สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การขับเคลื่อนสเตปปิ้งมอเตอร์

STEPPING MOTOR DRIVE

T034161

โดย

นาย จิรวิทย์ เตรียมมานะวงศ์

นาย เจริญ ด้วงน้อย

นาย ชรินทร์ ศรีเกตุ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 34161
วัน, เดือน, ปี 6 ต.ค. 2542

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2541

การขับเคลื่อนสเตปปิ้งมอเตอร์
STEPPING MOTOR DRIVE

โดย

จิรวิทย์ เตรียมมานะวงศ์

เจริญ ด้วงน้อย

ชรินทร์ ศรีเกตุ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเดิศ

ผศ. ประกาย ไพรสุวรรณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การขับเคลื่อนสเตปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor Drive)

ผู้จัดทำ

1. นาย จิรวิทย์ เตรียมมานะวงศ์
2. นาย เจริญ ด้วงน้อย
3. นาย ชรินทร์ สรีเกตุ

. . . . . อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ อนุวัฒน์ ลางามิชเดิศ)

. . . . . อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ประภาษ ไพรสุวรรณา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับเคลื่อนสเตปปิ้งมอเตอร์

จิรวิทย์ เตรียมมานะวงศ์
เจริญ ด้วงน้อย
ชรินทร์ ศรีเกตุ
อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ. ประภาษ ไพรสุวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน "สเตปปิ้งมอเตอร์" เริ่มมีบทบาทมากขึ้นในงานอุตสาหกรรม อันเนื่องมาจาก ความสามารถในการกำหนดทิศทาง , ตำแหน่งและความเร็วได้อย่างแม่นยำ การสร้างวงจรควบคุม ก็สามารถทำได้ง่ายรวมทั้งการปฏิบัติงานภายใต้คำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์หรือ ไมโครคอมพิวเตอร์โครงงานนี้ ได้ทำการ ประยุกต์ นำ Stepping Motor มาสร้างเป็นต้นกำลังของยานยนต์ ขนาดเล็ก ให้สามารถเคลื่อนที่ โดยอัตโนมัติ โดยอาศัยหลักการ การตรวจจับ แถบเส้นทางซึ่งมีการสะท้อน แสง ไม่เท่ากันด้วย Sensor แสง จากนั้นนำค่าที่ได้จาก Sensor มาประมวลผลเพื่อ กลับไปควบคุมให้ รถเคลื่อนที่ อยู่ในเส้นทาง ตามเงื่อนไขที่ กำหนดไว้ โดยใช้ " MCS-51" เป็นซอฟแวร์ในการสร้างโปรแกรมการควบคุมในส่วนของโครงสร้าง จะมีลักษณะง่ายๆและมีต้นทุนในการสร้างไม่สูงมากนัก เพื่อให้มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งาน หรือนำมาประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STEPPING MOTOR DRIVE

Jirawit Triammanawong
Charoen Duangnoi
Charin Srigate
Anuwat Jangwanitlurt Advisor
Asst.Prof. Prapas Pisuwunna Advisor
1998

Abstract

" Stepping Motor " is useful in industrial because of its accuracy direction , position and speed. It's easy to make the control circuit and operate under program which is store in micro-controller or micro-computer memory.In this paper , stepping motor is applied to control the mechanical. In this project "MCS-51" is the software for making program controlled operation. However, this stepping motor is created in a simple structure and also in a low cost to widely apply in many applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงานของสเตปปิ้งมอเตอร์	3
การแบ่งชนิดของสเตปปิ้งมอเตอร์	6
สเตปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	6
สเตปปิ้งมอเตอร์แบบรีลัคแตนซ์แปรค่าได้	7
สเตปปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริด	18
การกระตุ้น	23
ข้อแตกต่างของการกระตุ้นแบบ 1 เฟส และ 2 เฟส	24
การกระตุ้นแบบ 1 เฟส	25
การกระตุ้นแบบ 2 เฟส	25
การกระตุ้นแบบ ครึ่งสเตป	26
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	33
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	47
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	50
ภาคผนวก	51
กิตติกรรมประกาศ	82
เอกสารอ้างอิง	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 บล็อคไดอะแกรมแสดงการควบคุม Stepping Motor	3
รูปที่ 2.2 แสดงอิทธิพลสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ	4
รูปที่ 2.3 แสดงแรง ดึงดูดที่ทำให้เกิดแรงบิดที่หมุนอาร์มาเจอร์ ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุล	5
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟส และแต่ละเฟสพันด้วยขดลวด บน 2 ขั้วของสเตเตอร์ มุมสเตป = 45 องศา	7
รูปที่ 2.5 VR Stepping Motor แบบสแต็คเดียว ซึ่งมีรายละเอียดโครงสร้างดังนี้ Nr = 16 Ns = 12 , X = 4 โพล / เฟส , θs = 7.5 องศา , Rs = 48 สเตป / รอบ	8
รูปที่ 2.6 แสดงลำดับการสวิทชิ่ - สเตปของ VR Stepping Motor แบบสแต็คเดียวและแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นทางของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อโรเตอร์เคลื่อนที่ไปในแต่ละสเตป	10
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของ VR Stepping Motor แบบ VR ที่มี 3 เฟส โรเตอร์และสเตเตอร์แต่ละเฟส (แสต็ก) จะมี 12 ซี่ฟันและมุมสเตป (θs)= 10° แต่ละเฟสของสเตเตอร์ที่เรียงลำดับต่อเนื่องกันจะถูกจัดตำแหน่งให้ต่างกันเท่ากับ 1/3 ของช่องห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (10°)	14
รูปที่ 2.8 แสดงลำดับการสเตปของ VRSM แบบ 3 เฟส Nr = Ns = 12 , Pr = 30° และ θs =10 ซี่ฟันของโรเตอร์สี่ดำจะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW 10° ในแต่ละสเตปรวมทั้งหมด 30° เมื่อสเตปไปครบ 3 สเตปสำหรับการหมุนในทิศทาง CW ลำดับการขับเฟส 1 - 2 - 3 - 1 และต้องการ ให้หมุนในทิศทาง CCW ลำดับการขับเฟสก็ต้องกลับเป็น 1 - 3 - 2 - 1	16
รูปที่ 2.9 แสดงถึง VRSM แบบ 3 เฟส (ก) ตารางแสดงลำดับการขับแบบเฟสเดียวในทิศทาง CW	17
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของ Hybrid Stepping Motor : Nr = 30 , Ns = 24 ซี่ฟันของ สเตเตอร์ทั้ง 2 ตัวจะอยู่ในแนวเดียวกับส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตัว จะมีตำแหน่งต่างกัน 1 / 2 Pr (=6°) θs = 3°	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ ต่อ

รูปที่ 2.11 วงจรแม่เหล็กของ HSM แสดงถึงเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อเฟสที่ 1 ได้รับพลังงานและเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นในตอน A จะผ่านโพลที่ 1 และโพลที่ 5 เข้าไปยังโรเตอร์ของตอน B ผ่าน โพลที่ 3 และโพลที่ 7 เข้าสู่ขั้วใต้ (s) ของแม่เหล็กถาวร 21

รูปที่ 2.12 ลำดับ 4 สเตปของ HSM แบบ 2 เฟส 22

รูปที่ 2.13 แสดงแผนภูมิเวลาของการกระตุ้นแบบต่าง ๆ 23

รูปที่ 2.14 แสดงความแตกต่างผลตอบสนองของการกระตุ้นแบบ 1เฟส (ในรูป a) และการกระตุ้นแบบ 2 เฟส (ในรูป b) 24

รูปที่ 2.15 กระแสที่เกิดการออสซิเลทในวงจรปิด 24

รูปที่ 2.16 ผลตอบสนองของ Stepping Motor ต่อการกระตุ้นเฟสเดียว 25

รูปที่ 2.17 ผลตอบสนองของ Stepping Motor ต่อการกระตุ้น 2 เฟส 26

รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบการขับ Stepping Motor การเชื่อมต่อวงจรจัดลำดับการกระตุ้น และ วงจรขับกระแส 27

รูปที่ 2.19 แสดงถึงการเชื่อมต่อระหว่างวงจรจัดลำดับการกระตุ้นและวงจรขับกระแส 28

รูปที่ 2.20 วงจรสมมูล ของขดลวดใน Stepping Motor 29

Spike Voltage Suppressors

รูปที่ 2.21 Diode Suppressor 30

รูปที่ 2.22 Diode-resistor suppessor 30

รูปที่ 2.23 Zener diode suppressor 31

รูปที่ 2.24 Four- phase driver with condenser suppressor. 31

External resistors denoted by R_x are adjusted

So that the current is at rating.

รูปที่ 3.1 Keyboard ลักษณะต่างๆ 34

รูปที่ 3.2 โครงสร้างวงจร Switch และรูปสัญญาณ 34

รูปที่ 3.3 การแสดงผลแบบแถวเดียว 35

รูปที่ 3.4 การแสดงผลแบบ Multiplex 35

รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรม ระบบรวม 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ ต่อ

รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรม การทำงานของวงจรทั้งหมด 36

รูปที่ 3.7 วงจรภาคประมวลผล 37

รูปที่ 3.8 วงจร Sensor 38

รูปที่ 3.10 วงจรขับ Stepping Motor ด้วย Transistor 40

รูปที่ 3.11 วงจร Display 41

รูปที่ 3.12 วงจรแสดงการต่อ Keyboard 42

รูปที่ 3.13 โฟลว์ชาร์ท การทำงานของโปรแกรม PROJECT 1 45

รูปที่ 3.14 โฟลว์ชาร์ท การทำงานของโปรแกรม PROJECT 2 46

รูปที่ 4.1 แสดงการวัดแรงบิดของสเตปปิ้งมอเตอร์ โดยใช้น้ำหนักถ่วง
และ เปลี่ยนแปลงความเร็วของพัลซ์ step / sec 47

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความเร็วและแรงบิดของสเตปปิ้งมอเตอร์ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

Stepping Motor เป็นมอเตอร์ ชนิดหมุนทีละ step โดยแต่ละ step มอเตอร์จะหมุน ด้วยมุมที่ คงที่ ค่า หนึ่ง ซึ่งในการควบคุมการหมุนของ stepping motor นั้นจะอาศัยวงจรควบคุมทางดิจิตอล โดยที่วงจร ทาง ดิจิตอลนี้จะทำหน้าที่จัดลำดับการกระตุ้นในแต่ละเฟสของ stepping motor ซึ่งจะทำให้สามารถ กำหนด ทิศทางในการหมุน ความเร็วในการหมุนและตำแหน่งที่ต้องการจะเลื่อนไปของ stepping motor ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

เนื่องจากวงจรทางดิจิตอลที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของ stepping motor สามารถกำหนด ความ เร็ว ในการหมุนและตำแหน่งที่ต้องการจะไปของ stepping motor ได้อย่างถูกต้องแม่นยำดังนั้นจึงไม่จำ เป็น ต้องมีวงจรป้อนกลับ (Feedback Control) เพื่อควบคุมความเร็วและตำแหน่งในการหมุน เพราะ ฉะนั้นเราอาจ จะ กล่าวได้ว่า ระบบควบคุมการหมุนของ stepping motor เป็นไปแบบไม่มีการป้อนกลับ (Open - Loop Control System) แต่ในการหมุนของ stepping motor นั้นก็อาจช่วงของความเร็วในการ หมุนของ stepping motor อาจจะทำให้เกิดการออสซิเลท (Oscillate) ที่แกนเพลาของ มอเตอร์ได้และอาจ ทำให้มอเตอร์เกิดการ Unstable ได้

สำหรับการประยุกต์ใช้งานของ stepping motor มีดังนี้

1 อุปกรณ์ประกอบการทำงานของคอมพิวเตอร์

- Serial Printer
- X - Y Plotter
- Floppy Disk Drives

2 ระบบ Numerical Control

- X - Y Table And Index Table
- Droller Machine
- Automatic Drafting Machine

3 การประยุกต์ใช้งานอื่นๆ

- Facsimiles
- Semiautomatic Wiring Unit
- Application Inspect Science

ในระบบควบคุมตำแหน่งที่ใช้ stepping motor มีข้อดีอยู่หลายประการคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

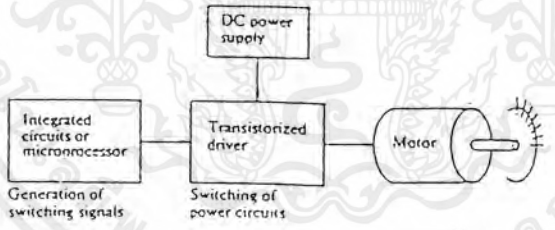
- เป็นลักษณะการควบคุมแบบไม่ต้องการป้อนกลับ ไม่ว่าจะเป็นการควบคุม ตำแหน่ง หรือความเร็ว
- ความผิดพลาดเกี่ยวกับตำ แหน่งแทบไม่มีเลย เนื่องจากการเคลื่อน ที่ของ stepping motor นั้น เคลื่อนที่เป็นสเตปด้วยจำนวนองศาที่มีค่าแน่นอน
- จะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยความถี่และความกว้างของพัลส์
- stepping motor จะถูกนำมาใช้กับ เครื่องมือที่ต้องการความละเอียด เช่น ข้า และใช้ในเครื่อง มือดิจิตอล เช่น เครื่องวาดรูป เครื่องคอมพิวเตอร์ นิว เมอริคอล คอนโทรล (Computer Numerical Control) หรือ CNC
- ไม่จำเป็นต้องใช้วงจรแปลงดิจิตอลเป็นอะนาลอกเมื่ออินเตอเฟสกับ คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการทำงานของ Stepping Motor

Stepping Motor เป็นอุปกรณ์ ที่เปลี่ยน พลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล โดยสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้จะมีลักษณะเป็น ไบนารี โวลท์เตจ และเอาท์พุทจะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่หมุน แบบเชิงมุม หรือหมุนไปทีละสเตป (แต่ละสเตปอยู่ในช่วง 0.1 - 30 องศา ขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ของ Stepping Motor) ตามสัญญาณพัลซ์ที่ป้อนให้กับขดลวดสเตเตอร์ (Stator) ซึ่งจะเกิดแรงผลัก ทำต่อตัวโรเตอร์ (Rotor) ให้หมุนไป แต่ลักษณะของ Stepping Motor จะมีขดลวดสเตเตอร์อยู่หลายขด เรียกว่า เฟส (Phase) ฉะนั้น เมื่อป้อนสัญญาณที่เป็นพัลซ์ในลักษณะซีเควนซ์ (sequence) ของเลขไบนารี ผ่านวงจรไดรเวอร์ (Driver) จะทำให้โรเตอร์หมุนได้อย่างต่อเนื่องดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.1

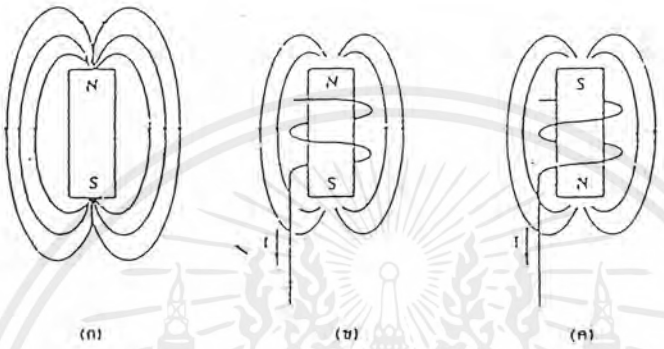


รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงาน Stepping Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของ Stepping Motor โดยทั่ว ๆ ไป

หลักการของสนามแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็ก แสดงดังรูที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ

ก) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวร

ข) สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแส I

ก) ขั้วแม่เหล็กกลับทิศทางเมื่อขดลวดถูกพันกลับทิศทางและทิศทางการไหล ของกระแสไม่เปลี่ยน

หลักการทำงานของ Stepping Motor

ในรูปที่ 2.3 แท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่กับเพลาและหมุนได้อิสระเหมือนอาร์มาเจอร์ (Armature) มีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ขั้ว เป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะที่เป็นสเตเตอร์ ตำแหน่งแกนของอาร์มเจอร์คือ a - a` ซึ่ง ต่างไปจากตำแหน่งแกนขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กน้อยเป็นมุม ϕ แรงแม่เหล็กที่เกิดจากการดึงดูดของขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดส่วนของแรงบิด (Toque) ขึ้น

แรงแม่เหล็กที่เกิดจากการดึงดูดของ ขั้วแม่เหล็กที่ต่างกันทำให้เกิดส่วนของแรง $Fn = F. \cos \theta$ (แรงนี้ตั้งฉากกับแกน a - a`)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงบิดรวม T = Fn . R (ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปทิศทาง CW จนกว่า แกนของมาเจอร์ a - a' จะอยู่ในแนวเดียวกับแกนขั้วของสเตเตอร์)

รูปที่ 2.3 แสดงแรง ตึงคูดที่ทำให้เกิดแรงบิดที่หมุนอาร์มาเจอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุล

ถ้าหากมีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลาย ๆ คู่ขั้วรอบ ๆ สเตเตอร์และถ้าหากขั้วเหล่านั้นถูกกระตุ้น ด้วยกระแสพัลซ์ในรูปที่เรียงลำดับกัน ไปอาร์เมเจอร์ ก็จะหมุนในรูปลักษณะของสเตปที่เป็นไปตามการหมุนของสนามแม่เหล็ก ที่เกิดจากการสวิทช์ ที่เรียงลำดับของวงจรสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งชนิดของ Stepping Motor

Stepping Motor แบ่งชนิดตามลักษณะ โครงสร้างได้ 3 ชนิด คือ

1. Permanence Magnet Stepping Motor (PM Stopping Motor)
2. Variable Reluctance Stepping Motor (VR Stepping Motor)
3. Hybrid Stepping Motor

Permanence Magnet Stepping Motor

มอเตอร์ชนิดนี้ มีโรเตอร์ เป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งมีอำนาจแม่เหล็กตามแนวรัศมีดึงดูดกับ Stator Pole มอเตอร์ชนิดนี้จะมี Holding Torque เกิดขึ้นแม้ไม่ได้ถูก Energize ที่ขดลวดบนสเตเตอร์

