



เครื่องตรวจสอบ

Automatic Choices Checking Machine



โดย

นาย จิรศักดิ์ ทรัพย์มณี

นาย สิทธิโชค นุรัตนนท์

นาย สุวัฒน์ เตชะพิชญะ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. รัตติกร วรากุลศิริพันธ์

วัน เดือน ปี.....	2 คค 2511
เลขทะเบียน.....	038420
เลขเรียกหนังสือ.....	T. 94.99.05.คค

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2539

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตรวจข้อสอบ

Automatic Choices Checking Machine

ผู้จัดทำ

1. นาย จิรศักดิ์ ทรัพย์มณี 36014078
2. นาย สิทธิโชค นูริदानนท์ 36014486
3. นาย สุวัฒน์ เตชะพิชญะ 36014522



( รศ.ดร. รัตติกร วรากุลศิริพันธุ์ )

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องตรวจข้อสอบ

นาย จิรศักดิ์ ทรัพย์มณี  
นาย สิทธิโชค นูริตานนท์  
นาย สุวัฒน์ เตะพะพิชญะ

รศ.ดร. รัตติกร วรากุลศิริพันธุ์  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2539

### บทคัดย่อ

เครื่องตรวจข้อสอบนี้เป็นเครื่องตรวจข้อสอบแบบปรนัย ใช้ตรวจข้อสอบชนิดระบายคำตอบ สามารถทำการตรวจรหัสและคะแนนของผู้สอบได้ โดยใช้กระดาษคำตอบขนาด 60 ข้อต่อแผ่น แบบหน้าเดียว และมีจำนวนคำตอบ 5 คำตอบใน 1 ข้อ เป็นเครื่องตรวจข้อสอบที่ทำงานร่วมกับ ไมโครคอมพิวเตอร์ กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ตรวจรับรหัส และคำตอบ จากนั้นคำตอบส่งเข้าไปในไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการประมวลผลแสดงผลและจัดเก็บข้อมูล

**Automatic Choices Checking Machine**

Mr. Jirasak Submanee

Mr. Sittichoke Nooritanon

Mr. Suwat Techapichaya

Advisor:

Associate Professor Dr. Ruttikorn Varakulsiripunth

Academic Year 1996

**ABSTRACT**

This Automatic Choices Checking Machine can check code and score in the answer sheet which contain 60 answers per single page and one answer has five choices. The operation of Automatic Choice Checking Machine is based on microcomputer and microcontroller and some of mechanical parts. Checking code and answer can performed by microcontroller and calculated by microcomputer to get the information of showing and recorded in data files.

## คำนำ

ในสมัยก่อนกระดาษคำตอบปรนัยได้ใช้วิธีการกากบาทลงในกระดาษคำตอบ และตรวจคำตอบโดยการ นำกระดาษคำตอบที่มีช่องที่ถูกเจาะให้เป็นคำตอบที่ถูกต้องและนำลงไปทาบกับกระดาษคำตอบของผู้สอบ และใช้ปากกาหรือดินสอทำการขีดลงในช่องที่ผู้สอบกากบาทตรงกับกระดาษคำตอบที่ทาบลงไป

ในปัจจุบันกระดาษคำตอบแบบปรนัยได้ใช้วิธีแบบระบายด้วยดินสอคำเพื่อให้ผ่านเข้าสู่เครื่องตรวจข้อสอบและทำการรวมคะแนนที่ถูกต้อง ซึ่งเป็นวิธีที่รวดเร็ว และ สะดวกมาก เพราะได้ผ่านกระบวนการตรวจคำตอบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และวิธีนี้เป็นที่นิยมเพราะ กระดาษคำตอบที่ระบายนั้นเมื่อทำผิดแล้วสามารถทำการลบคำตอบที่ผิดได้ง่ายไม่เหมือนสมัยก่อนที่ใช้ปากกาทำ เมื่อกาผิดทำการลบไม่ได้จึงต้องขีดฆ่าทิ้งอย่างเดียว เพราะลบยากและเสียเวลา

ดังนั้นจึงได้ผลิตเครื่องตรวจข้อสอบแบบปรนัยแบบง่ายๆ ขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจข้อสอบแบบปรนัยที่ใช้ระบายด้วยดินสอ แทนเครื่องที่แพงๆ เครื่องตรวจข้อสอบที่ทำขึ้นมานี้มีลักษณะค่อนข้างเบาไม่หนักมากนัก และ ยังสามารถติดต่อกับ ไมโครคอมพิวเตอร์ได้ โดยให้ไมโครคอมพิวเตอร์ทำการรวมคะแนน และ เก็บคะแนนของแต่ละแผ่น หรือ บุคคลไว้ในแฟ้มของไมโครคอมพิวเตอร์ได้ซึ่งสะดวกและปลอดภัยจากที่ข้อมูลสูญหายได้

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา Project ของชั้นปีที่ 4 ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่ต้องการที่จะศึกษาและพัฒนาสิ่งต่างๆของเครื่องตรวจข้อสอบนี้ให้ดีขึ้นได้พอสมควร

จิรศักดิ์ ทรัพย์มณี

สิทธิโชค นูรัตนนท์

สุวัฒน์ เตชะพิชญะ

## สารบัญ

หัวข้อ	หน้าที่
บทคัดย่อ	i
ABSTRACT	ii
คำนำ	iii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4. แผนการดำเนินงานในการทำโครงการ	2
1.5. ขอบเขตในการทำงานของเครื่องตรวจสอบ	2
บทที่ 2 ส่วนควบคุมการทำงาน	3
2.1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยว	3
2.1.1. คุณสมบัติของ MCS-51 เบอร์ 8031	3
2.2. โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031	4
2.2.1. ตำแหน่งขาของ MCS-51 เบอร์ 8031	5
2.2.2. โครงสร้างภายในของ MCS-51 เบอร์ 8031	8
2.2.3. โครงสร้างพอร์ต	11
2.2.4. พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	12
บทที่ 3 สเตปป์มอเตอร์(STEPPING MOTOR)	14
3.1. หลักการทำงานของสเตปป์มอเตอร์ทั่ว ๆ ไป	14
3.2. ชนิดของสเตปป์มอเตอร์	15
3.3. สเตปป์มอเตอร์แบบแปรค่าได้และมีหลายสเตค	20
3.4. การทำงานของ VR สเตปป์มอเตอร์ที่มี 3 สเตค	21
3.5. ข้อดีและข้อเสียของสเตปป์มอเตอร์	25
3.6. โหมดการทำงานของสเตปป์มอเตอร์	25
3.7. กราฟคุณลักษณะของสเตปป์มอเตอร์	27
3.8. โหมดของการกระตุ้นเฟส	28
3.9. ชนิดของสเตปป์มอเตอร์	33

บทที่ 4	ส่วนต่าง ๆ และขั้นตอนในการสร้างเครื่องตรวจข้อสอบในช่วงตรวจคำตอบ	39
4.1.	ตัวตรวจข้อสอบอัตโนมัติ	39
4.2.	วงจรของตัวตรวจข้อสอบอัตโนมัติ	39
4.3.	กระดาษคำตอบ	41
4.4.	ขั้นตอนการทำงาน	43
4.4.1.	ส่วนต่าง ๆ ที่ต้องกำหนด	43
4.4.2.	วิธีการตรวจคำตอบ	43
4.5.	รูปแบบการทำงานของวงจรขั้วสเต็ปปีงมอเตอร์	49
บทที่ 5	การทดลองและผลการทดลอง	
5.1.	การทำงานของเครื่องตามหลักการ	50
5.2.	การเริ่มทำเครื่องตรวจข้อสอบ	50
5.3.	การทดสอบสัญญาณของตัวตรวจข้อสอบ	50
5.4.	การทดลองและผลการทดลอง	50
บทที่ 6	บทสรุป	52
6.1.	สรุปผล	52
6.2.	ปัญหาและแนวทางแก้ไข	52
หนังสืออ้างอิง		
กิตติกรรมประกาศ		

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้าที่
2.1. แสดงตำแหน่งขาชิปของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031	6
2.2. แสดงโครงสร้างภายในของ MCS-51 เบอร์ 8031	8
3.1.แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดในลักษณะต่าง ๆ	14
3.2.แสดงแรงดึงดูดที่ทำให้เกิดทอร์คที่หมุนอาร์เมเจอร์ให้ไปอยู่ตำแหน่งที่สมดุล	15
3.3.สเตปป์ิ่งมอเตอร์แบบมีสเตคเดียว	16
3.4.แสดงลำดับการสวิตช์ 3 สเตปของ VR สเตปป์ิ่งมอเตอร์แบบสเตคเดียว	18
3.5.ตารางแสดงการเลือกพารามิเตอร์ของสเตปป์ิ่งมอเตอร์	20
3.6.แสดงโครงสร้างของสเตปป์ิ่งมอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 เฟส	21
3.7.แสดงลำดับของการสเตป VRSM แบบ 3 เฟส	23
3.8.แสดงถึง VRSM แบบ 3 เฟส	24
3.9. กราฟแสดงสเตปการหมุนในโหมดการทำงาน	26
ก. หมุนแบบ step	26
ข. หมุนต่อเนื่อง	26
3.10.กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราเร็วของสเตปกับแรงบิดของการทำงานทั้ง 2 โหมดของสเตปป์ิ่งมอเตอร์	27
3.11.ตารางแสดงลำดับการกระตุ้นแบบเฟสเดียว	28
3.12.ตารางแสดงลำดับการกระตุ้นแบบเฟสคู่	29
3.13.ลักษณะของการเปลี่ยนเฟสของการกระตุ้นแบบเฟสคู่	29
3.14.ตารางแสดงลำดับการกระตุ้นแบบครึ่งสเตป	30
3.15.ลักษณะไดอะแกรมของ bifiler coil ใน VR Motor 3 เฟส	30
3.16.แสดงลักษณะของฟลักซ์แม่เหล็ก	31
3.17.ตารางแสดงลำดับการกระตุ้น	31
3.18.วงจร Brigde drive สำหรับ Stepping Motor 2 เฟส	32
3.19.ตารางแสดงลำดับการกระตุ้นสำหรับวงจรบริดจ์	32
3.20. Square-wave voltage สำหรับวงจรไดร์ฟ Bipolar	32
3.21. A step wave curren สำหรับ Ministep drive	33
3.22. ภาพหน้าตัดและการพันขดลวดของ VR Motor แบบ 3 เฟส	34
3.23. แสดงเส้นแรงแม่เหล็กขณะกระตุ้นเฟส I	34

3.24. แสดงขั้นตอนการหมุนเมื่อกระตุ้นเฟส 1 ไปเฟส 2	35
3.25. แสดงการกระตุ้นเฟสจนครบสมบูรณ์	35
3.26. โครงสร้างของ VR Motor แบบ Multi stack	36
3.27. ภาพตัดแสดง PM Motor แบบ 4 เฟส	36
3.28. สเตปในการหมุนของ PM Motor แบบ 4 เฟส	37
3.29. โครงสร้างของ Hybrid Motor	38
3.30. แสดงการพันขดลวดแบบ bifilar และ monofilar	38
4.1. แสดงวงจรขยายสัญญาณของตัวตรวจจับ	40
4.2. แสดงตัวอย่างของกระดาษคำตอบ	42
4.3. แสดงวงจรในการขับสเตปปี้งมอเตอร์	49



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องตรวจสอบแบบปรนัยนี้ เดิมเป็นเครื่องที่สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ แต่การที่จะตรวจสอบข้อมูลภายในเครื่องตรวจสอบ เช่น การตรวจสอบรหัสหมายเลขประจำตัว และคะแนน ต้องเรียกดูเป็นลำดับที่ ซึ่งจะทำให้การดูข้อมูลเป็นไปได้ช้าและไม่สามารถต่อกับเครื่องพิมพ์ทั่วไปได้ จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงเป็นสาเหตุที่จะพัฒนาโดยการนำเอาเครื่องตรวจสอบนี้ต่อร่วมกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะนำเอาข้อมูลภายในเครื่องตรวจสอบที่ทำการตรวจสอบเสร็จแล้ว เข้ามาเก็บภายในหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อความสะดวกและง่ายในการแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์หรือทางเครื่องพิมพ์ รวมทั้งการตรวจสอบรหัสและคะแนนก็ทำได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถที่จะเก็บข้อมูลไว้ใช้ในการวิเคราะห์ข้อสอบในโอกาสต่อไปได้สะดวกยิ่งขึ้น

#### 1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1. เพื่อนำเอาไมโครโปรเซสเซอร์ และ ไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งาน
- 1.2.2. เพื่อศึกษาการอินเตอร์เฟสระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับเครื่องตรวจสอบที่ถูกควบคุมโดยวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.2.3. เพื่อศึกษาและพัฒนาการเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ควบคุมการติดต่อระหว่างซีพียู 2 ตัว
- 1.2.4. เพื่อศึกษาทางด้าน มอเตอร์ และการควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ในการป้อนกระดาษคำตอบเข้าเครื่องตรวจสอบ ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ
- 1.2.5. เพื่อศึกษาวงจรตรวจจับและขยายสัญญาณที่ได้จากกระดาษคำตอบ

#### 1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1. สามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครคอมพิวเตอร์ ไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุม
- 1.3.2. เข้าใจการเขียนโปรแกรม ภาษาซี และ แอสเซมบลี ( Assembly ) ในการเขียนโปรแกรมควบคุมต่างๆ
- 1.3.3. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์กับงานอื่นได้
- 1.3.4. สามารถใช้ประโยชน์เครื่องตรวจสอบนี้ในการตรวจสอบได้

#### 1.4. แผนการดำเนินงานในการทำโครงการ

1.4.1. ศึกษาข้อมูลต่างๆ เช่น โปรแกรมภาษาซี ภาษาในไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบวงจร ในการตรวจสอบสัญญาณของตัวเซ็นเซอร์ ฯลฯ

1.4.2. ทดลองกำหนดขนาดสัญญาณของเซ็นเซอร์โดยใช้กระดาษคำตอบที่ระบายแล้ว

1.4.3. ออกแบบวงจรของเซ็นเซอร์

1.4.4. ตรวจสอบเซ็นเซอร์อีกครั้งโดยใช้กระดาษคำตอบที่ระบายแล้วเลื่อนไปทางหนึ่งและ  
เช็คความถูกต้อง

1.4.5. ออกแบบการหมุนของลูกหมุนในการรับกระดาษคำตอบ

1.4.6. ทำมอเตอร์กำหนดในการหมุน โดยใช้โปรแกรม

1.4.7. รวมโปรแกรมให้เป็นรูปร่างขึ้นมา

1.4.8. นำส่วนที่ออกแบบแล้วนำมาประกอบกัน

#### 1.5. ขอบเขตในการทำงานของเครื่องตรวจสอบ

1.5.1. ตรวจกระดาษคำตอบ จำนวน 60 ข้อ ต่อแผ่นแบบหน้าเดียว

1.5.2. ขณะตรวจแต่ละแผ่น สามารถแสดงรหัสหมายเลขประจำตัวและคะแนนได้

1.5.3. สามารถตรวจสอบกระดาษว่าถูกต้องหรือไม่ด้วยตัวเอง

1.5.4. สามารถพิมพ์รายงานผลการตรวจข้อสอบทั้งรหัสหมายเลขประจำตัวและคะแนน

1.5.5. สามารถจัดเก็บผลการตรวจข้อสอบไว้ใช้วิเคราะห์ต่อไป

## บทที่ 2

### ส่วนควบคุมการทำงาน

#### 2.1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยว

ในปัจจุบันการควบคุมเข้ามามีบทบาทในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างมากจึงทำให้เกิดการพัฒนาและการก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว และในโครงการนี้ได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031 มาใช้งานดังนั้นจึงขอให้รายละเอียดพอสังเขปดังนี้

##### 2.1.1. คุณสมบัติของ MCS-51 เบอร์ 8031

คุณสมบัติที่สำคัญๆ ของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031 มีดังนี้

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ เพียงชุดเดียว
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ภายในชิปจำนวน 4 กิโลไบต์ (เบอร์ 8031,8032 ไม่มีหน่วยความจำส่วนนี้ ส่วนเบอร์ 8052 มีหน่วยความจำส่วนนี้ 8 กิโลไบต์ และสำหรับเบอร์ 83C51FB จะมีหน่วยความจำส่วนนี้รวมทั้งสิ้น 16 กิโลไบต์ )
- สามารถใช้หน่วยความจำสำหรับ โปรแกรมและข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปได้อย่างละ 64 กิโลไบต์แยกจากกัน
- คำสั่งส่วนใหญ่ใช้เวลาทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกะเฮิร์ตซ์
- มีพอร์ตที่สามารถรับหรือส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ตๆ ละ 8 บิต หรือสามารถใช้งานรวมทั้งสิ้น 32 พอร์ต
- รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในตัว โดยสามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูล (Buad rate) ได้ตั้งแต่ 300 ถึง 375 กิโลบิตต่อวินาที
- จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ 2 ระดับ
- มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานเป็น ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์เพื่อนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาภายในชิป หรือนับการเปลี่ยนแปลงสถานะของสัญญาณภายนอกขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับนับจำนวนพัลส์ วัดความกว้างของพัลส์หรือใช้วัดช่วงเวลา (ในเบอร์ 8052 จะมี 3 ตัว )
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับไบต์และระดับบิตเพื่อให้การออกแบบ โปรแกรมและการควบคุมระบบทำได้ง่ายขึ้น
- มีคำสั่งคูณและหารขนาด 8 บิตในตัว
- สามารถประมวลผลแบบบูลีนเพื่อใช้ในงานควบคุม โดยเฉพาะ
- ใช้โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-48 ( upwardly compatible)

