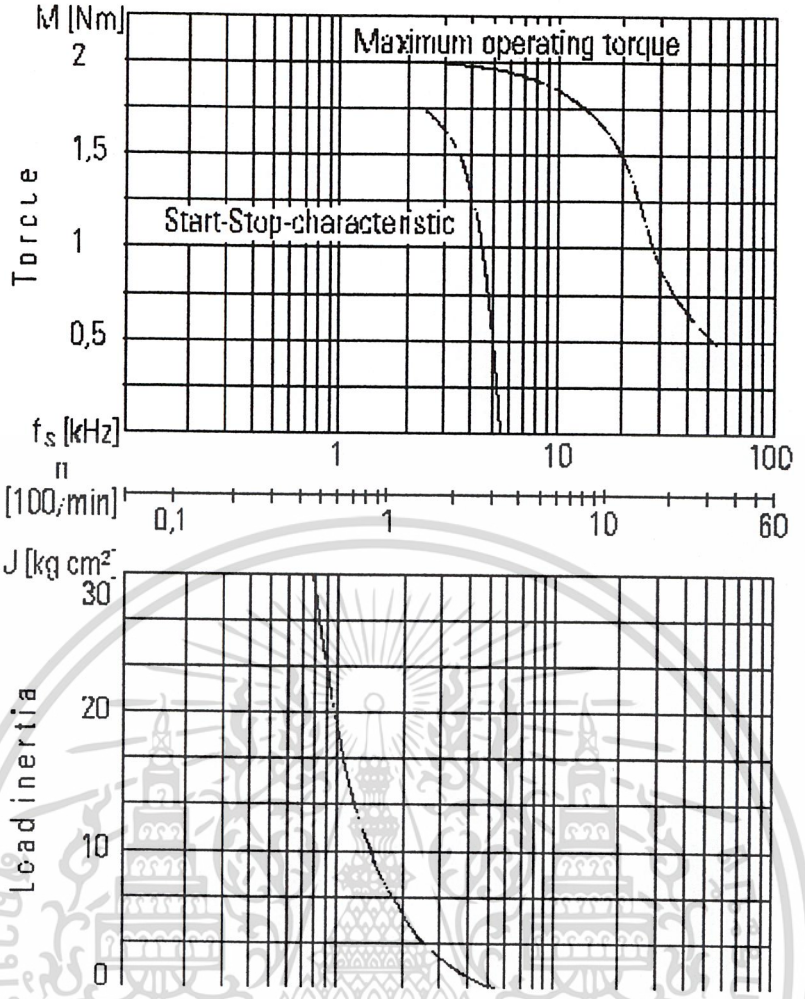
อัตราการสเตป (Stepping Rate) : ตัวเลขนี้ คือจำนวนสเตปต่อวินาทีซึ่งมอเตอร์ทำได้ที่แรงบิดใดแรงบิดหนึ่ง ถ้าหากว่าการขับมอเตอร์ใช้อัตราการสเตปสูงกว่าที่มอเตอร์จะทำได้ จะทำให้การควบคุมตำแหน่งมุมของมอเตอร์ผิดพลาดและการทำงานไม่ได้ผล มอเตอร์พิเศษบางชนิดอาจมีอัตราการสเตปสูงถึง 20,000 สเตปต่อวินาทีก็ได้

ความแน่นอนของสเตป (Step Accuracy) : ความแน่นอนในการสเตปของมอเตอร์ทั่วๆไปจะอยู่ในช่วง 7% ของมุมสเตป โดยความผิดพลาดนี้จะไม่ทวีคูณ ดังนั้นมอเตอร์ที่มุมสเตป $7.5^\circ$ จะสามารถควบคุมตำแหน่งเชิงมุมได้โดยมีความแน่นอน $0.5^\circ$ ไม่ว่าจะขับมอเตอร์ให้หมุนไป $7.5^\circ$ หรือว่า $7,500^\circ$ หรือ 1,000 สเตป ความผิดพลาดของมุมสเตปจะไม่ทวีคูณและจะมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์เมื่อแรงบิดคงที่ และจากการหมุนไปแล้วสี่เฟส สำหรับมอเตอร์แบบสี่เฟสนั่นก็เพราะว่า เมื่อหมุนไปสี่สเตป มอเตอร์จะกลับไปเฟสเดิมพอดี ซึ่งก็หมายความว่าโรเตอร์จะถูกดึงด้วยสเตเตอร์เดิมด้วยกระแสและแรงดันเดิม ดังนั้นถ้าต้องการความแน่นอนสูง การขับควรจะกระทำเป็นค่าที่หารด้วยสี่ลงตัว

แรงบิด (Torque) : แรงบิดที่มอเตอร์ใดๆ สามารถทำได้จะขึ้นอยู่กับอัตราการสเตป กระแสที่ใช้ขับ วิธีการขับ และการออกแบบวงจรขับ แรงบิดอาจแยกได้เป็น แรงบิดสถิตย์ (Static Torque หรือ Holding Torque) และแรงบิดจลน์(Dynamic Torque)

แรงบิดสถิตย์ (Holding Torque) : แรงบิดสถิตย์คือแรงบิดที่กระทำจากภายนอกเพื่อให้มอเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตปในขณะที่มอเตอร์หยุดนิ่ง และถูกกระตุ้นด้วยกระแสเต็มที่ตามข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์ ดังนั้นแรงบิดสถิตย์อาจแปลได้ว่าเป็นความสามารถในการเบรคหรือยึดโรเตอร์ไว้ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง แรงบิดสถิตย์นี้มักจะมีค่าสูงกว่าแรงบิดขณะหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.18 กราฟแรงบิดกับความเร็วของสเตปมอเตอร์ตัวหนึ่ง**

แรงบิดจลน์ (Dynamic Torque) : รูปที่ 2.18 แสดงถึงกราฟแรงบิดกับอัตราการสเตปของสเตปมอเตอร์ตัวหนึ่ง กราฟแรงบิดโดยทั่วไปแล้วจะมีสองเส้น เส้นหนึ่งคือ เส้นที่หมายถึงความสามารถของมอเตอร์ที่จะเริ่มหมุนโดยไม่มีการผิดพลาด (Start without Error) ซึ่งบางครั้งเส้นนี้เรียกว่าเป็นเส้นแรงบิดดึงเข้า (Pull-in Torque) กราฟเส้นนี้แสดงเป็นเส้นประ ในรูป อีกเส้นหนึ่งแสดงเป็นเส้นทึบคือ แรงบิดขณะหมุน(Running Torque) ซึ่งบางครั้งเรียกว่า แรงบิดดึงออก (Pull-out Torque) แรงบิดนี้คือ แรงบิดที่มอเตอร์ทำได้ขณะหมุน แต่ถ้ามอเตอร์เริ่มหมุนด้วยความเร็วนี้ทันทีก็อาจเกิดการหมุนข้ามสเตปได้ การที่จะไปถึงจุดแรงหมุนขณะบิดได้ การขับจะต้องค่อยๆ เร่งมอเตอร์จากแรงบิดดึงเข้าจนกระทั่งความเร็วถึงจุดแรงบิดดึงออก กราฟความเร็วกับแรงบิดเป็นตัวแปรสำคัญในการเลือกมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงานที่ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การเกิดออสซิสเลเตอร์ของสเตปปิ้งมอเตอร์

ความเร็วของการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์เป็นลิเนียร์กับความถี่ที่ป้อนให้สเตปปิ้งมอเตอร์ แต่เมื่อป้อนความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงความถี่ค่าหนึ่ง สเตปปิ้งมอเตอร์ก็จะหยุดหมุน เนื่องจากการที่โรเตอร์หมุนตามฟลักซ์แม่เหล็กไม่ทัน เรียกว่า มอเตอร์เกิดการออสซิลเลต ซึ่งมอเตอร์แต่ละตัวจะออสซิลเลตที่ความถี่ต่างกัน โดยทั่วไปจะออสซิลเลตที่ความถี่ประมาณ 500 $H_Z$ ในการขับแบบกระตุ้นแบบ 1 หรือ 2 เฟส และมีความถี่ประมาณ 1 $KH_Z$ เมื่อขับแบบครึ่งสเตป

แต่เมื่อลดความถี่ให้ต่ำลงมอเตอร์จะไม่หมุนทันทีและเมื่อลดความถี่ลงจนถึงความถี่หนึ่งมอเตอร์จึงเริ่มหมุนอีกครั้ง นั่นคือ มอเตอร์มีฮิสเทอรีซิส ซึ่งมอเตอร์จะเริ่มหมุนที่ความถี่ประมาณ 200 $H_Z$ ในการขับแบบ 1 หรือ 2 เฟส และมีความถี่ประมาณ 150 $H_Z$ เมื่อขับแบบครึ่งสเตป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

## 3.1 กล่าวนำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการควบคุม STEPPING MOTOR โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ( Personal Computer) ผ่านทางSerial Port และ Micro-controller (PC89C51RD2) ซึ่งจะมีการรับคำสั่งในการควบคุมมอเตอร์จากทาง โปรแกรม Visual Basic และมีการแสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ทางจอภาพ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic เป็นตัว compiler

## 3.2 ระบบที่ใช้ในการทำงาน

3.2.1เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ PC รุ่นใดก็ได้เป็นตัวประมวลผลกลาง ต้องมี Serial ว่าง 1 ช่องขึ้นไป

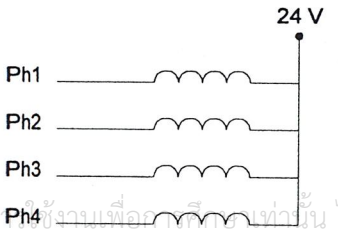
3.2.2 การเขียนโปรแกรมจะใช้โปรแกรม Visual Basic เป็นตัวควบคุมการทำงานจาก PC และ ใช้โปรแกรม Assembly เป็นชุดคำสั่งภายใน Micro-controller

## 3.3 หลักการทำงานของวงจรของ Micro-Controller ในการควบคุม stepping motor โดยใช้โปรแกรม Assemble

ปริญญานิพนธ์นี้จะ Micro-Controller 1 ตัวเป็นตัวประมวลผลกลาง รับชุดคำสั่งจาก Computer ผ่านทาง Serial Port

## 3.4 วงจรขับสเตปมอเตอร์

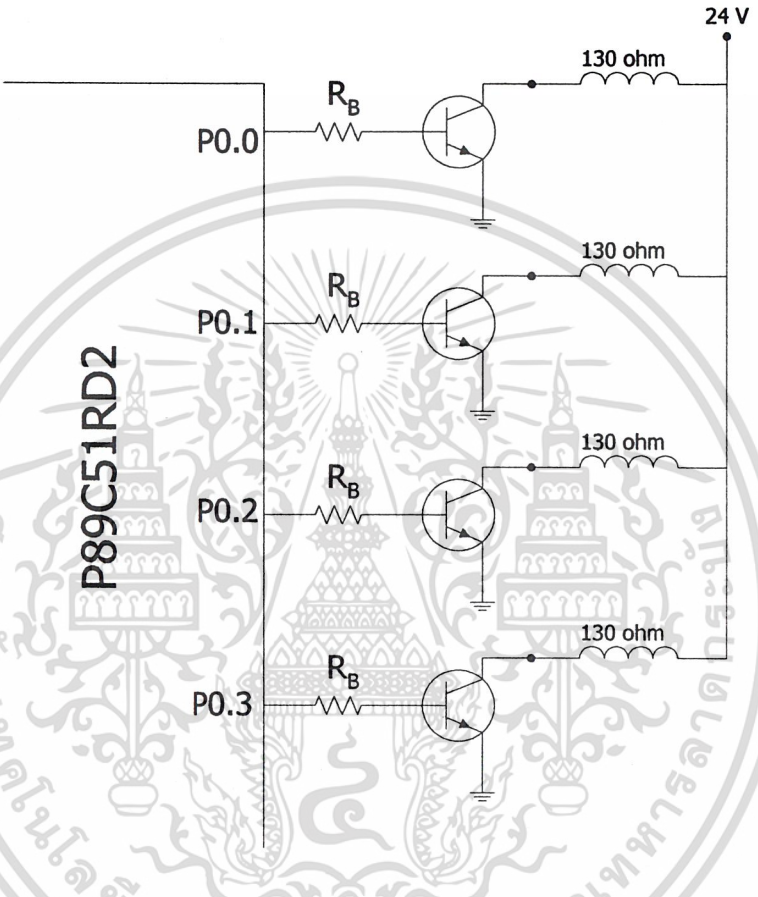
สเตปมอเตอร์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์นี้มีจำนวนเฟสทั้งหมด 4 เฟส ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 โวลต์ ความต้านทานของขดลวดในแต่ละเฟสมีขนาด 130โอห์ม และใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD 139 ในการขับมอเตอร์โดยให้ทำงานที่จุด saturation และ cutt off หรือทำงานในโหมด switch ลักษณะของมอเตอร์ที่ใช้งานมีโครงสร้างพื้นฐาน ดังแสดงในรูปที่ 3.2




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของสเตปมอเตอร์**

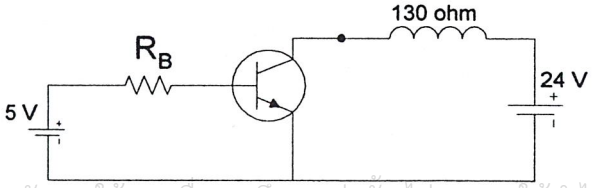
เมื่อทราบโครงสร้างพื้นฐานของสเตปมอเตอร์แล้วหลังจากนั้นก็ต่อขา collector ของทรานซิสเตอร์เบอร์ BD 139 เข้ากับแต่ละเฟสของขดลวด โดยต่อขา emitter ลง ground ส่วนขา base ต่อเข้ากับ $R_B$ และนำไปต่อเข้ากับขาพอร์ตของ IO ของ P89C51RD2 ดังแสดงในรูป 3.3




**รูปที่ 3.3 ลักษณะการต่อวงจรขับมอเตอร์เข้ากับแต่ละเฟสของขดลวดของมอเตอร์ 1 ตัว**

**การคำนวณหาค่า $R_B$**

จากที่กล่าวมาแล้วว่าปริญญานิพนธ์นี้จะกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในโหมด switch มีหลักการในการออกแบบคือให้ค่า $I_B$ มีค่ามากพอที่จะทำให้เกิด $I_C$ saturation