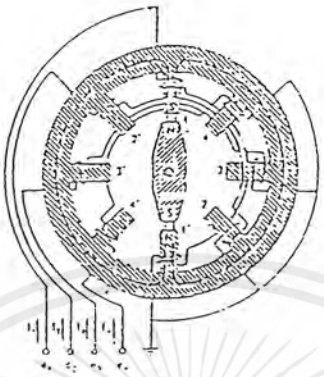
ในรูปที่ 3.1 เป็นสเตปมอเตอร์แบบ 4 เฟส แต่ละเฟสเป็นขดลวดอยู่บน 2 ขั้วของสเตเตอร์ ดังนั้นในการออกแบบนี้สเตเตอร์จะต้องมี 8 ขั้ว

โครงสร้างของมอเตอร์ชนิดนี้ทำจากแม่เหล็กถาวรและอยู่ในแนวของขั้วสเตเตอร์ 1 และ 1' จะหยุดอยู่ที่ตำแหน่งนี้ได้ด้วยกระแส I_1 ที่ไหลอยู่ในเฟส I

ขดลวดของเฟส ϕ_1 , ϕ_4 , ϕ_3 , ϕ_2 (1 - 4 - 3 - 2 ตามลำดับ) จะได้รับพลังงานด้วยด้วยกระแสพัลซ์ที่สอดคล้องกัน I_1 , I_4 , I_3 , I_2 (กระแสแต่ละเฟสในทิศทางที่แสดงในไดอะแกรม) แต่ละสเตป โรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางตามเข็มนาฬิกา 45 องศา (360 / 8)

เมื่อขั้วเหนือของโรเตอร์ (แม่เหล็กถาวร) หมุนไปถึงขั้วของ สเตเตอร์ หมายเลข 2 ลำดับการขับขดลวดเฟสของสเตปมอเตอร์คือ 1 - 4 - 3 - 2 จะต้องกระทำเหมือนเดิม (เพื่อให้มอเตอร์หมุน ไปตามเข็มนาฬิกาอีก 180 องศา) ยกเว้นเราต้องการให้หมุนกลับทิศทางใน 180 องศา ที่เหลือ ด้วยการป้อนกระแสกลับทิศทางให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นขั้วใต้ที่ขั้วสเตเตอร์ 3 - 4 - 1 - 2 ตามลำดับ (ทิศทางกระแสแสดงดังรูปที่ 2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟส และแต่ละเฟสพันด้วยขด ลวด บน 2 ขั้วของสเตเตอร์ มุมสเตป = 45 องศา

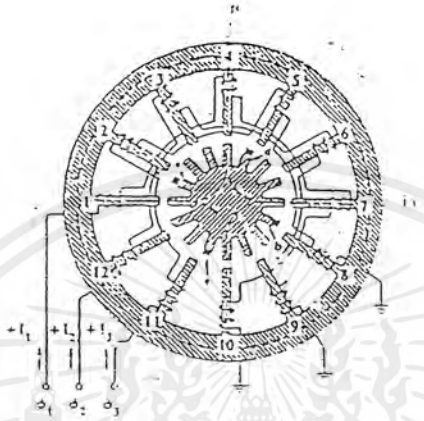
Variable Reluctance Stepping Motor

มอเตอร์ชนิดนี้มีโรเตอร์เป็นซี่ฟัน ซึ่งทำจาก Solf Iron และ ตัวสเตเตอร์ ถูกพันด้วยขดลวดตามปกติ การหมุนเกิดขึ้นโดยเราให้กระแสไฟฟ้าต่อขดลวดที่พันบนสเตเตอร์ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก ไปดึงดูดให้โรเตอร์หมุนได้ตามตำแหน่งของ Stator Pole ที่ต้องการ Rotor Inertia ของมอเตอร์ชนิดนี้มีค่าต่ำและมี Response ที่เร็วถ้าขดลวดไม่ถูก Energize แล้ว Static Torque ของมอเตอร์ชนิดนี้จะมีค่าเป็นศูนย์

VR Stepping Motor แบบมีสแต็กเดียว

โครงสร้างของ VR Stepping Motor จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 VR Stepping Motor ที่มีแสต็กจะมีโรเตอร์เดียว และ VR Stepping Motor แบบหลายแสต็คจะ มีหลายโรเตอร์ ซึ่งทำจากสารแม่เหล็ก ในรูปที่ 2.2 มี 3 เฟส แต่ละเฟสใช้ขดลวดพันแบบ 4 ขั้วหรือซี่ฟันของสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 VR Stepping Motor แบบสเต็กเดียว ซึ่งมีรายละเอียดโครงสร้างดังนี้ Nr = 16 , Ns = 12 , X = 4 โพล / เฟส , θ_s = 7.5 องศา , Rs = 48 สเตป / รอบ

ตัวอย่าง เฟสที่ 1 พันอยู่ที่ 1 - 4 - 7 - 10 ของสเตเตอร์ ดังนั้นสเตเตอร์จะมี 12 ซี่ฟันและในที่นี้กำหนดให้โรเตอร์มี 16 ซี่ฟัน ขั้วของสเตเตอร์ที่อยู่ตรงกันข้ามกันจะพันด้วยขดลวดในลักษณะที่ต่างกัน เพื่อให้มีความสมดุลย์ระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กเข้าและออกจากโรเตอร์

โดยที่ เฟส (1) = 1 - 4 - 7 - 10

เฟส (2) = 12 - 3 - 6 - 9

เฟส (3) = 2 - 5 - 8 - 11

(ดังรูปที่ 3.2)

สมมุติว่ากระแส I_1 ป้อนให้กับเฟสที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และโรเตอร์ทึ่ง 4 ซี่ฟันจะหันอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 1 - 4 - 7 และ 10 ของสเตเตอร์ เส้นแรงแม่เหล็กจะเข้าสู่โรเตอร์จากสเตเตอร์ซี่ฟันที่ 4 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

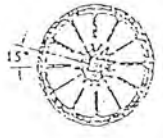
10 และจะออกจากโรเตอร์ไปยังซี่ฟันของสเตเตอร์ ที่ 1 และ 7 ซึ่งเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่ครบวงจรโดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ เราจะสังเกตได้ว่าปลายของซี่ฟันของสเตเตอร์ที่ 4 จะถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ (เนื่องจากเส้นแรงออกจากซี่ฟันที่ 4) และปลายของซี่ฟันโรเตอร์ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันที่ 4 ของสเตเตอร์ จะเป็นเส้นทางผ่านเข้าไปยังโรเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็กนี้ จะมีให้มีเส้นแรงแม่เหล็ก อย่างต่อเนื่องผ่านช่องว่าง (Gap) ระหว่างซี่ฟันทั้งสอง ที่อยู่ในแนวเดียวกันส่วนซี่ฟันของสเตเตอร์และโรเตอร์ที่เหลืออีก 3 คู่ก็เกิดลักษณะของแม่เหล็กในทำนองเดียวกัน

ในสภาวะต่อไปเราจะให้โรเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตปมีทิศทาง CW เราจะต้องจ่ายพลังงานให้กับเฟส 3 ที่มีขดลวดพันอยู่บนซี่ฟันที่ 2 - 5 - 8 และ 11 ของสเตเตอร์ด้วยกระแส I 3 หลังจากหยุดจ่ายกระแส I 1 แล้วในตอนนี้เส้นแรงแม่เหล็กจะหาทางเดินที่ต่างไปจากเดิมเพื่อทำให้วงจรแม่เหล็กครบวงจร (เหมือนกับกระแสในวงจรไฟฟ้าจะหาเส้นทางไหลในส่วนที่มีความต้านทานต่ำที่สุด) ในทำนองเดียวกันเส้นแรงแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กในก็จะหาเส้นทางเดินที่มีค่ารีลักแตันซ์ที่ต่ำที่สุด (ช่องว่างอากาศระหว่างซี่ฟันจะทำให้เกิดค่ารีลักแตันซ์ ต่อเส้นแรงแม่เหล็กช่องว่างกว้างมากค่ารีลักแตันซก็จะมีค่ามาก) ด้วยเหตุผลดังกล่าวเส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากขั้วที่ 2 และ 8 ของสเตเตอร์ซึ่งถูกเหนี่ยวนำให้แนวขั้วใต้ เส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากซี่ฟัน d และ e ของมอเตอร์ผ่านช่องว่างอากาศเข้าสู่ซี่ฟันที่ 5 และ 11 ของสเตเตอร์ ดังนั้นส่วนที่เหลือของวงจรแม่เหล็กจะสมบูรณ์โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ ในระหว่าง เวลานั้นแรงของแม่เหล็กหรือแรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างซี่ฟันที่ 2 ของสเตเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ) และซี่ฟัน a ของโรเตอร์ (ถูก เหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ) และซี่ฟัน a ของโรเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วใต้) แรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างคู่ขั้ว (11 , e), (8 , b) และ
(5 , d) ด้วย ดังที่อธิบายในรูปที่ 2.2 ผลที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้เกิดทอร์คกระทำต่อโรเตอร์หมุนไปจนกระทั่งซี่ฟัน a , b , d และ e ของโรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟัน 2 , 5 , 8 และ 11 ของสเตเตอร์ตามลำดับ ขณะเวลาดังกล่าวช่องว่างอากาศระหว่างซี่ฟันเหล่านี้ตามลำดับจะมีค่าน้อยที่สุด ผลลัพธ์ของค่ารีลักแตันซ์จะมีค่าต่ำที่สุดและเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าสูงผ่านวงจรแม่เหล็ก ที่สภาพหน่วงนี้เป็นตำแหน่งที่สมดุลย์ของการจับแฟส 3 ในกระบวนการที่กล่าวมาแล้วโรเตอร์จะเคลื่อนที่ในทิศทาง CW หนึ่งสเตปเป็นมุม 7.5 องศา

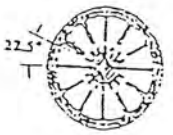
ลำดับการทำงานที่สมบูรณ์แสดงได้ดังรูปที่ 1.5 เมื่อตำแหน่งเริ่มต้นของซี่ฟันโรเตอร์ จะเป็นซี่ฟันที่ให้เราทำความเข้าใจได้ชัดเจนถึงการหมุนของโรเตอร์ในทิศทาง CW เมื่อเฟสถูกจับในลักษณะเรียงลำดับ 1 - 3 - 2 - 1 ซี่ฟันของโรเตอร์ ที่เป็นสีดำจะเคลื่อนที่ไป 3 สเตปคิดเป็นมุมได้เท่ากับ 22.5 องศา เราจะจับเฟสในลักษณะเรียงลำดับเดิมซ้ำ ใหม่อีกเมื่อต้องการให้โรเตอร์หมุนต่อเนื่องในทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CW แต่ถ้าเราต้องการให้โรเตอร์หมุนในทิศทาง CCW เราต้องกลับการเรียงลำดับเฟสเป็น 1 - 2 - 3 - 1

การเรียงลำดับเฟส	ตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นแรงแม่เหล็ก
ตำแหน่งโรเตอร์เริ่มต้น : - เฟส ϕ 1 ได้รับพลังงาน - ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 1 , 4 , 7 , 10 ของสเตเตอร์	
สเตปที่ 1 : เฟส ϕ3 ได้รับพลังงาน - ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 2 , 5 , 8 , 11 ของสเตเตอร์ - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW เป็นมุม 7.5 องศา (1 / 3 ช่วงห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์)	
สเตปที่ 2 : เฟส ϕ 2 ได้รับพลังงาน - ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 3 , 6 , 9 , 12 ของสเตเตอร์ - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW เป็นมุม รวม 15 องศา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตปที่ 3 : เฟส ϕ 1 ได้รับพลังงาน - ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟัน ที่ 1 , 4 , 7 , 10 ของสเตเตอร์ - โดยโรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW รวมเป็นมุม 22.5 องศา (เคลื่อนที่ไปได้ 1 ช่วงห่าง ระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์	

รูปที่ 2.6 แสดงลำดับการสวิทช์ - สเตปของ VR Stepping Motor แบบสแต็กเดียวและแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นทางของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อโรเตอร์เคลื่อนที่ไปในแต่ละสเตป

สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของ VR Stepping Motor

Nr = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์

Ns = จำนวนซี่ฟันของ Stepping Motor

Np = จำนวนเฟส

Pr = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์ (องศา)

Ps = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของสเตเตอร์ (องศา)

ϕs = มุมสเตป (องศา)

Rs = อัตราการสเตปหรือความเร็วในการสเต็ป (สเตป / รอบ)

X = Ns / Np = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ต่อเฟส

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ Stepping Motor

- ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ (Tooth Pitch)

Pr = 360° Nr และ Ps = 360° Ns

- มุมสเตป (step Angle)

ในรูปที่ 2.3 โรเตอร์จะเคลื่อนที่ในขนาดมุม Pr ได้เท่ากับ Np สเตป ดังนั้นเราจะหามุมสเตปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\phi s = Pr / Np = 360^{\circ} / Nr\ Np$ องศา

มุมสเตปจะเท่ากับความแตกต่างระหว่าง Pr และ Ps ดังนั้นเราหามุมสเตปได้เป็น

$\phi s = | Pr - Ps |$ องศา / สเตป

อัตตราการสเตป (Stepping Rate)

ความเร็วในการสเตปต่อรอบ (360 องศา) หาได้ จาก

$Rs = 360^{\circ} / \phi s = Nr\ Np$ (สเตป / รอบ)

ความเร็วของ Stepping Mortor

เมื่อเราป้อนอินพุทพัลส์ที่มีความถี่ (f) พัลส์ ต่อ วินาทีให้กับ Stepping Motor มอเตอร์ จะสเตปไปด้วยความเร็วเท่ากับ f Rs รอบต่อวินาที

ความเร็วของมอเตอร์ (W) = 60 f Rs

$= 60 f\ Np\ Nr$

$= \theta s\ f\ 6$ (rpm)

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (number of stator poles per phase)

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (X) = Ns Np

หรือ $X = Rs\ Np\ (Np \pm 1)$

$= Nr\ (Np \pm 1)$

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (X) จะสัมพันธ์กับอัตราการสเตปหรือจำนวนขั้วในของโรเตอร์

Stepping Motor ในรูปที่ 2.2 เราสามารถสรุปการเลือกพารามิเตอร์พารามิเตอร์บางตัวได้ดังตาราง

ตาราง แสดงการเลือกพารามิเตอร์ของ Stepping Motor

Np	Rs / Nr	X	Ns
3	48	4	12
	16	8	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4	48 12	4	16
4	64 16	?	?

ตัวอย่าง การหาพารามิเตอร์ของ Stepping motor

ขั้นแรกเรากำหนดความต้องการของมุมสเตป = 9°

มุมสเตปจะเป็นตัวกำหนดอัตราการสเตป = 360 / 9

= 40 สเตป / รอบ

ในเงื่อนไขเหล่านี้อาจจะต้องใช้ Stepping Motor ที่มี 4 หรือ 5 เฟส และมีสเตเตอร์ 2 โพลต่อเฟส

ถ้า Np = 4

Nr = Rs Np = 40 4 = 10

Ns = Np S = 4 * 2 = 8

ถ้า Np = 5

Nr = 40 5 = 8

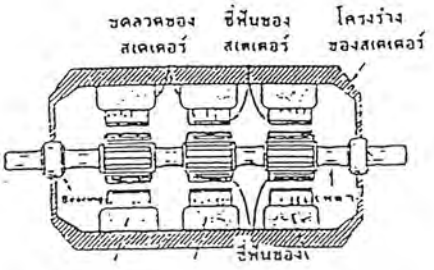
Ns = 5 * 2 = 10

VR Stepping Motor แบบมีหลายสแต็ก

สแต็กในที่นี้หมายรวมถึง โรเตอร์ที่เป็นชิ้นฟันและโครงร่างของสเตเตอร์อยู่รอบนอก

Stepping Motor ในรูปที่ 2.4 ได้ถูกออกแบบให้สเตเตอร์ของแต่ละสแต็กประกอบด้วย 4 โพล แต่ละโพลมีชิ้นฟัน 3 ต่างจาก VR Stepping Motor แบบสแต็กเดียวคือจำนวนชิ้นฟันของสเตเตอร์และโรเตอร์จะมีจำนวนเท่ากัน ต่างจาก VR Stepping Motor แบบสแต็กเดียว คือจำนวนชิ้นฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะแต่กันไม่ได้ถ้าหากมีจำนวนเท่ากันมันจะไม่หมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของ VR Stepping Motor แบบ VR ที่มี 3 เฟส โรเตอร์และสเตเตอร์แต่ละเฟส (แสต็ก) จะมี 12 ขั้วฟันและ มุมสเตป (θ_s) = 10° แต่ละเฟสของสเตเตอร์ที่เรียงลำดับต่อเนื่องกันจะถูกจัดเต็มแหน่งให้ต่างกันทีละ 1/3 ของช่องห่างระหว่างขั้วฟันของโรเตอร์ (10°)

การทำงานของ VR Stepping Motor แบบมี 3 สเต็ก

ในละเอียดส่วนล่างของรูปที่ 2.4 แสดงถึงโครงสร้างของโรเตอร์และสเตเตอร์ของ VR Stepping Motor แบบมี 3 สเต็ก แต่ละสเต็กจะมี $N_r = N_s$

แต่ละแสต็กจะมีตำแหน่งของสเตเตอร์แตกต่างจากสแต็กของสเตเตอร์ ในสเต็กถัดไปทำกับ (10°)

ส่วนขั้วฟันของโรเตอร์ ทั้ง 3 อัน จะประกอบอยู่บนแกนเดียวกันและได้รับการปรับแต่งให้อยู่ในแนวเดียวกันโดยสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติเราจะหาค่ามุมสเตป (หรือ index angle) ได้จากสมการ ในที่นี้เราจะหา Θi (index angle) ได้จากสมการเดียวกันคือ

$$\Theta I = Pr / Np = \Theta s$$

ในกรณีนี้ $Nr = Ns = 12$ ดังนั้นเราหา $Pr = 360^\circ / 12 = 30^\circ$ และค่า

$$\Theta I = 30^\circ / 3 = 10^\circ$$

Stepping Motor แบบ 3 แสต็ก ถึงแม้ว่าโรเตอร์ทั้ง 3 อันจะติดอยู่บนเพลาอันเดียวกันแสต็คทั้ง 3 สแต็กจะมีวงจรแม่เหล็กที่แยกกันดังนี้

ถ้าเฟสที่ 1 ถูกขับด้วยกระแสแบบแปสเริ่มต้นให้ซี่ฟันของโรเตอร์ สเตเตอร์อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 2 ในขณะนั้นจะมีตำแหน่งต่างกัน 10° และซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 20° ต่อจากนั้นเราจะหยุดจ่ายกระแส (กระแสเหลวสเตเตอร์) ในสแต็กที่ 1 และป้อนกระแสให้กับสแต็คที่ 2 อยู่ในแนวเดียวกันในขณะนี้ซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสแต็กที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10° จะทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสแต็กที่ 3 หมุนไปอีก 10° ซี่ฟันของโรเตอร์แบบสเตเตอร์ในสแต็กที่ 3 อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ในสแต็กที่ 1 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10°