ได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ที่จัดว่าเป็นเบอร์พื้นฐานในตระกูลนี้คือ เบอร์ 8051 8751 และ 8031 ซึ่งมีจำนวนขาภายนอก 40 ขา เท่ากัน ใช้เวลาและสัญญาณในการปฏิบัติคำสั่ง และคำสั่งเท่ากัน ( มีโหมดมิงโคอะแกรมเหมือนกัน ) ใช้แรงดันไฟฟ้าเท่ากัน

สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างเบอร์ทั้งสามคือ ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิป ( on chip program memory ) ซึ่งมีไว้เพื่อตอบสนองความต้องการที่ไม่เหมือนกัน ดังกล่าวต่อไปนี้

- เบอร์ 8751 มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น EPROM ( Erasable Programable read Only Memory ) ขนาด 4 กิโลไบต์ ทำให้สามารถใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในการลบโปรแกรมเก่าที่มีอยู่ และบรรจุโปรแกรมใหม่ลงไปได้ทันที ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการแก้ไข หรือปรับปรุงโปรแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 8751 มีไว้ใช้งานที่เป็นการพัฒนาเบื้องต้น ( prototyping ) ซึ่งจำเป็นต้องทดสอบโปรแกรมเพื่อหาข้อผิดพลาด ( bugs ) และ แก้ไขให้เรียบร้อยก่อนทำการผลิตจริง การแก้ไขโดยการใช้อัลตราไวโอเล็ตและการบรรจุโปรแกรมที่แก้ไขใหม่สามารถทำได้ในจำนวนครั้งที่จำกัด ทั้งนี้เพราะหน่วยความจำที่เป็น EPROM เมื่อใช้ไปนานๆ จะเกิดการเสื่อมสภาพทำให้ไม่สามารถบรรจุโปรแกรมเข้าไปได้

- หลังจากทดสอบโปรแกรมจนไม่พบข้อผิดพลาดแล้ว จะเป็นช่วงของการผลิตจริงซึ่งต้องพิจารณาถึงต้นทุนเป็นอันดับแรก ในการผลิตจริงจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ซึ่งมีหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในเป็น ROM ( Read Only Memory ) ขนาด 4 กิโลไบต์ แทนเพราะราคาต่ำกว่ามาก แต่มีข้อจำกัดตรงที่ไม่สามารถแก้ไขโปรแกรมที่ได้บรรจุไปแล้วไม่ว่าจะด้วยวิธีใดก็ตาม

- เบอร์ 8031 เบอร์นี้ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป แต่สามารถใช้หน่วยความจำเพื่อเก็บโปรแกรมที่อยู่ภายนอกได้ถึง 64 กิโลไบต์ ซึ่งอาจใช้เป็น ROM, PROM หรือ EPROM ตามความต้องการของผู้ผลิต เบอร์ 8031 นี้มีไว้ใช้ในกรณีที่โปรแกรมมีขนาดเล็กกว่า 4 กิโลไบต์ หรือ มากกว่า 4 กิโลไบต์มาก

## 2.2. โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดคร่าวๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031 โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ทำความเข้าใจและมองเห็นภาพกว้างๆ ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษารายละเอียดในส่วนต่อๆ ไป สำหรับผู้ที่มีความสนใจนอกเหนือไปจากนี้ สามารถหาอ่านได้เพิ่มเติมในหนังสือต่อไป

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีสมาชิกในตระกูลหลายเบอร์ด้วยกัน แต่ละเบอร์มีคุณสมบัติพิเศษบางอย่างแตกต่างกัน เช่น มีหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมและ ข้อมูล

ภายในชิปเพิ่มขึ้น มีวงจรเปลี่ยนค่าสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลในตัว สามารถรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้หลายชนิด ทำกระบวนการ DMA ( Direct Memory Access ) ได้ในตัว มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์เพิ่มขึ้น คุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างกันของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูลนี้ดังแสดงที่ผ่านมามีให้นำไปใช้กับงานที่เหมาะสมได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ที่นับได้ว่าเป็นเบอร์พื้นฐานสำหรับตระกูล MCS-51 นี้ได้แก่เบอร์ 8051 8031 และ 8751 โดยเบอร์ 8031 เป็นสมาชิกตัวหนึ่งในตระกูลซึ่งไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป (ROM) แต่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายใน (RAM) จำนวน 128 ไบต์ มีพอร์ตขนาด 8 บิต 4 พอร์ต มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตรวม 2 ตัว รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกได้ 2 ชนิด สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทางพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม มีวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานในตัวเอง ส่วนเบอร์ 8751 จะมีคุณสมบัติเหมือนเบอร์ 8031 ต่างกันเพียงในเบอร์ 8051 จะมีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031 ใช้แรงดันไฟเพียง 5 โวลต์ในการทำงาน ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ที่มีตัวอักษร C อยู่ตรงกลางเบอร์ เช่น 80C31, 80C51 จะเป็นเบอร์ของชิปที่ผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยี CHMOS ซึ่งใช้พลังงานในการทำงานน้อยกว่าและสามารถควบคุมการใช้พลังงานของตัวชิปได้จากโปรแกรมเพื่อการประหยัดพลังงานในระบบ

MCS-51 เบอร์ 8031 เป็นตระกูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากตระกูล MCS-48 ดังนั้นจึงมีความสามารถเหนือกว่าหลายอย่าง เช่น ความเร็วในการประมวลผลของ MCS-51 เบอร์ 8031 เมื่อเทียบกับ MCS-48 แล้ว ช่วงเวลาในการทำงานแต่ละคำสั่งน้อยมาก โดยคำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดจะใช้เวลาเพียง 1 ไมโครวินาที ส่วนคำสั่งที่ใช้เวลามากที่สุดจะใช้เวลาเพียง 4 ไมโครวินาที เท่านั้น

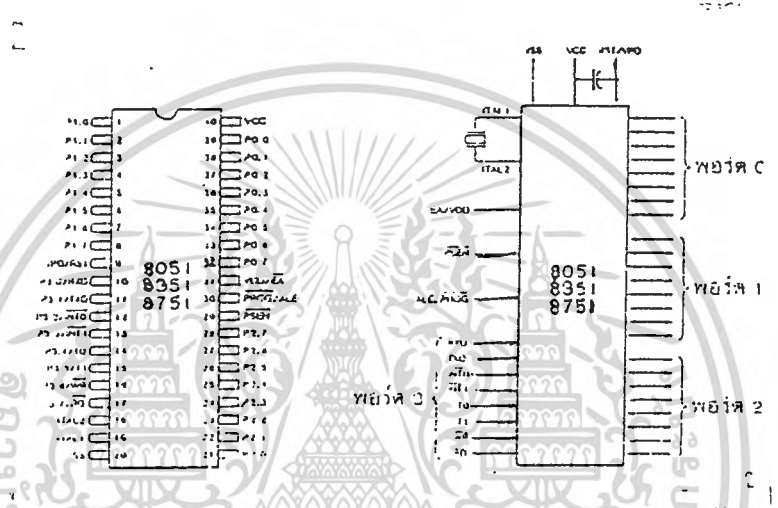
### 2.2.1. ตำแหน่งขาของ MCS-51 เบอร์ 8031

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031 ที่ใช้ในโครงงานนี้ จะมีตำแหน่งขา ดังแสดงในรูปที่ 2.1.

หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031 มีดังนี้

- ขา Vss ( ขา 20 ) สำหรับต่อลงกราวด์
- ขา Vcc ( ขา 40 ) สำหรับต่อแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาด 5 โวลต์
- ขา พอร์ต 0 ( ขา 32-39 ) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต

( P0.0 - P0.7 ) แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้ สามารถใช้งานเป็นอินพุทเอาต์พุทพอร์ตทั่วไปได้ โดย หากใช้งานเป็นอินพุทพอร์ต ต้องโหลดค่า “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะถูกปล่อยลอย ( มีสถานะ high impedance ) นอกจากนี้ใช้งานเป็นอินพุทเอาต์พุทพอร์ตแล้ว พอร์ต 0 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วย โดยส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0 - A7) และมัลติเพล็กซ์กับการรับส่งข้อมูล (D0 - D7) จากหน่วยความจำภายนอกในระหว่างการเขียนหรืออ่านข้อมูลโดยมีวงจรพูลอัพ



รูปที่ 2.1. แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031

- ขา พอร์ต 1 ( ขา 1 - 8 ) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 1 ( P1.0 - P1.7 ) สามารถใช้งานเป็นอินพุทหรือเอาต์พุทพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุทพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ high impedance โดยมีวงจรพูลอัพภายใน

ขา P1.0 , P1.1 ในเบอร์ 8052 จะใช้งานในหน้าที่อย่างอื่นนอกเหนือจากใช้เป็นอินพุทเอาต์พุทพอร์ตทั่วไปด้วย

- ขาพอร์ต 2 ( ขา 21-28 ) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 ( P2.0 - P2.7 ) ขนาด 8 บิต แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้สามารถใช้เป็นอินพุทเอาต์พุทพอร์ตทั่วไปได้โดยหากใช้เป็นอินพุทต้องโหลดค่า “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ นอกจากนี้ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกด้วย โดยใช้สำหรับส่งค่าแอดเดรสไบต์สูง ( A8-A15) และ มีวงจรพูลอัพภายใน

- ขาพอร์ต 3 ( ขา 10-17 ) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 3 ( P3.0 - P3.7 ) สามารถใช้งานเป็นอินพุทเอาต์พุทพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุทพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิต

ของพอร์ตนี้เพื่อให้มีสถานะ high impedance โดยใช้วงจรพูลอัพภายในนอกจากนี้ ยังใช้งานในหน้าที่พิเศษต่างๆ อีกหลายด้านดังนี้

ขา P3.0 ใช้รับข้อมูลจากภายนอกแบบอนุกรม

ขา P3.1 ใช้ส่งข้อมูลออกไปภายนอกแบบอนุกรม

ขา P3.2 ใช้เป็นอินพุทเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 0

ขา P3.3 ใช้เป็นอินพุทเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 1

ขา P3.4 สัญญาณอินพุทให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 0

ขา P3.5 สัญญาณอินพุทให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 1

ขา P3.6 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บ

ข้อมูลภายนอกชิป

ขา P3.7 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

ภายนอกชิป

การใช้งานพอร์ต 3 ในหน้าที่พิเศษนี้ต้องโหลดค่า “1” ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้ก่อน

- ขา RST ( ขา 9 ) ใช้สำหรับการรีเซ็ตวงจรทุกอย่างภายในชิป เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ การรีเซ็ตใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานหรือเมื่อโปรแกรมเกิดทำงานผิดพลาด เมื่อต้องการรีเซ็ตชิป MCS-51 เบอร์ 8031 ขานี้ ต้องมีสถานะ “1” เป็นเวลาอย่างน้อย 2 แมกซ์ไซเคิลระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่ โดยต้องต่อตัวต้านทานค่า 8.2 กิโลโอห์ม เพื่อทำหน้าที่ พูลดาวน์ ( รักษาค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีสถานะเป็นกราวด์ ) และ เพื่อให้ตัวชิปรีเซ็ตเองเมื่อเริ่มจ่ายพลังงานให้ต่อตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัดคร่อมระหว่างขา RST กับ Vcc

- ขา ALE/PROG ( ขา 30 ) เป็นขาสำหรับใช้ส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ ( address latch enable ) จากพอร์ต 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมหรือข้อมูลภายนอก ปกติเมื่อไม่มีการติดต่อหน่วยความจำภายนอกขานี้จะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาด้วยความถี่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ตลอดเวลา ดังนั้นเราสามารถ ใช้ความถี่ที่ได้จากขานี้ไปใช้งานอย่างอื่นได้ แต่ความถี่ที่ขานี้จะลดลงครึ่งหนึ่งในระหว่างติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่นอกชิปนอกจากนี้ ขา ALE ยังใช้สำหรับควบคุมการเขียนโปรแกรมลงใน EPROM สำหรับ MCS-51 เบอร์ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิปเป็น EPROM

- ขา PSEN ( ขา 29 ) ใช้ส่งสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป ( program strobe enable ) เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมจากภายนอกขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบสองครั้งในแต่ละแมกซ์ไซเคิล แต่ในช่วงเขียนหรืออ่านข้อมูลกับหน่วยความจำ

ภายนอกหรือเมื่อใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปจะไม่มีสัญญาณออกมาจากขานี้

- ขา EA/Vpp ( ขา 31 ) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MCS-51 ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายนอกชิป โดยหากขานี้มีสถานะเป็น 0 หมายถึงให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมภายนอก หากขานี้มีสถานะเป็น 1 หมายถึงบังคับให้ MCS-51 ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป และสำหรับ MCS-51 ที่มีหน่วยจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปสามารถเลือกให้ทำงานได้ทั้งจากโปรแกรมที่เก็บในหน่วยความจำภายในชิปหรือจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิปด้วยการต่อขา EA กับไฟเลี้ยงหรือกราวด์ตามลำดับ ส่วนใน MCS-51 เบอร์ 8031 ซึ่งไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป ให้ต่อขานี้ลงกราวด์เสมอ

- ขา XTAL1 ( ขา 19 ) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรถอดสซิลเลเตอร์

- ขา XTAL2 ( ขา 18 ) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นเอาต์พุตออกจากวงจรถอดสซิลเลเตอร์

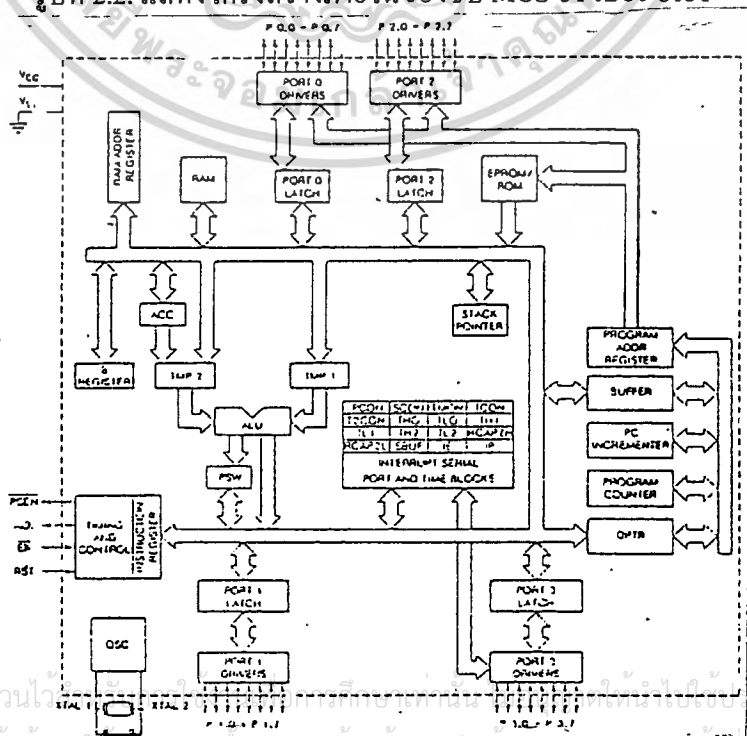
เตอร์

### 2.2.2. โครงสร้างภายในของ MCS-51 เบอร์ 8031

โครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะอธิบายเพียงบางส่วนเท่านั้น โดยจะละส่วนที่เป็นรายละเอียดต่างๆ ให้เป็นการศึกษาเพิ่มเติมเอง

โครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031 มีดังแสดงในรูป 2.2.