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 3.4 แสดงวงจรที่ใช้ในการคำนวณหาค่า $R_B$**

จากรูปแรงดัน 5โวลท์ที่ต่อเข้ากับ $R_B$ นั้นเป็นแรงดันที่จ่ายมาจาก P89C51RD2 ค่า Current Gain ของทรานซิสเตอร์เบอร์ BD139 นั้นมีค่าประมาณ 100 ( อ้างอิงจากหนังสือ ECG Semiconductors 16th Edition โดยการเทียบเบอร์จากหน้า 2-169 และดูค่า Current Gain หน้า 1-47 )

การคำนวณขั้นแรกให้หาค่า $I_C$ saturation ก่อนโ ดยการให้ค่า $V_{CE}$ มีค่าเท่ากับ 0 จะได้

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC}}{Rc}$$

จากรูป 3.4 $V_{CC}$ มีค่าเท่ากับ 24 V ส่วนค่า $R_C$ มีค่าเท่ากับ 130 $\Omega$

$$I_{Csat} = \frac{24}{130} = 184.62mA$$

เมื่อได้ค่า $I_C$ saturation แล้วก็นำมาคำนวณหาค่า $I_B$ saturation จาก

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

โดยค่า $\beta$ หรือค่า Current Gain ของทรานซิสเตอร์เบอร์ BD 139 มีค่าเท่ากับ 100 จะได้

$$I_{Bsat} = \frac{0.18462}{100} = 1.8462mA$$

เมื่อได้ค่า $I_B$ saturation แล้วต่อไปจะเป็นการหาค่า $R_B$ จาก

$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{EB}}{I_B}$$

โดยทั่วไปค่า $V_{EB}$ ของทรานซิสเตอร์มีค่าประมาณ 0.7 V และค่า $V_{BB}$ จากรูป 3.4 มีค่าเท่า กับ 5 V เมื่อแทนค่าเข้าไปจะได้ค่า $R_B$ มีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_B = \frac{5 - 0.7}{1.8462 * 10^{-3}} = 2.33k\Omega$$

ค่า $R_B$ที่ได้เป็นค่าที่ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในโหมด switching พอดี แต่ค่า current gain ของทรานซิสเตอร์เบอร์เดียวกันอาจมีค่าไม่เท่ากัน ในการออกแบบจะใช้ค่า $I_B > I_{Bsat}$ ในการคำนวณหาค่า $R_B$ ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้จะใช้ค่า

$$I_B = 2\ I_{Bsat}$$
$$= 2 * 1.8462 * 10^{-3}$$
$$= 3.6924mA$$

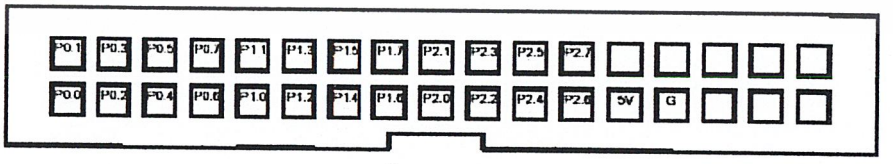
เมื่อได้ค่า $I_B$แล้วก็จะนำมาคำนวณหาค่า $R_B$ ที่ใช้

$$R_B = \frac{5 - 0.7}{3.6924 * 10^{-3}} = 1.165k\Omega$$

ซึ่งในวงจรขับมอเตอร์นี้จะใช้ค่า $R_B$ ประมาณ 1 k$\Omega$

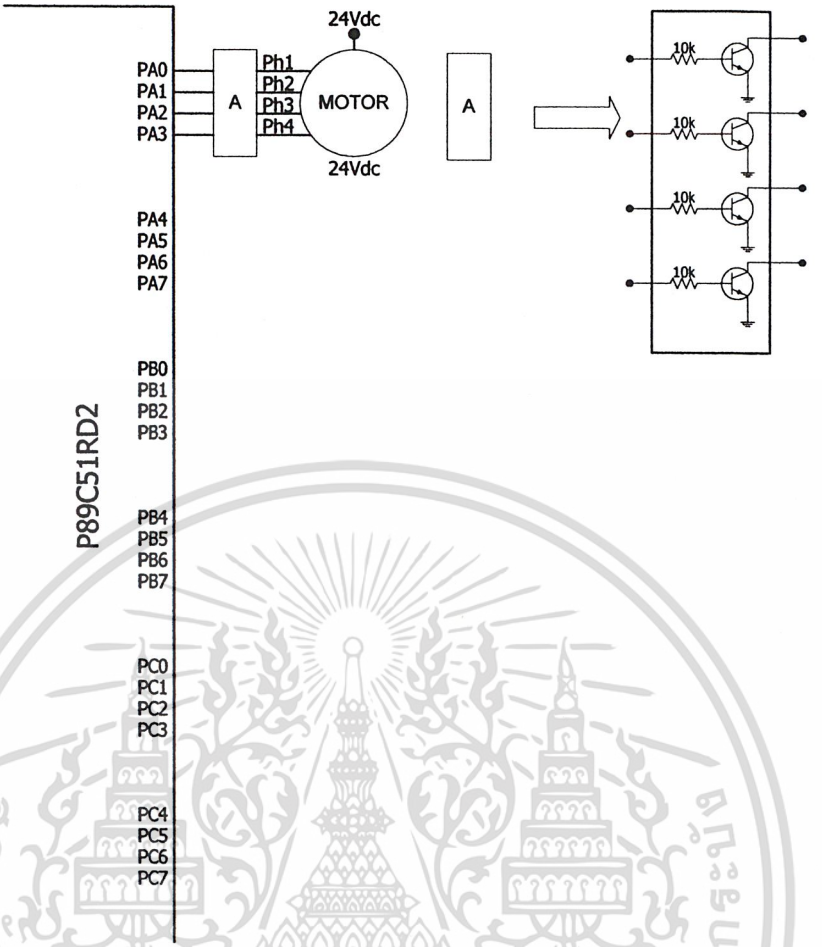
**3.4.1การกระตุ้นเฟสขดลวดสเตเตอร์**

ก่อนที่จะเข้าสู่วิธีการในการกระตุ้นขดลวดจะอธิบายการทำงานของ P89C51RD2 ในการควบคุมมอเตอร์แต่ละตัวก่อน การต่อ P89C51RD2 เข้ากับวงจรขับมอเตอร์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 แต่ในรูป 3.5 จะแสดงการต่อมอเตอร์เข้ากับพอร์ตของ P89C51RD2




a) ขั้วต่อ 72IOZ80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.5 แสดงการต่อมอเตอร์เข้ากับ Port IO ของ P89C51RD2**

**ตารางที่3.3 แสดงการกระตุ้นขดลวด**

| | R | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เฟสที่ 1 | X | | | | X | | | | X | | | |
| เฟสที่ 2 | | X | | | | X | | | | X | | |
| เฟสที่ 3 | | | X | | | | X | | | | X | |
| เฟสที่ 4 | | | | X | | | | X | | | | X |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการกระตุ้นขดลวดของมอเตอร์จะใช้การส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยัง P89C51RD2 และจาก P89C51RD2 ไปยังวงจรขับมอเตอร์ ดังแสดงตามตาราง 3.4

**ตารางที่3.4 แสดงการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์**

| | $D_7$ | $D_6$ | $D_5$ | $D_4$ | $D_3$ | $D_2$ | $D_1$ | $D_0$ | เลขฐาน10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เฟสที่1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| เฟสที่2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| เฟสที่3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| เฟสที่4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 |

**3.4.2การคำนวณหากำลังงานที่มอเตอร์ใช้**

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าสเตปมอเตอร์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์นี้มีจำนวนเฟสทั้งหมด 4 เฟส ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 โวลต์ ความต้านทานของขดลวดในแต่ละเฟสมีขนาด 130โอห์ม เพราะฉะนั้นค่ากำลังงานสูงสุดที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ในแต่ละเฟส มีค่าเท่ากับ

$$P = \frac{V^2}{R}$$

เมื่อแทนค่าเข้าไปจะได้

$$P = \frac{24^2}{130}$$

$$= 4.43 \text{ Watt}$$

เพราะฉะนั้นค่ากำลังสูงสุดที่สามารถจ่ายให้กับมอเตอร์มีค่า

$$P_{\max} = 4 * P$$

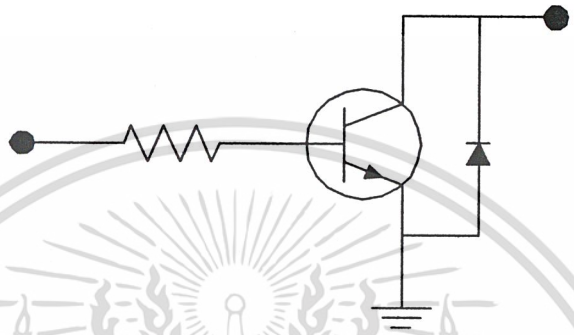
$$= 4 * 4.43 Watt$$

$$= 17.72 Watt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

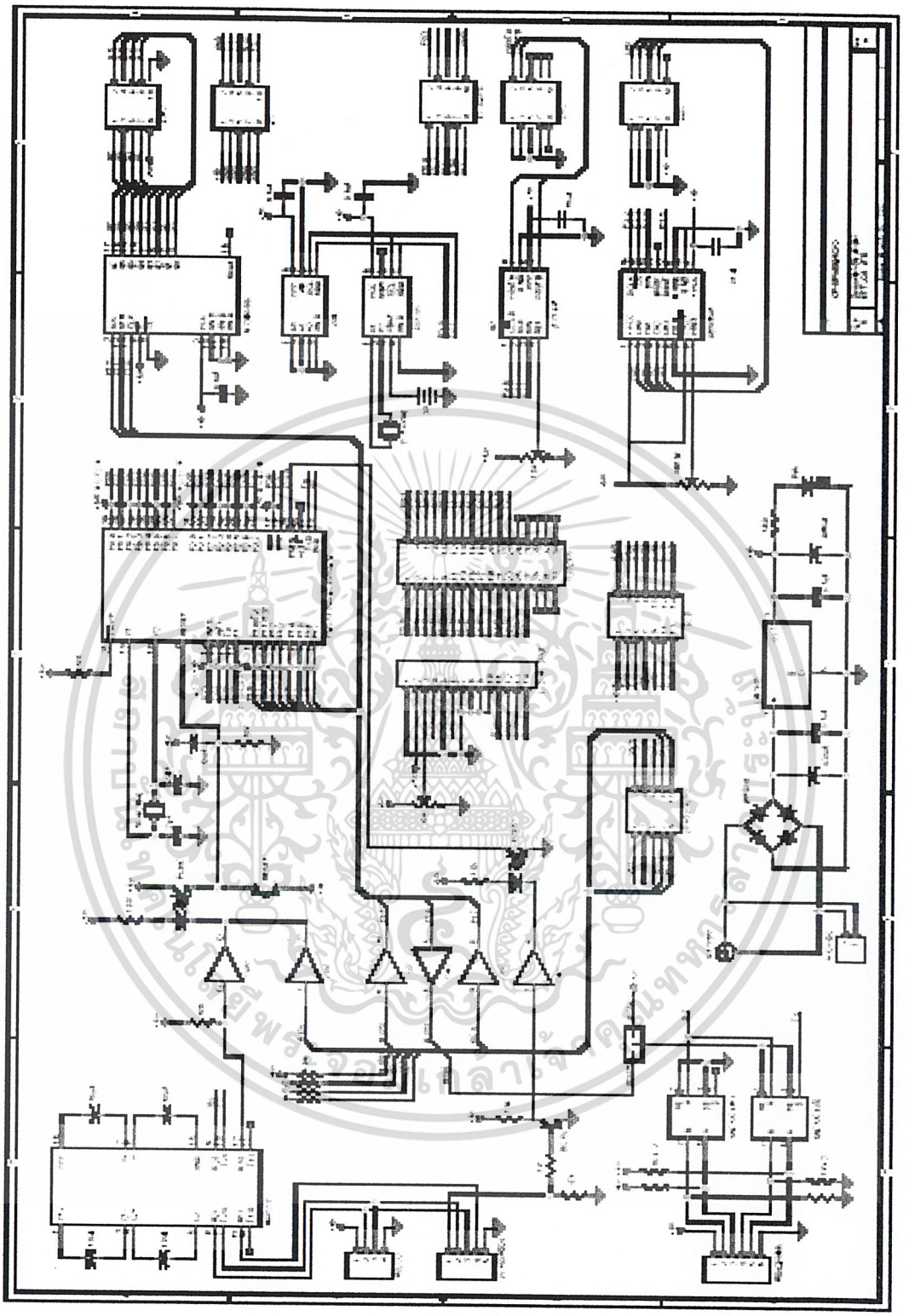
**3.4.3การต่อไดโอดเข้ากับวงจรขับมอเตอร์**

การต่อไดโอดเข้ากับวงจรขับมอเตอร์เพื่อป้องกันกระแสย้อนกลับมาทำลายทรานซิสเตอร์ เมื่อมอเตอร์หยุดหมุน ทันทีที่ทรานซิสเตอร์เข้าสู่สภาวะคัทออฟ กระแสจะต้องหยุดไหลในทันที แต่เนื่องจากกระแสไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด จึงเกิดกระแสส่วนหนึ่งเพื่อต้านการเปลี่ยนแปลงไหลกลับไปทำลายทรานซิสเตอร์ เมื่อต่อไดโอดเข้าไป ไดโอดจะทำการ Bypass กระแสให้ทรานซิสเตอร์ ลักษณะการต่อไดโอดเข้าไปในแต่ละเฟสมีลักษณะดังรูป 3.6