ลำดับการสวิทช์กระแสให้แต่ละสแต็คแสดงได้ในรูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพลาของ Stepping Motor จะเคลื่อนที่ไปเท่ากับหนึ่งช่องของระยะห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (30°) ภายใน 3 สเตป

	แสต็กที่ 1	แสต็กที่ 2	แสต็กที่ 3
ตำแหน่งเริ่มต้นของโรเตอร์ : แฟส ϕ 1 ได้รับกระแส			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตปที่ 1 : - เฟส ϕ 2 ได้รับพลังงาน - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 10°			
สเตปที่ 2 : - เฟส ϕ3 ได้รับพลังงาน - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 20°			
สเตปที่ 3 : - เฟส ϕ3 ได้พลังงาน - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 30° หรือเท่ากับหนึ่งช่อง ของระยะห่างระหว่างซี่ฟันโรเตอร์			

รูปที่ 2.8 แสดงลำดับการสเตปของ VRSM แบบ 3 เฟส $N_r = N_s = 12$, $P_r = 30°$ และ $\Theta_s = 10$ ซี่ ฟันของโรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW 10° ในแต่ละสเตปรวมทั้งหมด 30° เมื่อสเตป ไปครบ 3 สเตปสำหรับการหมุนในทิศทาง CW ตามลำดับการขับเฟส 1 - 2 - 3 - 1 และต้องการให้หมุนในทิศทาง CCW ลำดับการขับเฟสก็ต้องกลับเป็น 1 - 3 - 2 - 1

ความปลอดภัยของมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปหนึ่งช่อง ของระยะห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (rotor tooth pitch) ต้องการสเตปไป Ns คือจำนวนสเต็ปที่ใช้ (หรือเท่ากับจำนวนเฟส ลำดับการสวิทช์แสดงในรูปที่ 3.5 เราสามารถแจกแจงขยายเป็นตารางได้ ดังในรูปที่ 3.6 และ

สรุป ประกอบด้วย VRSM แบบ 3 เฟส เส้นผ่านศูนย์กลาง 90 ซม. Stepping Motor ในการขับมอเตอร์ได้ ด้วยระบบไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สเตป	S1	S2	S3
1	x		
2		x	
3			x
1	x		

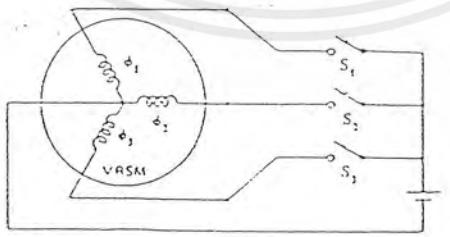
(ก)

สเตป	S1	S2	S3
1	x	x	
2		x	x
3	x		x
4	x	x	

(ข)

สเตป	S1	S2	S3
1	x	x	
2		x	
3		x	x
4			x
5	x		x
6	x		
1	x	x	

(ค)



(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

34161

รูปที่ 2.9 แสดงถึง VRSM แบบ 3 เฟส (ก) ตารางแสดงลำดับการขับแบบเฟสเดียวในทิศทาง CW

(ข) ตารางแสดงลำดับการขับแบบ 2 เฟสในทิศทาง CW (ค) การขับแบบ ครึ่งสเตปในทิศทาง CW เราจะต้องกลับลำดับของการขับคือให้อ่านตาราง (ก) (ข) และ
(ค) จากข้างล่างขึ้นไปข้างบน

จากตาราง (ก) ถ้าเราขับเฟสที่ 1 และ เฟส ที่ 2 เรียงลำดับมอเตอร์จะหมุนไปหนึ่งสเตป

จากตาราง (ข) ถ้าเราขับเฟสที่ 1 และ เฟสที่ 2 พร้อมกันเพลาของมอเตอร์ จะหมุนไปที่ 3 / 2 สเตป ต่อจากนั้นเราขับเฟสที่ 2 และ 3 พร้อมกันอีกก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปครบเต็ม 2 สเตป ดังนั้น การขับแบบ 2 เฟสเราเรียงลำดับการขับได้ดังนี้ 1 - 2 , 2 - 3 , 3 - 1 และ 1 - 2 กระทำซ้ำเดิมไปเรื่อย ๆ

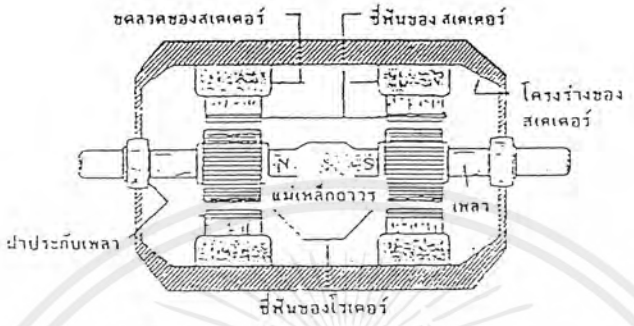
อย่างไรก็ตามการขับแบบ 2 เฟส หรือ 1 เฟส ก็จะให้การหมุนเป็นมุมสเตปเท่ากันที่ต่างกัน ก็คือ การขับแบบ 2 เฟส จะให้การหมุนของโรเตอร์นำหน้าการขับแบบเฟสเดียวด้วยขนาด
1 / 2 สเตป นอกจากนั้นการขับแบบ 2 เฟส จะต้องการกระแสเป็น 2 เท่าของการขับแบบเฟสเดียว

ตาราง (ค) แสดงการขับแบบ 2 เฟสสลับกับการขับแบบ 1 เฟส จะทำให้โรเตอร์ หมุนไป 1 / 2 สเตปเท่านั้น การขับแบบนี้จะทำให้จำนวนสเตปต่อรอบเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าจากเดิม

Stepping Motor แบบไฮบริด

ไฮบริดสเตปมอเตอร์ (H S M) มีคุณลักษณะผสมของ PM และ VR Stepping Motor ในรูปที่ 3.7 แสดงถึงโครงสร้างของ HSM ประกอบด้วย 2 ตอนกับแกนแม่เหล็กอยู่ระหว่าง 2 ตอน แต่ละตอนประกอบซี่ฟันของโรเตอร์และโพลของสเตเตอร์ที่มีซี่ฟันเหมือนกันและพันด้วยขดลวด รายละเอียดโครงสร้างของสเตเตอร์และโรเตอร์ของแต่ละตอนแสดงในไดอะแกรมข้างล่างของรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของ Hybrid Stepping Motor : Nr = 30, Ns = 24 ขั้วฟันของสเตเตอร์ทั้ง 2 ตัวจะอยู่ในแนวตรงกับส่วนขั้วฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตัว จะมีตำแหน่งต่างกัน 1/2 Pr (=6° ; $\theta_s = 3°$

ลักษณะโครงสร้างของ Hybrid Stepping Motor

- ตำแหน่งขั้วฟันของโรเตอร์และของสเตเตอร์ไม่ตำกัน
- สลอต A และสลอต B มีโครงสร้างเหมือนกัน

ขั้วฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 สลอตจะมีตำแหน่งที่แตกต่างกัน 1/2 Pr (ในรูปที่ 2.7 กำหนดให้ Pr = 360° / 30 = 12° ดังนั้นตำแหน่งขั้วฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 สลอตจะแตกต่างกัน 6°)

- สเตเตอร์ของแต่ละสลอตมี 8 โพล แบ่งออกเป็น 2 เซกเตอร์ เฟส
- เฟสที่ 2 จะมีขดลวดของสเตเตอร์โพลหมายเลข 1 - 3 - 5 และ 7 ของทั้งในสลอต A และสลอต B
- เฟสที่ 2 จะมีขดลวดของสเตเตอร์โพลหมายเลข 2 - 4 - 6 และ 8 ของทั้งในสลอต A และสลอต B
- แกนแม่เหล็กถาวรจะเหมือนกับโรเตอร์ในสลอต A ให้เป็นแม่เหล็กขั้วเหนือ และ โรเตอร์ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอน B ให้เป็นแม่เหล็กในขั้วใต้ ความซับซ้อนจะเพิ่มมากขึ้นเนื่อง จากการแบ่งส่วนของ ขดลวดเฟสใน 2 ตอนทำให้วงจรแม่เหล็กมีซับซ้อน และได้เส้นทางเดินของเส้นทางแม่เหล็กที่แตกต่างกันเป็นวงกลมทิศทางเดินของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์โพลจะขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสเฟสดังแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 2.7

การทำงานของ Hybrid Stepping Motor

ขณะที่เฟสที่ 1 ($\phi 1$) ได้รับพลังงานด้วยการป้อนกระแส I_L ในทิศทางดังแสดงด้วยลูกศร ซี่ฟันของโรเตอร์ในตอน A จะอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันของสเตเตอร์ของโพลที่ 1 และ โพลที่ 5 ส่วนของตอน B จะอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันของโพลที่ 3 และโพลที่ 7 ดังแสดงในรูปที่ 2.8

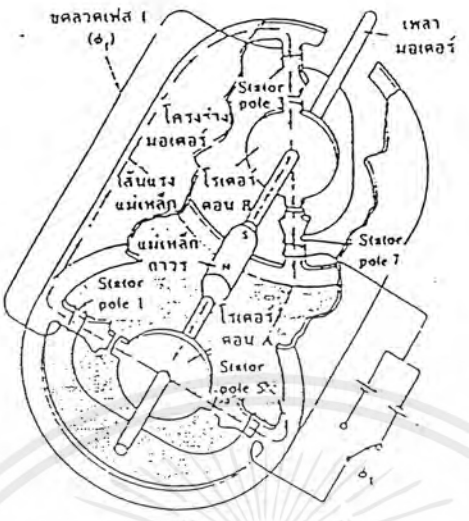
เพื่อให้เพลาของมอเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตปในทิศทาง CW เราจะต้องหยุดป้อนกระแส I 1 และ I 2 ให้กับเฟสที่ 2 ($\phi 2$)

ในรูปที่ 3.9 ซี่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสีดำใช้สำหรับอ้างอิงซี่ฟันสีดำจะอยู่ใกล้กับแนวซี่ฟันของสเตเตอร์โพลที่ 4 และโพลที่ 8 ในตอน A และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ในตอน B มากที่สุด (ซี่ฟันที่เป็นโรเตอร์ที่เป็นสีดำอยู่ห่างจากแนวของซี่ฟันของสเตเตอร์เท่ากับ 1 สเตปพอดี)

เราจะต้องป้อนกระแส I 2 ในทิศทางที่ ถูกต้องคือจะต้องทำให้โพลที่ 4 โพลที่ 8 และ โพลที่ 2 และโพลที่ 6 ในตอน B มากที่สุด (ซี่ฟันที่เป็นโรเตอร์ที่เป็นสีดำอยู่ห่างจากแนวของซี่ฟันของสเตเตอร์เท่ากับ 1 สเตปพอดี)

เราจะต้องป้อนกระแส I 2 ในทิศทางที่ถูกต้องคือจะต้องทำให้โพลที่ 4 โพลที่ 8 โพลที่ 2 และโพลที่ 6 ถูกเหนี่ยวนำเป็นแม่เหล็กในทิศทางที่ถูกต้อง (ทิศวงจรแม่เหล็กที่สมบูรณ์) ด้วย I 2 ในกรณีที่ I 2 จะต้องจะเป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.11วงจรแม่เหล็กของ HSM แสดงถึงเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อเฟสที่ 1 ได้รับพลังงานและเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นในคอย A จะผ่านโพลที่ 1 และโพลที่ 5 เข้าไปยังโรเตอร์ของคอย B ผ่าน โพลที่ 3 และโพลที่ 7 เข้าสู่ขั้วใต้ (s) ของแม่เหล็กถาวร

ในรูปที่ 2.9 แสดงถึงลำดับการสวิทช์ (ให้กระแสไหล) ให้มอเตอร์ หมุนไปในทิศทาง CW 4 สเตป ซึ่งแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์และทิศทางเป็นแม่เหล็กของสเตเตอร์โพลในแต่ละคอยด้วยการกำหนดทิศทางของการไหลของกระแสเฟส สำหรับการหมุนในทิศทางของ CW (ดังแสดงในรูป) เราจะต้องกำหนดลำดับของกระแสเฟสดังนี้ 1+, 2+, 1-, 2- และ 1+

เพลาของมอเตอร์หมุนไปได้หนึ่งช่องห่างระหว่างซี่ฟันภายใน 4 สเตป ดังนั้นมุมสเตปจะต้องเท่ากับ 1 4 Pr หรือมีค่าเท่ากับ $|Ps - Pr|$ ดังนี้

$\theta = Pr \ 4 = 360 \ 4Nr = 90 \ Nr$

$\theta = |Ps - Pr|$

สเตป	$\phi 1$	$\phi 2$	เส้นแรงออก	เส้นแรงเข้า	คอย A	คอย B
	I 4	I 2	จากคอย A	สู่ คอย B		
1	+	-	1.5	3		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2		--	4.8	2.6		
3	--		3.7	1.5		
สเตป	ϕ_1 I 4	ϕ_2 I 2	เส้นแรงออกจากตอน A	เส้นแรงเข้าสู่ตอน B	ตอน A	ตอน B
4		–	2.6	4.8		
1	+		1.5	3.7		

รูปที่ 2.12 ลำดับ 4 สเตปของ HSM แบบ 2 เฟส

ในแต่ละสเตปมีสองสิ่งตามหน่วยของโรเตอร์และทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก Nr = 30 , Ns = 24 , $\theta_s = 3^\circ$ ซี่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสีดำจะหมุนในทิศทางของ CW ไป 3° ในแต่ละสเตปได้เป็น 12° เมื่อครบตามจำนวนลำดับ หนึ่งช่องห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์) สำหรับการหมุนในทิศทาง CW จะต้องจัดลำดับการขับเป็น 1- , 2- , 1- , 2+ , 1+

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระตุ้น (Stepping Motor Excitation)

แบบที่นิยมใช้มีอยู่ 3 แบบ คือ

1) การกระตุ้นเฟสเดียว (One Phase Excitation)

2) การกระตุ้นสองเฟส (Two Phase Excitation)

3) กระตุ้นครึ่งสเตป (Half step Excitation)

(2) Four-phase motor

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1									
Phase 2									
Phase 3									
Phase 4									

(2) Four-phase motor

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

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

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะรูปคลื่นของการกระตุ้นแบบต่าง ๆ

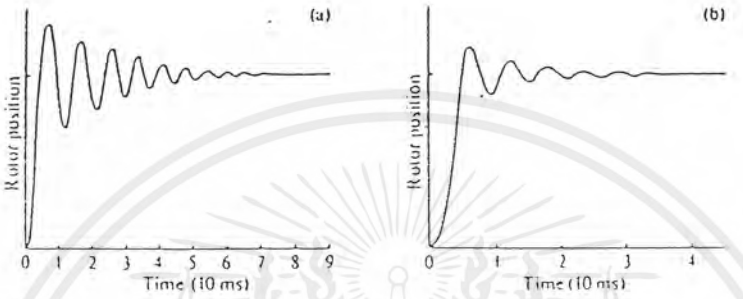
(ก) One Phase Excitation

(ข) Two Phase Excitation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

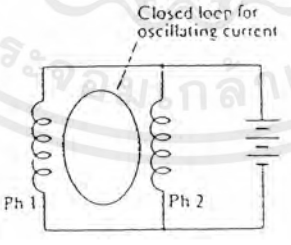
ข้อแตกต่างระหว่างการกระตุ้นแบบ 1เฟส และ 2 เฟส

ความแตกต่างระหว่างการกระตุ้นแบบ 1เฟส และ 2 เฟส มีลักษณะต่างกันตรงผลการตอบสนองชั่วขณะ (Transient Response)



รูปที่ 2.14 แสดงความแตกต่างผลตอบสนองของการกระตุ้นแบบ 1เฟส (ในรูป a) และการกระตุ้นแบบ 2 เฟส (ในรูป b)

การกระตุ้นแบบ 2 เฟส การออสซิเลทที่เกิดขึ้น จะหมดไปเร็วกว่าการกระตุ้นแบบเฟสเดียว ซึ่งสามารถอธิบายได้จากรูป



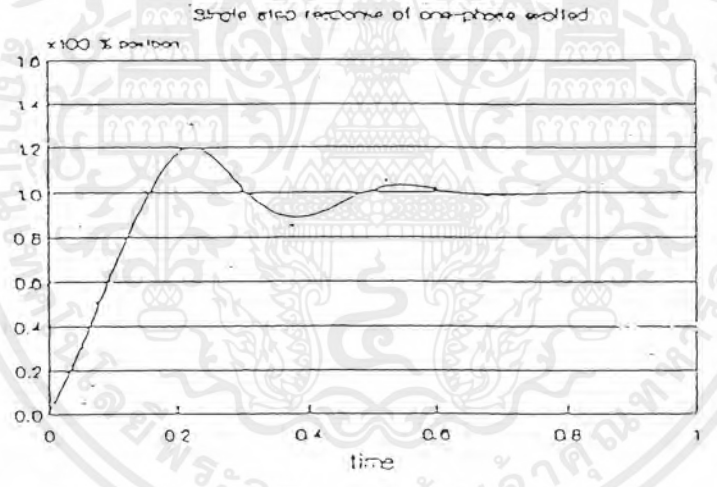
รูปที่ 2.15 กระแสที่เกิดการออสซิเลทในวงจรปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการกระตุ้นแบบ 2 เฟส ลูปที่เกิดขึ้นระหว่าง 2 เฟส ที่ถูกกระตุ้นจะมีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น เมื่อมีการออสซิเลทเกิดขึ้น ซึ่งเกิดในช่วงองค์ประกอบของกระแสในช่วงออสซิเลท ไม่ใช่องค์ประกอบในช่วงที่คงที่ องค์ประกอบในช่วงออสซิเลทนี้เองจะสร้าง Holding Torque ขึ้น ดังนั้น การเคลื่อนที่ของโรเตอร์ที่เกิดการออสซิเลทขึ้น เป็นผลทำให้เกิดกระแส ออสซิเลทเกิดขึ้นในช่วงที่คงที่ ในแต่ละเฟส ซึ่งองค์ประกอบของกระแสในเฟส 1 และ เฟส 2 จะมีทิศทางตรงข้ามกันนั้น Torque ที่ผลิตจาก องค์ประกอบของกระแสออสซิเลทจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ นั่นเอง ซึ่งลักษณะนี้จะไม่เกิดขึ้นในการกระตุ้นแบบ 1 เฟส