รูปที่ 2.2. แสดงโครงสร้างภายในของชิป MCS-51 เบอร์ 8031



โครงสร้างหน่วยความจำภายใน MCS-51 เบอร์ 8031 จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็นสองส่วนคือ

- หน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรม ( program memory )
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ( data memory )

หน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมจะใช้เก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานชิป MCS-51 บางเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิป แต่บางเบอร์จะไม่มี ทำให้ต้องเก็บโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำภายนอกทั้งหมด ส่วนหน่วยความจำส่วนที่สอง คือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ซึ่งใช้สำหรับเก็บข้อมูลระหว่างการทำงาน MCS-51 เบอร์ 8031 จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิปจำนวนหนึ่ง จะมีจำนวน 128 ไบต์

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมใน MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป ( internal program memory ) และหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิป ( external program memory ) ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิปมีได้ตั้งแต่ 0,4,8,16 กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป สำหรับ MCS-51 เบอร์ 8031 จะไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน โดยจะต้องใช้หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอก

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของ MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย ดังนี้

- ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป ( internal ram )
- ส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ ( special function register )

หน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่มีอยู่ภายใน MCS-51 สำหรับ เบอร์ 8031 หน่วยความจำส่วนนี้มีไว้สำหรับเก็บข้อมูลในขณะที่ทำงาน ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในซึ่งถูกกำหนดให้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเพื่อควบคุมการทำงานและบอกสถานะของซีพียู

MCS-51 เบอร์ 8031 จะมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปอย่างน้อย 256 ไบต์ โดยที่หน่วยความจำส่วนนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 128 ไบต์แรก และ 128 ไบต์หลัง หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์แรกมีชื่อเรียกว่า lower 128 และในบริเวณ 128 ไบต์หลังจะเป็นส่วนของหน่วยความจำข้อมูลที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

สำหรับชิป MCS-51 บางเบอร์ซึ่งมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์หลัง ( ตำแหน่ง 80H ขึ้นไป ) เพิ่มเข้ามา จะมีตำแหน่งตรงกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ ( ตำแหน่ง 80H ขึ้นไป เช่นกัน ) โดยมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำทั้งสองส่วนไม่เหมือนกัน

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ เนื่องจาก MCS-51 เบอร์ 8031 ถูกออกแบบไว้สำหรับใช้ควบคุมระบบโดยเฉพาะ จึงทำให้มีความสามารถเฉพาะตัวหลายอย่าง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวงจรภายในชิปที่มีเพิ่มขึ้นจากไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป การควบคุมการทำงานของวงจรภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระทำผ่านรีจิสเตอร์ที่ถูกกำหนดหน้าที่ไว้แล้ว ดังนั้นหากต้องการใช้ MCS-51 เบอร์ 8031 ให้มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทราบหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะแต่ละตัวให้ละเอียด รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดจะอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปบริเวณที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

ในส่วนของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป จะเป็นหน่วยความจำส่วนที่อยู่ภายนอกชิป MCS-51 เบอร์ 8031 ซึ่งผู้ใช้ต้องติดตั้งเพิ่มเอง การติดต่อระหว่าง MCS-51 เบอร์ 8031 กับหน่วยความจำทั้งสองส่วนจะใช้ขา 32 ถึง 39 ( พอร์ต 0 ) เป็นตัวส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ ( A0-A7 ) และใช้รับส่งข้อมูลกับหน่วยความจำด้วย ( ใช้เป็นดาตาบัส ) ส่วนค่าแอดเดรสไบต์สูง ( A8-A15 ) จะใช้ขา 21-28 ( พอร์ต 2 ) ดังนั้นเมื่อพอร์ต 0 และ พอร์ต 2 ถูกใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก ( ทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ) จะทำให้เหลือพอร์ตสำหรับใช้งานอื่นๆ น้อยลง

รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป MCS-51 เบอร์ 8031 มีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปที่ผู้เขียนโปรแกรมสามารถนำมาใช้งานได้คือ รีจิสเตอร์ A,B ( อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ แต่นับเป็นรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปเพราะไม่ถูกกำหนดหน้าที่ใช้งานโดยตรง ) และรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ซึ่งอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์แรก ดังแสดงไปแล้ว รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS-51 เบอร์ 8031 มีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วยรีจิสเตอร์จำนวน 8 ตัว ( R0-R7 ) ซึ่งมีชื่อเรียกเหมือนกัน ดังนั้นจำนวนรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS-51 เบอร์ 8031 จึงมีทั้งหมด 32 ตัว ในการทำงานขณะใดๆ รีจิสเตอร์ทั้ง 4 กลุ่ม จะถูกเลือกใช้งานเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้นการเลือกใช้งานรีจิสเตอร์กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งใน 4 กลุ่มกระทำโดยการเซตหรือเคลียร์บิต RS0,RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW

### 2.2.3. โครงสร้างพอร์ต

MCS-51 เบอร์ 8031 จะมีพอร์ตขนาด 8 บิตจำนวน 4 พอร์ต ( P0,P1,P2,P3 ) โดยสามารถกำหนดให้ทำงานแบบพอร์ตขนานขนาด 8 บิต 4 พอร์ต หรือจะใช้เป็นพอร์ตขนาด 1 บิตได้ถึง 32 พอร์ต ทั้งนี้ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดให้แต่ละพอร์ตใช้งานเป็นอินพุทพอร์ตหรือเอาต์พุทพอร์ตได้อย่างใดอย่างหนึ่งได้อย่างอิสระ

ในกรณีที่ผู้ออกแบบต้องการใช้หน่วยความจำภายนอก ไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลหรือสำหรับโปรแกรม พอร์ต 0 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นคาตาบัสและแอดเดรสบัสไบต์ต่ำ ส่วนพอร์ต 2 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นตัวส่งค่าแอดเดรสบัสไบต์สูง และบางส่วนของพอร์ต 3 จะถูกใช้ส่งสัญญาณควบคุมหรือคอนโทรลบัส ( สัญญาณที่ใช้ควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูล ) แต่หากหน่วยความจำที่ใช้ภายนอกต้องการไม่ถึง 64 กิโลไบต์ พอร์ต 2 ที่ใช้เป็นแอดเดรสบัสไบต์สูงจะไม่ถูกนำมาใช้ทั้งหมด แต่พอร์ต 0 จะถูกใช้หมดทั้ง 8 เส้น เพราะต้องใช้เป็นคาตาบัส ส่วนพอร์ต 3 จะนำมาใช้ติดต่อกับหน่วยความจำด้วยหรือไม่ขึ้นอยู่กับหน่วยความจำที่ใช้ภายนอกว่ามีหน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลด้วยหรือไม่ ( ต้องการสัญญาณควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูลหรือไม่นั่นเอง ) ดังนั้นในการออกแบบระบบ หากต้องการใช้หน่วยความจำภายนอกมากขึ้นเพียงใดก็จะยิ่งทำให้เหลือจำนวนพอร์ตที่จะนำมาใช้งานลดลง ในการออกแบบจริงจึงต้องพยายามลดขนาดหน่วยความจำภายนอกให้เหลือน้อยที่สุด

พอร์ต 3 ซึ่งมีขนาด 8 บิต นอกจากจะใช้ส่งสัญญาณ สำหรับการอ่านหรือเขียนข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกซิปแล้ว มันยังถูกใช้เป็นตัวสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ ( INTO,INT1 ) สัญญาณอินพุทที่ต้องการนับสำหรับเคาน์เตอร์ ( T0,T1 ) รวมทั้งใช้ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอก ( รับและส่งข้อมูลผ่านขา RXD,TXD ) อีกด้วย

ภายในแต่ละพอร์ตที่ใช้เป็นอินพุทหรือเอาต์พุท ผู้ใช้สามารถกำหนดให้ทำงานเป็นอินพุทหรือเอาต์พุทพอร์ตได้อย่างอิสระ โดยอาศัยการควบคุมจากโปรแกรม ซึ่งสามารถควบคุมให้แต่ละพอร์ตถูกใช้เป็นอินพุท ในช่วงเวลาหนึ่ง และ เป็นเอาต์พุทในอีกช่วงระยะเวลาหนึ่งได้

ไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์ ใน MCS-51 เบอร์ 8031 มีรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่สามารถนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาหรือเมกซ์ซินไซเกิลของวงจรถอดสวิตช์เลเตอร์ภายใน ( ทำงานเป็นไทม์เมอร์ ) หรือจำนวนครั้งของการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอก ( นับจำนวนพัลส์ภายนอก ) ที่ขา T0,T1 ของพอร์ต 3 ( ทำงานเป็นเคาน์เตอร์ ) รีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว คือ รีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 และ รีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 ตามลำดับ ( ในเบอร์ 8052 มีรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 2 เพิ่มให้อีก 1 ตัว ) เมื่อต้องการใช้ไทม์เมอร์ 0 หรือไทม์เมอร์ 1- จะต้อง

โพลค่าที่ต้องการนับไปไว้ในรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 หรือไทม์เมอร์ 1 และเมื่อนับได้ครบจำนวนที่ตั้งไว้จะมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์เพื่อบอกให้ซีพียูทราบ

การควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ สามารถควบคุมได้จากวงจรภายนอก ( ควบคุมด้วยสัญญาณที่ขา INT0,INT1 ) หรือควบคุมจากคำสั่งในโปรแกรม ดังนั้นรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์ใน MCS-51 เบอร์ 8031 จะสามารถวัดช่วงห่างของเวลา วัดความกว้างของพัลส์หรือนับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายนอกที่เปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแล้วรวมทั้งใช้กำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่มีคาบเวลาแน่นอนได้

โครงสร้างการอินเตอร์รัปต์ MCS-51 เบอร์ 8031 สามารถรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ถึง 5 ชนิด โดยจะเป็นสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ 2 ชนิดและที่เกิดจากภายในชิปอีก 3 ชนิด เมื่อมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้น MCS-51 เบอร์ 8031 จะละการทำงานโปรแกรมที่กำลังทำอยู่และเข้าไปทำงานโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ ( interrupt service routine ) ที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณอินเตอร์รัปต์

เราสามารถเลือกให้ซีพียูใน MCS-51 เบอร์ 8031 ถูกอินเตอร์รัปต์โดยสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นได้โดยการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมลำดับในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของ MCS-51 เบอร์ 8031 ได้ด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP ในรายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของรีจิสเตอร์ต่างๆ การจัดการข้อมูลและการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำที่มีอยู่ใน MCS-51 เบอร์ 8031 นั้นจะละไว้เพื่อให้นักศึกษาเพิ่มเติมเอง

#### 2.2.4. พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

MCS-51 เบอร์ 8031 มีพอร์ตสำหรับสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องต่อชิปที่ทำหน้าที่รับหรือส่งข้อมูลแบบอนุกรมโดยเฉพาะเพิ่มเติมแต่อย่างใดเลย การนำ MCS-51 เบอร์ 8031 ไปประยุกต์ใช้งานที่ต้องมีการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมกับวงจรภายนอกอื่นๆ จึงทำได้สะดวกและมีความคล่องตัวสูง

พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่มีใน MCS-51 เบอร์ 8031 สามารถทำงานได้ในแบบ full duplex หมายความว่า MCS-51 เบอร์ 8031 สามารถรับและส่งข้อมูลได้พร้อมๆ กัน โดยในการรับข้อมูลจะมีการบัฟเฟอร์ข้อมูลให้ด้วย จึงทำให้ MCS-51 เบอร์ 8031 สามารถกำหนดการรับข้อมูลไบต์ที่สองซึ่งถูกส่งตามเข้ามาก่อนที่ไบต์แรกที่ได้รับเข้ามาจะถูกอ่านจากรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ ที่ใช้สำหรับรับข้อมูล ( receive register ) เพื่อนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำต่อไป ( หากไบต์แรกยังไม่ถูกอ่านเมื่อได้รับ ไบต์ที่สองเรียบร้อยแล้วข้อมูลจะหายไป 1 ไบต์ )

MCS-51 เบอร์ 8031 สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ แต่อย่างใด ในด้านอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูลก็สามารถกำหนดค่าได้ตามต้องการของผู้

ใช้ โดยสามารถเลือกอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล ( baud rate ) มาตรฐานได้ตั้งแต่ 110,1.2 K , 2.4K , 4.8K , 9.6K , 19.2K , 375K ตามมาตรฐานของ UART นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการทำงานที่แตกต่างกันได้ถึง 4 รูปแบบ ตามความเหมาะสมในแต่ละงาน



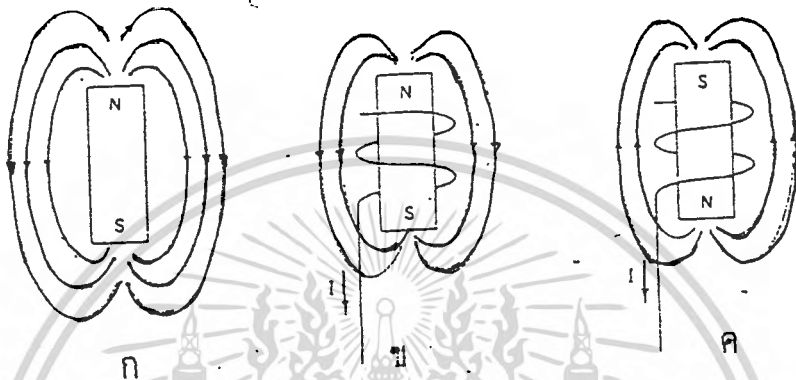
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### สเตปป์มอเตอร์ (STEPPING MOTOR)

##### 3.1. หลักการทำงานของสเตปป์มอเตอร์ทั่วไป

ในรูปที่ 3.1. แสดงหลักการพื้นฐานของเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 3.1. แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดในลักษณะต่างๆ

ในรูปที่ 3.1. (ก) สนามแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวร

(ข) สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแส I

(ค) ขั้วแม่เหล็กกลับทิศทางเมื่อขดลวดถูกพันกลับทิศทางและทิศทางกระแส

ของกระแสไม่เปลี่ยนแปลง

ในรูปที่ 3.1. แท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่บนเพลลาและหมุนได้อิสระเหมือนอาร์เมเจอร์ ที่ ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ขั้วซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะที่เป็นสเตเตอร์ (Stator)

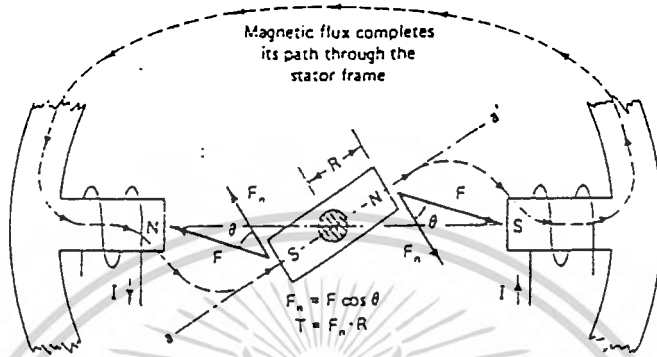
ในรูปที่ 3.1. ตำแหน่งของแกนอาร์เมเจอร์แม่เหล็กคือ  $a-a'$  ซึ่งต่างไปจากตำแหน่งแกนขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กน้อยเป็นมุม  $\theta$

$$F_n = F \cos \theta \quad (\text{แรงนี้ตั้งฉากกับแกน } a-a')$$

ทอร์กผลรวม  $T = F_n R$

ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปทิศทาง CW จนกว่าแกนของอาร์เมเจอร์  $a-a'$  จะอยู่ในแนวเดียวกับแกนขั้วของสเตเตอร์ ถ้าหากมีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลายๆ ขั้วรอบๆ สเตเตอร์ และถ้าหากขั้วเหล่านั้นถูกกระตุ้นด้วยกระแสพัลส์ในรูปแบบที่เรียงลำดับกันไป อาร์เมเจอร์ก็จะหมุนในรูป

ลักษณะของสเตป ที่เป็นไปตามการหมุนของสนามแม่เหล็ก ที่เกิดจากการสวิตซ์ที่เรียงลำดับของขดลวดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์



รูปที่ 3.2. แสดงแรงดึงดูดที่ทำให้เกิดทอร์กที่หมุนอาร์เมเจอร์ให้ไปอยู่ตำแหน่งที่สมดุล

### 3.2. ชนิดของสเตปปีงมอเตอร์ ชนิดของสเตปปีงมอเตอร์แบ่งได้หลายแบบดังนี้

3.2.1) สเตปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (PERMANENT MAGNET STEPPING MOTOR)

3.2.2) สเตปปีงมอเตอร์แบบคาร์ลัคแดนซ์แปรค่าได้ (VARIABLE-RELUCTANCE STEPPING MOTOR)

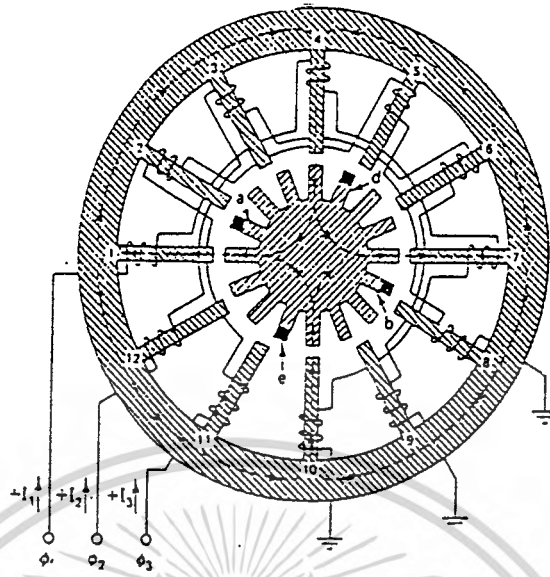
3.2.3) สเตปปีงมอเตอร์แบบไฮบริด (HYBRID STEPPING MOTOR)

ซึ่งสเตปปีงมอเตอร์ที่ใช้ในโรงงานนี้ มีแบบรีลัคแตนซ์แปรค่าได้ จี ออกล์ ชาติ รายละเอียดชนิดนี้เท่านั้น

สเตปปีงมอเตอร์แบบคาร์ลัคแดนซ์แปรค่าที่มีสเตคเดียว หรือที่เรียกสั้นๆ ว่า VR สเตปปีงมอเตอร์ที่มีสเตคเดียวแสดงได้ในรูปที่ 3.3.