**รูปที่ 3.6 แสดงการต่อไดโอดเข้ากับทรานซิสเตอร์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

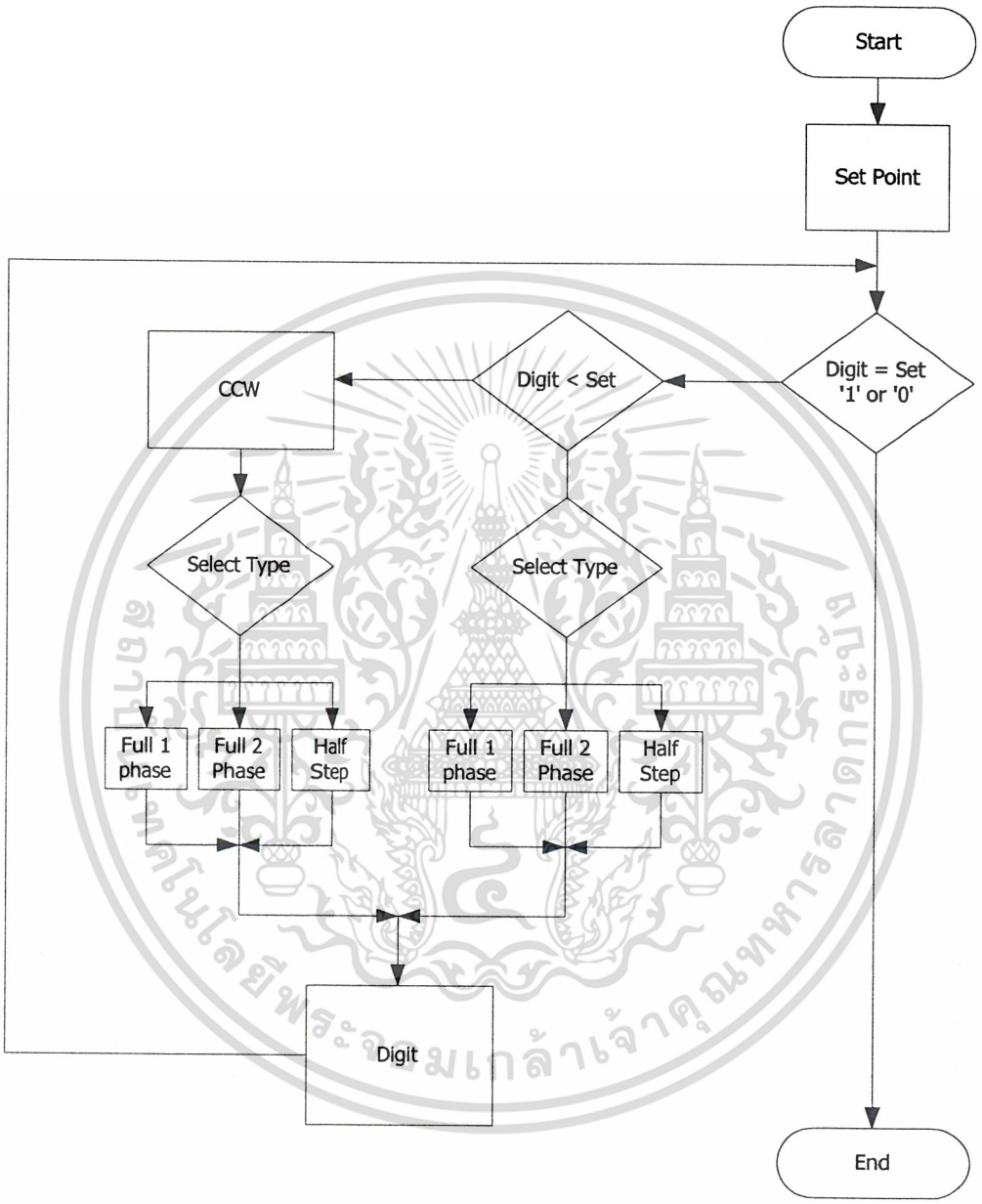


**รูปที่ 3.7 ผังการต่อวงจรบน Micro-Controller**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 การทำงานของโปรแกรม control motor

### 3.5.1 โครงสร้างของโปรแกรม




**รูปที่ 3.8 โครงสร้างของโปรแกรมแสดงดัง Block Diagram ต่อไปนี้**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# การแปลงสัญญาณเพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์

## 4.1 บทนำ

ในระบบคอมพิวเตอร์มีการทำงานเป็นแบบ ดิจิตอล เสมอโดยมีระดับสัญญาณเป็น 0 และ 1 แต่ในการประยุกต์ใช้งานจริง มักจะเกี่ยวข้องกับสัญญาณที่เป็น Analog สัญญาณ Analog เช่น Temperature, pressure ซึ่งในทาง อเลคทรอนิคส์ เราสามารถแปลงโวลท์เต็จให้อยู่ในรูปของสัญญาณเหล่านี้ได้ การจะเชื่อต่อเข้ากันได้กับสัญญาณดิจิตอล จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ analog ให้เป็น digital เพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกแบบ analog

## 4.2 การแปลงผันสัญญาณ analog เป็น digital (A/D หรือ ADC )

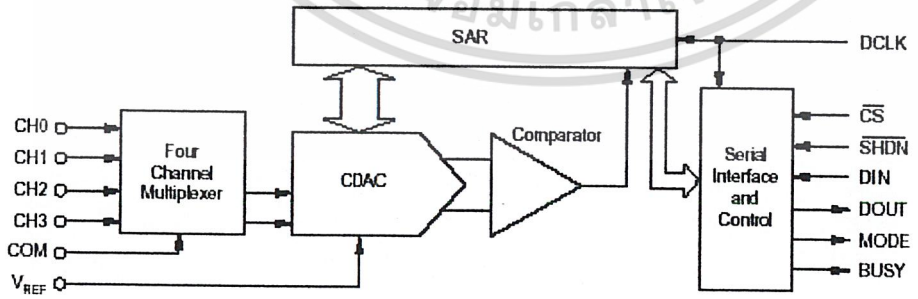
การแปลงผันสัญญาณ Analog เป็น Digital เรียนว่า ADC หรือ A/D เป็นการแปลงสัญญาณแรงดันในช่วงใดๆ เป็นสัญญาณ digital เพื่อที่จะนำสู่ PC ซึ่งในการทดลองนี้เราใช้ IC เบอร์ ADS7841 ของ Texas Instrument เป็นตัว Converter ขนาด 12 บิท 4 channel

การแปลงสัญญาณ Analog ถ้าอินพุทมีค่าเป็น 0 volt ค่า Digital 12 บิท จะเท่ากับ 0 แต่ถ้าแรงดันอินพุทมีค่ามากที่สุดคือ 5 Volt ดิจิตอลสูงสุดคือ 255 ฉะนั้นการคิดแรงดันอินพุทช่วงใดๆ ที่ทำให้ค่าดิจิตอลเปลี่ยนแปลงไป 1 ค่าสามารถหาได้จาก

แรงดันอินพุทสูงสุด/ค่าดิจิตอลมากสุด = 5/255

= 0.02 volt

นั้นคือค่าแรงดันอินพุท 0.02 volt จะทำให้ค่าตัวเลขดิจิตอลเปลี่ยนแปลงไป 1 ค่า




รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของ IC ADS7841

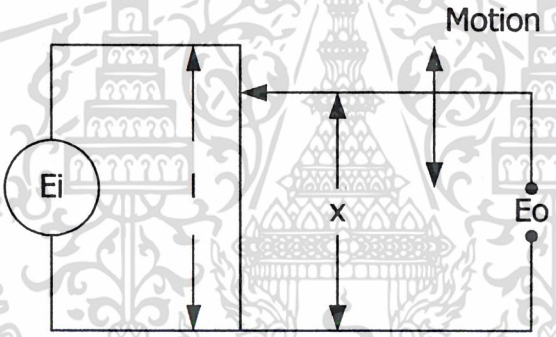
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

# POTENTIO METER

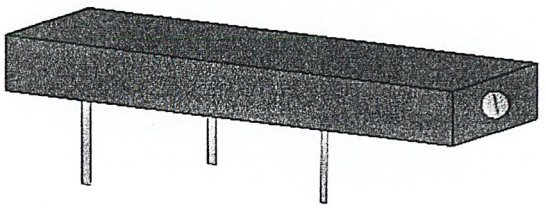
## 5.1 บทนำ

โพเทนทิโอมิเตอร์เป็รเครื่องมือที่เปลี่ยนแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า อินพุทที่ป้อนเข้าโพเทนทิโอมิเตอร์จะอยู่ในรูปของการเคลื่อนที่แบบเชิงกล อาจจะเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนรอบหรือเคลื่อนที่เป็นเชินเส้นก็ได้ เมื่อป้อนโวลท์เตจเข้าที่ปลายข้างที่อยู่กับที่ของโพเทนทิโอมิเตอร์เอ้าท์พุทโวลท์เต็จจะได้ออกมาที่ปลายของส่วนที่เคลื่อนที่ของโพเทนทิโอมิเตอร์ ซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับความเร็วของการหมุนหรือระยะการเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นแสดงให้เห็นได้ว่าโพเทนทิโอมิเตอร์ชนิดลิเนียร์มีวงจรขยายอยู่ในตัว ความคลาดเคลื่อนของความต้านทานของโพเทนทิโอมิเตอร์ชนิดมาตรฐานจะอยู่ระหว่าง 5 – 10 %




**รูป 5.1 วงจรสมมูลย์ ของโพเทนทิโอมิเตอร์**

วงจรสมมูลย์ของโพเทนชิโอมิเตอร์ที่เป็นแบบลิเนียร์ เนื่องจากโวลท์เต็จตกคร่อมขั้วที่ปรับค่าได้และกราวน์ จะเป็นสัดส่วนกับการเปิด-ปิดของ วาวล์ และโพเทนทิโอมิเตอร์ เมื่อป้อนโวลท์เต็จคร่อมที่ขั้วอยู่กับที่โพเทนทิโอมิเตอร์สามารถใช้แสดงค่าตำแหน่งสมบูรณ์ของก้านสูบ



**รูปที่ 5.2 โพเทนทิโอมิเตอร์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่6

# ผลการทดลอง

| ผลการทดลอง<br>Voltage ที่จ่าย 0 - 3.8 Volt | |
|---|---|
| % การเปิดของ Valve | Voltage |
| 0 | 0 |
| 1 | 0.038 |
| 2 | 0.07564 |
| 3 | 0.11364 |
| 4 | 0.15164 |
| 5 | 0.18964 |
| 6 | 0.22764 |
| 7 | 0.26564 |
| 8 | 0.30364 |
| 9 | 0.34164 |
| 10 | 0.37964 |
| 11 | 0.41764 |
| 12 | 0.45564 |
| 13 | 0.49374 |
| 14 | 0.53138 |
| 15 | 0.56638 |
| 16 | 0.60438 |
| 17 | 0.64198 |
| 18 | 0.67938 |
| 19 | 0.71737 |
| 20 | 0.75337 |
| 21 | 0.79107 |
| 22 | 0.83007 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| % การเปิดของ Valve | Voltage |
|---|---|
| 23 | 0.86777 |
| 24 | 0.90676 |
| 25 | 0.94276 |
| 26 | 0.98076 |
| 27 | 1.01876 |
| 28 | 1.05776 |
| 29 | 1.09576 |
| 30 | 1.13376 |
| 31 | 1.17176 |
| 32 | 1.20976 |
| 33 | 1.24456 |
| 34 | 1.28256 |
| 35 | 1.32056 |
| 36 | 1.35856 |
| 37 | 1.39656 |
| 38 | 1.43456 |
| 39 | 1.47256 |
| 40 | 1.51056 |
| 41 | 1.54856 |
| 42 | 1.58656 |
| 43 | 1.62456 |
| 44 | 1.66256 |
| 45 | 1.70056 |
| 46 | 1.73955 |
| 47 | 1.77755 |
| 48 | 1.81555 |
| 49 | 1.85355 |
| 50 | 1.89205 |
| 51 | 1.93025 |
| 52 | 1.96825 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| % การเปิดของ Valve | Voltage |
|---|---|
| 53 | 2.00625 |
| 54 | 2.04425 |
| 55 | 2.08225 |
| 56 | 2.12025 |
| 57 | 2.15825 |
| 58 | 2.19625 |
| 59 | 2.23425 |
| 60 | 2.27225 |
| 61 | 2.31025 |
| 62 | 2.34825 |
| 63 | 2.38625 |
| 64 | 2.42425 |
| 65 | 2.46225 |
| 66 | 2.50025 |
| 67 | 2.53825 |
| 68 | 2.57625 |
| 69 | 2.61425 |
| 70 | 2.65165 |
| 71 | 2.68965 |
| 72 | 2.72765 |
| 73 | 2.76565 |
| 74 | 2.80365 |
| 75 | 2.84165 |
| 76 | 2.87965 |
| 77 | 2.91605 |
| 78 | 2.95405 |
| 79 | 2.99205 |
| 80 | 3.03005 |
| 81 | 3.06805 |
| 82 | 3.10605 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| % การเปิดของ Valve | Voltage |
|---|---|
| 83 | 3.14205 |
| 84 | 3.18005 |
| 85 | 3.21805 |
| 86 | 3.25605 |
| 87 | 3.294053 |
| 88 | 3.332053 |
| 89 | 3.370053 |
| 90 | 3.408953 |
| 91 | 3.446953 |
| 92 | 3.484953 |
| 93 | 3.522953 |
| 94 | 3.561953 |
| 95 | 3.599953 |
| 96 | 3.637953 |
| 97 | 3.675953 |
| 98 | 3.714853 |
| 99 | 3.753153 |
| 100 | 3.791153 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 7
# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 7.1 สรุปผลการทำงาน

ในปริญญานิพนธ์นี้สามารถเปิด ปิด Valve จำนวน 10 รอบได้ โดยสั่งงานผ่าน Computer โดยใช้ Step motor ควบคุมโดย Micro-Controller สามารถสั่งได้ว่า ต้องการให้ Valve เปิด หรือปิด เป็น % ของการปิดเปิดได้ Micro-Controller 1 ตัว สามารถ ขยายเพื่อ นำมาควบคุม Motor ได้ 4 ตัว หรือสามารถนำไปต่อใช้งานร่วมกับ Board ขนาน ซึ่งสามารถทำให้ Micro-Controller 1 ตัวสามารถควบคุม Motor ได้ถึง72 ตัว

## 7.2 ข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์นี้มีจุดข้อที่ควรปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มขึ้นดังนี้คือ

- ควรใช้ STEPPING MOTOR ที่มีค่าจำนวน สเตปต่อรอบมากกว่านี้ เนื่องจากปริญญานิพนธ์นี้ใช้ STEPPING MOTOR ที่มีขนาด 7.5 องศาต่อ STEP
- จากปริญญานิพนธ์นี้จะเห็นว่าเราสามารถเพิ่มจำนวนมอเตอร์ได้มากขึ้น โดยการต่อ