1. One Phase Excitation

แบบนี้จะมีแรงบิดน้อยที่สุดทั้งในขณะเริ่มเคลื่อนที่และเคลื่อนที่อยู่ มี Over Shoot สูง ต่างแหน่งแต่ละสเตป ช้าแต่เมื่อเข้าสู่สภาวะ Steady State แล้วจะไม่มีการ ออสซิเลท

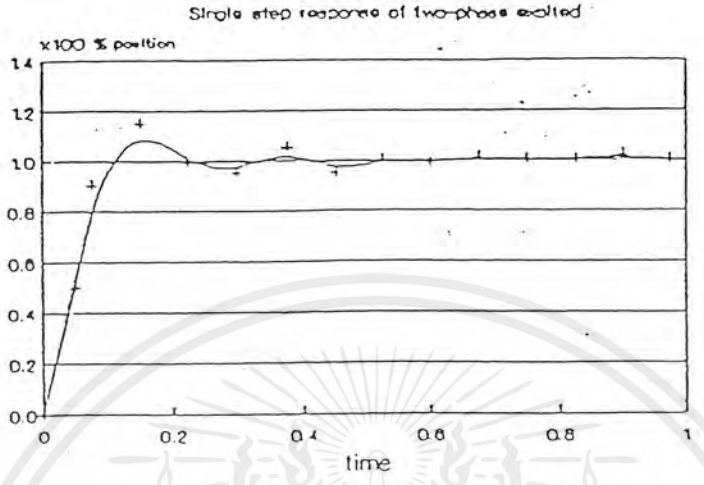


รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของ Stepping Motor ต่อการกระตุ้นแบบต่าง

2. Two Phase Excitation

การกระตุ้นแบบนี้มีแรงบิดขณะเริ่มต้นสูง มี Over Shoot ต่ำ และมีออสซิเลท เล็กน้อยใน สภาวะ Steady State

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ผลตอบสนองของ Stepping Motor ต่อการกระตุ้น 2 เฟส

3. Half Step Excitation

สำหรับ Stepping Motor ที่ใช้การกระตุ้นแบบ Half Step Excitation จะทำให้มุมของสเต็ปในแต่ละสเต็ป จะมีค่าลดลงจากค่าที่กำหนดไว้ครึ่งหนึ่ง จากค่ามุมของสเต็ปที่กำหนดไว้ที่ Data ของ Stepping Motor ตัวนั้น การกระตุ้นแบบนี้จะรวมข้อดีของทั้ง 2แบบ ข้างต้นไว้ โดยขณะที่เริ่มต้น จะกระตุ้นแบบ 2 เฟส ทำให้ได้แรงบิด เริ่มต้นสูงที่สุด และเมื่อเข้าสู่สภาวะ Steady State จะกระตุ้นเพียงเฟสเดียว ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดการออสซิเลท แต่ข้อเสียของการกระตุ้นแบบนี้ จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ One Phase Excitation เช่นกันคือในขณะ Steady State กำแรงบิดจะมีค่าน้อย

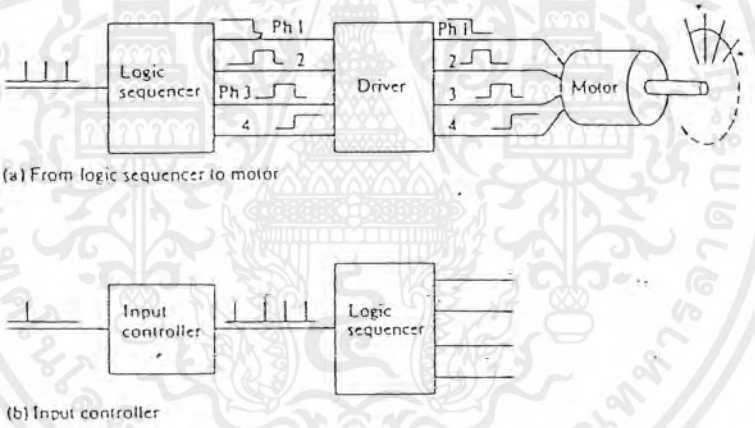
Drive System And Circuitry For Open Loop Control Of Stepping Motor

ระบบขับกระแสและ วงจรสำหรับการควบคุม Stepping Motor แบบ ลูปเปิด หนึ่งในปัญหาสำคัญที่สุดในการประยุกต์ใช้ Stepping Motor ก็คือ ส่วนของวงจรขับกระแส ซึ่งวงจรขับกระแสมี แบบลูปปิด และ ลูปเปิด ซึ่งในโครงงานนี้ของเรา ใช้การควบคุมแบบลูปเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบขับกระแส

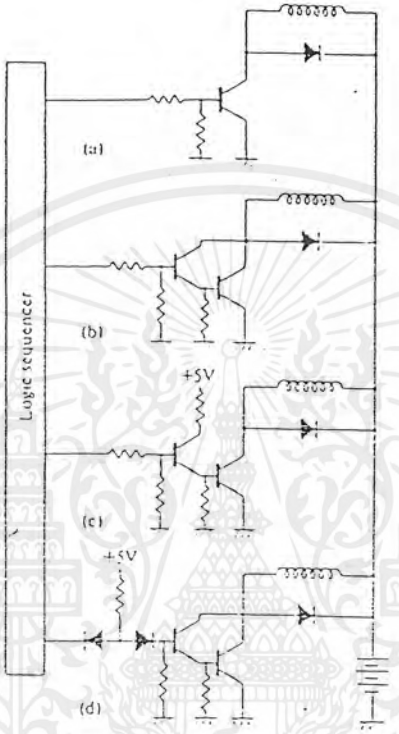
ระบบขับกระแสของ Stepping Motor สามารถแสดงได้โดยรูปบล็อคไดอะแกรมในรูปที่ 2.6 ซึ่งจะเห็นว่า บล็อคไดอะแกรมจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ในรูป a) คือส่วนของวงจรจัดลำดับการกระตุ้น (Sequential Control) ซึ่งเมื่อพัลซ์ (Pluse) ถูกป้อนเข้ามาในวงจรจัดลำดับการกระตุ้น ก็จะใช้สถานที่สถานะทางด้านออก (Out Put) ที่มีการเปลี่ยนแปลงในการควบคุมในการขับมอเตอร์ (Motor Drive) เพื่อที่จะทำให้ Stepping Motor หมุนไปตามมุมสเตปในทิศทางที่ต้องการ ซึ่งทิศทางที่หมุนไป ถูกควบคุมมาจากสถานะทางด้านเข้า (Input) ให้เป็น H และ L เพื่อกำหนดให้หมุนทวนเข็มและตามเข็มนาฬิกานั่นเอง ในรูป a) นั้นแสดงถึงระบบทั้งหมด แต่เมื่อการเพิ่มแบบสเตป 2 สเตป หรือมากกว่านั้น สถานะต่าง ๆ ด้าน Input ต้องมี พัลซ์ (Pulse) ที่เหมาะสมเพื่อควบคุมวงจรจัดลำดับการกระตุ้น แสดงได้ในรูป (b) ซึ่งจะเรียกว่า " วงจรควบคุมด้านเข้า (Input Controller)" ข้อได้เปรียบในวงจรนี้คือ สามารถ ใช้ Microprocessor ใช้ในการสร้าง พัลซ์ ในการควบคุมความเร็วของ Stepping Motor ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ Stepping Motor มีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือสูง



รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบการขับ Stepping Motor
การเชื่อมต่อวงจรจัดลำดับการกระตุ้น และ วงจรขับกระแส

สัญญาณจากด้านออกของวงจรจัดลำดับการกระตุ้นจะถูกส่งต่อมายังจุดด้านเข้าของวงจรขับกระแส โดยการปิดและเปิดของขดลวดของ Stepping Motor วิธีที่ง่ายที่สุดที่จะเชื่อมต่อคือ ต่อตามรูป 4.7 (a) , (b) แต่ถ้ากระแสที่ออกมาไม่เพียงพอที่จะขับ Stepping Motor ได้ ก็ต้องใช้ Buffer มาช่วยในการขับกระแส ดังรูปที่ 4.7 (c) และ (d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



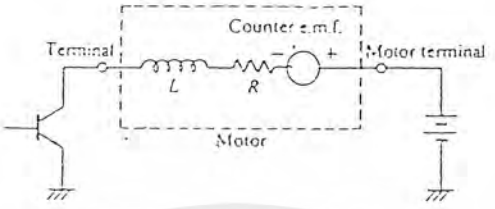
รูปที่ 2.19 แสดงถึงการเชื่อมต่อระหว่างวงจรจัดลำดับการกระตุ้นและวงจรขับกระแส

ปัญหาที่เกิดขึ้นในวงจรขับกระแส

ในขดลวดของ Stepping Motor ประกอบด้วยความต้านทานและความเหนี่ยวนำ เมื่อ Stepping Motor หมุน จะมี Counter E.M.F. ถูกผลิตขึ้นในขดลวดทำให้การออกแบบวงจรขับกระแส ต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นคือ กรณีที่แย่ที่สุด ของ Stepping Motor, ทรานซิสเตอร์ และ แหล่งจ่ายแรงดัน มอเตอร์จะแปรไปตามความคงทนในการผลิต และ เงื่อนไขในการทำงาน เพราะฉะนั้น Stepping Motor ต้องถูกออกแบบให้ส่งกำลังออกมากที่สุด ที่ขนาดเล็กสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ กรณี อุณหภูมิสามารถจะสูงได้ประมาน 100 C เพราะฉะนั้น ขดความต้านทานจะเพิ่มได้ระหว่าง 20 – 25 % เท่านั้น



รูปที่ 2.20 วงจรสมมูล ของขดลวดใน Stepping Motor

Spike Voltage Suppressors

เมื่อทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 2.8 คับลง (Off) จะมีแรงดัน (Spike Voltage) ที่มีค่ามากเกิดขึ้นตามสมการ

$$V = L \frac{di}{dt}$$

และแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เองจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย ซึ่งมีวิธีอยู่หลายวิธีที่สามารถจะลดแรงดันนี้ไม่ให้ทำลายทรานซิสเตอร์ได้

(1) ใช้ Diode Suppressors

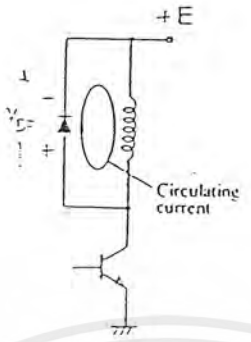
เมื่อเกิดกระแสไหลวน (Circulating Current) หลังจากที่ทรานซิสเตอร์ Turn Off ทำให้กระแสสลายไปเมื่อเวลาผ่านไป จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสอย่างมากมาย ถ้ามีไดโอดต่ออยู่วงจร ดังรูปที่ 4.9 เพราะศักดาที่ Collector จะเป็น

$$V_{CE} = E + V_{DF}$$

V_{DF} คือ Forward Voltage ของ ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

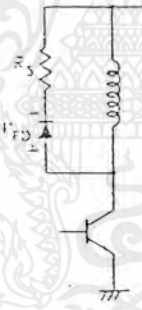
แต่ข้อเสียวิธีนี้คือ กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงเวลาที่นาน และจะผลิตแรงบิดหยุดมอเตอร์ (Breaking Torque)



รูปที่2.21Diode Suppressor

(2) Diode And Resistor Suppressors

ใช้ความต้านทานต่ออนุกรมเข้าไปกับไดโอ ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 2.22 Diode-resistor suppressor

ความต้านทานที่ใส่เข้าไปเพื่อจะทำให้เวลา ในการเกิดกระแสไหลวน ลดน้อยลงไปและ

$$V_{CE} = E + IR_M + V_{DF}$$

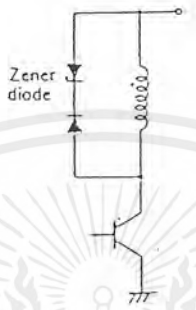
E = Supply potential

I = Current Just Before Turning Off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_M = Resistance Of Suppressors Resistor

(3) Zener Diode Suppressors

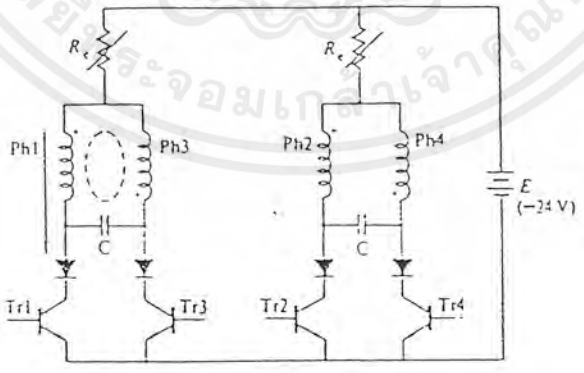


รูปที่ 2.23 Zener diode suppressor

เทียบกับ 2 กรณีแรกแล้ว การใช้ Zenner Diode จะทำให้เวลาในการเกิดกระแสไหลวนหมดไปเร็วยิ่งขึ้น

(4) Condenser Suppressors

ซึ่งรูปแบบ Condenser Suppressors นี้มักถูกใช้กับ Bifilar-Wound Motor ซึ่งวงจรแสดงใน รูปที่ 4.12



รูปที่ 2.24 Four- phase driver with condenser suppressor. External resistors denoted by R_M are adjusted So that the current is at rating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป ตัวเก็บประจุ (Condenser) จะถูกใส่ระหว่างเฟส 1 และ เฟส 3 และ เฟส 4 และ ตัวเก็บประจุนี้ถูกใช้เมื่อทรานซิสเตอร์ Turn Off ตัวเก็บประจุที่เชื่อมต่อระหว่างไดโอดจะถูกดูดซับกระแสที่เกิดจากขดลวดเพื่อที่จะป้องกันทรานซิสเตอร์ พิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้คือ เมื่อ Tr_2 Turn Off เพราะฉะนั้น Tr_2 และ Tr_4 ก็ Turn On แต่ Tr_3 ยังคง Turn off อยู่ ดังนั้น ขดลวดเฟสที่ 1 และ เฟสที่ 3 ซึ่งเป็นกระแส ทรานเซี้ยน (Transient Current) จะไหลวนในลูปตามเส้นประในรูป ถ้า Tr_3 Turn On เมื่อกระแสทรานเซี้ยนกลายเป็น 0 นั่นคือ ตัวเก็บประจุจะเก็บประจุจนมีประจุมากที่สุด ดังนั้นกระแส F ด้านบวกจากประจุ C ก็จะ Discharge ไหลผ่านขดลวดเฟส 1 ได้อย่างง่ายดาย โดยขบวนการกำธร (Resonance) ดังนั้นกระแสจะถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการใช้ตัวประจุนี้เหมาะสมที่จะใช้กับ Stepping Motor ที่พิกัดที่จำกัดในขอบเขตแคบ ๆ ซึ่งเราจะใช้ Condenser Suppressor เป็นตัวหน่วงทางไฟฟ้า (Electrical Damper) ช่วยหน่วง Rotor ไม่ให้เกิด ออสซิเลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

กำหนด เป้าหมาย Function การทำงาน

นำ Stepping Motor มาสร้างเป็นต้นกำลังของขานยนต์ขนาดเล็ก ให้สามารถ เคลื่อนที่ โดยอัตโนมัติ โดยอาศัยหลักการ การตรวจจับ แถบเส้นทางซึ่งมีการสะท้อนแสงไม่เท่ากันด้วย sensor แสง จากนั้นนำค่าที่ได้จาก sensor มาประมวลผลเพื่อ กลับไปควบคุมให้ รถเคลื่อนที่ อยู่ในเส้นทาง ตามเงื่อนไขที่ กำหนดไว้

ทฤษฎีที่เกียวข้อง

การขับ Stepping Motor

การใช้ออกแบบ ใช้งาน Microcontroller

วงจร Drive Stepping Motor

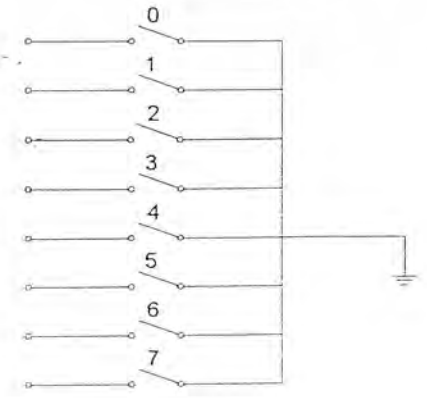
การใช้งาน Sensor

Keyboard

เป็นอุปกรณ์ที่จะนำเข้าสู่ระบบไมโครโปรเซสเซอร์สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบคือ

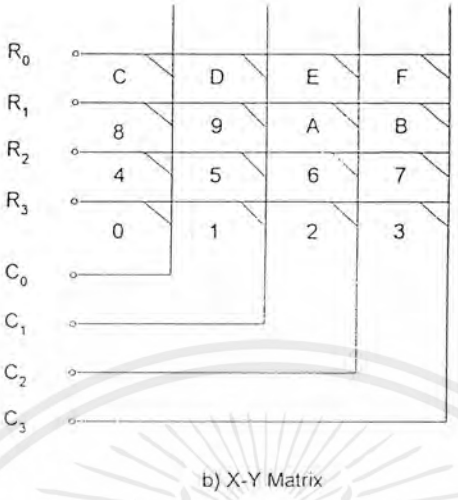
1. แบบ Single Columm
2. แบบ X-Y Matrix

ซึ่งทั้ง 2 แบบดังแสดงในรูป



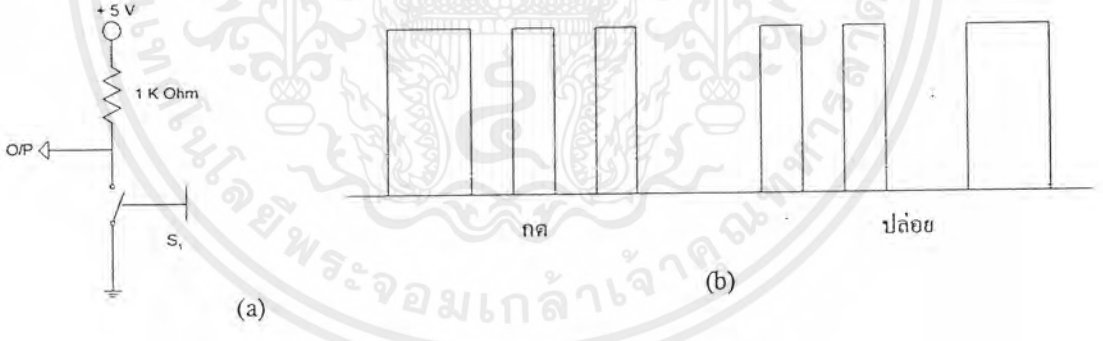
a) Single Column

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 Keyboard ลักษณะต่างๆ

เนื่องจากว่าโครงสร้างของ Keyboard ทำมาจากโลหะผสมกัน ดังนั้นเวลากดแล้วปล่อยจะเกิดอาการเด้งของ Switch ทำให้ได้รูปสัญญาณดังรูป วิธีแก้ BOUNCE มีได้ 2 วิธี คือใช้ Hardware และ Software ดังรูป