VR สเตปปีงมอเตอร์ที่มีสเตคเดียวจะมีโรเตอร์เดี่ยว โรเตอร์และสเตเตอร์ทำจากสารแม่เหล็ก สเตปปีงมอเตอร์ในรูปที่ 3.3. มี 3 เฟส แต่ละเฟส ใช้ขดลวดพันบน 4 ขั้วหรือซี่ฟันของสเตเตอร์

ตัวอย่าง เฟสที่ 1 พันอยู่บนขั้วที่ 1, 4, 7 และ 10 ของสเตเตอร์ ดังนั้นสเตเตอร์จะมี 12 ซี่ฟัน และในที่นี้กำหนดให้โรเตอร์มี 16 ซี่ฟัน ขั้วของสเตเตอร์ที่อยู่ด้านตรงกันข้ามกันจะพันด้วยขดลวดลักษณะที่ต่างกันเพื่อให้มีความสมดุลระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กที่เข้าและออกจากโรเตอร์



รูปที่ 3.3. สเตปป์มอเตอร์แบบมีสเตคเดียวมีรายละเอียดดังนี้

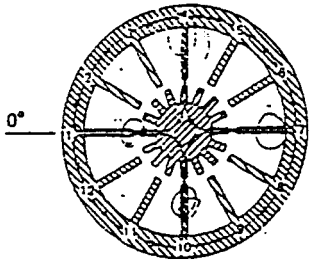
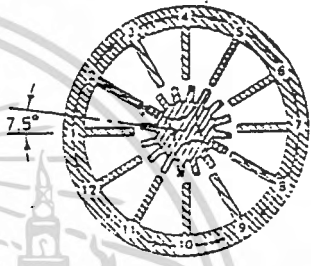
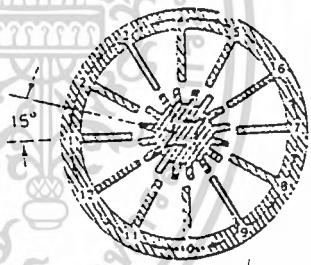
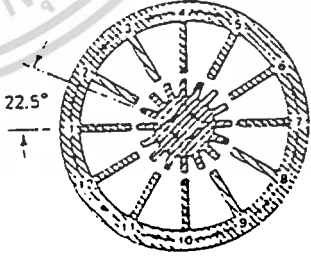
$N_r = 16$ ,  $N_s = 12$ ,  $X = 4$  โพล/เฟส,  $\theta_s = 7.5$  องศา,  $R_s = 48$  สเตป/รอบ

สมมติว่ากระแส I1 ป้อนให้กับเฟสที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และโรเตอร์ทั้ง 4 ชีฟท์อยู่ในแนวชีฟท์ที่ 1, 4, 7 และ 10 ของสเตเตอร์ เส้นแรงแม่เหล็กจะเข้าสู่โรเตอร์จากสเตเตอร์ฟันที่ 4 และ 10 และออกจากโรเตอร์ไปยังชีฟท์ของสเตเตอร์ที่ 1 และ 7 ซึ่งเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่ครบวงจร โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ เราจะสังเกตได้ว่าปลายชีฟท์ของสเตเตอร์ที่ 4 จะถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ (เนื่องจากเส้นแรงออกจากชีฟท์ที่ 4) และปลายของชีฟท์โรเตอร์ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกับชีฟท์ที่ 4 ของสเตเตอร์จะเป็นเส้นทางผ่านเข้าไปยังโรเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็ก และเหนี่ยวนำให้ปลายของชีฟท์ของโรเตอร์นั้นเป็นขั้วได้ การทำให้เกิดลักษณะเป็นแม่เหล็กนี้จะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กอย่างต่อเนื่องผ่านช่องว่าง (gap) ระหว่างชีฟท์ทั้งสองที่อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนชีฟท์ของสเตเตอร์ละโรเตอร์ที่เหลืออีก 3 คู่ก็เกิดลักษณะของแม่เหล็กในทำนองเดียวกัน

ในภาวะต่อไปเราจะให้โรเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตปในทิศทาง CW เราจะต้องจ่ายพลังงานให้กับเฟส 3 ที่มีขดลวดพันอยู่บนชีฟท์ที่ 2, 5, 8 และ 11 ของสเตเตอร์ด้วยกระแส I3 หลังจากหยุดจ่ายกระแส I1 แล้ว ในตอนนี้เส้นแรงแม่เหล็กจะหาทางเดินที่ต่างไปจากเดิมเพื่อทำให้วงจรแม่เหล็กครบวงจร (เหมือนกับกระแสในวงจรไฟฟ้า หาเส้นทางไหลในส่วนที่มีความต้านทานต่ำสุด ในทำนองเดียวกัน เส้นแรงแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กก็จะหาเส้นทางเดินที่มีค่ารีลัคแตนซ์ต่ำที่สุด ช่องว่างอากาศระหว่างชีฟท์จะทำให้เกิดค่ารีลัคแตนซ์ต่อเส้นแรงแม่เหล็ก ช่องว่างกว้างมากค่ารีลัคแตนซ์ก็จะมีค่ามาก)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวเส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากขั้วที่ 2 และ 8 ของสเตเตอร์ซึ่งถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วเหนือ และเส้นแรงแม่เหล็กก็จะกระโดดผ่านช่องว่างไปยังขั้วของโรเตอร์ที่ใกล้ที่สุด ซึ่งขั้ว a และ b ของโรเตอร์เป็นขั้วที่อยู่ใกล้ที่สุดจะถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วใต้ เส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากขั้วที่ d และ e ของโรเตอร์ผ่านช่องว่างอากาศเข้าสู่ขั้วที่ 5 และ 11 ของสเตเตอร์ ดังนั้นส่วนที่เหลื่อของวงจรแม่เหล็กจะสมบูรณ์โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ ในระหว่างนั้นแรงของแม่เหล็กหรือแรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างขั้วที่ 2 ของสเตเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ) และขั้วที่ a ของโรเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วใต้) แรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างขั้ว (11,e) , (8,b) และ (5,d) ด้วยดังที่ได้อธิบาย ในรูปที่ 3.2. ผลที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดทอร์กกระทำต่อโรเตอร์หมุนไปจนกระทั่งขั้ว a,b,d และ e ของโรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกับขั้ว 2,5,8 และ 11 ของสเตเตอร์ตามลำดับ ขณะเวลาดังกล่าวช่องว่างระหว่างขั้วจะมีค่าน้อยสุด ผลลัพธ์ของค่ารีลักแตนซ์จะมีค่าต่ำสุด และเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าสูงสุดผ่านวงจรแม่เหล็กตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่สมมูลของการจับเฟส 3 กระบวนการที่กล่าวมาแล้วโรเตอร์จะเคลื่อนที่ในทิศทาง CW หนึ่งสเตป เป็นมุม 7.5 องศา

ลำดับการทำงานที่สมบูรณ์แสดงได้ในรูปที่ 6 เมื่อตำแหน่งเริ่มต้นของ ขั้วของโรเตอร์จะเป็น สีดำเพื่อให้เข้าใจได้ชัดเจนถึงการหมุนของโรเตอร์ในทิศทาง CW เมื่อเฟสถูกจับในลักษณะเรียงลำดับ 1-3-2-1 ขั้วของโรเตอร์ที่เป็นสีดำนจะเคลื่อนที่ไป 3 สเตปคิดเป็นมุมได้เท่ากับ 22.5 องศา เราจะจับเฟสในลักษณะเรียงลำดับเดิมซ้ำใหม่อีกเมื่อต้องการให้โรเตอร์หมุนต่อเนื่องในทิศทาง CW แต่ถ้าเราต้องการให้โรเตอร์หมุนในทิศทาง CCW เราต้องกลับการเรียงลำดับเฟสเป็น 1-2-3-1

การเรียงลำดับเฟส	ตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นแรงแม่เหล็ก
<p>ตำแหน่งโรเตอร์เริ่มต้น :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-เฟส <math>\phi_1</math> ได้รับพลังงาน</li><li>-ซี่ฟันของโรเตอร์อยู่ในแนวซี่ฟันที่ 1, 4, 7, 10 ของสเตเตอร์</li></ul>	
<p>สเตปที่ 1 : เฟส <math>\phi_3</math> ได้รับพลังงาน</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 2,5,8,11 ของสเตเตอร์</li><li>-โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปทิศทาง CW เป็นมุม 7.5 องศา (1/3 ช่วงห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์)</li></ul>	
<p>สเตปที่ 2 : เฟส <math>\phi_2</math> ได้รับพลังงาน</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 3,6,9,12 ของสเตเตอร์</li><li>-โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW รวมเป็นมุม 15 องศา</li></ul>	
<p>สเตปที่ 3 : เฟส <math>\phi_1</math> ได้รับพลังงาน</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 1,4,7,10 ของสเตเตอร์</li><li>-โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW รวมเป็นมุม 22.5 องศา (เคลื่อนไปได้ 1 ช่วงห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์)</li></ul>	

รูปที่ 3.4. แสดงลำดับการสวิตซ์ 3 สเตปของ VR สเตปปีงมอเตอร์แบบแอสคเคียว



สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของ VR สเตปปีงมอเตอร์

- $N_R$  = จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์
- $N_S$  = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์
- $N_p$  = จำนวนเฟส
- $P_R$  = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์ (องศา)
- $P_S$  = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของสเตเตอร์ (องศา)
- $\theta_s$  = มุมสเตป (องศา)
- $R_S$  = อัตราการสเตปหรือความเร็วในการสเตป (สเตป / รอบ)
- $X$  =  $N_S / N_p$  = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ต่อเฟส

พารามิเตอร์ต่างๆ ของ สเตปปีงมอเตอร์

1) ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ (tooth pitch)

$$P_R = \frac{360}{N_R} \quad \text{และ} \quad P_S = \frac{360}{N_S}$$

2) มุมสเตป (step angle)

ในรูปที่ 3.4. โรเตอร์จะเคลื่อนที่ในขนาดมุม  $P_R$  ได้เท่ากับ  $N_p$  สเตป ดังนั้นเราจะหามุมสเตป

ได้

$$\theta = \frac{P_R}{N_p} = \frac{360}{N_p N_R} \quad \text{องศา/สเตป}$$

มุมสเตปจะเท่ากับความแตกต่างระหว่าง  $P_R$  และ  $P_S$  ดังนั้นเราจะหามุมสเตปได้เป็น

$$\theta = |P_R - P_S| \quad \text{องศา/สเตป}$$

3) อัตราการสเตป (stepping rate)

ความเร็วในการสเตปต่อรอบ (360 องศา) หาได้เป็น

$$R_S = \frac{360}{\theta_s} = N_R N_p$$

4) ความเร็วของการสเตปปีงมอเตอร์ (speed of stepping motor)

เมื่อเราป้อนอินพุตพัลซ์ที่มีความถี่ ( $f$ ) สเตปต่อพัลซ์ให้กับสเตปปีงมอเตอร์ มอเตอร์จะ

สเตปไปด้วยความเร็ว (สเตป) \* (พัลซ์)

พัลซ์ วินาที

$$1 \text{ (รอบ)} * f \text{ (พัลซ์)} * (\text{สเตป}) * 60 \text{ (วินาที)}$$

$$R_S \text{ สเตป} \quad \text{วินาที} \quad \text{พัลซ์} \quad \text{นาที}$$

$$\text{ความเร็วของมอเตอร์} = \frac{60f}{R_s} = \frac{60f}{N_p N_R} = \frac{\theta_s f}{6} \text{ (rpm)}$$

5) จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (number of stator poles per phase)

$$\text{จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (X)} = \frac{N_s}{N_p}$$

หรือ 
$$X = \frac{R_s}{N_p(N_p + 1)} = \frac{N_R}{(N_p + 1)}$$

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (X) จะสัมพันธ์กับอัตราการสเตป หรือจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์สเตปป์มอเตอร์ ในรูปที่ 3.3. สามารถสรุปการเลือกพารามิเตอร์บางตัวได้ดังตารางที่ 1

$N_p$	$R_s$	$N_R$	X	$N_s$
3	48	16	4	12
			8	24
4	48	12	4	16
4	64	16	?	?

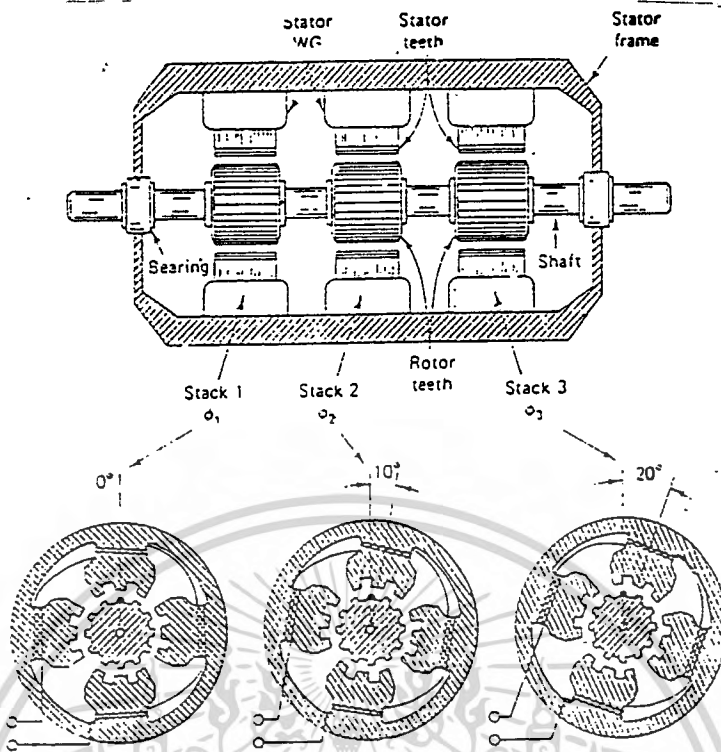
รูปที่ 3.5. ตารางแสดงการเลือกพารามิเตอร์ของสเตปป์มอเตอร์

### 3.3. สเตปป์มอเตอร์แบบแปรค่าได้และมีหลายสเตค (MULTI-STACK VARIABLE-RELUCTANCE STEPPING MOTOR)

สเตปป์มอเตอร์แบบรีลัคแตนซ์แปรค่าได้ (VR) และมีหลายสเตค สเตคในที่นี้หมายถึงเฟสซึ่งประกอบด้วยโรเตอร์ที่เป็นซี่ฟัน และโครงร่างของสเตเตอร์ที่อยู่รอบนอก

สเตปป์มอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 สเตค (หมายถึง 3 เฟส) มีโครงสร้างดังรูปที่ 3.6. ซึ่งมักออกแบบให้สเตเตอร์ของแต่ละสเตคประกอบด้วย 4 โพล และแต่ละโพลมีซี่ฟัน 3 ซี่ ซึ่งต่างจาก VR สเตปป์มอเตอร์แบบสเตคเดียว (แต่ละโพลจะมีซี่ฟันเดียว)

**ข้อสังเกต** ในแต่ละสเตคจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะมีจำนวนเท่ากัน ซึ่งต่างจาก VR สเตปป์มอเตอร์แบบสเตคเดียวคือ จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะเท่ากันไม่ได้ ถ้าหากมีจำนวนซี่ฟันเท่ากันจะไม่ทำงาน



รูปที่ 3.6. แสดงโครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 เฟส โรเตอร์และสเตเตอร์ของแต่ละเฟส(สแตค) จะมี 12 ซี่ฟัน และมุมสเตป  $\theta_s = 10$  องศา แต่ละเฟสของสเตเตอร์ที่เรียงลำดับต่อเนื่องกันจะถูกจัดตำแหน่งให้ต่างกันเท่ากับ  $1/3$  ของช่องห่างระหว่างซี่ฟันของ โรเตอร์

### 3.4. การทำงานของ VR สเตปป์มอเตอร์ที่มี 3 สแตค

โคอะแกรมส่วนล่างของรูปที่ 3.6. แสดงถึงโครงสร้างของโรเตอร์และสเตเตอร์ ของ VR สเตปป์มอเตอร์ที่มี 3 สแตค แต่ละสแตค มี  $N_R = N_S$  และจะมีตำแหน่งของสเตเตอร์แตกต่างจากสเตเตอร์ในสแตคถัดไปเท่ากับ 10 องศา ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์จะประกอบอยู่บนแกนเดียวกันและได้รับการปรับแต่งให้อยู่ในแนวเดียวกันอย่างสมบูรณ์

ตามปกติเราจะหาค่ามุมสเตป (หรือ index angle :  $\theta_I$ ) หาได้จากสมการเดียวกัน คือ

$$\theta_I = \frac{P_R}{N_p} = \theta_s$$

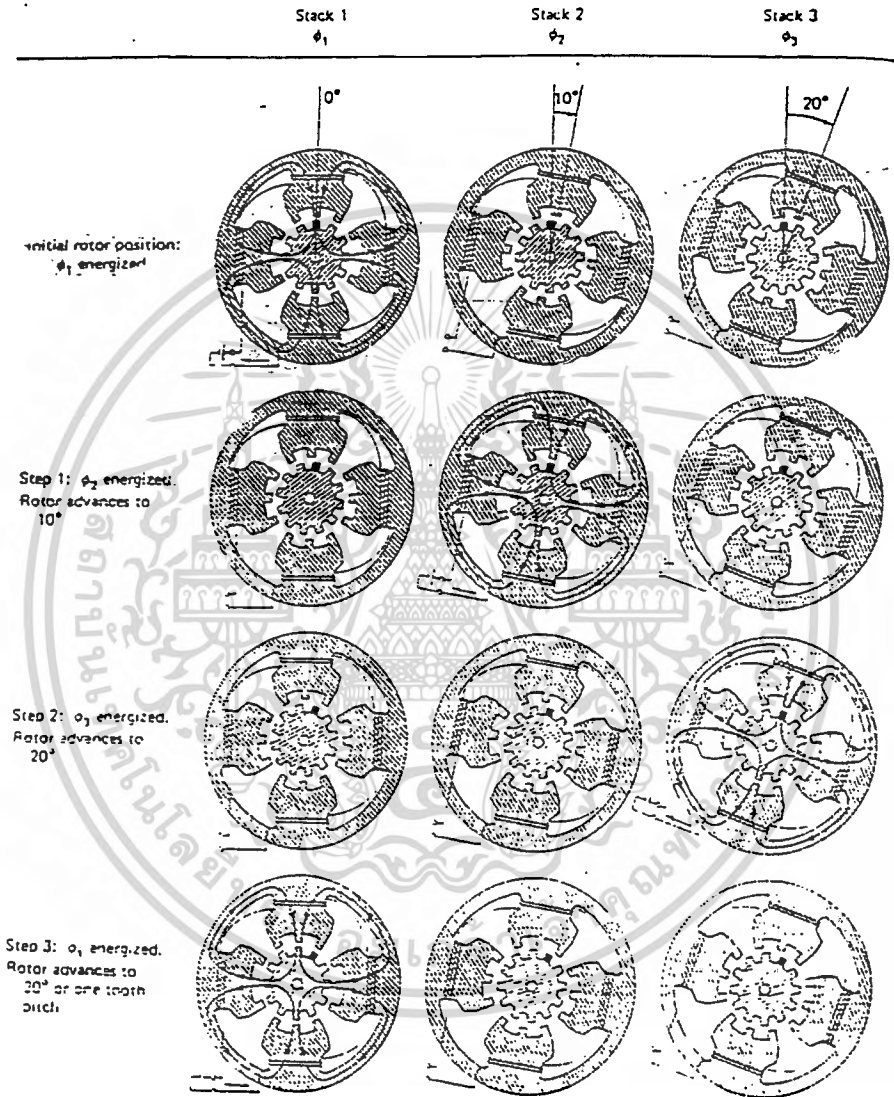
ในกรณีนี้  $N_R = N_S = 12$  ดังนั้นเราหา  $P_R = 360/12 = 30$  องศา และค่า  $\theta_I = 30/3 = 10$  องศา