ร่วมกับ Board ขนาน อาจใช้ IC 82C55 เพื่อเพิ่มพอรต์ การใช้งาน

- ควรเพิ่มวิธีการกระตุ้นขดลวดมอเตอร์เป็นแบบสองเฟสและ แบบครึ่งสเตปด้วยเนื่องจากปริญญานิพนธ์นี้ใช้การกระตุ้นมอเตอร์แบบหนึ่งเฟสเพียงชนิดเดียว
- ความแม่นยำ หรือความผิดพลาดในการควบคุมโดยมากจะมาจาก Potentiometer ซึ่งปัญหา ความถูกต้องของ Potentiometer จะแก้ไขโดยการ นำ Potentiometer ที่มีขีดความสามารถมากกว่านี้มาใช้ประกอบโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


1. ยืน ภู่วรรณ และสุรศักดิ์ สงวนพงษ์ "โปรแกรมคอมพิวเตอร์และภาษาแอสแซมบลี้" บริษัทซีเอ็ดยูเคชัน จำกัด
2. ธาริน สิทธิธรรมชาตรี "คู่มือการเขียนโปรแกรม Microsoft Visual Basic Version 6.0 ฉบับใช้งานจริง" บริษัทซัดเซส มีเดีย จำกัด.
3. สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร "คู่มือการสร้างแอพพลิเคชั่นด้วย Visual Basic 6.0 Basic & Advance" บริษัทอินโฟรเพลส จำกัด

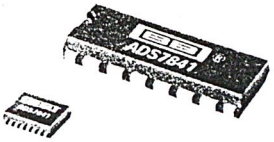

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Burr-Brown Products
from Texas Instruments

# ADS7841



SBAS084B – JULY 2001

# 12-Bit, 4-Channel Serial Output Sampling ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

## FEATURES

- SINGLE SUPPLY: 2.7V to 5V
- 4-CHANNEL SINGLE-ENDED OR 2-CHANNEL DIFFERENTIAL INPUT
- UP TO 200kHz CONVERSION RATE
- ±1LSB MAX INL AND DNL
- NO MISSING CODES
- 72dB SINAD
- SERIAL INTERFACE
- DIP-16 OR SSOP-16 PACKAGE
- ALTERNATE SOURCE FOR MAX1247
- ADS7841ES: +125°C Version

## APPLICATIONS

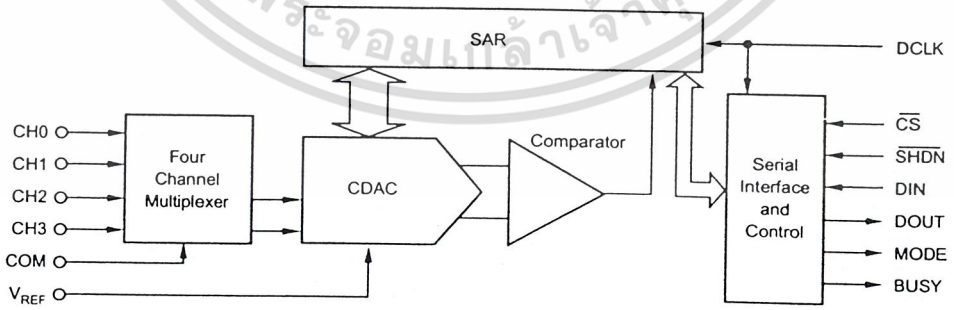
- DATA ACQUISITION
- TEST AND MEASUREMENT
- INDUSTRIAL PROCESS CONTROL
- PERSONAL DIGITAL ASSISTANTS
- BATTERY-POWERED SYSTEMS

## DESCRIPTION

The ADS7841 is a 4-channel, 12-bit sampling Analog-to-Digital Converter (ADC) with a synchronous serial interface. The resolution is programmable to either 8 bits or 12 bits. Typical power dissipation is 2mW at a 200kHz throughput rate and a +5V supply. The reference voltage ($V_{REF}$) can be varied between 100mV and $V_{CC}$, providing a corresponding input voltage range of 0V to $V_{REF}$. The device includes a shutdown mode which reduces power dissipation to under 15µW. The ADS7841 is tested down to 2.7V operation.

Low power, high speed, and on-board multiplexer make the ADS7841 ideal for battery-operated systems such as personal digital assistants, portable multi-channel data loggers, and measurement equipment. The serial interface also provides low-cost isolation for remote data acquisition. The ADS7841 is available in a DIP-16 or a SSOP-16 package and is specified over the –40°C to +125°C(1) temperature range.

NOTE: (1) ES grade only.




Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

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

Copyright © 2000, Texas Instruments Incorporated



เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา โดยไม่อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS[1]

| | |
|---|---|
| $+V_{CC}$ to GND | –0.3V to +6V |
| Analog Inputs to GND | –0.3V to $+V_{CC}$ + 0.3V |
| Digital Inputs to GND | –0.3V to +6V |
| Power Dissipation | 250mW |
| Maximum Junction Temperature | +150°C |
| Operating Temperature Range | –40°C to +125°C[2] |
| Storage Temperature Range | –65°C to +150°C |
| Lead Temperature (soldering, 10s) | +300°C |

NOTES: (1) Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may affect device reliability. (2) ADS7841ES Only. All other grades are: –40°C to +85°C.

## ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

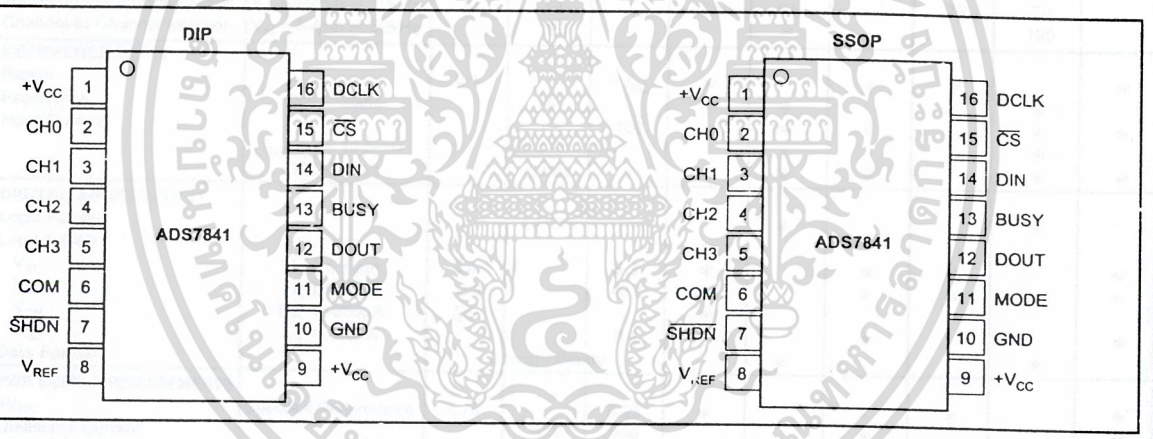
## PACKAGE/ORDERING INFORMATION

| PRODUCT | MINIMUM RELATIVE ACCURACY (LSB) | MAXIMUM GAIN ERROR (LSB) | SPECIFICATION TEMPERATURE RANGE | PACKAGE | PACKAGE DESIGNATOR | PACKAGE DRAWING NUMBER | ORDERING NUMBER[1] | TRANSPORT MEDIA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ADS7841E | ±2 | ±4 | –40°C to +85°C | SSOP-16 | DBQ | 322 | ADS7841E | Rails |
| " | " | " | " | " | " | " | ADS7841E/2K5 | Tape and Reel |
| ADS7841P | ±2 | " | –40°C to +85°C | DIP-16 | N | 180 | ADS7841P | Rails |
| ADS7841EB | ±1 | ±3 | –40°C to +85°C | SSOP-16 | DBQ | 322 | ADS7841EB | Rails |
| " | " | " | " | " | " | " | ADS7841EB/2K5 | Tape and Reel |
| ADS7841PB | ±1 | " | –40°C to +85°C | DIP-16 | N | 180 | ADS7841PB | Rails |
| ADS7841ES | ±2 | ±4 | –40°C to +125°C | SSOP-16 | DBQ | 322 | ADS7841ES/2K5 | Tape and Reel |

NOTES: (1) Models with a slash (/) are available only in Tape and Reel in the quantities indicated (e.g., /2K5 indicates 2500 devices per reel). Ordering 2500 pieces of "ADS7841E/2K5" will get a single 2500-piece Tape and Reel.

## PIN CONFIGURATIONS

Top View




## PIN DESCRIPTIONS

| PIN | NAME | DESCRIPTION |
|---|---|---|
| 1 | $+V_{CC}$ | Power Supply, 2.7V to 5V |
| 2 | CH0 | Analog Input Channel 0 |
| 3 | CH1 | Analog Input Channel 1 |
| 4 | CH2 | Analog Input Channel 2 |
| 5 | CH3 | Analog Input Channel 3 |
| 6 | COM | Ground Reference for Analog Inputs. Sets zero code voltage in single-ended mode. Connect this pin to ground or ground reference point. |
| 7 | $\overline{SHDN}$ | Shutdown. When LOW, the device enters a very low power shutdown mode. |
| 8 | $V_{REF}$ | Voltage Reference Input |
| 9 | $+V_{CC}$ | Power Supply, 2.7V to 5V |
| 10 | GND | Ground |
| 11 | MODE | Conversion Mode. When LOW, the device always performs a 12-bit conversion. When HIGH, the resolution is set by the MODE bit in the CONTROL byte. |
| 12 | DOUT | Serial Data Output. Data is shifted on the falling edge of DCLK. This output is high impedance when $\overline{CS}$ is HIGH. |
| 13 | BUSY | Busy Output. This output is high impedance when $\overline{CS}$ is HIGH. |
| 14 | DIN | Serial Data Input. If $\overline{CS}$ is LOW, data is latched on rising edge of DCLK. |
| 15 | $\overline{CS}$ | Chip Select Input. Controls conversion timing and enables the serial input/output register. |
| 16 | DCLK | External Clock Input. This clock runs the SAR conversion process and synchronizes serial data I/O. |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ELECTRICAL CHARACTERISTICS: +2.7V

At $T_A$ = –40°C to +85°C, $+V_{CC}$ = +2.7V, $V_{REF}$ = +2.5V, $f_{SAMPLE}$ = 125kHz, and $f_{CLK}$ = 16 • $f_{SAMPLE}$ = 2MHz, unless otherwise noted.

| PARAMETER | CONDITIONS | ADS7841E, P | | | ADS7841EB, PB | | | UNITS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |
| **ANALOG INPUT** | | | | | | | | |
| Full-Scale Input Span | Positive Input - Negative Input | 0 | | $V_{REF}$ | * | | * | V |
| Absolute Input Range | Positive Input | –0.2 | | $+V_{CC}$ +0.2 | * | | * | V |
| | Negative Input | –0.2 | | +0.2 | * | | * | V |
| Capacitance | | | 25 | | | * | | pF |
| Leakage Current | | | ±1 | | | * | | µA |
| **SYSTEM PERFORMANCE** | | | | | | | | |
| Resolution | | | 12 | | | * | | Bits |
| No Missing Codes | | 12 | | | 12 | | | Bits |
| Integral Linearity Error | | | | ±2 | | | ±1 | LSB[1] |
| Differential Linearity Error | | | ±0.8 | | | ±0.5 | ±1 | LSB |
| Offset Error | | | | ±3 | | | * | LSB |
| Offset Error Match | | | 0.15 | 1.0 | | * | * | LSB |
| Gain Error | | | | ±4 | | | ±3 | LSB |
| Gain Error Match | | | 0.1 | 1.0 | | * | * | LSB |
| Noise | | | 30 | | | * | | µVrms |
| Power-Supply Rejection | | | 70 | | | * | | dB |
| **SAMPLING DYNAMICS** | | | | | | | | |
| Conversion Time | | | | 12 | | | * | Clk Cycles |
| Acquisition Time | | 3 | | | * | | | Clk Cycles |
| Throughput Rate | | | | 125 | | | * | kHz |
| Multiplexer Settling Time | | | 500 | | | * | | ns |
| Aperture Delay | | | 30 | | | * | | ns |
| Aperture Jitter | | | 100 | | | * | | ps |
| **DYNAMIC CHARACTERISTICS** | | | | | | | | |
| Total Harmonic Distortion[2] | $V_{IN}$ = 2.5Vp-p at 10kHz | | –77 | –72 | | –79 | –76 | dB |
| Signal-to-(Noise + Distortion) | $V_{IN}$ = 2.5Vp-p at 10kHz | 68 | 71 | | 70 | 72 | | dB |
| Spurious-Free Dynamic Range | $V_{IN}$ = 2.5Vp-p at 10kHz | 72 | 78 | | 76 | 80 | | dB |
| Channel-to-Channel Isolation | $V_{IN}$ = 2.5Vp-p at 50kHz | | 100 | | | * | | dB |
| **REFERENCE INPUT** | | | | | | | | |
| Range | | 0.1 | | $+V_{CC}$ | * | | * | V |
| Resistance | DCLK Static | | 5 | | | * | | GΩ |
| Input Current | | | 13 | 40 | | * | * | µA |
| | $f_{SAMPLE}$ = 12.5kHz | | 2.5 | | | * | | µA |
| | DCLK Static | | 0.001 | 3 | | * | * | µA |
| **DIGITAL INPUT/OUTPUT** | | | | | | | | |
| Logic Family | | | CMOS | | | * | | |
| Logic Levels | | | | | | | | |
| $V_{IH}$ | $\lvert I_{IH} \rvert \le +5\mu A$ | $+V_{CC}$ • 0.7 | | 5.5 | * | | * | V |
| $V_{IL}$ | $\lvert I_{IL} \rvert \le +5\mu A$ | –0.3 | | +0.8 | * | | * | V |
| $V_{OH}$ | $I_{OH}$ = –250µA | $+V_{CC}$ • 0.8 | | | * | | | V |
| $V_{OL}$ | $I_{OL}$ = 250µA | | | 0.4 | | | * | V |
| Data Format | | | Straight Binary | | | * | | |
| **POWER SUPPLY REQUIREMENTS** | | | | | | | | |
| $+V_{CC}$ | Specified Performance | 2.7 | | 3.6 | * | | * | V |
| Quiescent Current | | | 280 | 650 | | * | * | µA |
| | $f_{SAMPLE}$ = 12.5kHz | | 220 | | | * | | µA |
| | Power-Down Mode[3], $\overline{CS}$ = $+V_{CC}$ | | | 3 | | | * | µA |
| Power Dissipation | | | | 1.8 | | | * | mW |
| **TEMPERATURE RANGE** | | | | | | | | |
| Specified Performance | | –40 | | +85 | * | | * | °C |

* Same specifications as ADS7841E, P.