รูปที่ 3.2 โครงสร้างวงจร Switch และรูปสัญญาณ

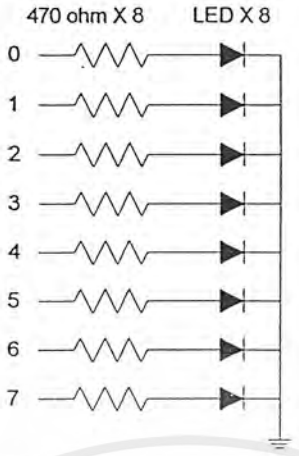
การแสดงผล (Display)

การแสดงผลของระบบไมโครโปรเซสเซอร์ แบบ 7 Segment นี้นิยมใช้กันอยู่ 2 แบบคือ

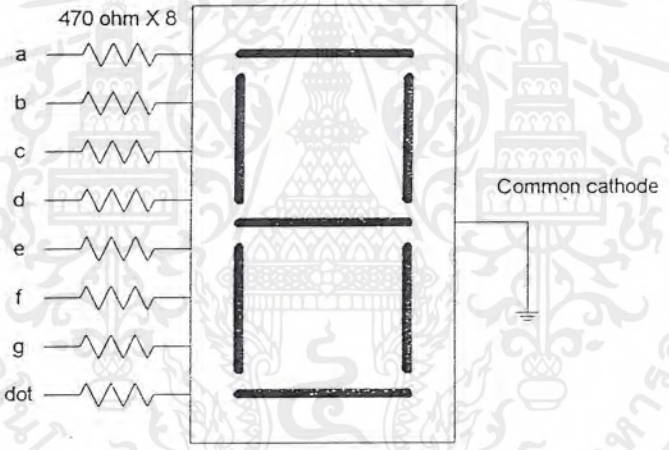
1. แบบแถวเดียว
2. แบบ Matrix

ซึ่งมีโครงสร้างทาง Hardwear ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การแสดงผลแบบแถวเดียว

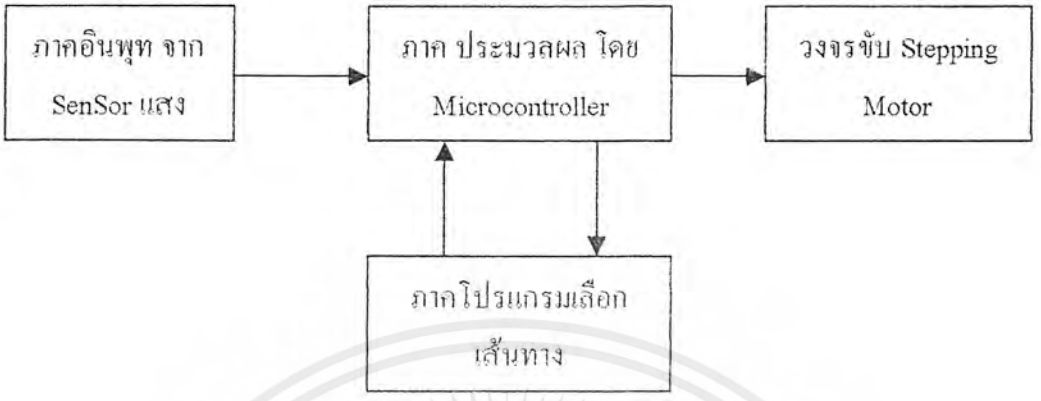


รูปที่ 3.4 การแสดงผลแบบ Multiplex

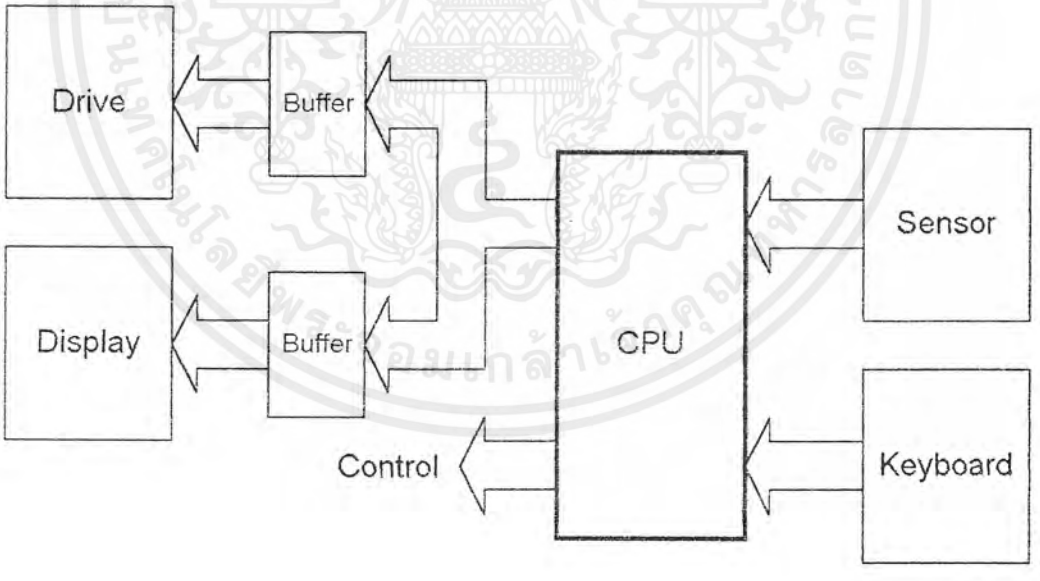
ออกแบบ บล๊อกไดอะแกรม ระบบรวม

1	ภาค อินพุทจาก	Senser
2	ภาค ประมวลผล โดย	Microcontroller MCS-89C51
3	ภาค เอาท์พุท	Drive circuit
4	ภาค อินพุท	Program
5	ภาค เอาท์พุท	Display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

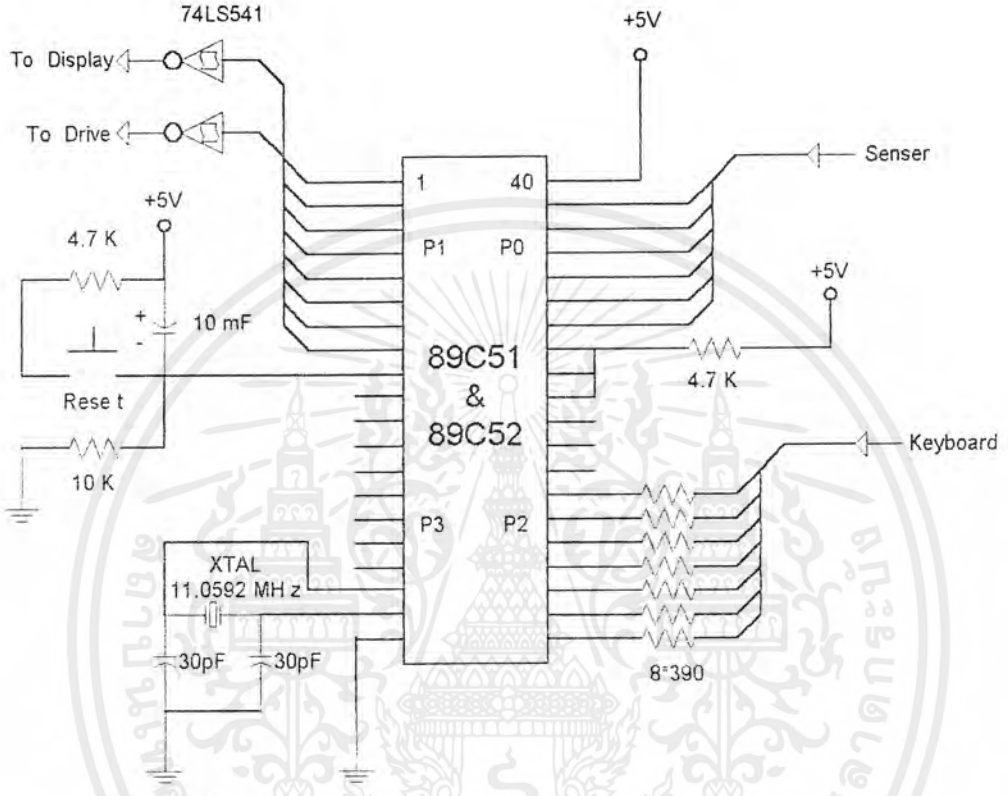


รูปที่ 3.5 บล๊อกไดอะแกรม ระบบรวม



รูปที่ 3.6 บล๊อกไดอะแกรม การทำงานของวงจรทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

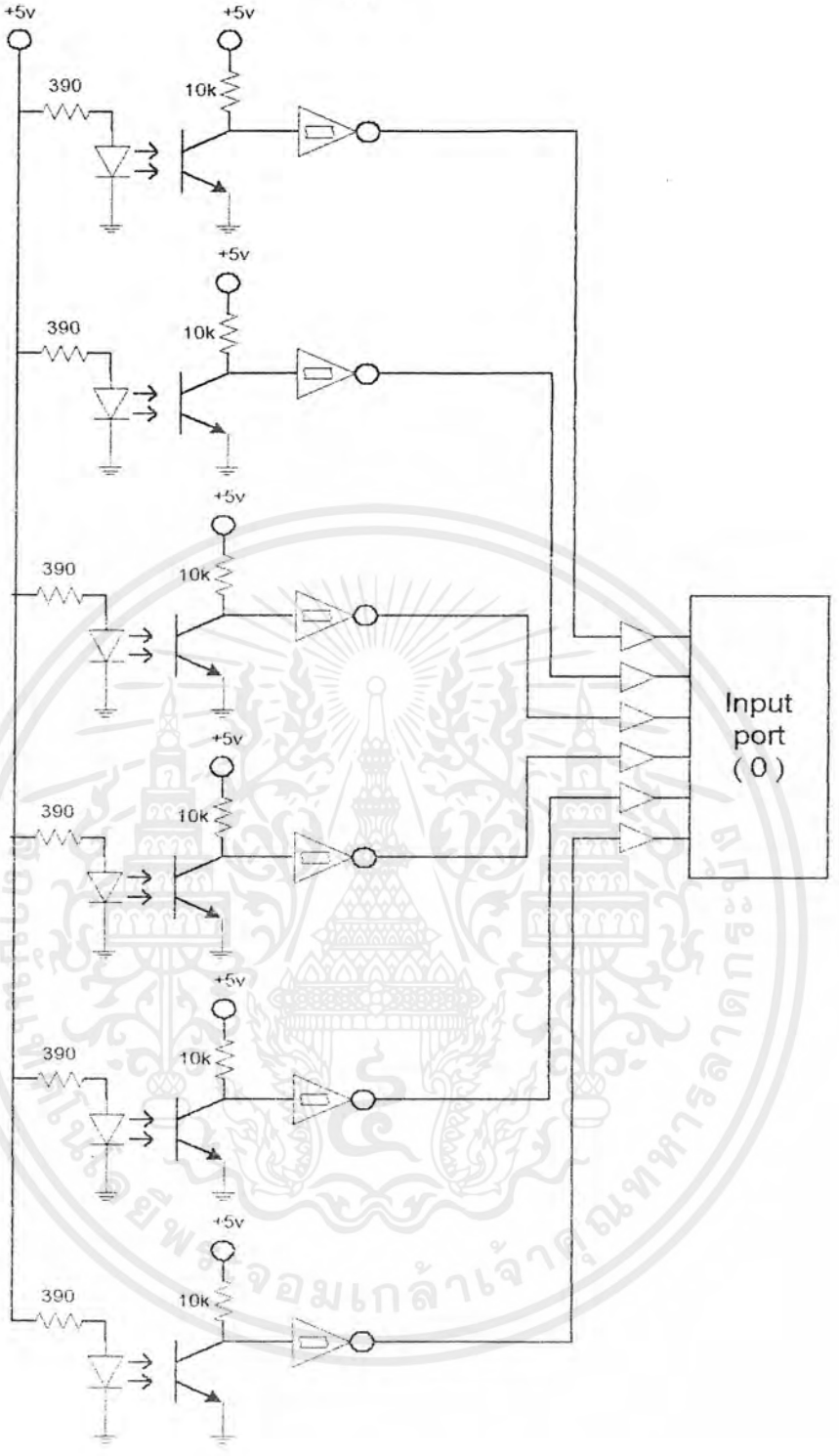


รูปที่ 3.7 วงจรภาคประมวลผล

ออกแบบ Sensor

เมื่อเราจ่ายไฟให้ LED จะส่งแสงไปสะท้อนกับแถบเส้นทางกลับมาเข้า Photo Transistor ทำให้ V ce ลดลง Smittriger จะทำงานให้เอาท์พุทเป็น Logic 1 แต่หาก ไม่มีแสงสะท้อนขึ้นมา Vce จะมีค่าสูง Smittriger จะทำงานให้เอาท์พุทเป็น Logic 0 แทน จากหลักการนี้จะนำเข้าไปประมวลผลด้วย Microcontroller ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

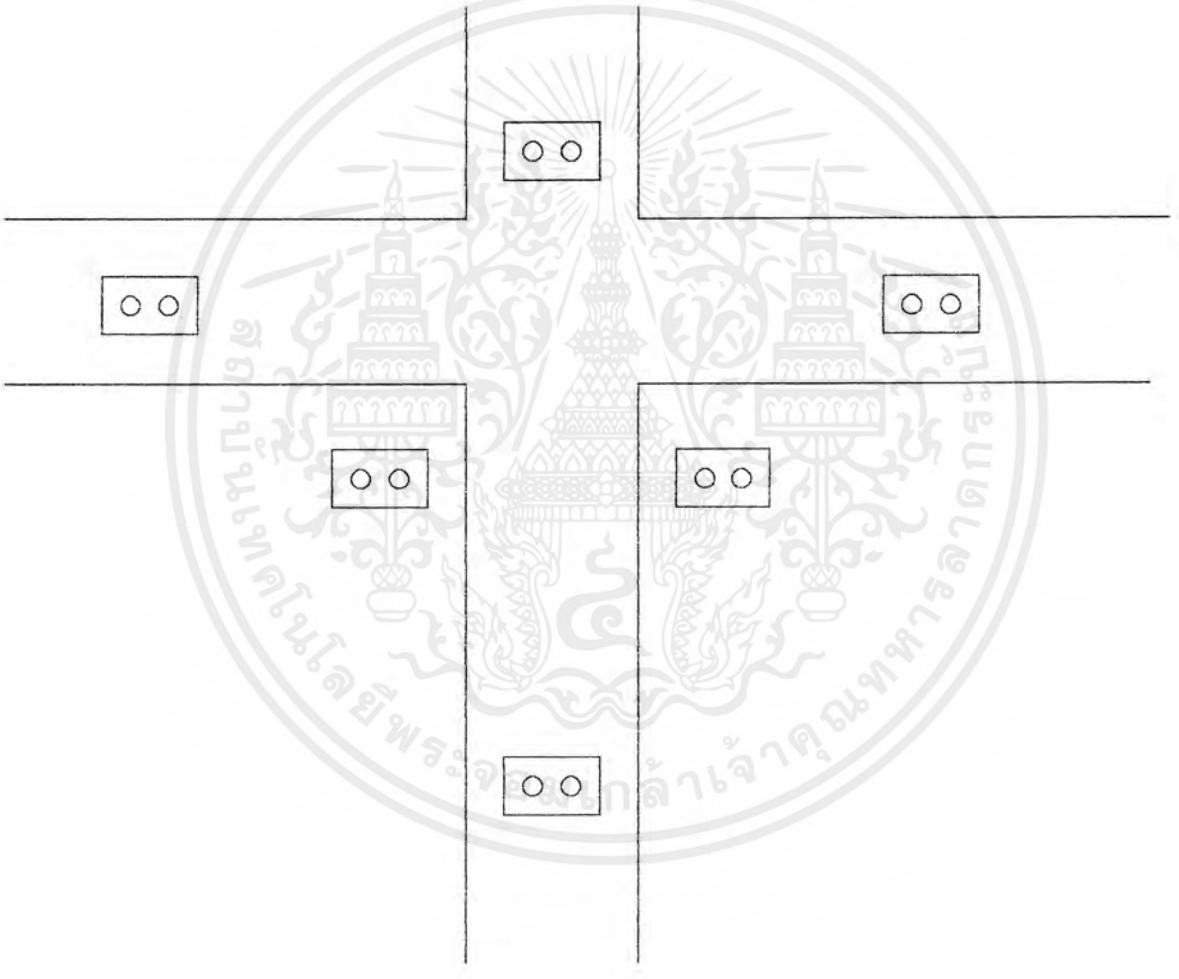


รูปที่ 3.8 วงจร Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งการติดตั้ง Senser