สเตปป์มอเตอร์แบบ 3 สแตคถึงแม้ว่าโรเตอร์ทั้ง 3 อันจะติดอยู่บนเพลาคเดียวกัน สแตคทั้ง 3 สแตคจะมีวงจรมแม่เหล็กแยกกันดังนี้

เฟสที่ 1 ถูกขับเคลื่อนด้วยกระแสเป็นเฟสเริ่มต้นให้ซี่ฟันของโรเตอร์ - สเตเตอร์ อยู่ในซี่เดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ - สเตเตอร์ในสเตตที่ 2 ในขณะนั้นจะมีตำแหน่งต่างกัน 10 องศา และซี่ฟันของ โรเตอร์-สเตเตอร์ ในสเตตที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 20 องศา ต่อจากนั้นเราหยุดจ่ายกระแสในสเตตที่ 1 และป้อนกระแสให้กับสเตตที่ 2 โรเตอร์จะหมุนไปอีก 10 องศา ซึ่งทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์-สเตเตอร์ในสเตตที่ 2 อยู่ในแนวเดียวกัน ในขณะที่ซี่ฟันของโรเตอร์ -สเตเตอร์ในสเตตที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10 องศา ต่อจากนั้นเราหยุดจ่ายกระแสในสเตตที่ 2 และป้อนกระแสให้กับ สเตตที่ 3 โรเตอร์จะหมุนไปอีก 10 องศา ซึ่งจะทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์-สเตเตอร์ในสเตตที่ 3 อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์-สเตเตอร์ในสเตตที่ 1 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10 องศา

ลำดับการสวิตช์กระแสในแต่ละสเตตแสดงได้ในรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพลลาของ สเตปป์มอเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 1 ช่องของระยะห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (30 องศา) ภายใน 3 สเตป

ตามปกติเพลลาของมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปหนึ่งช่องของระยะห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (rotor tooth-pitch) ตัวการสเตปไป  $N_p$  สเตป เมื่อ  $N_p$  คือ จำนวนสเตตที่ใช้ (หรือเท่ากับจำนวนเฟส) การลำดับสวิตช์ที่แสดงในรูปที่ 3.7. เราสามารถนำมาเขียนตารางได้ดังรูปที่ 3.8. วงจรสวิตช์ประกอบด้วย VRSM แบบ 3 เฟส (สัญลักษณ์ของสเตปป์มอเตอร์) การขับเฟสแสดงได้ด้วยสวิตช์ และ แหล่งจ่ายกำเนิด DC



รูปที่ 3.7. แสดงลำดับของการสลับ VRSM แบบ 3 เฟส,  $N = N_s = 12$ ,  $P_r = 30$  องศา และ  $\theta_s = 10$  องศา ซึ่งฟันของโรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW 10 องศา ในแต่ละสเตป รวมทั้งหมด 30 องศา เมื่อสลับไปครบ 3 สเตปสำหรับการหมุนในทิศทาง CW ลำดับในการขับเฟส 1-2-3-1 และเมื่อต้องการให้หมุนไปในทิศทาง CCW ลำดับการขับเฟสต้องกลายเป็น 1-3-2-1

Step	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
1	X		
2		X	
3			X
1	X		

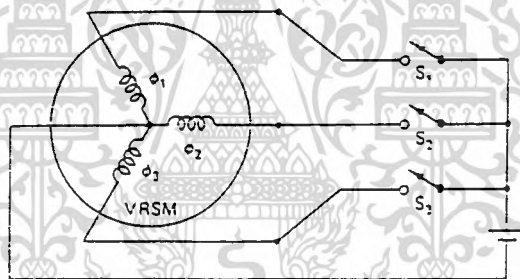
Step	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
1	X	X	
2		X	X
3	X		X
1	X	X	

ก

ข

Step	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
1	X	X	
2		X	
3		X	X
4			X
5	X		X
6	X		
1	X	X	

ค



ง

รูปที่ 3.8. แสดงถึง VRSM แบบ 3 เฟส (ก) ตารางแสดงลำดับการขับเฟสเดียวในทิศทาง CW (ข) ตารางแสดงลำดับการขับเฟส 2 เฟสในทิศทาง CW (ค) การขับแบบครึ่งสเตปในทิศทาง CW (ง) วงจรการสวิตช์เมื่อต้องการให้หมุนในทิศทาง CCW เราต้องกลับลำดับการขับ คือ ให้อ่านตาราง (ก) (ข) และ (ค) จากข้างล่างขึ้นไปข้างบน

จากตาราง (ก) ถ้าเราขับเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 เรียงตามลำดับมอเตอร์จะหมุนไป 1 สเตป ตาราง (ข) ถ้าเราขับเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 พร้อมกัน เฟลาของมอเตอร์จะหมุนไป 1/2 สเตป ต่อจากนั้นเราขับเฟสที่ 2 และเฟสที่ 3 พร้อมกันอีกก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปครบเต็ม 1 สเตป ดังนั้นการขับแบบ 2 เฟส เราลำดับการขับได้ดังนี้ 1-2,2-3,3-1 และ 1-2 กระทำซ้ำเดิมไปเรื่อยๆ

อย่างไรก็ตามการขับเคลื่อนแบบ 2 เฟส หรือ 1 เฟส จะให้การหมุนเป็นสเตปเท่ากัน ที่ต่างกันก็คือ การขับเคลื่อนแบบ 2 เฟส จะให้การหมุนของโรเตอร์นำหน้าการขับเคลื่อนเฟสเดียวด้วยขนาด  $\frac{1}{2}$  สเตป นอกจากนี้การขับเคลื่อนแบบ 2 เฟสจะต้องการกระแสเป็น 2 เท่าของการขับเคลื่อนเฟสเดียว

ตาราง (ก) แสดงการขับเคลื่อนแบบ 2 เฟสสลับกับการขับเคลื่อนเฟสเดียว ซึ่งทำให้โรเตอร์หมุนไป  $\frac{1}{2}$  สเตปเท่านั้น การขับเคลื่อนนี้จะทำให้จำนวนสเตปต่อรอบเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าจากเดิม

### 3.5. ข้อดีและข้อเสียของสเตปป์มอเตอร์

#### ข้อดี

1.สามารถขับเคลื่อนแบบเปิด คือ ไม่ต้องมีสัญญาณป้อนกลับก็ได้ตำแหน่งที่แน่นอน และไม่มีปัญหาเรื่องเสถียรภาพ

2.ไม่มีความผิดพลาดของตำแหน่งแบบสะสม

3.ไม่มีการตอบสนองต่อสัญญาณป้อนเข้าแบบสะสม

4.มีกลไกอย่างง่าย ต้องการการบำรุงรักษาเล็กน้อยหรือไม่ต้องการเลย

5.สามารถที่จะถูกหยุดได้ทันทีโดยไม่เสียหาย

6.ทนทานและแข็งแรง

#### ข้อเสีย

1.มี step angle คงที่

2.มี overshoot สูง และมีการสั่นของการตอบสนอง

3.มีความสามารถจำกัดในการรับภาระที่มีความเฉื่อยสูง

4.ภาระเนื่องจากความเสียดทานจะไปเพิ่มความผิดพลาดของตำแหน่งของการควบคุมแบบปิด แม้ว่าความผิดพลาดของตำแหน่งจะไม่สะสม

5.กำลังที่ได้และขนาดของสเตปป์มอเตอร์ มีจำกัด

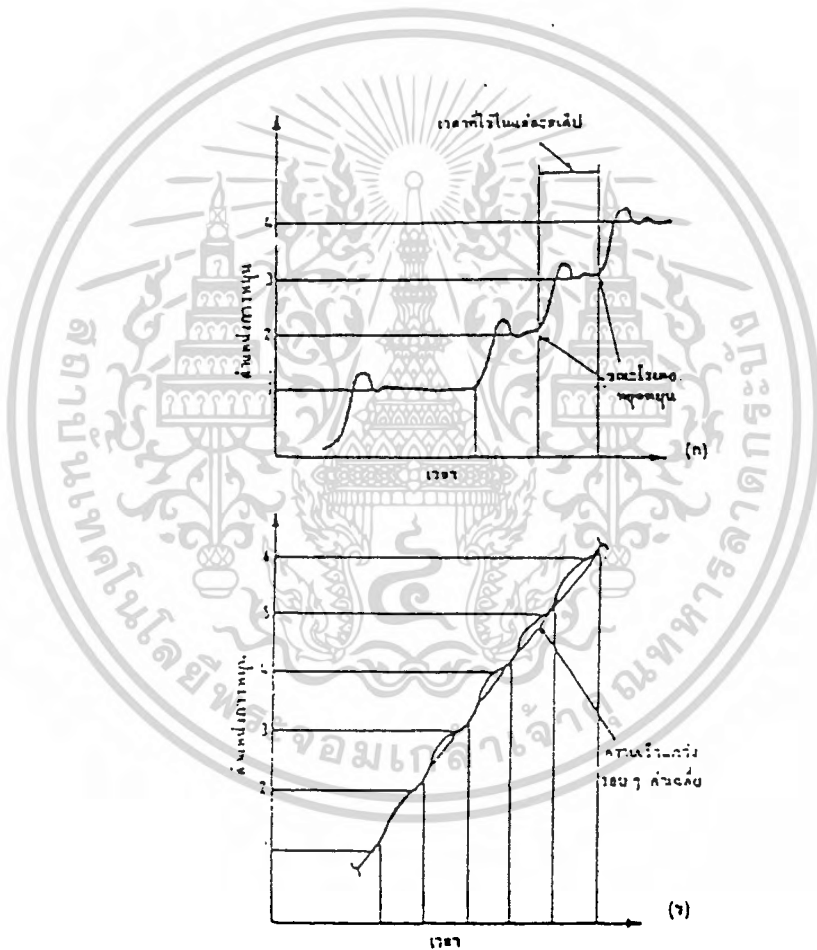
### 3.6. โหมดการทำงานของ STEPPING MOTORS

ถ้าจะแบ่งโหมดการทำงานของ Stepping Motor ตามอัตราเร็วของ Step จะแบ่งออกได้เป็น 2 โหมด คือ หมุนเป็นสเตป (Discrete Stepping Mode) และหมุนแบบต่อเนื่อง (Slewing Mode)

โดยถ้าการหมุนเป็นแบบสเตป และมีเวลาหยุดนิ่งก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นสเตปต่อไป ก็จะเรียกการทำงานในโหมดนี้ว่าการหมุนเป็น Step ดังรูป 3.9. (ก) สำหรับตัวอย่างของเครื่องใช้ที่ทำงานในโหมดนี้คือ เครื่องเจาะบัตร การทำงานต่างๆ ก็คือ Stepping Motor จะเป็นตัวส่งแถบกระดาษเข้าไปยังเครื่องปรุกระดาษเพื่อบันทึกข้อมูลลงในแถบกระดาษซึ่งการหมุนของ Stepping Motor จะหมุนไปแล้วหยุดชั่วขณะเพื่อประกระดาษให้เรียบร็อยก่อน แล้วจึงค่อยหมุนต่อไปยังตำแหน่งเจาะใหญ่

ถ้าเพิ่มอัตราเร็วในแต่ละ Step ให้เร็วขึ้น และเป็นไปอย่างต่อเนื่องไม่มีการหยุดนิ่ง จะเรียก กำหนดการทำงานนี้ว่า การหมุนแบบต่อเนื่องดังแสดงในรูป 3.9. (ข) ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์ (ก) กับ อัตราเร็วของ Step (f) และจำนวนสเตปทั้งหมด (s) ได้ดัง สมการ

$$N = 60 f/s$$



รูป 3.9. กราฟแสดงสเตปการหมุนใน โหมดการทำงาน

(ก) หมุนแบบ Step

(ข) หมุนต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7. กราฟคุณลักษณะของ STEPPING MOTOR

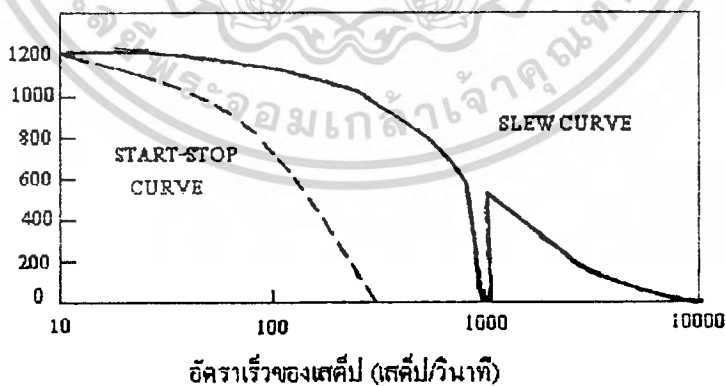
กราฟคุณลักษณะของ Stepping Motor จะเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของ Step และแรงบิดที่แสดงในรูปสำหรับกราฟเส้นประ เรียกว่า Start-Step หรือ single step curve เป็นกราฟที่อยู่ในโหมดการหมุนเป็น Step และเป็นกราฟที่แสดงถึงย่านของแรงบิดที่มอเตอร์สามารถเริ่ม และหยุดหมุนได้ โดยปราศจากความผิดพลาดแม้ที่อัตราเร็วของ Step ต่างๆ กัน และกราฟอีกเส้นคือ slew curve ซึ่งทำงานอยู่ในโหมดการหมุนแบบต่อเนื่อง จะเป็นกราฟที่แสดงถึงค่าแรงบิดสูงสุดที่ Stepping Motor สามารถจะกระทำได้ที่อัตราเร็วของ Step ต่างๆ กันถ้ามีการใช้งาน Stepping Motor โหมดกราฟนี้ก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ในทางตรงข้าม ถ้าใช้งานอยู่ภายใต้กราฟนี้แม้จะควบคุมแบบระบบเปิดก็มั่นใจได้ว่าทั้งตำแหน่งและความเร็วมีความเที่ยงตรงแน่นอนโดยตำแหน่งของ MOTOR สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{มุมที่เปลี่ยนไป} = \text{มุมใน 1 step} \times \text{จำนวนพัลส์ที่ป้อนให้}$$

ส่วนความเร็วคำนวณหาได้จากสมการ

$$N = 60 \text{ f/s}$$

สำหรับช่วงที่เส้นกราฟขาดหายไปของ slew curve นั้นเป็นย่าน เรโซแนนซ์ (Resonant region) ซึ่งเป็นจุดอ่อนสำคัญที่ต้องคำนึงในการพิจารณาใช้งาน เพราะเป็นช่วงที่ไม่เสถียร และควบคุมไม่ได้



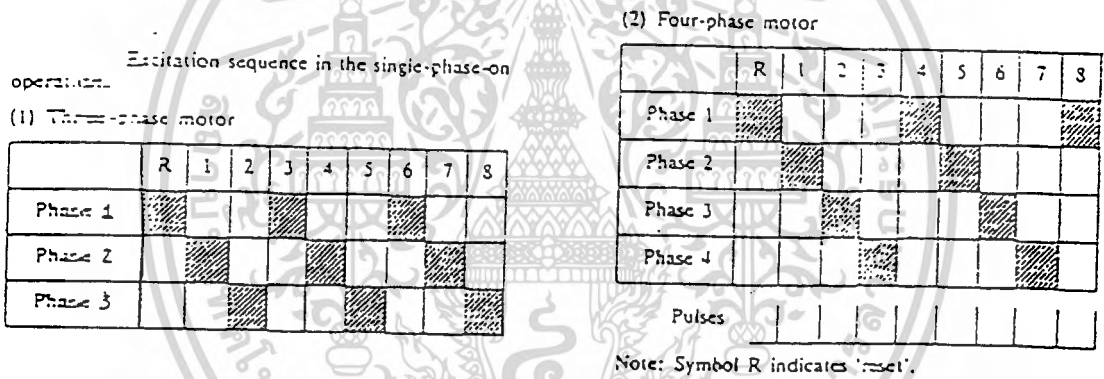
รูปที่ 3.10. กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราเร็วของ Step กับแรงบิดของการทำงานทั้ง 2 โหมดของ Stepping motor

### 3.8. โหมดของการกระตุ้นเฟส (MODES OF EXCITATION)

การใช้งาน Stepping motor อย่างเป็นทางการจำเป็นต้องจ่ายพัลส์เป็นสำคัญอย่างต่อเนื่อง วิธีการกระตุ้นเฟสมีหลายอย่างดังนี้

#### 1. การกระตุ้นแบบเฟสเดียว (Single-phase excitation)

รูปที่ 3.11. แสดงลำดับของการกระตุ้นแบบเฟสเดียวสำหรับ MOTOR แบบ 3 และ 4 เฟส จากตารางเมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาสามารถทำได้โดยการกระตุ้นเฟส ph1-ph2-ph3 ตามลำดับในทางกลับกันถ้าต้องการทวนเข็มนาฬิกากระตุ้น ph3-ph2-ph1 ตามลำดับเช่นเดียวกันกับการกระตุ้น ลักษณะนี้เป็นลักษณะ "ONE PHASE ONE DRIVE"



รูปที่ 3.11. ตารางแสดงลำดับการกระตุ้นแบบเฟสเดียว

#### 2. การกระตุ้นแบบเฟสคู่ (Two-phase excitation)

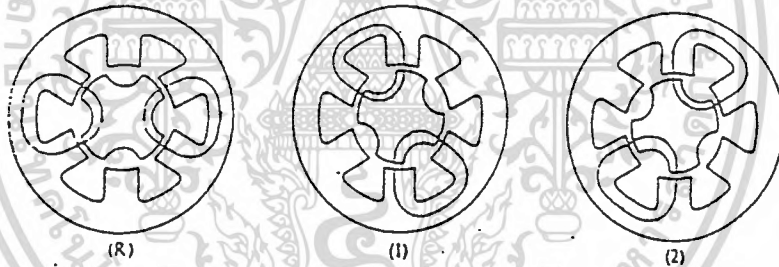
ตารางรูปที่ 3.12. แสดงลำดับการกระตุ้นแบบเฟสคู่สำหรับ Motor แบบ 3 และ แบบ 4 เฟส จากตารางจะพบว่าเมื่อ ph2 off และ ph1 on จะพบว่า ph3 จะคงถูกกระตุ้นอยู่ ลักษณะการกระตุ้นแบบนี้เป็น ไปดังรูป 3.13.