NOTE: (1) LSB means Least Significant Bit. With $V_{REF}$ equal to +2.5V, one LSB is 610mV. (2) First five harmonics of the test frequency. (3) Auto power-down mode (PD1 = PD0 = 0) active or $\overline{SHDN}$ = GND.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CP-SPI/S8252 V3.0&CP-SPI/RD2 V3.0

บอร์ด CP-SPI/S8252 V3.0 จะใช้ CPU AT89S8252 เป็น CPU ประจำบอร์ด และบอร์ด CP-SPI/RD2 V3.0 จะใช้ CPU P89C51RD2 เป็น CPU ประจำบอร์ด โดยมีส่วนอื่นๆ ของวงจรที่เหมือนกัน ส่วนการ DOWNLOAD โปรแกรมเข้าสู่ตัวบอร์ดนั้น บอร์ด CP-SPI/S8252 V3.0 จะใช้โปรแกรม WS8252 และบอร์ดCP-SPI/RD2 V3.0 จะใช้โปรแกรม P89C51RD2

**ในบอร์ด CP-SPI/S8252 V3.0 & CP-SPI/RD2 V3.0 จะเหมือนกับ CP-SPI/S8252 V2.0 & CP-SPI/RD2 V2.0 ทุกประการเพียงแต่มีการเพิ่มอุปกรณ์ที่สำคัญเข้าไปอีก 2 ตัว ดังนี้**

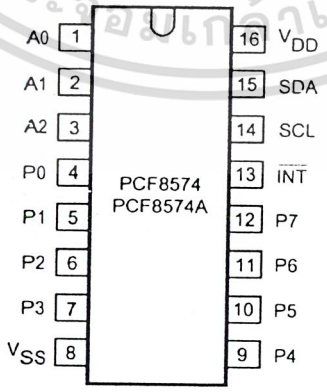
1. $I^2C$ PORT (PCF8574)
2. 34 PIN I/O BUS

**PCF8574**

**รายละเอียดเบื้องต้น**

PCF8574 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ขยายเอาท์พุทและอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่านทางระบบบัสแบบ $I^2C$ โดยในแต่ละขาสามารถเป็นได้ทั้งอินพุทและเอาท์พุท โดย PCF8574 จำนวน 1 ตัวสามารถนำมาทำเป็นอินพุทหรือเอาท์พุทได้ 8 I/O แต่ถ้าต้องการ I/O ที่มากกว่า 8 จะต้องต่อ PCF8574 เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งในตัวเดียวกันสามารถต่อ PCF8574 ได้ 8 ตัว โดยกำหนดตำแหน่งของแต่ละตัวให้แตกต่างจากขา A0 , A1 , A2 อีกทั้งยังสามารถสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพท์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อมีสัญญาณเข้ามาทางอินพุทได้อีกด้วย

**โครงสร้างภายนอกและขาต่อใช้งาน**



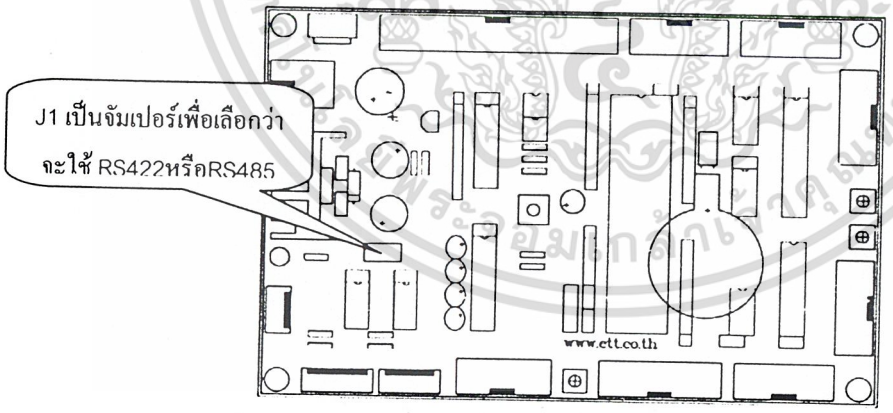

รูปที่ 44 แสดงโครงสร้างภายนอกและขาต่อใช้งานของ PCF8574

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การเลือกใช้ Line Driver แบบ RS485**

การรับส่งข้อมูลแบบนี้ จะมีลักษณะคล้ายกับแบบ RS422 ทั้งหมด แต่การรับส่งแบบนี้จะมีข้อดีพิเศษกว่าก็คือใช้สายสัญญาณในการรับส่งเพียงคู่เดียวเท่านั้น ซึ่งการรับส่งแบบนี้จะใช้การรับส่งแบบ Half Duplex กล่าวคือ สามารถทำหน้าที่ส่งข้อมูลและรับข้อมูลได้โดยใช้สายสัญญาณเดิมเพียงคู่เดียวแต่ในการรับหรือส่งข้อมูลนั้นจะต้องทำแบบผลัดกันรับผลัดกันส่งไม่สามารถทำหน้าที่พร้อมกันได้ทั้ง 2 อย่างในช่วงเวลาเดียวกันได้

เนื่องจากการสื่อสารแบบนี้ จะใช้สายสัญญาณเพียง 1 คู่ (2 เส้น ) ในการทำหน้าที่ทั้งรับและส่งและยังสามารถต่ออุปกรณ์ร่วมกันได้มากถึง 32 ตัว ในกรณีที่ใช้ IC 75176 และได้ถึง 256 ตัว ในกรณีที่ใช้ IC MAX3088 พร้อมกันในเวลาเดียว ดังนั้นจึงต้องมีการจัดลำดับการรับส่งข้อมูลที่ดีจึงจะสามารถรับส่งกันได้อย่างมีประสิทธิภาพตามต้องการได้จึงส่งผลทำให้การรับส่งแบบนี้มีความสลับซับซ้อนมากขึ้น เพราะต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อคอยกำหนดทิศทางรวมทั้งจัดแบ่ง ควบคุมลำดับการสื่อสารภายในสายส่งให้กับอุปกรณ์แต่ละตัวที่ต่ออยู่ว่าจะให้อุปกรณ์ตัวใดทำหน้าที่เป็นตัวส่ง และให้อุปกรณ์ตัวใดทำหน้าที่เป็นตัวรับ ซึ่งจะต้องเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมให้มีการรับส่งข้อมูลออกมาได้เพียงครั้งละ 1 ตัว เท่านั้น เพราะถ้าหากมีการส่งข้อมูลออกมาในสายสัญญาณพร้อมกันในเวลาเดียวกันมากกว่า 1 ตัว แล้วก็ จะทำให้ฝ่ายรับไม่สามารถรับข้อมูลที่ถูกต้องทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นการใช้ระบบ RS485 นี้ จะต้องมีการออกแบบและวางแผนไว้ล่วงหน้าทั้งทางด้านของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และโปรแกรมที่จะใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ สำหรับวิธีการเชื่อมต่อระบบ RS485 นั้นทำได้หลายแบบ เช่น ต่อกันแบบขนานทั้งระบบ และ ต่อกันแบบ Point – to – Point

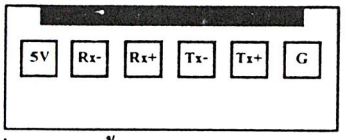



รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งของจัมเปอร์ J1 สำหรับเลือกใช้งาน RS422/485

เลือกใช้งาน RS422 เลือกใช้งาน RS485

รูปที่ 7 แสดงการเลือกจัมเปอร์ J1 เพื่อใช้งาน RS422/RS485

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



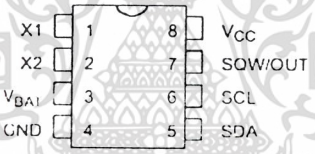

รูปที่ 8 แสดงขั้วต่อใช้งานของ RS422/485

## RTC (DS1307)

**คุณสมบัติ**

- เป็นนาฬิกาที่สามารถให้ข้อมูลออกมาเป็น วินาที นาที ชั่วโมง วันที่ของเดือน เดือน วันของสัปดาห์ ปี ซึ่งชดเชยค่าแล้ว สามารถใช้งานได้ถึงปี 2100
- มี RAM แบบ Nonvolatile จำนวน 56 ไบต์
- สามารถตั้งโปรแกรมให้ส่งสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมออกที่เอาท์พุทได้
- สามารถตรวจสอบระบบไฟและสลับไปใช้แบตเตอร์รี่ได้โดยอัตโนมัติ
- เมื่อใช้พลังงานจากแบตเตอร์รี่จะใช้ไฟน้อยกว่า 500 nA ที่ 25 C
- สามารถเลือกใช้รุ่นที่ใช้งานในอุตสาหกรรมได้โดยสามารถใช้อุณหภูมิได้ในช่วง –40 ถึง +85

**รายละเอียดของขาต่อใช้งาน**




รูปที่ 9 แสดงขาต่อใช้งานของ DS1307

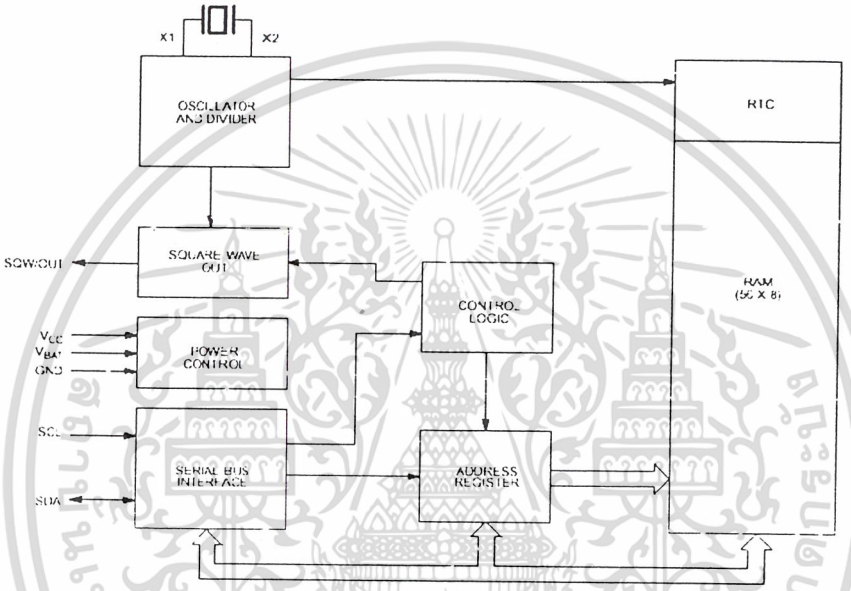
**รายละเอียดของขาสัญญาณ**

| ตำแหน่ง | สัญลักษณ์ | รายละเอียด |
|---|---|---|
| 1 | X1 | ขาต่อ Xtal 32.768 KHz |
| 2 | X2 | ขาต่อ Xtal 32.768 KHz |
| 3 | VBAT | ขาต่อแบตเตอรี่ 3 V |
| 4 | GND | ขาต่อกราวด์ |
| 5 | SDA | สัญญาณ Data แบบอนุกรม |
| 6 | SCL | สัญลักษณ์ Clock แบบอนุกรม |
| 7 | SQW/OUT | สัญญาณเอาท์พุทเป็นแบบสี่เหลี่ยมหรือเป็นลอจิก |
| 8 | Vcc | ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไป |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

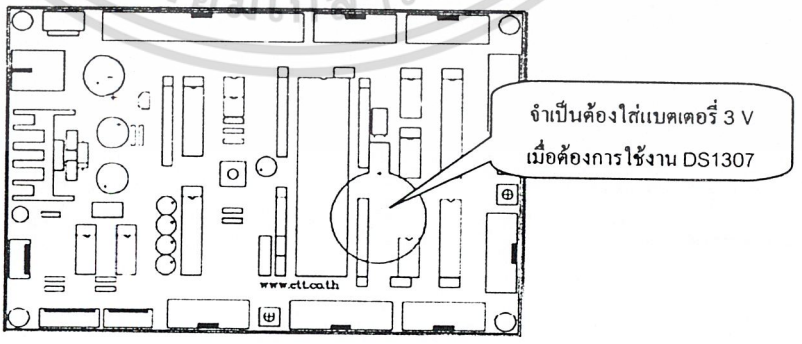
**การทำงาน**

DS1307 เป็นอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบบัสแบบ $I^2C$ โดยทำตัวเป็น Slave การเข้าถึงข้อมูลภายในสามารถทำได้โดยการส่งเงื่อนไข Start เลขประจำตัวและตำแหน่งของรีจิสเตอร์ตามลำดับ ลงบนบัสแบบ $I^2C$ ที่มี DS1307 ต่อร่วมอยู่ โดยรีจิสเตอร์จะถูกเข้าถึงต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเกิดเงื่อนไข Stop ในระบบบัส เมื่อแรงดันที่ขา Vcc ตกลงต่ำกว่าแรงดันที่ขา Vbat จะสลับตัวเองเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานและใช้พลังงานจากแบตเตอร์รี่ แต่ในทางกลับกัน DS1307 จะกลับไปทำงานในโหมดปกติเมื่อแรงดันที่ขา Vcc สูงกว่าแรงดันที่ขา Vbat/+0.2 V โดยไดอะแกรมในรูปที่ 10 แสดงถึงส่วนประกอบหลักของ DS1307




รูปที่ 10 แสดงถึงส่วนประกอบหลักของ DS1307

บอร์ด CP-SPI/S8252 V2.0 & CP-SPI/RD2 V2.0 จะใช้ DS1307 ของ DALLAS เป็น RTC ซึ่งสามารถแสดงค่าเวลาได้เป็น ปี เดือน วันที่ของเดือน วันที่ของสัปดาห์ ชั่วโมง นาที และ วินาที โดยภายในยังมี RAM อีก 56 ไบต์ เพื่อใช้เก็บข้อมูล โดยทุกครั้งที่มีการใช้งาน DS1307 จะต้องใส่ BAT 3 V เข้าไปด้วย