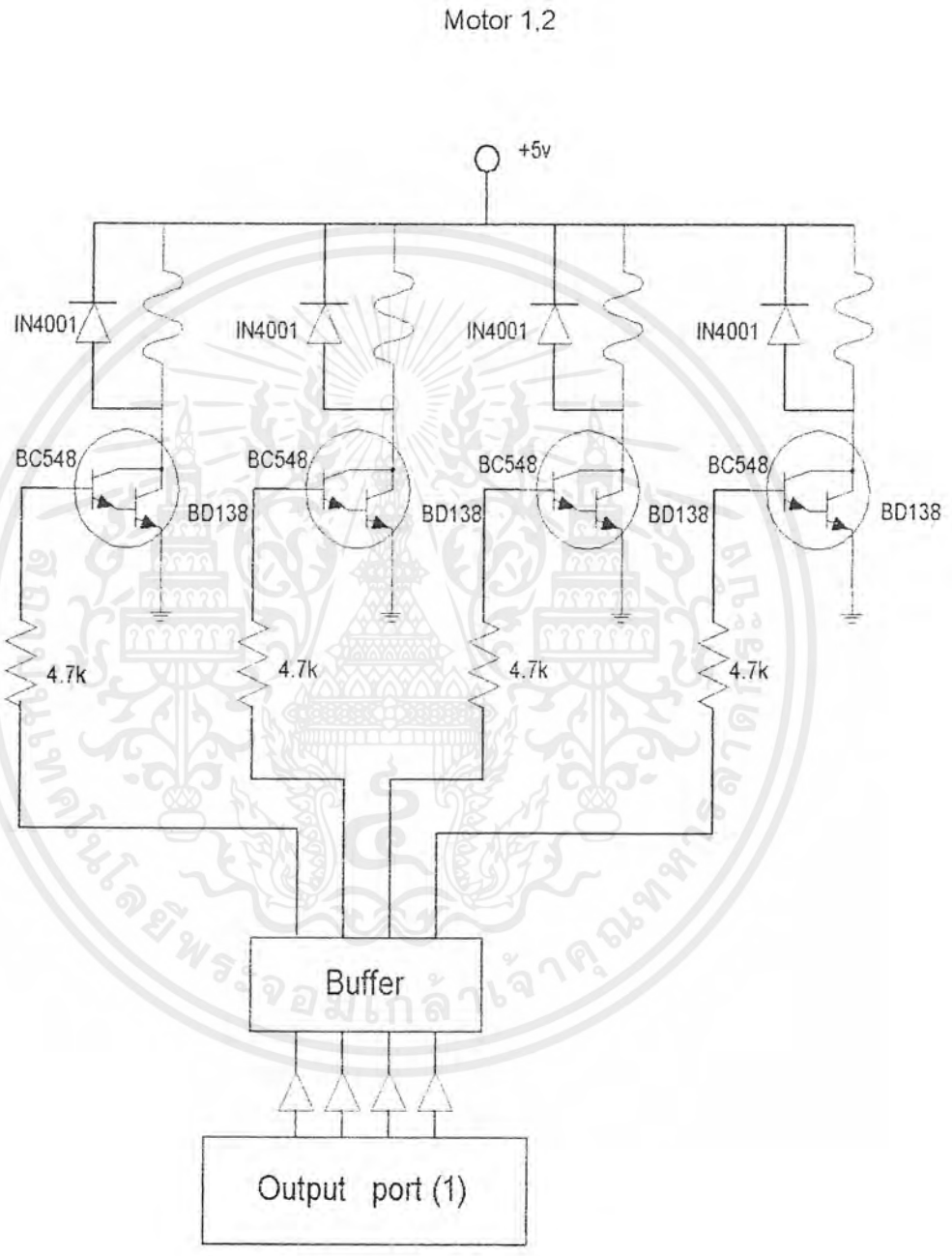
Sensor ทั้งหมด 6 ตัวในการสำรวจเส้นทาง ซึ่งแสดงการติดตั้ง ดังนี้



รูปที่ 3.9 วงจร Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

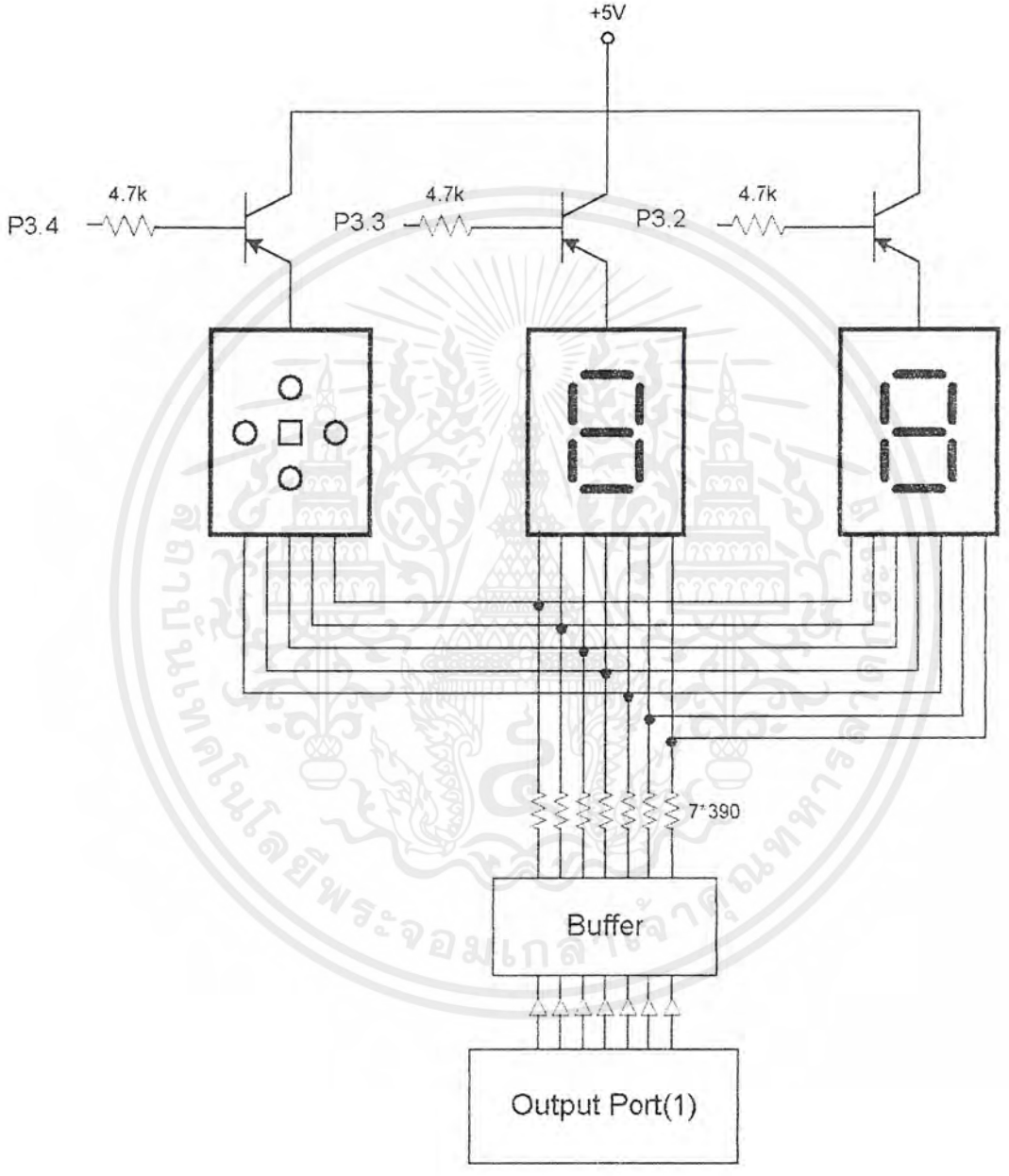
วงจรขับ Stepping Motor ด้วย Transistor



รูปที่ 3.10 วงจรขับ Stepping Motor ด้วย Transistor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

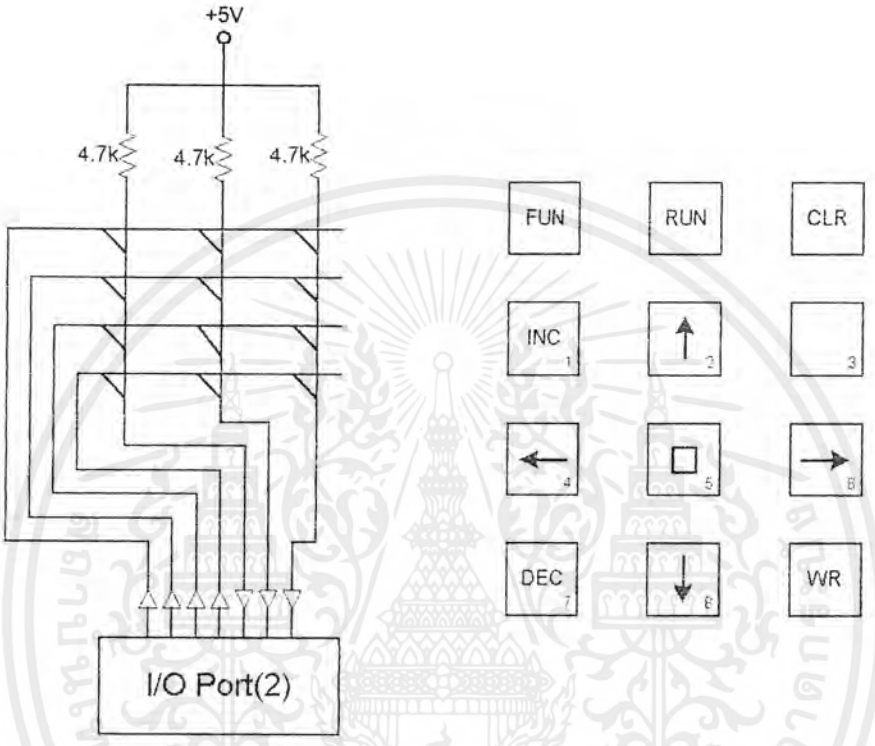
วงจร Display



รูปที่ 3.11 วงจร Display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแสดงการต่อ Keyboard

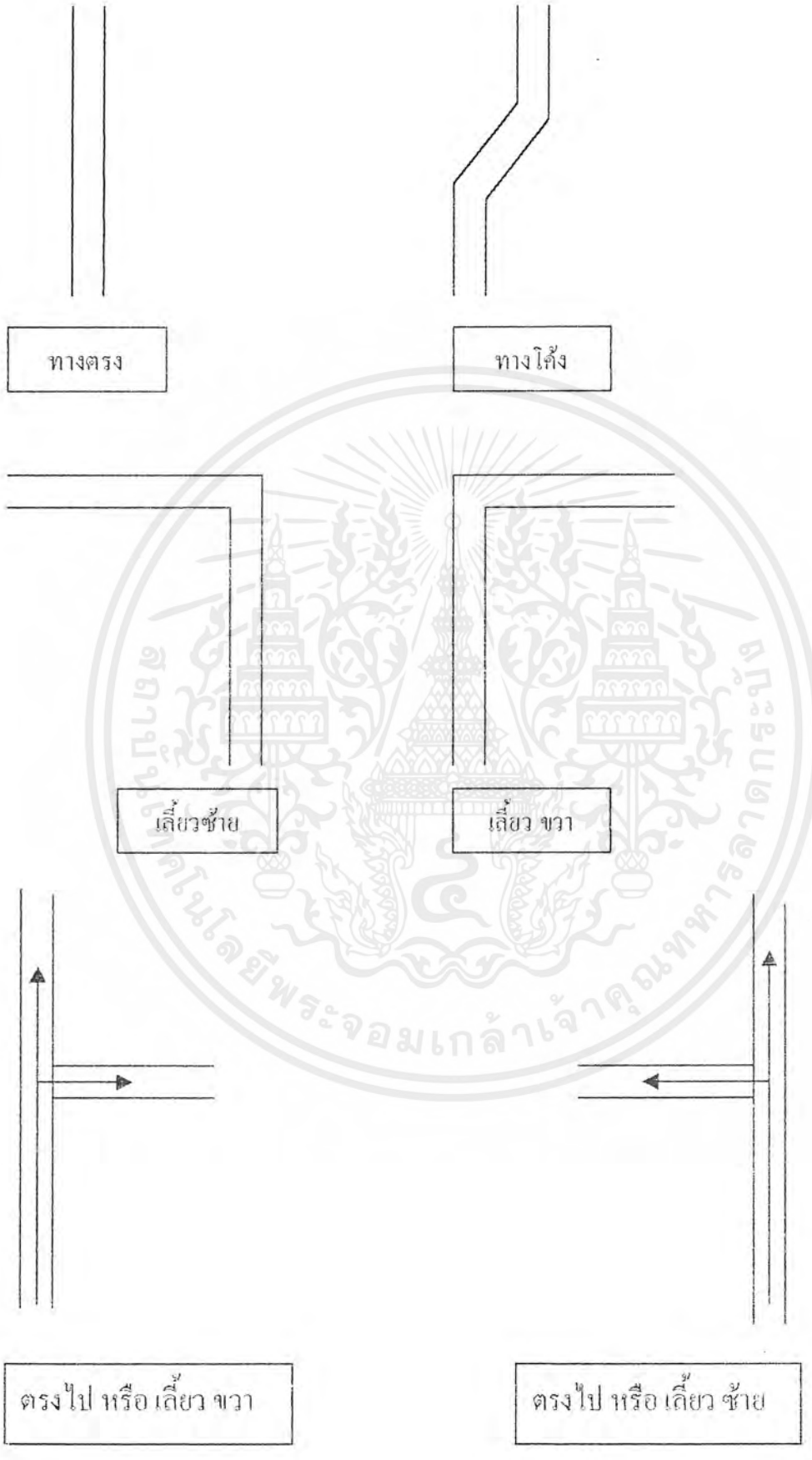


รูปที่ 3.12 วงจรแสดงการต่อ Keyboard

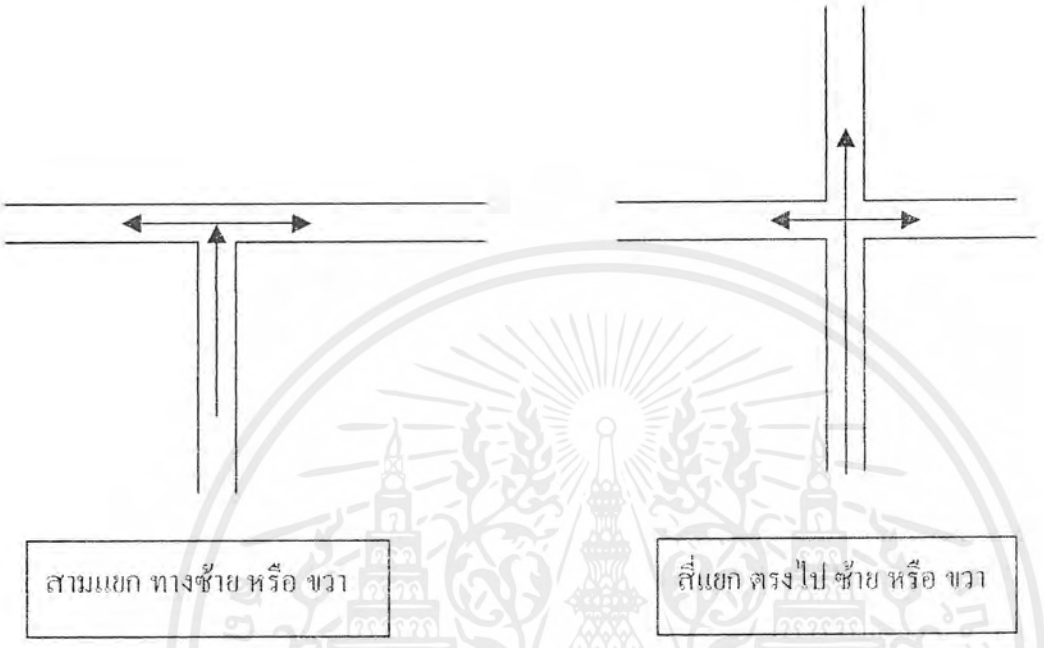
ออกแบบเส้นทาง

เส้นทางเดินรถ อาศัยความแตกต่างของการสะท้อนแสง โดยใน จะกำหนดให้ พื้นห้องมีการสะท้อนแสงต่ำ ส่วนเส้นทางมีการสะท้อนแสงที่มากกว่ารูปแบบของเส้นทาง จะออกแบบให้ Sensor สามารถแยกความแตกต่าง ได้ว่า ณ จุด ที่ Sensor อ่านอยู่นั้น มีสภาพเป็นอย่างไร จึงใช้ เส้นทางที่มีเป็นลักษณะของสัญลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