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Phase 2			█	█	█	█	█	█	█
Phase 3	█		█	█	█	█	█	█	█

(2) Four-phase motor

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	█	█			█	█			█
Phase 2			█	█			█	█	
Phase 3					█	█			█
Phase 4	█						█	█	

รูปที่ 3.12. ตารางแสดงลำดับการกระตุ้นแบบเฟสคู่



Change in field pattern as a step proceeds in the two-phase-on mode in a monofilar three-phase VR motor.

รูปที่ 3.13. ลักษณะของการเปลี่ยนเฟสของการกระตุ้นแบบเฟสคู่

### 3. การกระตุ้นแบบครึ่งสเตป (Half-step mode)

เป็นการรวมรูปแบบการกระตุ้น ระหว่างการกระตุ้นแบบเฟสเดียว และ เฟสคู่ ตารางรูปที่

3.14. เป็นการแสดงลำดับการกระตุ้นแบบครึ่งสเตป การกระตุ้นจะต้องจ่ายสัญญาณนาฬิกา 2 State คือ A,B โดยที่ A จะจ่ายลักษณะกระตุ้นเฟสเดียว และ B เป็นการจ่าย Clock ในลักษณะกระตุ้นแบบเฟสคู่

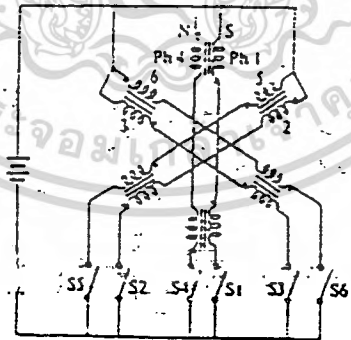
Excitation sequence in the half-step operation (three-phase motor).

Clock state (A)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Clock state (B)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Phase 1		█				█	█			
Phase 2			█	█				█	█	
Phase 3				█	█					█

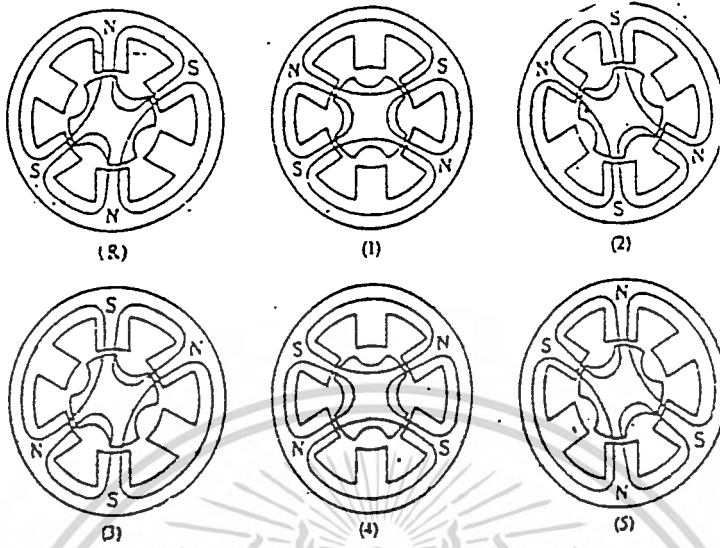
รูปที่ 3.14. ตารางแสดงลำดับการกระตุ้นแบบครึ่ง step

4. Two-phase-on drive of bifiler-wound three phase VR motor

ความต้องการสำคัญในการออกแบบ Motor คือ ต้องการให้ขนาดของเครื่องจักรเล็ก และถ้าเป็นไปได้จะต้องมีความสามารถทำงานพิเศษ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการกระทำกระตุ้นแบบนี้ขึ้น รูป 3.15. เป็นลักษณะไดอะแกรมของ bifiler wound coil ใน VR Motor 3 เฟสในรูป 3.16. แสดงลักษณะของฟลักซ์แม่เหล็กเมื่อมีการกระตุ้นตามตารางรูป 3.17. ข้อดีของการกระตุ้นแบบนี้คือ แรงบิดของเครื่องจักรจะดีมาก



รูป 3.15. ลักษณะไดอะแกรมของ bifiler coil ใน VR Motor 3 เฟส



รูป 3.16. แสดงลักษณะของ ฟลักซ์แม่เหล็ก

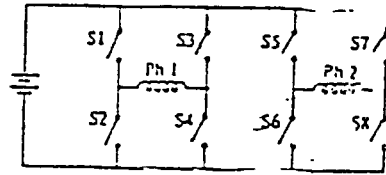
Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	S
1 (S1)	■					■			
2 (S2)	■	■					■		
3 (S3)		■	■					■	■
4 (S4)			■	■					■
5 (S5)				■	■				
6 (S6)					■	■			

รูป 3.17. ตารางแสดงลำดับการกระตุ้น

5.การกระตุ้นด้วยวงจรบริดจ์

วงจรบริดจ์แสดงในรูป 3.18. เป็นวงจรสำหรับขับมอเตอร์ใน bipolar mode ลักษณะการกระตุ้นวงจรตามลำดับในตารางรูป 3.19. จากตารางและวงจรที่พบในขดลวดแต่ละขด จะนำกระแสสลับอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะนี้จะปรับปรุง 25-30 % ของแรงบิดต่อหน่วยของ I/P ซึ่งเป็นไปได้เมื่อใช้กับการไครฟ์ bipolar ลักษณะของ Voltage ที่ป้อนให้ วงจร Bipolar drive แสดงในรูป 3.20.

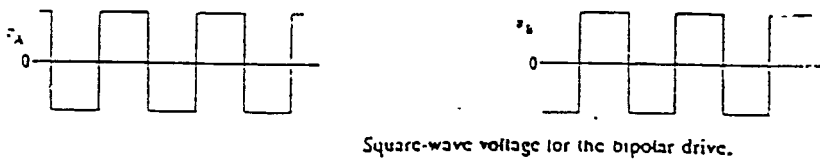
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.18. วงจร Bridge drive สำหรับ Stepping Motor 2 เฟส

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	S
S1	■	■			■	■			■
S2			■	■			■	■	
S3		■					■	■	
S4	■	■			■	■			
S5	■		■	■			■	■	
S6	■			■	■				■
S7	■				■	■			■
S8		■	■				■	■	

รูป 3.19. ตารางแสดงลำดับการกระตุ้นสำหรับวงจรบริดจ์



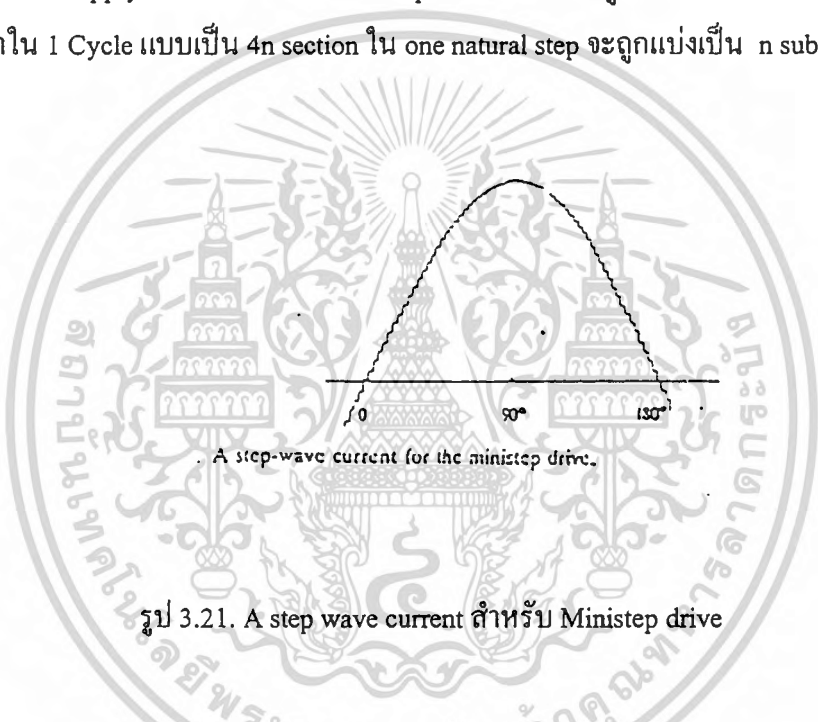
รูป 3.20. Square-wave Voltage สำหรับวงจร 드라이브 Bipolar

### 6.Ministep drive

มันเป็นไปได้ที่จะจัดให้สเตปธรรมดา ในรูปของสเตปเล็กๆ หลายๆ สเตป ในความหมาย ในทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า Ministep หรือ Microstep drive ซึ่งจะพบว่าถูกใช้ใน Hybrid stepping motor บ่อยๆ แนวความคิดนี้มาจาก Sinusoidal bipolar drive ของ Hybrid motor ซึ่งคล้ายการ Synchronous motor

การจัด Supply current สำหรับ mini Step drive จะเป็นดังรูป 3.21.

ถ้าใน 1 Cycle แบบเป็น 4n section ใน one natural step จะถูกแบ่งเป็น n substep



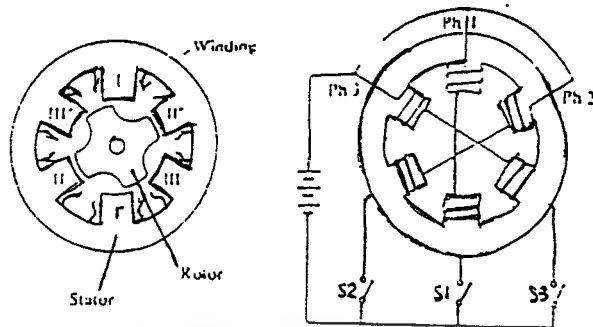
รูป 3.21. A step wave current สำหรับ Ministep drive

### 3.9.ชนิดของ STEPPING MOTORS

Stepping motor สามารถแบ่งออกได้หลายอย่างขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเครื่องจักรที่นำไปใช้งานและลักษณะของการออกแบบใช้งาน

#### 1.VR Motor

Variable-reluctance stepping motor หรือ VR มอเตอร์ เป็น Stepping motor ที่มีลักษณะ โครงสร้างและการใช้งานที่เป็นพื้นฐานของแบบอื่นๆ ในรูปที่ 3.22. แสดงภาพตัดของ VR motor แบบ 3 เฟส โดย stator มี 6 ฟัน ฟันที่อยู่ตรงข้ามกันจะมีความต่างมุม 180 องศา แต่ละฟันจะถูกพัน ด้วยขดลวดและขดตรงข้ามจะถูกต่อกันแบบอนุกรมหรือขนาน (ในรูปต่อแบบอนุกรม) ส่วน Rotor มี 4 ฟัน ทั้ง Stator และ Rotor ทำมาจากเหล็กผสมซิลิกอน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าความซึมซับสูง (high



Cross-sectional model of a three-phase VR stepping motor and winding arrangement.

รูปที่ 3.22. ภาพหน้าตัดและการพันขดลวดของ VR Motor แบบ 3 เฟส

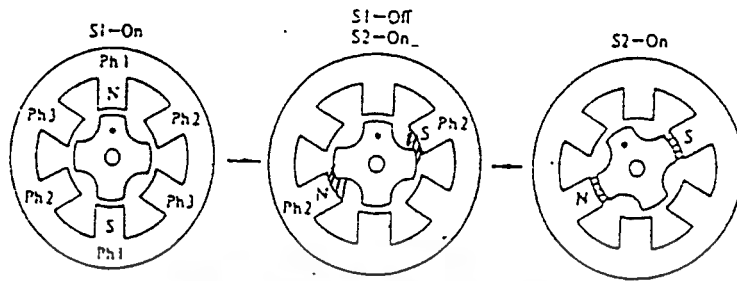
การทำงานจะเริ่มกระตุ้นที่เฟสใดเฟสหนึ่งดังรูปที่ 4.23เป็นการกระตุ้นเฟส I ก่อน (s1 “ON”) ถ้าโรเตอร์จะพยายามวางตำแหน่งตัวเลขให้อยู่ในทิศทางที่ทำให้ค่าความต้านทานแม่เหล็กน้อยที่สุด ในขั้น I-I



Equilibrium position with phase I excited.

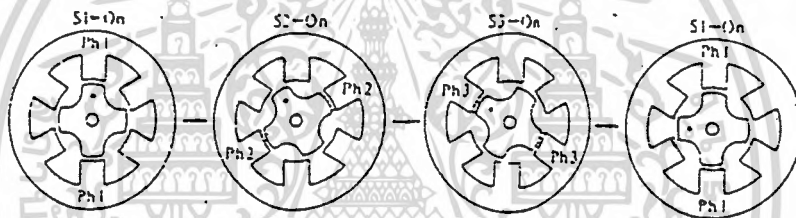
รูปที่ 3.23. แสดงเส้นแรงแม่เหล็กขณะกระตุ้นเฟส I

ในขณะที่เริ่มต้นที่จะกระตุ้นที่เฟส II (S1 “OFF”, S2 “ON”) ดังรูปที่ 3.24. เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่อยู่ในแนวททางที่เดินสะดวกจึงทำให้ค่าความต้านทานทางแม่เหล็กมีค่าสูง ตัวโรเตอร์ก็จะพยายามปรับตัวเอง เพื่อให้ค่าความต้านทานน้อยที่สุดด้วยการหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งแรงบิดที่ใช้หมุนเกิดจากแรงของเส้นแรงแม่เหล็ก แล้วจะไปหยุดที่ตำแหน่งความต้านทานแม่เหล็กน้อยที่สุด นั่นก็คือทำให้ได้ 1 Step ซึ่งจากรูปแต่ละ Step ห่างกัน 30 องศาในการหมุนจนครบสมบูรณ์ทั้ง 3 เฟส แสดงดังรูปที่ 3.25.



!ow a step motion proceeds when excitation is switched from Ph1 to Ph2.

รูปที่ 3.24. แสดงขั้นตอนการหมุนเมื่อกระตุ้นเฟส 1 ไปเฟส 2



Step motions as switching sequence proceeds in a three-phase VR motor.

รูป 3.25. แสดงการกระตุ้นเฟสจนครบสมบูรณ์

### ชนิดของ VR MOTOR

1.1 Air-gap คือ แบบที่ช่องว่างระหว่าง stator กับ rotor เป็นอากาศที่ใช้กับงานที่มี Step ในการทำงานไม่มากและต้องการแรงหมุนมาก

1.2 Smaller step angles เป็นแบบที่มี step ในการทำงานที่ละเอียดจะพบว่าที่มีฟันของ stator มากเพื่อทำให้ step แต่ละ step มีมุมเล็กลงซึ่งจะมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$S = 360 / Q_s$$

$$S = mNr$$

เมื่อ

S = จำนวนของ step

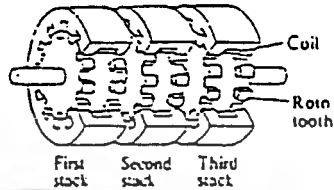
M = จำนวนของเฟส

Nr = จำนวนของ rotor

Qs = มุมระหว่าง step

### 1.3. แบบ Multi-stack

ทั้ง 2 แบบที่กล่าวมาเป็นแบบ single stack แต่ที่จะกล่าวถึงนี้เป็น แบบ Multi stack ซึ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.26.