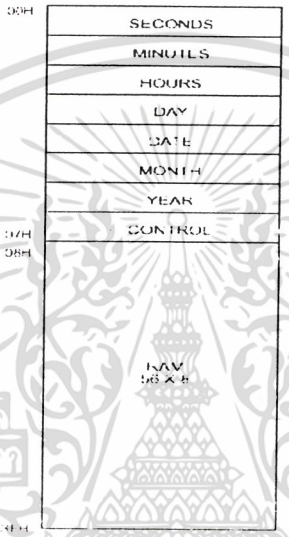

รูปที่ 11 แสดงตำแหน่งของการใส่แบตเตอรี่ เมื่อต้องการใช้งาน DS1307

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DS1307 มีการสื่อสารข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่านทาง $I^2C$ ซึ่งใช้สายสัญญาณเพื่อ สื่อสาร 2 เส้นคือสายสัญญาณ DATA (SDA) และสายสัญญาณ CLOCK (SCL)

RTC And RAM Address Map

ตำแหน่งของนาฬิกาและ RAM ของ DS1307 แสดงในรูปที่ 12 โดยตำแหน่งของนาฬิกาอยู่ที่ 00H ถึง 07H โดยตำแหน่งของ RAM อยู่ที่ตำแหน่ง 08H ถึง 3FH เมื่อมีการเข้าถึงหน่วยความจำแบบ Multibyte ถ้าการเข้าถึงหน่วยความจำถึง 3FH และจะกลับไปที่ 00 H ซึ่งเป็นตำแหน่งเริ่มต้น




**รูปที่ 12 แสดงตำแหน่งของนาฬิกาและ RAM ของ DS1307**

DS1307 Timekeeping Register

Control Register

รีจิสเตอร์ควบคุมเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมขาสัญญาณ SQW/OUT ถ้าบิต 4 หรือบิต SQWE มีลอจิก 1 จะทำให้ขา SQW/OUT สร้างสัญญาณพัลส์ออกมาตามความถี่ที่กำหนดในบิต RS0และ RS1แต่ถ้าบิต 4 มีลอจิก 0 จะทำให้ขา มีลอจิกตามบิต 7 หรือบิต OUT

Squarewave Output Frequency

การกำหนดค่าความถี่ที่ต้องการให้ออกที่ขา SQWE มีลอจิก 1 สามารถกำหนดได้จากบิต RS0 และRS1 ตามตารางข้างบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CP-SPI/S8252 V2.0&CP-SPI/RD2 V2.0

**บอร์ด CP-SPI/S8252 V2.0 จะใช้ CPU AT89S8252 เป็น CPU ประจำบอร์ด และบอร์ด CP-SPI/RD2 V2.0 จะใช้ CPU P89C51RD2 เป็น CPU ประจำบอร์ด โดยมีส่วนอื่นๆ ของวงจรที่เหมือนกัน ส่วนการ DOWNLOAD โปรแกรมเข้าสู่ตัวบอร์ดนั้น บอร์ด CP-SPI/S8252 จะใช้โปรแกรม WS8252 และบอร์ดCP-SPI/RD2 จะใช้โปรแกรม P89C51RD2**

**บอร์ด CP-SPI/S8252 V2.0 &CP-SPI/RD2 V2.0จะมีอุปกรณ์ต่าง ๆ เหมือนกับ CP-SPI/S8252 V1.0 &CP-SPI/RD2 V1.0 ทุกประการแต่เพิ่มเติมอุปกรณ์บางตัวเข้าไป ดังนี้**

1. RS422 / 485
2. RTC (DS1307)
3. $I^2C$ (EEPROM 24XX)
4. ADC (ADS7841)
5. DAC (LTC1661)
6. LCD แบบ Character
7. EXP2 (NC6B595)
8. ET-SDP8

## RS422 และ RS485

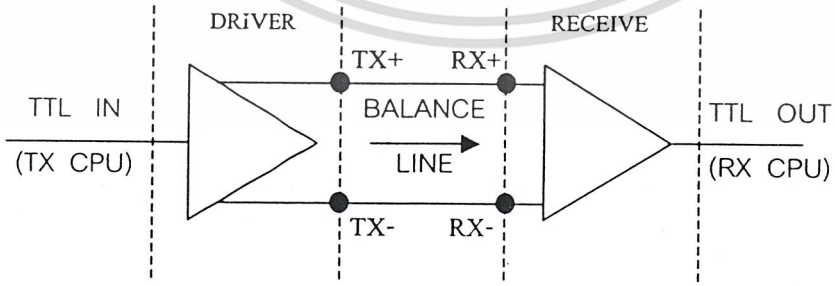
เนื่องจากการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมโดยใช้วงจร Line Driver แบบ RS232 นั้นยังมีข้อจำกัดในเรื่องระยะทางซึ่งไม่สามารถปรับปรุงให้ส่งได้ไกลขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ได้และยังไม่สามารถเชื่อมต่อกัน ครั้งละหลาย ๆ อุปกรณ์ในเวลาเดียวกันได้ ดังนั้นจึงมีการสร้างวงจร Line Driver แบบใหม่ขึ้นมาทดแทนเพื่อให้สามารถรับส่งสัญญาณได้ในระยะทางที่ไกลขึ้นกว่าเดิมและวิธีการอย่างหนึ่งที่สามารถสร้างได้ง่ายและมีราคาถูกโดยการใช้วงจร Line Driver ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนระดับสัญญาณเปลี่ยนระดับของสัญญาณลอจิก TTL จากวงจรภาคส่งไปเป็นสัญญาณแบบ Balance Line ซึ่งอาศัยหลักของการขยายความแตกต่างของสัญญาณในสายรับส่ง ซึ่งจากคุณสมบัติอันนี้ทำให้วงจรในส่วนรับของ Balance Line นั้นสามารถตรวจจับสัญญาณในสายส่งซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 200 mV ขึ้นไปได้ ดังนั้นวงจรแปลงระดับสัญญาณ Line Driver แบบนี้จึงสามารถรับส่งข้อมูลในระยะทางไกล ๆ กันได้ โดยถ้าหากความเร็วในการรับส่งน้อยกว่า 10Mbps แล้วจะสามารถรับส่งกันได้ผลดีในระยะทางไม่เกิน 4,000 ฟุต หรือ 1,200 เมตร โดยประมาณ แต่ถ้าความเร็วใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับส่งมากขึ้นระยะทางก็อาจจะลดต่ำลงตามสัดส่วน โดยวงจร Line Driver แบบนี้ถูกกำหนดและยึดถือเป็นมาตราฐานอีกแบบหนึ่งโดย เรียกกันว่า "RS422" ซึ่งนิยมนำมาใช้ทดแทนวิธีการรับส่งข้อมูลแบบ RS232 เพื่อเพิ่มระยะทางการรับส่งให้ได้ไกลมากขึ้น และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวงจร Line Driver แบบนี้ให้สามารถควบคุมสัญญาณเอาต์พุตให้เป็นแบบ Tri-State ได้ ดังนั้นจึงทำให้สามารถทำการรับส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทางในสายส่งเพียงคู่เดียวกันได้ จากคุณสมบัติอันนี้ จึงทำให้เราสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้หลายๆ ชุด ร่วมกันในสายส่งเพียงคู่เดียวเพื่อทำเป็นระบบ Network แบบ Multidrop ได้ และเรียกการจัดวงจรการสื่อสารแบบนี้ว่า "RS485" ซึ่งมีคุณสมบัติของการรับส่งข้อมูลจะเหมือนกับแบบ RS422 เพียงแต่ต้องมีการเขียนโปรแกรมมาควบคุม และจัดลำดับการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ที่ต่อใช้งานร่วมกันในสายส่งไม่ให้ส่งสัญญาณออกมาในสายส่งพร้อมกันเพราะจะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลทำให้ฝ่ายรับข้อมูลผิดพลาด

<u>การเลือก Line Driver แบบ RS422</u>

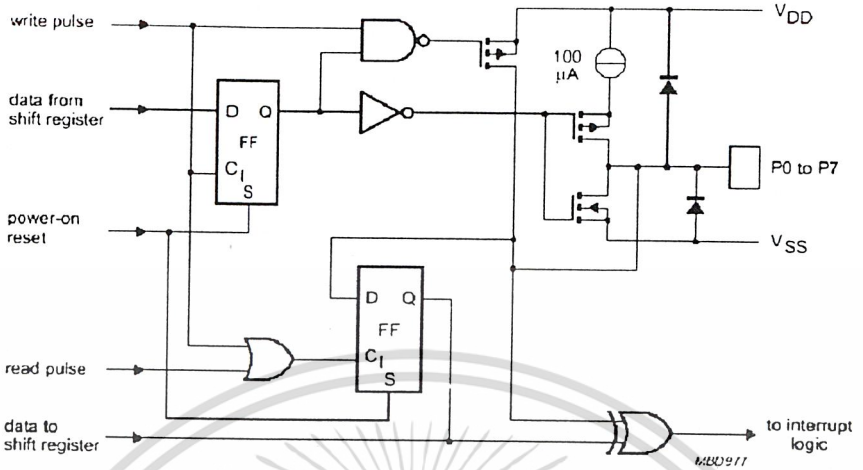
ในงานด้านการสื่อสารแบบอนุกรมนั้น บางครั้งจำเป็นต้องสื่อสารกันในระยะทางที่ห่างไกลกันมาก ซึ่งการรับส่งแบบ RS232 ไม่สามารถกระทำได้ ทางเลือกหนึ่งซึ่งสามารถนำมาทดแทนเพื่อแก้ปัญหาเรื่องระยะทางโดยไม่ต้องดัดแปลงแก้ไขโปรแกรมเดิมที่เขียนไว้แล้วก็คือการเปลี่ยนวงจรภาค Line Driver จากระบบ RS232 มาเป็นระบบ RS422 แทน โดยวงจรแบบ RS422 จะใช้เทคนิคการรับส่งแบบ Balance Line ซึ่งในวงจร Driver แบบนี้ จะสามารถรับส่งสัญญาณที่มีค่าระหว่าง 2 V ถึง 6 V ได้ดี และในส่วนของวงจรภาครับเอง ก็ยังสามารถตรวจจับสัญญาณที่มีขนาดต่ำถึง 200 mV ได้ด้วย ซึ่งหากการรับส่งโดยใช้อุปกรณ์ที่ตรงตามข้อกำหนดแบบนี้จะสามารถรับส่งกันได้ไกลถึง 1,000 ฟุต แต่ถ้าความเร็วที่ใช้ในการรับส่ง มีค่าต่ำกว่า 10Mbps แล้วยังสามารถเพิ่มระยะทางในการรับส่งได้ถึง 4,000 ฟุต อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามระยะทางในการรับส่งที่ได้ผลดีนั้นยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นๆ ด้วย เช่นคุณภาพของสายสัญญาณและขั้วต่อของสัญญาณรวมไปถึงระดับของสัญญาณรบกวนที่สายเดินผ่านไป เป็นต้น




รูปที่ 5 แสดงวิธีการรับส่งข้อมูลแบบ RS422 ในอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงสร้างภายใน PORT**

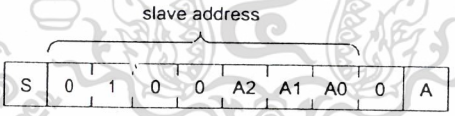



รูปที่ 46 แสดงโครงสร้างภายใน PORT ของ PCF8574

**Quasi – bidirectional I/O**

คือวงจรที่สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุทและเอาท์พุท โดยไม่ต้องใช้สัญญาณควบคุมทิศทาง เมื่อจ่ายไฟให้กับ PCF8574 ขา I/O ทุกขาจะมีลอจิก 1 โดยจะต้องกำหนดให้ I/O เป็น 1 ก่อนที่จะใช้งาน PCF8574 เป็นอินพุท

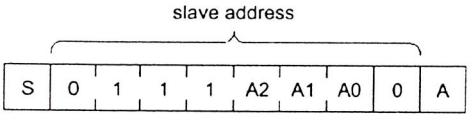
**การกำหนดตำแหน่งของ PCF8574**




รูปที่ 47 แสดงการกำหนดตำแหน่งของ PCF8574

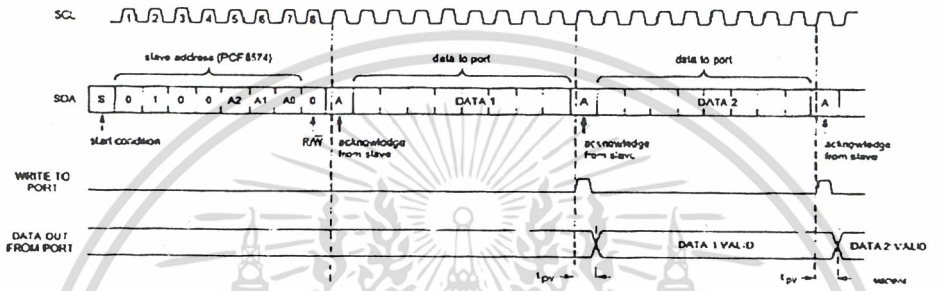
PCF8574 มีอยู่ 2 รุ่น คือ PCF8574 และ PCF8574A โดยทั้ง 2 รุ่นสามารถใช้งานได้เหมือนกัน จะแตกต่างกันเพียงไบต์ข้อมูลที่บรรจุตำแหน่งเท่านั้น โดยรูปที่ 47 เป็นการกำหนดตำแหน่งของ PCF8574 และรูปที่ 48 เป็นการกำหนดตำแหน่งของ PCF8574A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