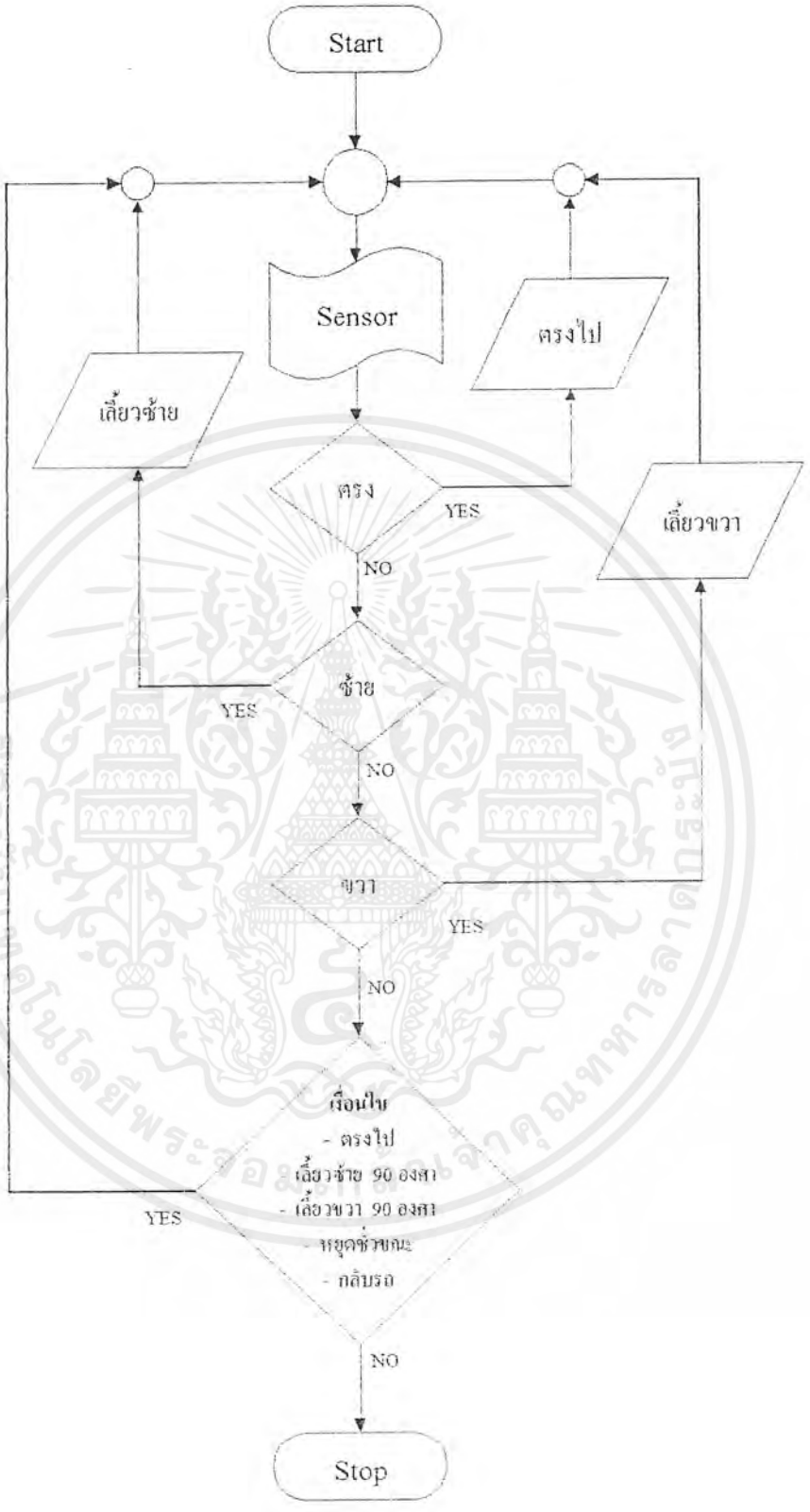
สามแยก ทางซ้าย หรือ ขวา

สี่แยก ตรงไป ซ้าย หรือ ขวา

จุดกลับรถ

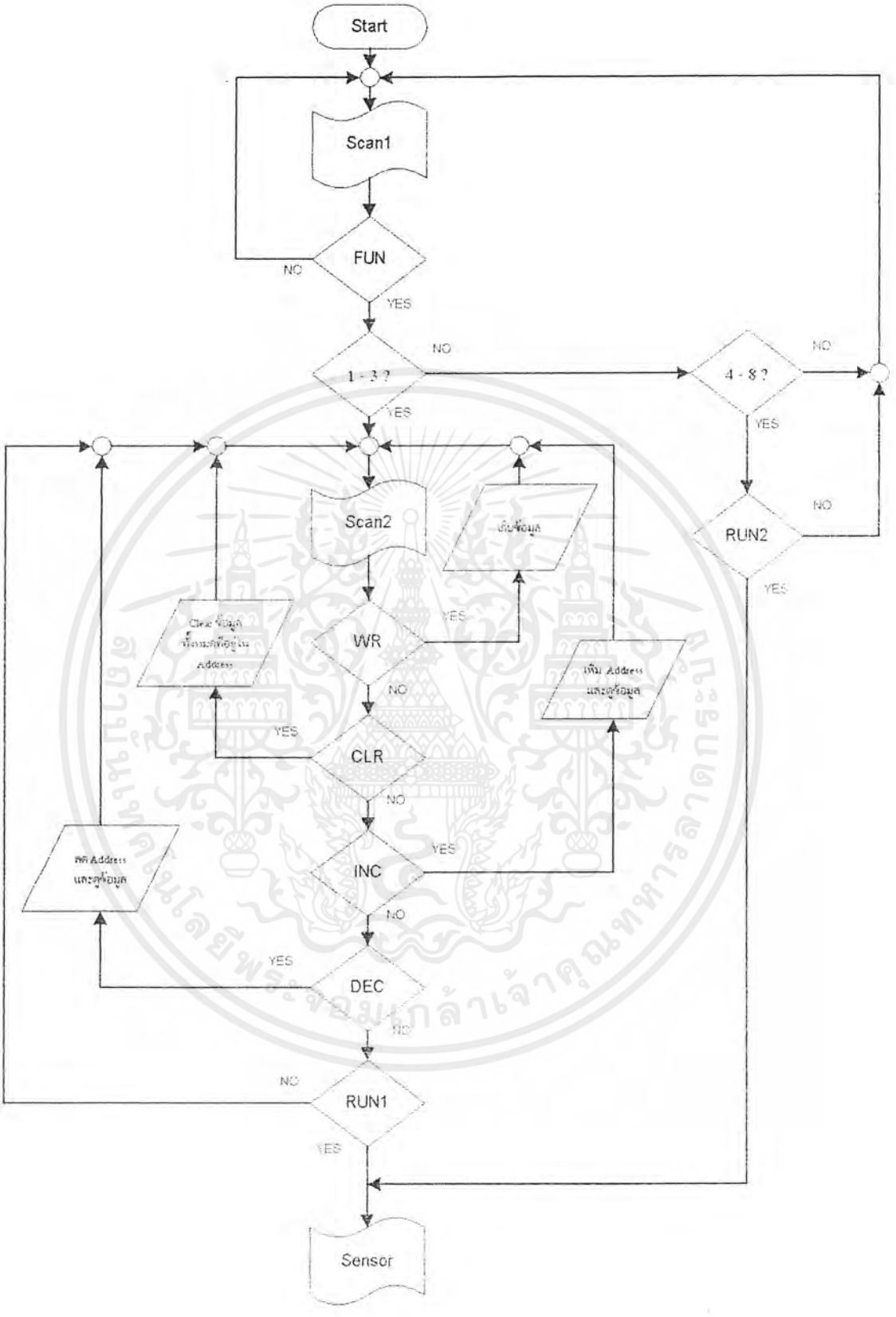
จุดหยุดรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 โฟลว์ชาร์ท การทำงานของโปรแกรม PROJECT 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 โฟลว์ชาร์ท การทำงานของโปรแกรม PROJECT 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

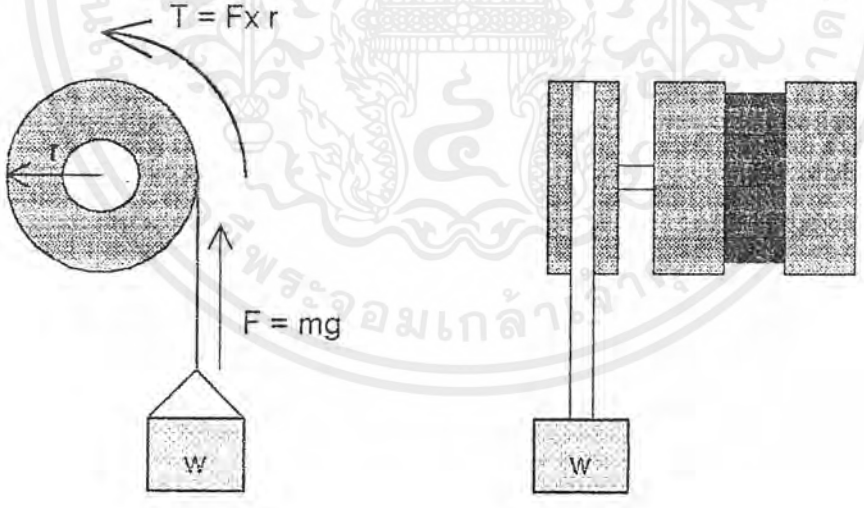
การทดสอบหาความสัมพันธ์ของแรงบิดกับความเร็วของสเตปปิ้งมอเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณขับที่ความถี่ต่างๆกันตามแสดงในกราฟ

F = แรง (N)

r = รัศมี (m)

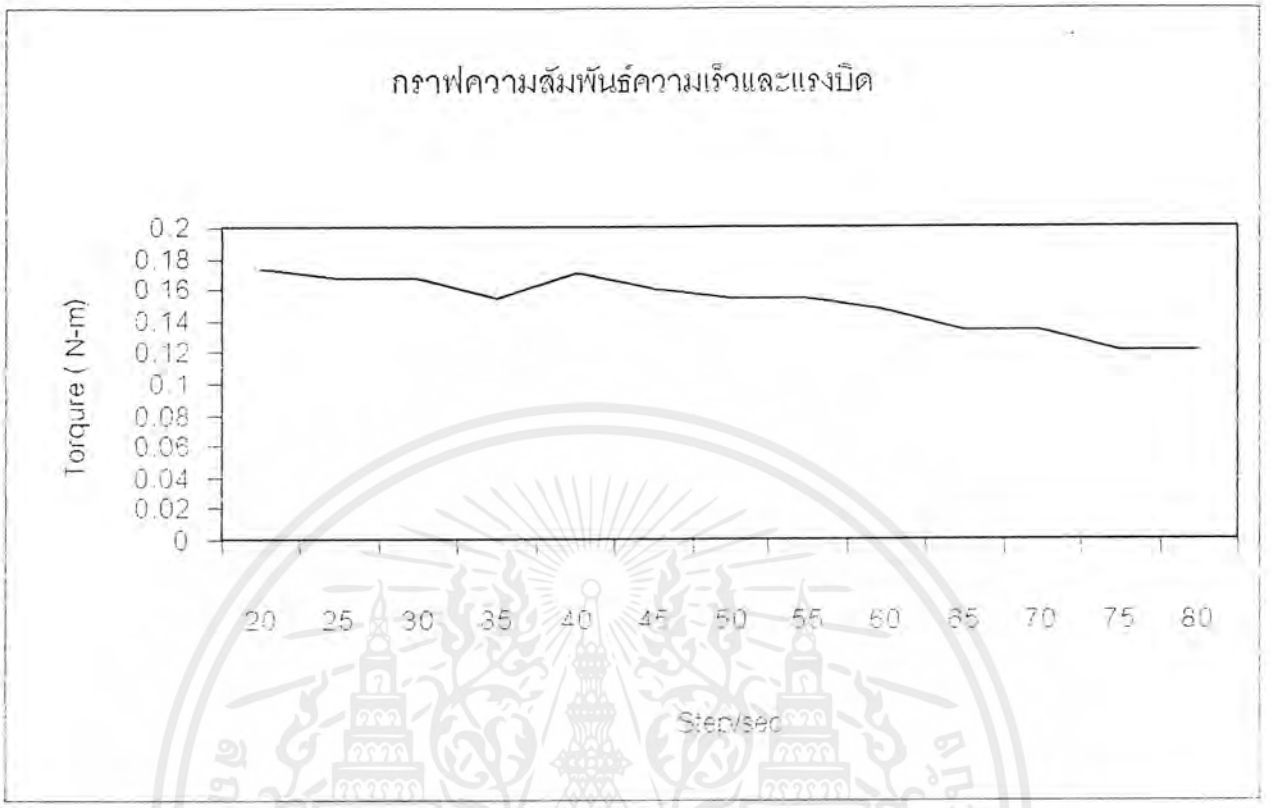
T = แรงบิด (N – m)

T = F x r



รูปที่ 4.1 แสดงการวัดแรงบิดของสเตปปิ้งมอเตอร์ โดยใช้น้ำหนักถ่วง และ เปลี่ยนแปลงความเร็วของพัลซ์ step / sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความเร็วและแรงบิดของสเตปปิ้งมอเตอร์

การทดลอง โปรแกรมควบคุมรถ

1. สร้างเส้นทางกว้างประมาณ 25 ม.ม. โดยใช้แถบสีดำ พื้นสีขาวเป็นเส้นทางของการเดินรถโดยลักษณะของเส้นทางเป็นไปตามตำแหน่งที่เรากำหนด
2. จ่ายแรงดันขนาด 5 โวลท์ กระแสประมาณ 4 แอมป์ ให้กับภาค Power
3. ทำการโปรแกรมเส้นทางโดยการป้อนโปรแกรมทางคีย์บอร์ด ซึ่งมีฟังก์ชั่นการทำงานต่างๆกันดังนี้

   ฟังก์ชั่น 1-3 เป็นฟังก์ชั่นที่สามารถโปรแกรมได้และสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลได้

   ฟังก์ชั่น 4-8 เป็นฟังก์ชั่นที่เราโปรแกรมเส้นทางไว้แล้วไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเส้นทางได้

   การทำงานของแต่ละคีย์ฟังก์ชั่น มีดังนี้

   FUN : เป็นปุ่มสำหรับเลือกเรียกใช้ฟังก์ชั่น ซึ่งเมื่อกดปุ่มนี้แล้วจะแสดงเป็นตัว F ในหลักที่ 2 ของ DISPLAY

   1-8 : เป็นปุ่มสำหรับกำหนดฟังก์ชั่น เมื่อเรากดปุ่มตัวเลขดังกล่าว ตัวเลขนั้นก็จะแสดงที่ DISPLAY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักที่ 1

→ : เป็นปุ่มสำหรับสั่งให้รถเลี้ยวขวา

← : เป็นปุ่มสำหรับสั่งให้รถเลี้ยวซ้าย

↓ : เป็นปุ่มสำหรับสั่งให้รถกลับหลัง

↑ : เป็นปุ่มสำหรับสั่งให้รถตรงไป

● : เป็นปุ่มสำหรับสั่งให้รถหยุด

INC : เป็นปุ่มสำหรับเพิ่ม Address และดูค่าที่เก็บไว้ใน Address

DEC: เป็นปุ่มสำหรับลด Address และดูค่าที่เก็บไว้ใน Address

CLR: เป็นปุ่มสำหรับ Clear ข้อมูลที่อยู่ใน หน่วยความจำ

WR : เป็นปุ่มสำหรับสั่งให้บันทึกข้อมูลเส้นทางที่เลือกเก็บไว้ในหน่วยความจำ

RUN: เป็นปุ่มสำหรับสั่งให้รถเริ่มการทำงานตามโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

ในโครงงานที่จัดทำขึ้นโดยใช้สเตปปิ้งมอเตอร์ เป็นต้นกำลังของยานยนต์ขนาดเล็กนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในวงงานอุตสาหกรรม วงงานธุรกิจ สำนักงานต่างๆ เพื่อมุ่งเน้นในการใช้ประโยชน์ต่างๆในกรณี เร่งด่วนความสะดวกสบายหรือมีพนักงานในสำนักงานน้อยซึ่งในการทำงานโครงงานนี้มีต้นทุนต่ำ เมื่อเทียบกับประสิทะภาพในการใช้ตัวต้นกำลังอื่นๆ เพราะสามารถกำหนดทิศทางและตำแหน่งของตัวขับเคลื่อนมีความแน่นอนและในส่วนของวงจรควบคุมก็ทำได้ง่ายโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 มาประยุกต์ใช้และในส่วนโครงสร้างได้นำเอาวัสดุที่มีในท้องตลาดเช่นแผ่นอลูมิเนียมและเรซิ่นมาเป็นโครงรถซึ่งทำได้ง่ายโดยใช้ดินเหนียวเป็นตัวแบบซึ่งมีน้ำหนักเบาและแข็งแรง