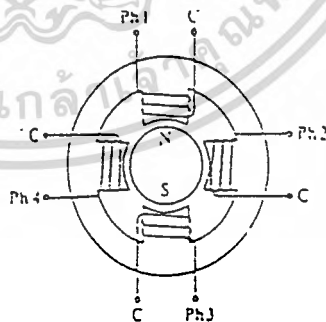
Construction of a multi-stack VR motor.

รูปที่ 3.26. โครงสร้างของ VR Motor แบบ Multi stack

ลักษณะการนำไปใช้งานเช่น ใน stack 1 เรากระตุ้นเฟสให้หมุนตามเข็มนาฬิกา ซึ่งมุมทั้ง stack 2 เราใช้การกระตุ้นในแบบทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งจะทำให้เกิดการหมุนเปลี่ยนไปงานที่นำไปใช้ เช่น Numerical Controlled Machines เป็นต้น

### 2 PM STEPPING MOTOR

เป็น stepping motors ที่ใช้แม่เหล็กถาวรเป็น rotor (Permanent Magnet Motor) ดังรูปที่ 3.27. การพันขดลวดที่ stator จะเป็นลักษณะที่แต่ละเฟสจะมีขดลวดพันอยู่ ซึ่งถือว่าเฟสหนึ่งคือ 1 เฟส



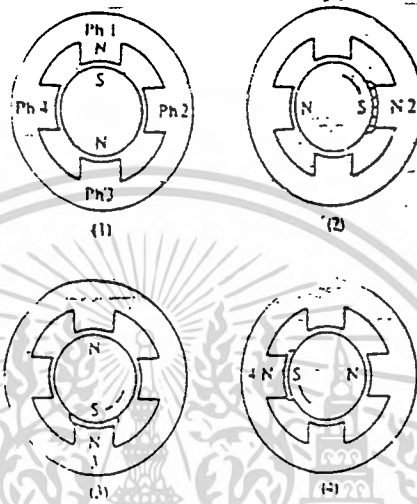
Cross-sectional model of a four-phase PM motor

รูปที่ 3.27. ภาพตัดแสดง PM Motor แบบ 4 เฟส

การกระตุ้นเฟสของ PM Motor ทำได้ง่ายๆ คือ ต่อจุด C(Common) ที่บวกของ supply เมื่อมี การกระตุ้นที่เฟสใด เฟสนั้นก็จะกลายเป็นขั้วเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.28. แสดงการกระตุ้นเฟส 1-2-3-4 ตามลำดับ และการหมุนของโรเตอร์ในแต่ละ step ซึ่งแต่ละ step มีมุมเท่ากับ 90 องศา ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา



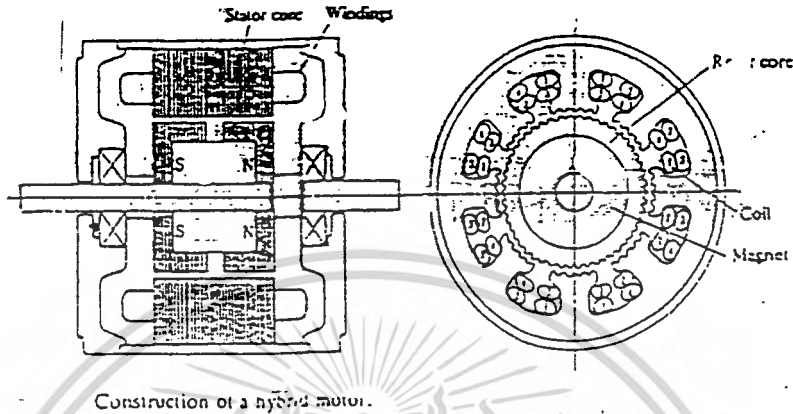
รูปที่ 3.28. step ในการหมุนของ PM Motor แบบ 4 เฟส

ถ้าต้องการให้ step ในการหมุนมากขึ้นทำได้โดยการเพิ่มจำนวนฟันของ stator และ ขั้วบน Rotor ข้อเสียของ PM Motor คือ ข้อ หนึ่ง PM Motor มีราคาค่อนข้างแพง ข้อสอง ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กถูกจำกัดด้วยระดับของเส้นแรงแม่เหล็กภายใน (Magnetic Remanence) ของแม่เหล็ก

### 3. HYBRID STEPPING MOTORS

เป็น stepping motor ที่มีแกน rotor เป็น แม่เหล็กถาวรแต่มีลักษณะการทำงานเหมือนกับ VR Motor ในรูป 3.29. เป็นภาพหน้าตัดโครงสร้างของ Hybrid Motor

ข้อแตกต่างจาก VR Motor คือใน VR Motor จะมีขดลวดบนขั้วของ stator เพียง 1 ขดแต่ใน hybrid จะมีขดลวด 2 ขด ในขั้ว stator เดียว



รูปที่ 3.29. โครงสร้างของ Hybrid Motor

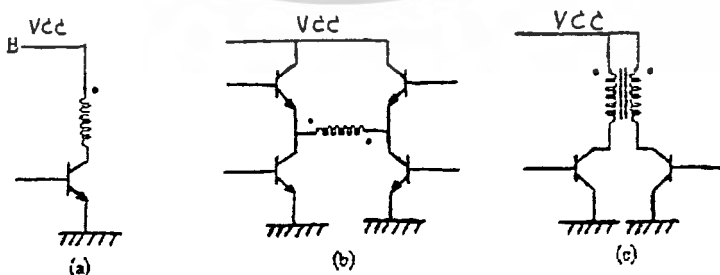
#### 4. LINEAR STEPPING MOTOR

เป็นลักษณะของ stepping motor ที่ทำงานอย่างหนึ่งคงที่ ส่วนใหญ่จะใช้กับลักษณะงาน control เช่น VR Motor ใช้ใน printer เป็นต้น

#### 5. MONOFILAR AND BIFILAR WINDING

รูป 3.30. แสดงการพันลวดแบบ bifilar และ monofilar ลักษณะของ Motor แบบนี้จะต่างที่ การพันลวดเช่นแบบ bifilar เป็นการพันขดลวด 2 เส้นในแกนเดียวกัน

รูปที่ 3.30. แสดงการพันลวดแบบ bifilar และ monofilar



Three fundamental exciting circuits (a) monofilar winding, unipolar excitation : (b) monofilar winding, bipolar excitation : (c) bifilar winding , bipolar excitation

## บทที่ 4

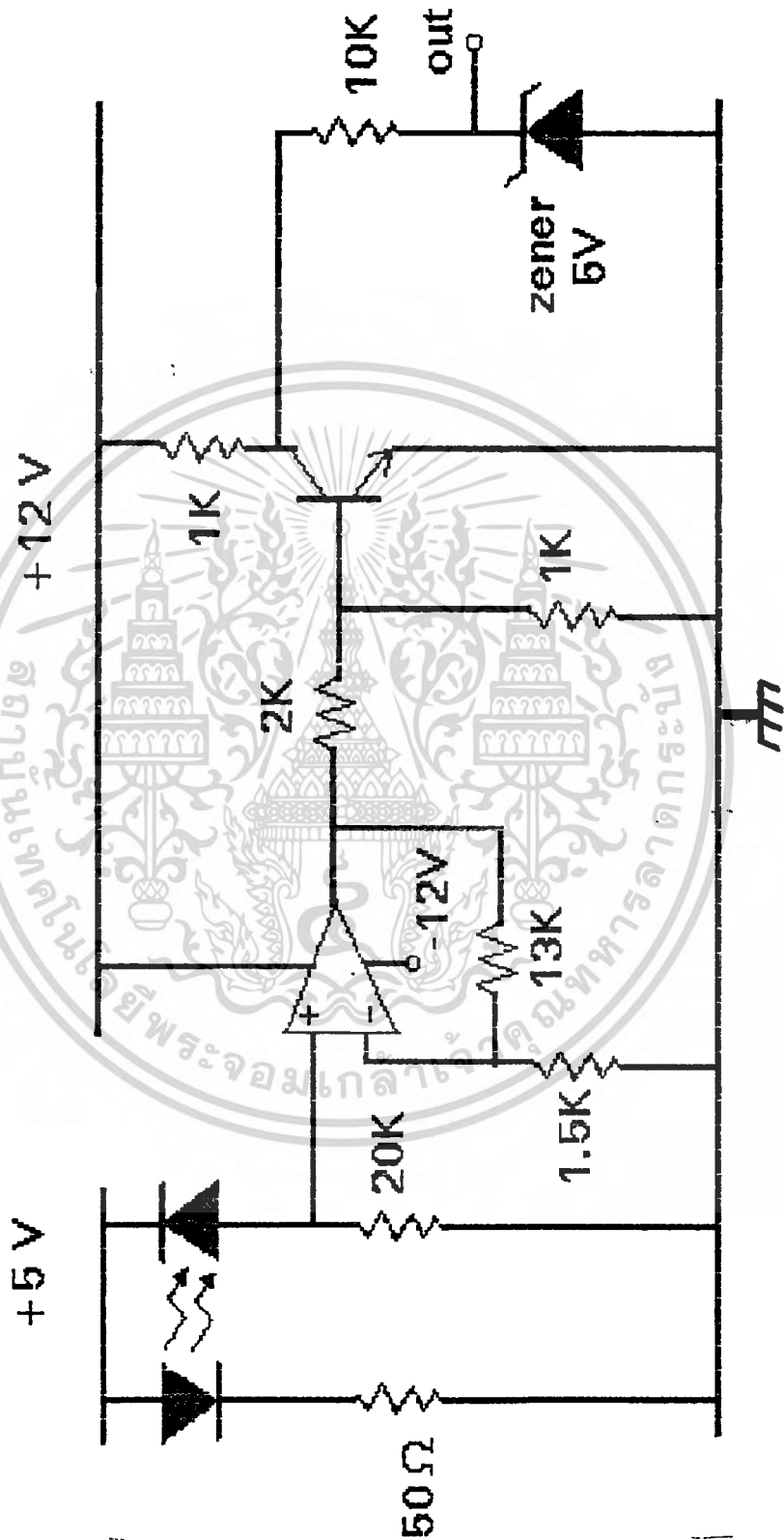
### ส่วนต่างๆ และขั้นตอนในการสร้างเครื่องตรวจจับข้อสอบในช่วงตรวจคำตอบ

#### 4.1. ตัวตรวจจับสัญญาณ ( Sensor )

ในโครงงานนี้อุปกรณ์ตัวตรวจจับสัญญาณที่ใช้มีอยู่ 2 ตัว นั่นคือ โฟโตไดโอด โดยใช้ IC เบอร์ IR53A และโฟโตทรานซิสเตอร์เบอร์ 53PT โดยโฟโตไดโอดทำหน้าที่ในการส่งแสงอินฟราเรดผ่านทะลุกระดาษเข้าสู่โฟโตทรานซิสเตอร์ โดยมีหลักการที่ว่าต้องให้แสงนี้ทะลุกระดาษแต่ไม่ทะลุกระดาษที่ฝนคำ ซึ่งฝนคำจะมีขนาดความค้ำตั้งแต่ 2B ขึ้นไป จากนั้นแสงที่โฟโตทรานซิสเตอร์ที่รับได้จะแปลงเป็น ไฟสัญญาณที่มีขนาดเท่ากับค่าสัญญาณลอจิกของไมโครโปรเซสเซอร์ นั่นคือขนาด 5 โวลต์ โดยการผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณ เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ และให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการรับสัญญาณ เก็บผลต่างๆ วิเคราะห์ค่านวนคำตอบ และเก็บผลลัพธ์ของคำตอบของแต่ละแผ่นได้

#### 4.2. วงจรของตัวตรวจจับสัญญาณ

เมื่อใช้โฟโตไดโอดและโฟโตทรานซิสเตอร์ในการตรวจจับสัญญาณแล้ว จึงนำมาขยายสัญญาณอีกทีโดยใช้วงจรตรวจจับสัญญาณดังรูปที่ 4.1. โดยมีหลักการดังนี้ โฟโตไดโอด จะสามารถส่งสัญญาณโดยที่โฟโตทรานซิสเตอร์สามารถรับได้นั้นอยู่ในราวๆ 50-250 มิลลิแอมป์ เพราะฉะนั้นค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับโฟโตไดโอดควรต่อให้พอดีต่อการใช้งาน จากนั้นโฟโตทรานซิสเตอร์จะรับสัญญาณซึ่งมีขนาดอ่อนมาก ในกรณีจะรับได้เพียง 0.04-0.3 โวลต์ นำสัญญาณที่ได้มาขยายขนาดโดยใช้อปแอมป์ จากนั้นนำค่าความต้านทานต่อเป็นโหลดให้กับอปแอมป์ นำค่าสัญญาณนั้นมาผ่านทรานซิสเตอร์ซึ่งต่อไฟเลี้ยง 12 โวลต์ ขา C ของทรานซิสเตอร์จะต่อกับความต้านทานที่อนุกรมกับซีเนอร์ไดโอดขนาด 5 โวลต์เพื่อใช้เป็นเอาต์พุตต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4.1. แสดงวงจรขยายสัญญาณของตัวตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3. กระจายคำตอบ

ในการดำเนินงานออกแบบ และสร้างกระจายคำตอบนั้น ได้จัดทำหลังจากที่ได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับกระจายคำตอบของเครื่องตรวจข้อสอบต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น และได้ออกแบบสร้างกระจายคำตอบขึ้น โดยคำนึงถึงกระจายที่ใช้พิมพ์จะต้องสามารถจัดหาได้ภายในประเทศ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- ศึกษาข้อมูลของเครื่องตรวจ
  - ออกแบบกระจายคำตอบให้มีขนาดเหมาะสมกับช่องป้อนกระจายคำตอบ เพื่อให้วงจรตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้าสามารถอ่านค่าได้ถูกต้องและเที่ยงตรง
  - เขียนแบบกระจายคำตอบ
  - จัดพิมพ์กระจายคำตอบที่จะใช้เป็นตัวทดลองวงจรตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้า
  - แก้ไขข้อบกพร่องและจัดพิมพ์กระจายคำตอบที่จะนำไปใช้งานจริง
- ลักษณะของกระจายคำตอบที่ใช้ในการตรวจเป็นไปดังรูป 4.2.



#### 4.4. ขั้นตอนการทำงาน

โดยการสังเกตจากกระดาษคำตอบ ช่องทางด้านซ้ายจะเป็นแถบคำบอกถึงระดับคำตอบ โดยบอกเป็นบรรทัดๆ ไป ซึ่งช่องทางด้านซ้ายนี้จะเป็นจุดอ้างอิงของตัวเซ็นเซอร์ทั้งบรรทัดของคำตอบ ในช่อง 5 บรรทัดแรกของกระดาษคำตอบจะบอกเป็นรหัสของผู้กระทำการสอบ ส่วนตั้งแต่ข้อ 1 - 60 จะเป็นคำตอบที่ให้ระบาย

ส่วนหัวอ่านต้องอยู่ห่างจากกระดาษคำตอบให้พอที่ตัวอ่านสามารถทำการเช็คความเป็น "0" โวลต์ กับ "5" โวลต์ แยกแยะได้อย่างชัดเจน และความเร็วของในการเลื่อนกระดาษคำตอบต้องพอที่ทำให้หัวอ่านนั้นอ่านทัน

##### 4.4.1. ส่วนต่างๆ ที่ต้องกำหนด

- ระยะห่างจากหัวอ่านถึงแผ่นกระดาษ
- ความหนาของเส้นที่ไขว้แบ่งแยกรหัสต่างๆ
- ความกว้างของระยะ 1 ข้อ
- เส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมเลือกคำตอบ

##### 4.4.2. วิธีการตรวจคำตอบ

- ถ้ามี 00000 หหมด ถือว่าผู้ตอบไม่ได้ตอบให้ 0 คะแนน
- ถ้ามี "1" มากกว่าหนึ่งตัวถือว่า ผู้ตอบระบายผิดกฎเกณฑ์ให้ 0 คะแนน
- ถ้ามี "1" เท่ากับหนึ่งตัวให้ทำการเปรียบเทียบกับคำตอบที่ถูกต้องของข้อนั้น
- ทำการรวบรวมคะแนนให้หมดและเก็บไว้ในไมโครคอมพิวเตอร์

ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ทำการตรวจคำตอบ โดยจะเก็บคำตอบพร้อมทั้งตรวจคำตอบ

```
ORG 8100H
PORTA EQU 0FC00H
PORTB EQU 0FC01H
PORTC EQU 0FC02H
SCORE EQU 9000H
CONTROL EQU 0FC03H
ANSWER EQU 9001H
START: MOV R0,#11H ;R0 IS INTERGER FOR STEP OF MOTOR
MOV R6,#05H ;R6 IS LINE FOR CODE
MOV R7,#01H ;R7 IS LINE FOR ANSWER (1-60)
MOV DPTR,#CONTROL
```

```
MOV A,#92H
MOVX @DPTR,A ;DETERMINE CONTROL PORT
MOTOR: MOV DPTR,#PORTC ;GIVE PORT C IS CONTROL MOTOR
MOV A,R0
MOVX @DPTR,A
RL A
MOV R0,A
MOV DPTR,#PORTA ;MOTOR RUN WHEN ACCEPT THE
MOVX A,@DPTR ;REFERENCE LINE
ADD A,#80H
MOV R4,#4FH
CHO: MOV R5,#1FH
CHO1: NOP
DJNZ R5,CHO1
DJNZ R4,CHO ;DELAY MOTOR
JNC MOTOR
W: MOV DPTR,#PORTC
MOV A,R0
MOVX @DPTR,A
RL A
MOV R0,A
MOV DPTR,#PORTA
MOVX A,@DPTR
ADD A,#80H
MOV R4,#4FH
KA: MOV R5,#1FH
KA1: NOP
DJNZ R5,KA1
DJNZ R4,KA
JC W ;WHEN FIND LINE REFERENCE, MOTOR
```

```
DJNZ R6,MOTOR      ;RUN TO THE NEXT LINE REFERENCE
MOV R6,#14H
HEAD:  MOV DPTR,#PORTC
      MOV A,R0
      MOVX @DPTR,A
      RL A
      MOV R0,A
      MOV DPTR,#PORTA
      MOVX A,@DPTR
      ANL A,#80H
      ADD A,#80H
      MOV R4,#5FH
ROOT:  MOV R5,#1FH
ROOT1: NOP
      DJNZ R5,ROOT1
      DJNZ R4,ROOT
      JNC HEAD
PORA:  MOV DPTR,#PORTA      ;ACCEPT ANSWER
      MOVX A,@DPTR
      RRC A
      RRC A
      ANL A,#1FH
      MOV R1,A
      MOVX A,@DPTR
      RLC A
      RLC A
      RLC A
      ANL A,#18H
      MOV R2,A
      INC DPTR
```

```
MOVX A,@DPTR
RL A
RL A
RL A
ANL A,#07H
ADD A,R2
MOV R2,A
MOVX A,@DPTR
ANL A,#1FH
MOV R3,A
KEEP: MOV DPTR,#ANSWER ;KEEP ANSWER
MOV DPL,R7
MOV A,R1
MOVX @DPTR,A
INC R7
MOV A,R2
MOV DPL,R7
MOVX @DPTR,A
INC R7
MOV A,R3
MOV DPL,R7
MOVX @DPTR,A
INC R7
WHITE: MOV DPTR,#PORTC
MOV A,R0
MOVX @DPTR,A
RL A
MOV R0,A
MOV DPTR,#PORTA
MOVX A,@DPTR
```

```
ANL A,#80H
ADD A,#80H
MOV R4,#4FH
ROLL:  MOV R5,#1FH
ROLL1: NOP
      DJNZ R5,ROLL1
      DJNZ R4,ROLL
      JC WHITE
      DJNZ R6,HEAD
      MOV DPTR,#RIGHT
      MOV R4,DPH
      MOV R5,DPL
      MOV R7,#01H
      MOV R3,#3CH
      MOV R0,#00H
CHECK: MOV DPTR,#ANSWER;CHECK ANSWER
      MOV DPL,R7
      MOVX A,@DPTR
      MOV R1,A
      INC R7
      MOV DPH,R4
      MOV DPL,R5
      MOVX A,@DPTR
      INC DPTR
      MOV R4,DPH
      MOV R5,DPL
      XRL A,R1
      MOV R2,#05H
LOOP:  RRC A
      JC JUMP
```

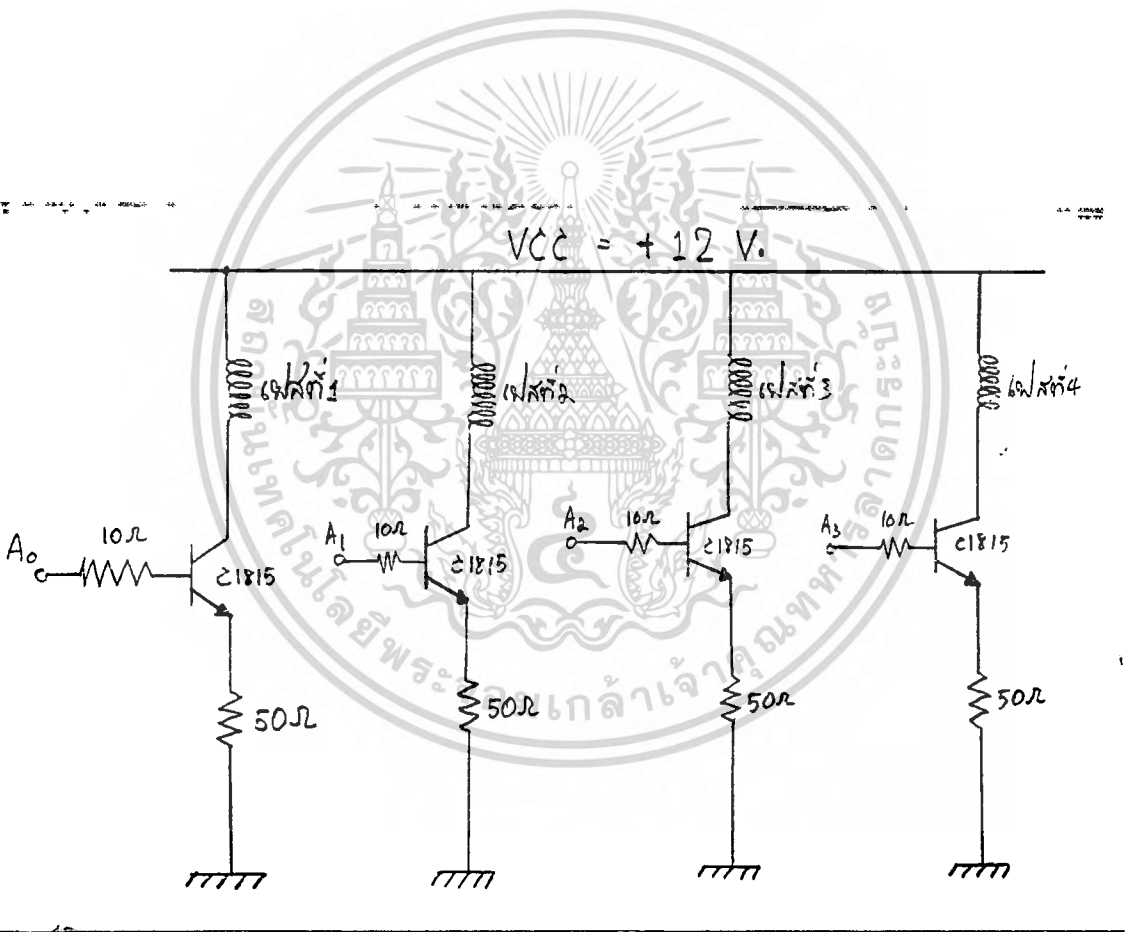
```
DJNZ R2,LOOP
INC R0
DJNZ R3,CHECK
MOV DPTR,#SCORE
MOV A,R0
MOVX @DPTR,A
JMP START

JUMP:  DJNZ R3,CHECK
MOV DPTR,#SCORE
MOV A,R0
MOVX @DPTR,A      ;KEEP THE SCORE
JMP START

RIGHT: DB 10H,08H,04H,10H
DB 01H,01H,02H,10H
DB 10H,08H,01H,01H
DB 01H,01H,01H,01H
DB 04H,04H,04H,04H
DB 08H,02H,10H,01H
DB 02H,10H,04H,08H
DB 01H,10H,01H,10H
DB 04H,08H,02H,01H
DB 02H,01H,02H,01H
DB 08H,10H,10H,04H
DB 02H,01H,10H,04H
DB 01H,02H,10H,08H
DB 08H,10H,02H,04H
DB 02H,10H,01H,04H
```

#### 4.5. รูปแบบการทำงานของวงจรขับเสตปิ้งมอเตอร์

เสตปป์มอเตอร์ที่ใช้ มีขนาด 12 โวลต์ 400 มิลลิแอมแปร์ จึงออกแบบโดยใช้ BD138 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์มาทำการขับมอเตอร์ ซึ่งสามารถขับได้ถึง 1 แอมแปร์ การทำงานของวงจรคือ รับไฟไบอัสจาก IC 8255 จากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านตัวต้านทานขนาด 10 โอห์ม จากนั้นมาให้ทรานซิสเตอร์ขยายกระแสและแรงดันในการขับมอเตอร์ซึ่งในที่นี้เราใช้ พอร์ตซีจาก IC 8255 มาขับเฟสในแต่ละเฟสของมอเตอร์ซึ่งมีทั้งหมด 4 เฟส โดยใช้บิต C0 - C3 วงจรในการขับเสตปป์มอเตอร์นั้นเป็นไปตามรูปที่ 4.3.



รูปที่ 4.3. แสดงวงจรในการขับเสตปป์มอเตอร์

## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 5.1. การทำงานของเครื่องตามหลักการ

เมื่อกระดาษถูกป้อนเข้าเครื่องตรวจข้อสอบ เครื่องตรวจจะหาคำแหน่งของแถวอ้างอิงในแต่ละบรรทัดของกระดาษ โดยกระดาษจะมีทั้งหมด 25 บรรทัด ห้าบรรทัดแรกจะเป็นรหัสของผู้สอบ ส่วนที่เหลือจะเป็นคำตอบ ห้าบรรทัดแรก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการรับรหัสของผู้สอบจากนั้นจะเริ่มทำการเก็บคำตอบที่บรรทัดที่ 6 ซึ่งเป็นข้อ 1,2,3 เมื่อทำการเก็บคำตอบเรียบร้อยแล้วก็จะเลื่อนกระดาษเพื่อทำการเก็บคำตอบของแถวถัดไปจนกว่าจะหมดแผ่นกระดาษคำตอบ จากนั้นทำการตรวจสอบว่ามีการระบายคำตอบผิดรูปแบบหรือไม่ เช่น ระบายเกิน 1 ข้อ หรือ ไม่ได้ระบายคำตอบในข้อนั้นๆ ก็จะได้ศูนย์คะแนน ระบายถูกต้องตามที่คำตอบถูกต้องจริง ๆ จะได้ 1 คะแนน ทำแบบนี้จนครบ 60 ข้อ และเก็บรหัสกับคะแนนของผู้สอบนั้น ๆ ไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นส่งรหัสกับคะแนนของผู้สอบทุกคนเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลคะแนนของผู้สอบแต่ละคน

#### 5.2.. การเริ่มทำเครื่องตรวจข้อสอบ

โดยเริ่มจากการออกแบบวงจรตัวตรวจจับและประกอบขึ้นมา ศึกษากระดาษคำตอบให้ชัดเจนก่อนที่จะทำการวางตัวโฟโตไดโอดและโฟโตทรานซิสเตอร์ให้ถูกตามช่องของคำตอบและแถวอ้างอิงซึ่งมีทั้งหมด 16 หัว ทำการทดสอบหัวตรวจจับว่าต้องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อวางรูปแบบของหัวตรวจจับเรียบร้อยแล้ว จึงทำการออกแบบวงจรขับมอเตอร์ ทดสอบวงจรได้โดยลองใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เขียนโปรแกรมใส่เข้าไป และทำการดำเนินโปรแกรมจนกว่ามอเตอร์จะหมุนถูกต้องตามที่ต้องการไว้ เมื่อส่วนต่างๆ เสร็จสิ้นจึงทำการประกอบรวมกัน

#### 5.3. การทดสอบสัญญาณของตัวตรวจจับ

ในช่วงแรกไบอัสโฟโตไดโอดก่อนและทำการตรวจขนาดสัญญาณของโฟโตทรานซิสเตอร์ที่รับได้ว่ามีค่าเท่าใด ขนาดสัญญาณที่ว่าจะอยู่ในลักษณะที่ว่าทะลุกระดาษแต่ไม่ทะลุช่องที่ระบายคำไว้ และสัญญาณที่โฟโตทรานซิสเตอร์รับนั้นต้องไม่เกิดการออสซิเลตใด ๆ ทั้งสิ้น จากนั้นจึงนำสัญญาณผ่านวงจรขยายให้อยู่สัญญาณที่สามารถใช้งานได้

#### 5.4. การทดลองและผลการทดลอง

ในช่วงที่ทำหัวตรวจจับเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะออกแบบโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อนเพื่อที่จะดูว่าหัวตรวจจับทำงานได้ดีหรือไม่ ไวพท์โปรเซสเซอร์สามารถรับสัญญาณได้หรือไม่ขณะที่ทำการเลื่อนกระดาษคำตอบ ซึ่งปรากฏว่าได้ผลเป็นอย่างดี จากนั้นหรือทำวงจรจับ

มอเตอร์และประกอบส่วนต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปสมบูรณ์จึงค่อยทดลองจริง โดยเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมดแล้วดำเนินโปรแกรมให้มอเตอร์หมุนกระดาษคำตอบและหัวตรวจจับจะตรวจคำตอบไปในแต่ละแถวที่จะหมุน ซึ่งทุกอย่างนั้นเป็นไปอย่างดีพอควร พอเครื่องตรวจข้อสอบนี้ทำการตรวจเสร็จหมดและตรวจความถูกต้องของกระดาษคำตอบแล้วจึงนำคำตอบของกระดาษนั้นมาตรวจภายนอกอีกที ซึ่งปรากฏว่าตรงตามที่เครื่องตรวจข้อสอบหมดทุกข้อ



## บทที่ 6

### บทสรุป

#### 6.1.สรุปผล

สำหรับเครื่องตรวจข้อสอบนี้สามารถทำการตรวจได้จริงไม่มีผิดพลาด แต่ยังมีส่วนที่ไม่สมบูรณ์ นั่นคือ วงจรตรวจจับสัญญาณ ซึ่งออกแบบไม่ค่อยดีในด้านออกแบบมากเกินไปแต่ยังใช้งานได้ดี ส่วนของมอเตอร์ให้หมุนนั้นทำไม่ยากนัก แต่ยากตรงที่การออกแบบของลูกกลิ้งในการรับกระดาษคำตอบ เพราะอุปกรณ์ไม่เพียงพอ รูปแบบออกมายังอยู่ในส่วนที่ใช้งานได้จริง แต่ยังไม่ดีนักยังมีการฝืดของลูกกลิ้งอยู่ทำให้มอเตอร์ต้องใช้พลังงานขับเคลื่อนมากกว่าปกติ การจัดกระดาษคำตอบให้ตรงกับหัวตรวจจับสามารถทำได้เพียงตรงพอควร หัวตรวจจับสามารถตรวจได้ การวางอุปกรณ์ต่าง ๆ อยู่ในรูปที่ดี การโยงสายต่าง ๆ ไม่ยุ่งวุ่นวายจนเกินไป

#### 6.2. ปัญหาและแนวทางแก้ไข

หัวตรวจจับจะมีปัญหามากที่สุด เพราะไม่สามารถหาหัวเซนเซอร์ที่เป็นแบบแถวได้ ต้องใช้โฟโตไดโอด และ โฟโตทรานซิสเตอร์ มาใช้ในแต่ละหัว ซึ่งจะเกิดค่าความเพี้ยนมาก เพราะการเป็นคู่ของแต่ละชุดไม่เหมือนกัน จึงต้องทำการสุ่มโฟโตไดโอดและโฟโตทรานซิสเตอร์ให้คู่นี้ match กันได้ดี และแต่ละคู่ต้องวางให้ตรงกันมาก ๆ ในจุดนี้จะเป็นปัญหาที่ใหญ่พอควรเพราะตอนที่ทำการตรวจสัญญาณก่อนเข้าวงจรขยาย เมื่อหัวไม่ตรงกันจะเกิดความเพี้ยนมาก และการวางให้ตรงกันนั้นทำได้ยากพอควร ซึ่งขั้นตอนในการทำหัวตรวจจับนี้ใช้เวลาในการทำให้สมบูรณ์ได้นั้นใช้เวลามาก ๆ (ประมาณ 2 เดือน) และหัวตรวจจับที่ใช้งานนั้น ในช่วงนี้อยู่ในช่วงที่ของหมดจึงต้องใช้หัวตรวจจับชนิดอื่น ๆ อีก ทำให้เสียเวลาไปมาก

### เอกสารอ้างอิง

1. ชื่น ภู่วรรณ, "ทฤษฎีและการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 2", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
2. ประเมษฐ์ ประณยานันท์ และ ปิยพงศ์ เผ่าวณิช, "คู่มือและการประยุกต์ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
3. คู่มือ "Jazz-31", บริษัท ศิลาเรีเสิร์ช จำกัด
4. "48-series microcomputer handbook", NATIONAL SEMICONDUCTER CORPORATION
5. Herbert Schildt, "C made easy", McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS



## กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ รัตติกร วรากุลศิริพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาของกลุ่มข้าพเจ้า ที่ช่วยให้ความกระจำในงานและความช่วยเหลือต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำงานชิ้นนี้ ให้สำเร็จลงไปด้วยดี พร้อมกับที่ปัญญาโทหลายท่านทั้งที่ตีภาคอิเล็กทรอนิกส์ และที่ศูนย์วิจัยฯ ที่ให้ข้อมูลอย่างมากมาย อธิบายหลักการต่าง ๆ ของโครงการนี้และอุปกรณ์หลายส่วนที่ช่วยให้กลุ่มข้าพเจ้า

ขอขอบคุณอาจารย์ท่านอื่น ๆ ที่กรุณาเรื่องต่าง ๆ ให้แก่กลุ่มข้าพเจ้า อาทิเช่น ให้ยืมอุปกรณ์ อธิบายในเรื่องที่ไม่ค่อยเข้าใจให้กระจ่างได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือทุกด้าน อาทิเช่น ค้นหาอุปกรณ์ ให้ยืม อุปกรณ์ อธิบายในเรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ และให้กำลังใจได้เป็นอย่างดี