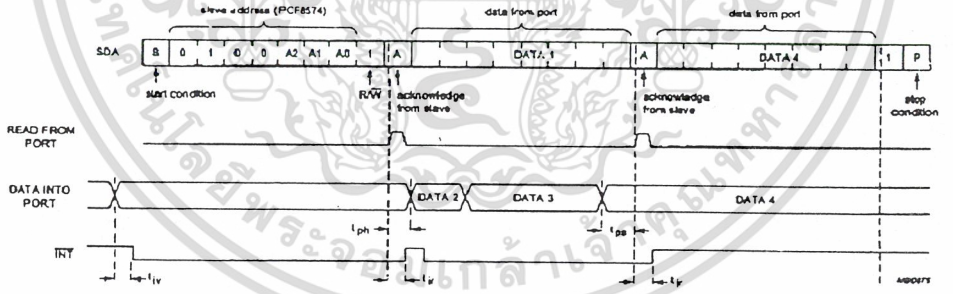

รูปที่ 48 แสดงการกำหนดตำแหน่งของ PCF8574A

**การเขียนข้อมูลออกพอร์ตของ PCF8574**




รูปที่ 49 แสดงไดอะแกรมของการเขียนข้อมูลออกพอร์ตของ PCF8574

**การอ่านข้อมูลออกพอร์ตของ PCF8574A**




รูปที่ 50 แสดงการอ่านข้อมูลออกพอร์ตของ PCF8574A

**ขั้ว 34 PIN I/O BUS (72IOZ80)**

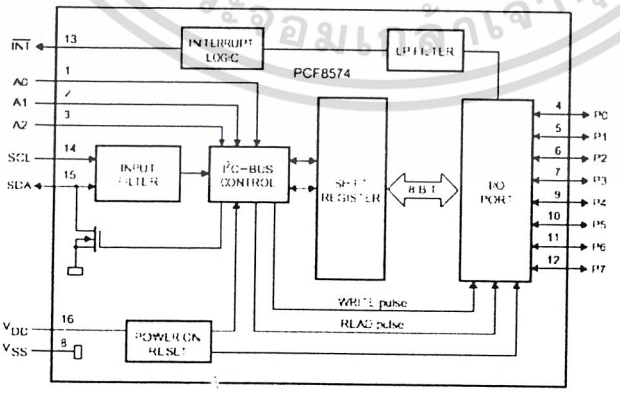
จากรูปที่ 51 แสดงให้เห็นขั้วต่อ 34 PIN I/O BUS (72IOZ80) ของ PCF8574 ที่มีอยู่บนบอร์ด CP-SPI/S8252V3.0 & CP-SPI/RD2 V3.0 ทั้งหมด 2 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางแสดงตำแหน่งขาของ PCF8574**

| ตำแหน่ง | สัญลักษณ์ | รายละเอียด |
|---|---|---|
| 1 | A0 | แอดเดรส A0 |
| 2 | A1 | แอดเดรส A1 |
| 3 | A2 | แอดเดรส A2 |
| 4 | P0 | อินพุท/เอาท์พุท P0 |
| 5 | P1 | อินพุท/เอาท์พุท P1 |
| 6 | P2 | อินพุท/เอาท์พุท P2 |
| 7 | P3 | อินพุท/เอาท์พุท P3 |
| 8 | Vss | กราวด์ |
| 9 | P4 | อินพุท/เอาท์พุท P4 |
| 10 | P5 | อินพุท/เอาท์พุท P5 |
| 11 | P6 | อินพุท/เอาท์พุท P6 |
| 12 | P7 | อินพุท/เอาท์พุท P7 |
| 13 | INT | อินเตอร์รัพท์ |
| 14 | SCL | สัญญาณClock ของ $I^2C$ |
| 15 | SDA | สัญญาณข้อมูลของ $I^2C$ |
| 16 | Vdd | ไฟบวก |

**โครงสร้างภายใน**



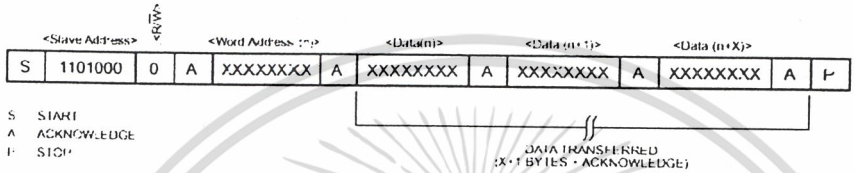

รูปที่ 45 แสดงโครงสร้างภายในของ PCF8574

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การเขียนข้อมูลลง** DS1307 (Data Write)

การเขียนข้อมูลลงใน DS1307 จะถูกนำมาใช้เมื่อต้องการตั้งเวลา การกำหนดให้สัญญาณ Pulse ออกที่ขา SQW/OUT หรือแม้กระทั่งการเขียนเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำส่วน RAM ที่อยู่ภายใน DS1307

แนวทางการเขียนข้อมูลเข้าใน DS1307 นั้นจะใช้หลักการของการสื่อสารข้อมูลแบบ $I^2C$ คือการเขียนจะต้องเริ่มต้นจากที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งเงื่อนไข Start ไปให้กับ DS1307 แล้วจึงส่งข้อมูลต่อไปอีก 1 ไบต์ โดยข้อมูลไบต์นี้ใช้เก็บ Address และบิท R/W




รูปที่ 13 แสดง Diagram การเขียนข้อมูลลง DS1307

DS1307 ถูกกำหนดให้มีตำแหน่ง Address อยู่ที่ 110100B (ขนาด 7 บิท) ซึ่งในการเขียนข้อมูลจะต้องกำหนดให้บิต R/W เป็น 0 เพราะฉะนั้นเมื่อรวม Address ขนาด 7 บิท เข้ากับบิท R/W จะได้ข้อมูลไบต์ที่จะต้องส่งเป็น 11010000B

หลังจากที่ส่งไบต์ Address ไปให้กับ DS1307 แล้วถ้า DS1307 รับข้อมูลได้ถูกต้อง ตัวDS1307 จะส่งบิท ACK ออกมาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งบิท ACK ที่ DS1307 ส่งออกมาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็น 0 แต่ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบบิทนี้แล้วเป็น 1 แสดงว่า DS1307 ไม่ได้รับตำแหน่ง Address ที่ถูกต้อง ต้องกลับไปเริ่มขบวนการ Start ใหม่

หลังจากที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับบิท ACK ตอบกลับออกมาจาก DS1307 แล้ว ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องส่งข้อมูลไปอีก 1 ไบต์ โดยข้อมูลไบต์นี้จะเป็นตำแหน่งหน่วยความจำภายใน DS1307ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 0-3F การส่งข้อมูลไบต์นี้จะเหมือนกับการส่งข้อมูลในไบต์แรก คือเมื่อ DS1307 ได้รับข้อมูลถูกต้องแล้ว ตัว DS1307 จะส่งบิท ACK กลับออกมา

หลังจากที่ DS1307 ได้รับตำแหน่งของหน่วยความจำที่ต้องการเขียนเรียบร้อยแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถส่งข้อมูลที่ต้องการเขียนไปยังตำแหน่งดังกล่าวได้เลย ซึ่งเมื่อส่งข้อมูลได้ออกไป 1 ไบต์ ตัว DS1307 จะเพิ่มค่าตำแหน่ง 1 ค่า และส่งบิท ACK กลับออกมา

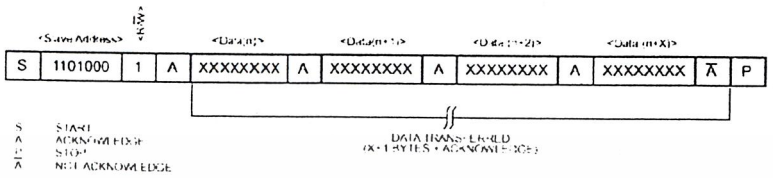
ถ้าต้องการเขียนข้อมูลในตำแหน่งที่เรียงกันไป สามารถทำได้โดยส่งข้อมูลต่อไปเรื่อยๆ จนครบแล้วจึงส่งเงื่อนไข STOP เพื่อหยุดการทำงาน

แต่ถ้าหากต้องการเปลี่ยนตำแหน่งที่จะติดต่อหรือไม่ทราบว่า ตัวชี้ตำแหน่งของ DS1307 ชี้อยู่ที่ตำแหน่งใด ก็สามารถทำได้โดยการส่งตำแหน่งใหม่ให้กับ DS1307

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การอ่านข้อมูลจาก DS1307 (Data Read)**

การอ่านข้อมูลจาก DS1307 จะมีลักษณะคล้ายกับการเขียนข้อมูลให้กับ DS1307 โดยจะต้องให้บิท




R/W เป็น 1 เพราะฉะนั้นข้อมูลไบต์ Address จะมีค่าเป็น 11010001B

**รูปที่ 14 แสดง Diagram การอ่านข้อมูลออกจาก DS1307**

## $I^2C$

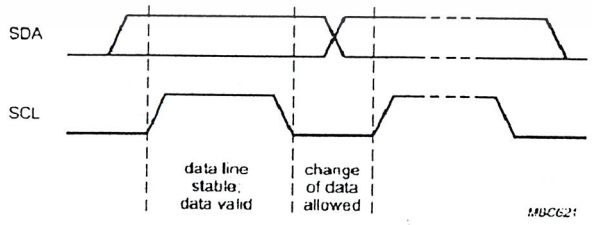
การสื่อสารข้อมูลด้วยระบบ $I^2C$ บัสเป็นอีกมิติหนึ่งของการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ประกอบร่วม ระบบ $I^2C$ เป็นระบบที่ถูกพัฒนาจากบริษัท PHILIPS ดังนั้นอุปกรณ์หลายๆตัวที่มีการสื่อสารแบบ $I^2C$ จึงถูกผลิตออกมาจากบริษัท PHILIPS

ระบบ $I^2C$ บัสเป็นการสื่อสารแบบ 2 ทาง โดยใช้สายสัญญาณในการสื่อสารเพียง 2 เส้น โดยสายที่ใช้สื่อสารนี้ คือ SDA ซึ่งเป็นสายสัญญาณข้อมูล และ SCL ซึ่งเป็นสายสัญญาณ Clock โดยสัญญาณทั้ง 2 เส้นนี้สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ได้มากกว่า 1 ตัว ซึ่งทำให้การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์มีประสิทธิภาพมากในแง่ของความสิ้นเปลืองพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์

ทางบริษัทผู้พัฒนาระบบ $I^2C$ ได้ให้คำจำกัดความของการสื่อสารแบบ $I^2C$ ไว้เพื่อให้การศึกษาเกิดความเข้าใจเดียวกันโดยมีรายละเอียดต่างๆดังนี้

Bit Transfer

ข้อมูล 1 บิทจะถูกส่งออกไปด้วยช่วงเวลา 1 CLOCK โดยข้อมูลที่สาย SDA จะต้องคงที่ในขณะที่ CLOCK เป็นลอจิก 1

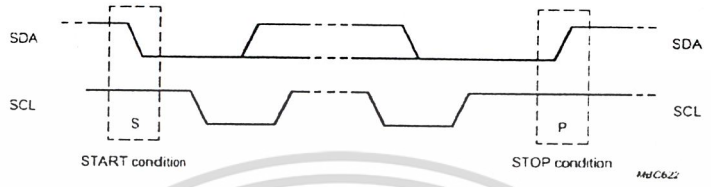



รูปที่ 15 แสดง Timing Diagram ของ Bit Transfer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Start and Stop Conditions

ทั้งสายสัญญาณ SDA และสายสัญญาณ SCL ถ้าอยู่ในสถานะไม่ BUSY จะเป็นลอจิก 1 การเปลี่ยนแปลงจากลอจิก 1 เป็นลอจิก 0 ของสายสัญญาณ SDA ขณะที่สายสัญญาณ SCL เป็น 1 เรียกว่าการกำหนดเงื่อนไข START แต่การเปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 1 ของสายสัญญาณ SDA ในขณะที่สายสัญญาณ SCL เป็น 1 เรียกว่าการกำหนดเงื่อนไข STOP



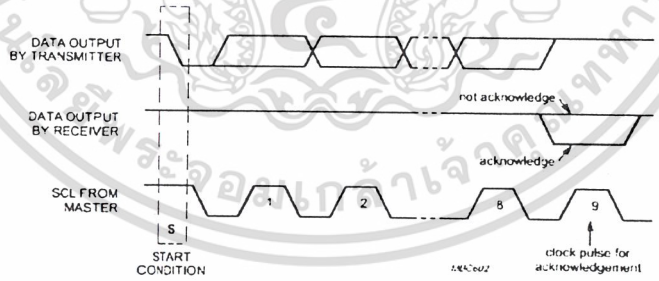

รูปที่ 16 แสดง Timing Diagramของ Start and Stop Conditions

System configuration

อุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลเรียกว่า TRANSMITTER ส่วนอุปกรณ์ที่รับข้อมูลเรียกว่า RECEIVER และอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมทิศทางการสื่อสารข้อมูลเรียกว่า MASTER และอุปกรณ์ที่ถูกควบคุมจาก MASTER เรียกว่า SLAVE

Acknowledge

จำนวนไบต์ของข้อมูลที่ถูกส่งระหว่างตัวรับและตัวส่งมีได้ไม่จำกัด ซึ่งเมื่อส่งข้อมูลครบ 1 ไบต์จะต้องส่งบิท ACK ตามออกไป 1 บิท



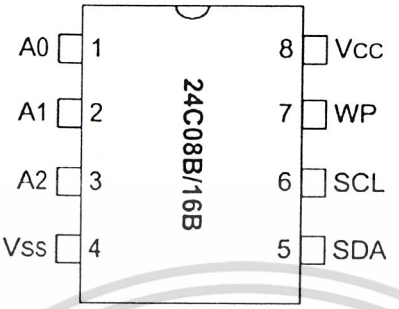

รูปที่ 17 แสดง Timing Diagram ของ Acknowledge

## EEPROM 24XX Family

บอร์ด CP-SPI/S8252 V2.0 & CP-SPI/RD2 V2.0 ออกแบบให้ใช้ IC EEPROM ในตระกูล 24XX ได้ เช่น 24C16 , 24C128 , 24C256 โดยจะยกตัวอย่างอธิบายการใช้งานเฉพาะ IC 24C16 เท่านั้น IC 24C16เป็น EEPROM ที่มีขนาด 2 Kbyte ที่มีการสื่อสารแบบ $I^2C$ สามารถต่อร่วมกับอุปกรณ์แบบ $I^2C$

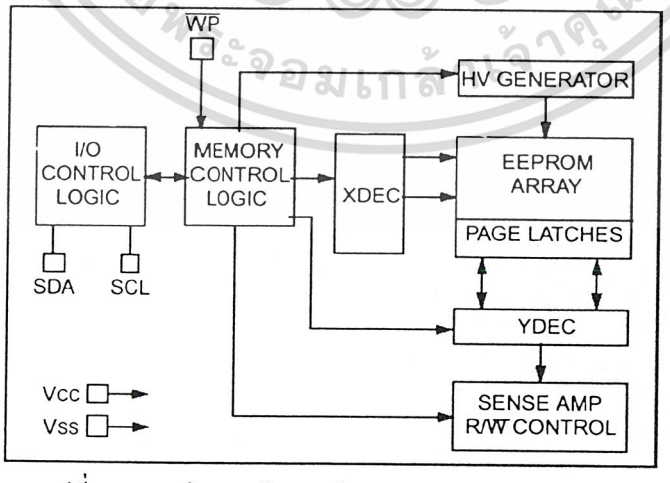
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอื่น ๆ ได้ในสายสัญญาณคู่เดียวกัน แต่ไม่สามารถต่อ 24C16 ในสายสัญญาณคู่เดียวกัน เพราะ 24C16 มีตำแหน่งที่คงที่เพียงตำแหน่งเดียว คือ ตำแหน่ง 00H โครงสร้างภายนอกและขาสัญญาณแสดงดังรูปด้านล่าง




รูปที่ 18 แสดงโครงสร้างขาใช้งานของ EEPROM 24C16

| ตำแหน่ง | สัญลักษณ์ | รายละเอียด |
|---|---|---|
| 1 | A0 | ขากำหนดตำแหน่ง A0 |
| 2 | A1 | ขากำหนดตำแหน่ง A1 |
| 3 | A2 | ขากำหนดตำแหน่ง A2 |
| 4 | Vss | กราวด์ |
| 5 | SDA | สัญญาณข้อมูล $I^2C$ |
| 6 | SCL | สัญญาณนาฬิกา |
| 7 | WP | ขาป้องกันการเขียน |
| 8 | Vcc | แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลท์ |

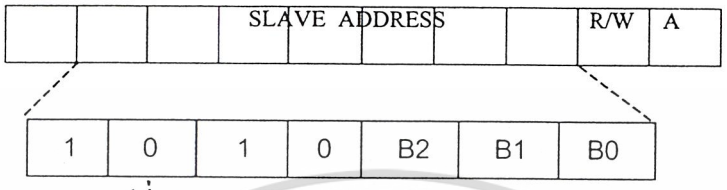



รูปที่ 19 แสดงโครงสร้างภายในของ EEPROM 24C16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Device Addressing

Control byte จะเป็น Byte แรกต่อจากบิท START Control Byte จะประกอบด้วย Control Code 4 bit จะอยู่ในบิทที่ 7-4 ใน 24C16 มีค่าเป็น 1010 และต่อมาอีก 3 Bit จะเป็น (B2,B1,B0) เป็นบิทที่ใช้เลือก Bank ของหน่วยความจำ บิทที่ 0 เป็นบิต R/W มีหน้าที่กำหนดเงื่อนไข ว่าจะเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก 24C16




**รูปที่ 20 แสดงลักษณะการ Device Address**

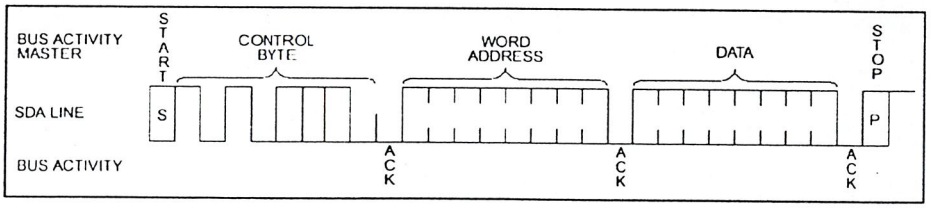
**การเขียนข้อมูล**

การเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำของ 24C16 สามารถทำได้โดยเริ่มจากส่งเงื่อนไข Start และตามด้วย Control Byte บิท R/W ใน Control Byte จะต้องกำหนดค่าให้เป็น 0 ซึ่งการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำของ 24C16 สามารถแบ่งออกได้เป็นการเขียนข้อมูลครั้งละ 1 ไบต์ และการเขียนข้อมูลครั้งละ 1 Page

**การเขียนข้อมูลแบบ Byte**

การเขียนข้อมูลแบบไบต์ หรือการเขียนข้อมูลครั้งละ 1 ไบต์ลงในหน่วยความจำของ 24C16 สามารถทำได้โดยเขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งเงื่อนไข Start ให้กับ 24C16 และตามด้วย Control Byte โดยกำหนดค่า B2,B1,B0 ใน Control Byte ตามค่าตำแหน่งหน่วยความจำที่ต้องการเขียนข้อมูล ส่วนบิท R/W จะต้องถูกกำหนดให้เป็น 0 หลังจากส่ง Control Byte จะต้องรอรับค่าบิท ACK จาก 24C16 ตามกลับออกมา ซึ่งบิต ACK ที่ตอบกลับออกมาจะมีค่าเป็น 0 หลังจากได้รับบิท ACK ที่ตอบกลับออกมาแล้ว ให้ส่งไบต์ตำแหน่งของหน่วยความจำที่ต้องการเขียนข้อมูลออกไปอีก 1 ไบต์ หลังจากนั้นให้รอรับบิท ACK ที่จะตอบกลับออกมาเป็นลอจิก 0 จาก 24C16 เมื่อได้รับบิต ACK ตอบกลับออกมาแล้ว ให้ส่งค่าข้อมูลที่ต้องการเขียนลงในตำแหน่งหน่วยความจำออกไป และรอรับค่าบิท ACK จาก 24C16 หลังจากได้รับบิท ACK ตอบกลับออกมาแล้วให้ให้ส่งเงื่อนไขการ Stop เพื่อยกเลิกการติดต่อ

ถ้าขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งไม่มีบิท ACK ตอบกลับออกมาให้เริ่มส่งเงื่อนไข Start ใหม่อีกครั้งและ




**รูปที่ 21 แสดง Timing Diagram ของการเขียนข้อมูลแบบ Byte**

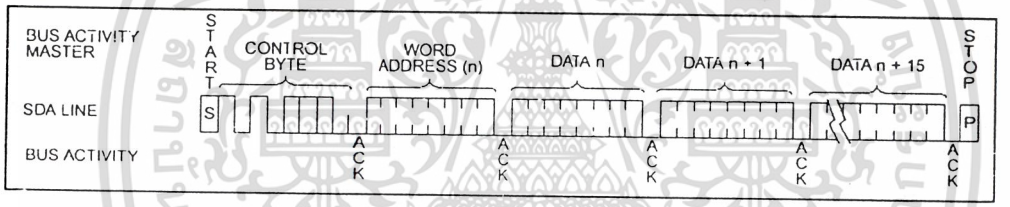
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มทำขบวนการตั้งแต่ต้นใหม่

**การเขียนข้อมูลแบบ Page**

การเขียนข้อมูลแบบ Page หรือการเขียนข้อมูลครั้งละ 1 Page ภายใน 24C16 แบ่งการเก็บข้อมูลไว้เป็น Page โดยแต่ละPage สามารถเก็บข้อมูลได้ 16 ไบต์ ดังนั้นการเขียนข้อมูลครั้งละ Page ก็คือการเขียนข้อมูลครั้งละ 16 ไบต์นั่นเอง

การเขียนข้อมูลครั้งละ Page จะเหมือนกับการเขียนข้อมูลครั้งละ 1 ไบต์ จะต้องส่งเงื่อนไข Start ออกไปก่อน แล้วตามด้วย Control Byte หลังจากนั้นรอรับ ACK จาก 24C16 หลังจากได้ค่า ACK แล้ว ให้ส่งตำแหน่งหน่วยความจำออกไปและรอรับค่าบิท ACK ที่ตอบกลับออกมาแล้ว ให้ส่งค่าข้อมูลที่ต้องการเขียนลงในตำแหน่งหน่วยความจำออกไป และรอรับค่าบิท ACK จาก 24C16 จึงจะส่งข้อมูลไบต์ต่อไปจนครบ 16 ไบต์ โดยข้อมูลทั้ง 16 ไบต์ จะถูกเก็บเรียงกันไปในหน่วยความจำเริ่มตั้งแต่ที่ตำแหน่งที่ถูกส่งออกไปใน Byte Word Address หลังจากที่ได้รับบิท ACK หลังจากส่งข้อมูลออกไปครบทั้ง 16 ไบต์ ให้ส่งบิท Stop เพื่อยกเลิกการเขียนข้อมูล




รูปที่ 22 แสดง Timing Diagram ของการอ่านข้อมูลแบบ Page

**การอ่านข้อมูล**

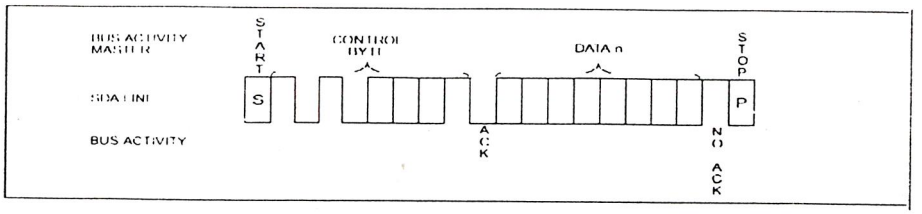
ขั้นตอนการอ่านข้อมูลจะเหมือนกับขั้นตอนการเขียนข้อมูลจะแตกต่างกันที่บิท R/W จะต้องถูกเซ็ตเป็น 1 ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการอ่านข้อมูลได้ 3 แบบ

**การอ่านข้อมูลในตำแหน่งปัจจุบัน** (Current Address Read)

ภายใน 24C16 จะมีตัวชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำ ทุกครั้งที่เราส่งตำแหน่งให้กับ 24C16 นั้นค่าของตัวชี้จะถูกเปลี่ยนตามค่าของตำแหน่งที่ถูกส่งเข้าไป และทุกครั้งที่มีการเขียนเข้าใน 24C16 หรืออ่านข้อมูลออกจาก 24C16 ในแต่ละไบต์ค่าของตัวชี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 1 ค่าโดยอัตโนมัติ

ดังนั้นการอ่านข้อมูลในตำแหน่งปัจจุบันคือการอ่านข้อมูลจาก 24C16 ณ.ตำแหน่งที่ตัวชี้อยู่ ซึ่งสามารถทำได้โดยการส่งเงื่อนไข Start และตามด้วย Control Byte โดยกำหนดให้บิต R/W มีค่าเป็น 1 หลังจากนั้นให้รอรับบิท ACK หลังจากที่ได้บิท ACK แล้วให้อ่านข้อมูลกลับออกมาจาก 24C16 จำนวน 1 ไบต์ หลังจากนั้นให้ส่งบิท NO ACK ซึ่งก็คือส่งลอจิก 1 และส่งเงื่อนไข Stop ให้กับ 24C16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

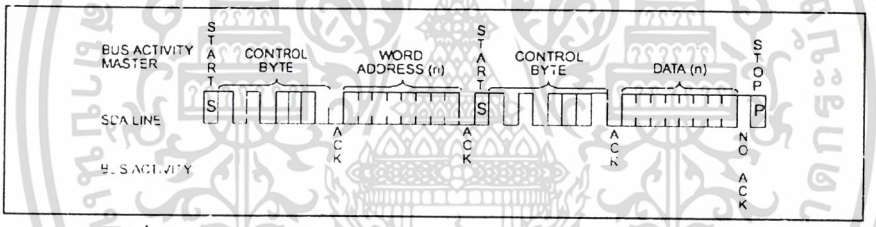



รูปที่ 23 การอ่านข้อมูลในตำแหน่งปัจจุบัน

**การอ่านข้อมูลแบบสุ่ม** (Random Read)

การอ่านข้อมูลแบบสุ่มจะเป็นการอ่านค่าตาม Address ที่ระบุที่ตำแหน่งที่ต้องการอ่าน โดยมีขั้นตอนการอ่านค่าข้อมูลในหน่วยความจำดังนี้

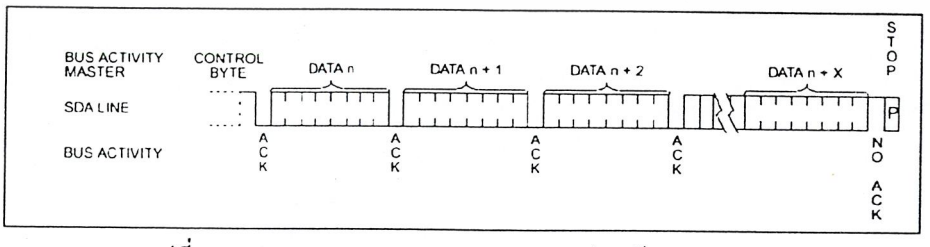
ส่งเงื่อนไข Start และตามด้วย Control Byte โดยให้บิท R/W เป็น 0 และ Word Address ซึ่งเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำที่ต้องการอ่านข้อมูล หลังจากนั้นให้รอรับบิท ACK เมื่อได้รับบิท ACK แล้วจึงอ่านข้อมูลออกมา 1 ไบต์ ซึ่งเป็นข้อมูลตำแหน่งเดียวกับที่ตัวชี้ ชี้อยู่ หลังจากได้ข้อมูลครบทั้ง 8 บิทแล้ว ให้ส่งบิท NO ACK และบิท Stop ให้กับ 24C16 เพื่อยกเลิกการติดต่อ




รูปที่ 24 แสดง Timing Diagram ของการอ่านข้อมูลแบบสุ่ม

**การอ่านข้อมูลเป็นลำดับ** (Sequential Read)

การอ่านข้อมูลในหน่วยความจำแบบลำดับ มีขั้นตอนการอ่านข้อมูลในลำดับเดียวกันกับการอ่านข้อมูลแบบสุ่ม จะแตกต่างที่การอ่านข้อมูลแบบสุ่มจะอ่านข้อมูลออกมาเพียงไบต์เดียว แต่การอ่านข้อมูลแบบลำดับจะอ่านข้อมูลออกมา X จนกระทั่งส่งบิท NO ACK และบิต Stop ออกไป ซึ่งทุกครั้งที่มีการอ่านข้อมูลออกจาก 24C16 นั้น ค่าของตัวชี้ที่อยู่ใน 24C16 จะเพิ่มค่าขึ้น 1 ค่า เพราะฉะนั้นข้อมูลที่อ่านค่าออกมาได้จึงเป็นข้อมูลที่อยู่ต่อเป็นลำดับต่อ ๆ กันออกไป




รูปที่ 25 แสดง Timing Diagram ของการอ่านข้อมูลแบบลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้