ในการทำโครงงานนี้ เราหวังเป็นอย่างยิ่งว่าในการคิดประยุกต์ใช้สเตปปิ้งมอเตอร์ จะสามารถเอื้ออำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันและช่วยในการพัฒนาสิ่งประดิษฐใหม่ๆเพื่อประโยชน์ในวงการอุตสาหกรรมทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม

```
        ORG   300
MAIN2:  MOV   R3,#0FFH
MAIN1:  MOV   R2,#0FFH
        MOV   R4,#0FFH

DSP1:   MOV   P3,#0F9H
        MOV   P1,R2
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        MOV   P3,#0F5H
        MOV   P1,R3
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        MOV   P3,#0ECH
        MOV   P1,R4
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        AJMP  SCF

SCF:    CJNE  R3,#1BH,SCFN
        AJMP  SCN
SCFN:   MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        JNB   P2.4,F
        AJMP  DSP1
F:      MOV   R3,#1BH
        AJMP  DSP1

SCN:    MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.0
        JNB   P2.5,RUN
        MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.1
        JNB   P2.4,N1
        JNB   P2.5,N2
        JNB   P2.6,N3
        MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.2
        JNB   P2.4,N4
        JNB   P2.5,N5
        JNB   P2.6,N6
        MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.3
        JNB   P2.4,N7
        JNB   P2.5,N8
        JNB   P2.6,ENT1
        AJMP  DSP1

RUN:    CJNE  R2,#0FFH,RUN4
        AJMP  MAIN1

N1      MOV   R2,#0EDH
        AJMP  DSP1
N2:     MOV   R2,#2SH
        AJMP  DSP1
N3:     MOV   R2,#25H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        AJMP   DSP1
N4:     MOV    R2,#4DH
        AJMP   DSP1
N5:     MOV    R2,#15H
        AJMP   DSP1
N6:     MOV    R2,#11H
        AJMP   DSP1
N7:     MOV    R2,#0ADH
        AJMP   DSP1
N8:     MOV    R2,#01H
        AJMP   DSP1

RUN4:   CJNE   R2,#4DH,RUN5
        MOV    20H,#04H
        LJMP   START
RUN5:   CJNE   R2,#15H,RUN6
        MOV    20H,#05H
        LJMP   START
RUN6:   CJNE   R2,#11H,RUN7
        MOV    20H,#06H
        LJMP   START
RUN7:   CJNE   R2,#0ADH,RUN8
        MOV    20H,#07H
        LJMP   START
RUN8:   CJNE   R2,#01H,RUN9
        MOV    20H,#08H
        LJMP   START
RUN9:   AJMP   DSP1


ENT1:   CJNE   R2,#0FFH,FUN1
        AJMP   DSP1
FUN1:   CJNE   R2,#0EDH,FUN2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   R0,#30H
        AJMP  FUNA
FUN2:   CJNE  R2,#23H,FUN3
        MOV   R0,#40H
        AJMP  FUNA
FUN3:   CJNE  R2,#25H,DSPB
        MOV   R0,#50H
FUNA:   MOV   20H,R0
        MOV   DPTR,#3000
        MOV   A,#00H
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   R3,A
        INC   DPTR
        MOV   A,#00H
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   R2,A
        INC   DPTR
        MOV   A,@R0
        MOV   R4,A
        INC   R0
DS2:    MOV   P3,#0F9H
        MOV   P1,R2
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        MOV   P3,#0F5H
        MOV   P1,R3
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        MOV   P3,#0ECH
        MOV   P1,R4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        JNB    P2.6,DS1
        AJMP   DSP2
DS1:    MOV    P2,#0FFH
        CLR    P2.3
        AJMP   DS2

DSPB:   AJMP   DSP1

;------ SELECT FUNCTION ------

DSP2:   MOV    P3,#0F9H
        MOV    P1,R2
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        MOV    P3,#0F5H
        MOV    P1,R3
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        MOV    P3,#0ECH
        MOV    P1,R4
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        AJMP   SCA
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-------- SCAN ALL --------

SCA:    MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.0
        JNB   P2.4,FUNN
        JNB   P2.5,RUN2
        JNB   P2.6,CLRR
        MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.1
        JNB   P2.4,INC
        JNB   P2.5,UPP
        MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.2
        JNB   P2.4,LEFTT
        JNB   P2.5,PUSHH
        JNB   P2.6,RIGHTT
        MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.3
        JNB   P2.4,DEC
        JNB   P2.5,DOWNN
        JNB   P2.6,WRTT
        LJMP  DSP2

FUNN:   AJMP  FUN
CLRR:   AJMP  CLR
LEFTT:  AJMP  LEFT
RIGHTT: AJMP  RIGHT
PUSHH:  AJMP  PUSH
DOWNN:  AJMP  DOWN
UPP:    AJMP  UP
WRTT:   AJMP  WRT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RUN2:   LJMP   START

INC:    CJNE   R2,#15H,INC0
        CJNE   R3,#0EDH,INC0
        AJMP   DSP2
INC0:   MOV    A,#00H
        MOVC   A,@A+DPTR
        MOV    R3,A
        INC    DPTR
        MOV    A,#00H
        MOVC   A,@A+DPTR
        MOV    R2,A
        INC    DPTR
        INC    R0
        MOV    A,@R0
        MOV    R4,A
I2:     MOV    P3,#0F9H
        MOV    P1,R2
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        MOV    P3,#0F5H
        MOV    P1,R3
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        MOV    P3,#0ECH
        MOV    P1,R4
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL  DELAY
        JNB    P2.4,I1
        LJMP   SCA
I1:     MOV    P2,#0FFH
        CLR    P2.1
        AJMP   I2

DEC:    CJNE   R2,#81H,DEC0
        CJNE   R3,#81H,DEC0
        LJMP   DSP2
DEC0:   DEC    DPL
        DEC    DPL
        DEC    DPL
        DEC    DPL
        MOV    A,#00H
        MOVC   A,@A+DPTR
        MOV    R3,A
        INC    DPTR
        MOV    A,#00H
        MOVC   A,@A+DPTR
        MOV    R2,A
        INC    DPTR
        DEC    R0
        MOV    A,@R0
        MOV    R4,A
E21:    MOV    P3,#0F9H
        MOV    P1,R2
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        MOV    P3,#0F5H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   P1,R3
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        MOV   P3,#0ECH
        MOV   P1,R4
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        JNB   P2.4,DE11
        LJMP  SCA
DE11:   MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.3
        AJMP  DE21

WRT:    CJNE  R2,#15H,WRT0
        CJNE  R3,#0EDH,WRT0
        AJMP  DSP2
WRT0:   MOV   A,R4
        MOV   @R0,A
        INC   R0
        MOV   A,@R0
        MOV   R4,A
        MOV   A,#00H
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   R3,A
        INC   DPTR
        MOV   A,#00H
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   R2,A
        INC   DPTR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
W2:     MOV   P3,#0F9H
        MOV   P1,R2
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        MOV   P3,#0F5H
        MOV   P1,R3
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        MOV   P3,#0ECH
        MOV   P1,R4
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        JNB   P2.6,W1
        LJMP  SCA
W1:     MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.3
        AJMP  W2

UP:     MOV   R4,#0DFH
        LJMP  DSP2
LEFT:   MOV   R4,#0EFH
        LJMP  DSP2
PUSH:   MOV   R4,#0FDH
        LJMP  DSP2
RIGHT:  MOV   R4,#0FBH
        LJMP  DSP2
DOWN:   MOV   R4,#0F7H
        LJMP  DSP2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
FUN:    MOV   R3,#1BH
        LJMP  MAIN1

CLR:    MOV   R7,#10H
        MOV   R0,20H
NC:     MOV   @R0,#0FFH
        INC   R0
        DJNZ  R7,NC
        MOV   DPTR,#3000
        MOV   R0,20H
        MOV   A,#00H
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   R3,A
        INC   DPTR
        MOV   A,#00H
        MOVC  A,@A+DPTR
        MOV   R2,A
        INC   DPTR
        MOV   A,@R0
        MOV   R4,A
        INC   R0
C2:     MOV   P3,#0F9H
        MOV   P1,R2
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        MOV   P3,#0F5H
        MOV   P1,R3
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   P3,#0ECH
        MOV   P1,R4
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        JNB   P2.6,C1
        LJMP  SCA
C1:     MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.0
        AJMP  C2

DELAY:  MOV   R6,#0FH
D2:     MOV   R5,#0FH
D1:     DJNZ  R5,D1
        DJNZ  R6,D2
        RET


START:  MOV   R5,#0FEH
        MOV   A,20H
GF4:    CJNE  A,#04H,GF5
        MOV   DPTR,#3100
        AJMP  FGO
GF5:    CJNE  A,#05H,GF6
        MOV   DPTR,#3200
        AJMP  FGO
GF6:    CJNE  A,#06H,GF7
        MOV   DPTR,#3300
        AJMP  FGO
GF7:    CJNE  A,#07H,GF8
        MOV   DPTR,#3400
        AJMP  FGO
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
GF8:  CJNE  A,#08H,GFC
      MOV   DPTR,#3500
      AJMP  FGO

GFC:  MOV   R0,A
FGO:  MOV   P1,#00H
      MOV   R5,#00H

SCAN: MOV   A,P0
      MOV   P2,#0FFH
      CLR   P2.0
      JNB   P2.4,FUNF1
      AJMP  STOP

FUNF1: MOV  R3,#1BH
       LJMP MAIN1

STOP  CJNE  A,#11111111B,TR901   ;S=00000000:NO WAY
      MOV   P1,#00H              ;STOP

TR901: CJNE  A,#11011101B,TR902  ;TURN RIGHT
       LCALL FW
       LCALL FW
       CJNE  A,P0,SCAN
       LCALL R90
TR902: CJNE  A,#11011001B,TR903  ;TURN RIGHT
       LCALL FW
       LCALL FW
       CJNE  A,P0,SCAN
       LCALL R90
TR903: CJNE  A,#11010101B,TL901  ;TURN RIGHT
       LCALL FW
       LCALL FW
       CJNE  A,P0,SCAN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL  R90
TL901:  CJNE   A,#11101101B,TL902    ;TURN LEFT
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,SCAN
        LCALL  L90
TL902:  CJNE   A,#11100101B,TL903    ;TURN LEFT
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,SCAN
        LCALL  L90
TL903:  CJNE   A,#11010011B,S03      ;TURN LEFT
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,SCAN
        LCALL  L90

S03:    CJNE   A,#11111010B,S04
        LCALL  FW
S04:    CJNE   A,#11110100B,UT
        LCALL  FW

UT:     CJNE   A,#11110001B,SECT     ;U-TURN
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JMSCAN
        LCALL  SEL

        LJMP   SECT
JMSCAN: LJMP   SCAN

SECT:   CJNE   A,#11001101B,SECT3    ;T-WAY
        LCALL  FW
        LCALL  FW
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL  R90
TL901:  CJNE   A,#11101101B,TL902   ;TURN LEFT
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,SCAN
        LCALL  L90
TL902:  CJNE   A,#11100101B,TL903   ;TURN LEFT
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,SCAN
        LCALL  L90
TL903:  CJNE   A,#11101001B,S03     ;TURN LEFT
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,SCAN
        LCALL  L90

S03:    CJNE   A,#11111010B,S04
        LCALL  FW
S04:    CJNE   A,#11110110B,UT
        LCALL  FW

UT:     CJNE   A,#11110001B,SECT    ;U-TURN
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JMSCAN
        LCALL  SEL

        LJMP   SECT
JMSCAN: LJMP   SCAN

SECT    CJNE   A,#11001101B,SECT3   ;T-WAY
        LCALL  FW
        LCALL  FW
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CJNE   A,P0,JMSCAN
        LCALL  SEL
SECT3:  CJNE   A,#11001001B,SECT4    ;T-WAY
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JMSCAN
        LCALL  SEL
SECT4   CJNE   A,#11000101B,SECX     ;T-WAY
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JMSCAN
        LCALL  SEL

SECX    CJNE   A,#11001100B,SECX3    ;X-CROSS
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,#P0,JMSCAN
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  SEL
SECX3:  CJNE   A,#11001000B,SECX4    ;X-CROSS
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JMSCAN
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  SEL
SECX4   CJNE   A,#11000100B,SECX34   ;X-CROSS
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JMSCAN
        LCALL  BR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  SEL
SECX34: CJNE   A,#11000000B,SECXF3
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JSCAN
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LJMP   SCAN
SECXF3: CJNE   A,#11100000B,SECXF4
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LJMP   SCAN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SECXF4: CJNE   A,#11010000B,SECP
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LCALL  BR
        LCALL  BL
        LJMP   SCAN

;-------------------

        AJMP   SECP
JSCAN:  LJMP   SCAN

;-------------------

SECP:   CJNE   A,#11110000B,SECL      ;PARK
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JSCAN
        LCALL  SEL

SECL:   CJNE   A,#11101100B,SECL3     ;FORWD OR T-LEFT
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JSCAN
        LCALL  SEL
SECL3:  CJNE   A,#11101000B,SECL4     ;FORWD OR T-LEFT
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JSCAN
        LCALL  SEL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SECL4:  CJNE   A,#11100100B,SECR     ;FORWD OR T-LEFT
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JSCAN
        LCALL  SEL

SECR:   CJNE   A,#11011100B,SECR3    ;FORWD OR T-RIGHT
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JSCAN
        LCALL  SEL
SECR3:  CJNE   A,#11011000B,SECR4    ;FORWD OR T-RIGHT
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,JSCAN
        LCALL  SEL
SECR4:  CJNE   A,#11010100B,FORWD    ;FORWD OR T-RIGHT
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        LCALL  FW
        CJNE   A,P0,RSCAN
        LCALL  SEL

FORWD:  CJNE   A,#11111100B,FW2      ;FORWD
        LCALL  FWFT                  ;FORWD FAST
FW2:    CJNE   A,#11111101B,FW3      ;FORWD
        LCALL  FW
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
FW3:  CJNE   A,#11111110B,CR      ;FORWD
      LCALL  FW

CR:   CJNE   A,#11111000B,CL      ;CLASH RIGHT
      LCALL  TL
CL:   CJNE   A,#11110100B,DR      ;CLASH LEFT
      LCALL  TR

DR:   CJNE   A,#11111001B,DL      ;DROP RIGHT
      LCALL  TL
DL:   CJNE   A,#11110101B,RSCAN   ;DROP LEFT
      LCALL  TR

RSCAN: LJMP  SCAN
SEL:  XCH    A,7FH
      MOV    A,20H
GF41: CJNE   A,#04H,GF51
      AJMP   FGO1
GF51: CJNE   A,#05H,GF61
      AJMP   FGO1
GF61: CJNE   A,#06H,GF71
      AJMP   FGO1
GF71: CJNE   A,#07H,GF81
      AJMP   FGO1
GF81: CJNE   A,#08H,GFC1
      AJMP   FGO1

GFC1: MOV    A,@R0
      INC    R0
      AJMP   SF

FGO1: MOV    A,#00H
      MOVC   A,@A+DPTR
      INC    DPTR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SF:   CJNE   A,#0DFH,STL        ;SELECT FORWD
      XCH    A,7FH
      LCALL  SEF
      RET

STL:  CJNE A,#0EFH,STR          ;SELECT TURN LEFT
      XCH A,7FH
      LCALL L90
      RET
STR:  CJNE A,#0FBH,STP          ;SELECT TURN RIGHT
      XCH A,7FH
      LCALL R90
      RET
STP:  CJNE A,#0FDH,STU          ;SELECT PARKING
      XCH A,7FH
      LCALL Pk
      RET
STU:  CJNE A,#0F7H,BACk         ;SELECT U-TURN
      XCH A,7FH
      LCALL UTN
BACk: RET


FW:   XCH   A,7DH
      MOV   A,R5
      CJNE  A,#00H,A11
      MOV   R5,#33H
A11:  CJNE  A,#33H,A12
      MOV   R5,#66H
A12:  CJNE  A,#66H,A14
      MOV   R5,#6CH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
A14:    CJNE    A,#3CH,A18
        MOV     R5,#69H
A18:    CJNE    A,#39H,A21
        MOV     R5,#63H
A21:    CJNE    A,#63H,A22
        MOV     R5,#0C6H
A22:    CJNE    A,#66H,A24
        MOV     R5,#0CCH
A24:    CJNE    A,#6CH,A28
        MOV     R5,#0C9H
A28:    CJNE    A,#69H,A41
        MOV     R5,#0C3H
A41:    CJNE    A,#0C3H,A42
        MOV     R5,#96H
A42:    CJNE    A,#0C6H,A44
        MOV     R5,#9CH
A44:    CJNE    A,#0CCH,A48
        MOV     R5,#99H
A48:    CJNE    A,#0C9H,A81
        MOV     R5,#93H
A81:    CJNE    A,#93H,A82
        MOV     R5,#36H
A82:    CJNE    A,#96H,A84
        MOV     R5,#3CH
A84:    CJNE    A,#9CH,A88
        MOV     R5,#39H
A88:    CJNE    A,#99H,SENDFW
        MOV     R5,#33H
SENDFW: MOV     P1,R5
        MOV     R2,#2
DE2:    MOV     R3,#50
DE1:    MOV     R4,#100
        DJNZ    R4,$
        DJNZ    R3,DE1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DJNZ   R2,DE2
        XCH    A,7DH
ARET:   RET


FWFT:   MOV    R2,#22
        LCALL  FWF
        CJNE   A,P0,FWFR
        MOV    R2,#20
        LCALL  FWF
        CJNE   A,P0,FWFR
        MOV    R2,#18
        LCALL  FWF
        CJNE   A,P0,FWFR
LOOPF:  MOV    R2,#16
        LCALL  FWF
        CJNE   A,P0,FWFR
        LJMP   LOOPF
FWFR:   RET

 FWF:   XCH    A,7DH
        MOV    A,R5
        CJNE   A,#00H,A11F
        MOV    R5,#33H
A11F:   CJNE   A,#33H,A12F
        MOV    R5,#66H
A12F:   CJNE   A,#36H,A14F
        MOV    R5,#6CH
A14F:   CJNE   A,#3CH,A18F
        MOV    R5,#69H
A18F:   CJNE   A,#39H,A21F
        MOV    R5,#63H
A21F:   CJNE   A,#63H,A22F
        MOV    R5,#0C6H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
A22F:  CJNE   A,#66H,A24F
       MOV    R5,#0CCH
A24F:  CJNE   A,#6CH,A28F
       MOV    R5,#0C9H
A28F:  CJNE   A,#69H,A41F
       MOV    R5,#0C3H
41F:   CJNE   A,#0C3H,A42F
       MOV    R5,#96H
A42F:  CJNE   A,#0C6H,A44F
       MOV    R5,#9CH
A44F:  CJNE   A,#0CCH,A48F
       MOV    R5,#99H
A48F   CJNE   A,#0C9H,A81F
       MOV    R5,#93H
A81F:  CJNE   A,#93H,A82F
       MOV    R5,#36H
A82F:  CJNE   A,#96H,A84F
       MOV    R5,#3CH
A84F:  CJNE   A,#9CH,A88F
       MOV    R5,#39H
A88F   CJNE   A,#99H,SENDFWF
       MOV    R5,#33H
SENDFWF MOV   P1,R5
DE2F:  MOV    R3,#30
DE1F:  MOV    R4,#10
       DJNZ   R4,$
       DJNZ   R3,DE1F
       DJNZ   R2,DE2F
       XCH    A,7DH
ARETF: RET


TR:    XCH    A,7DH
       MOV    A,R5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CJNE   A,#00H,B11
        MOV    R5,#33H
B11     CJNE   A,#33H,B12
        MOV    R5,#63H
B12:    CJNE   A,#36H,B14
        MOV    R5,#66H
B14:    CJNE   A,#3CH,B18
        MOV    R5,#6CH
B18:    CJNE   A,#39H,B21
        MOV    R5,#69H
B21:    CJNE   A,#63H,B22
        MOV    R5,#0C3H
B22:    CJNE   A,#66H,B24
        MOV    R5,#0C6H
B24:    CJNE   A,#6CH,B28
        MOV    R5,#0CCH
B28:    CJNE   A,#69H,B41
        MOV    R5,#0C9H
B41     CJNE   A,#0C3H,B42
        MOV    R5,#93H
B42:    CJNE   A,#0C6H,B44
        MOV    R5,#96H
B44:    CJNE   A,#0CCH,B48
        MOV    R5,#9CH
B48:    CJNE   A,#0C9H,B81
        MOV    R5,#99H
B81:    CJNE   A,#93H,B82
        MOV    R5,#33H
B82:    CJNE   A,#96H,B84
        MOV    R5,#36H
B84:    CJNE   A,#9CH,B88
        MOV    R5,#3CH
B88:    CJNE   A,#99H,SENDTR
        MOV    R5,#39H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SENDTR: MOV   P1,R5
        MOV   R2,#2
DE4:    MOV   R3,#50
DE3:    MOV   R4,#100
        DJNZ  R4,$
        DJNZ  R3,DE3
        DJNZ  R2,DE4
        XCH   A,7DH
BRET:   RET


TL:     XCH   A,7DH
        MOV   A,R5
        CJNE  A,#00H,C11
        MOV   R5,#33H
C11:    CJNE  A,#33H,C12
        MOV   R5,#36H
C12:    CJNE  A,#36H,C14
        MOV   R5,#3CH
C14:    CJNE  A,#3CH,C18
        MOV   R5,#39H
C18:    CJNE  A,#39H,C21
        MOV   R5,#33H
C21:    CJNE  A,#63H,C22
        MOV   R5,#66H
C22:    CJNE  A,#66H,C24
        MOV   R5,#6CH
C24:    CJNE  A,#6CH,C26
        MOV   R5,#69H
C26:    CJNE  A,#69H,C41
        MOV   R5,#63H
C41:    CJNE  A,#0C3H,C42
        MOV   R5,#0C6H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
C42:  CJNE  A,#0C6H,C44
      MOV   R5,#0CCH
C44:  CJNE  A,#0CCH,C48
      MOV   R5,#0C9H
C48:  CJNE  A,#0C9H,C81
      MOV   R5,#0C3H
C81:  CJNE  A,#93H,C82
      MOV   R5,#96H
C82:  CJNE  A,#96H,C84
      MOV   R5,#9CH
C84:  CJNE  A,#9CH,C88
      MOV   R5,#99H
C88:  CJNE  A,#99H,SENDTL
      MOV   R5,#93H

SENDTL: MOV   P1,R5
      MOV   R2,#2
DE6:  MOV   R3,#50
DE5:  MOV   R4,#100
      DJNZ  R4,$
      DJNZ  R3,DE5
      DJNZ  R2,DE6
      XCH   A,7DH
CRET: RET

BR:   XCH   A,7DH
      MOV   A,R5
      CJNE  A,#00H,D11
      MOV   R5,#33H
D11:  CJNE  A,#33H,D12
      MOV   R5,#93H
D12:  CJNE  A,#36H,D14
      MOV   R5,#96H
D14:  CJNE  A,#3CH,D18
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   R5,#9CH
D18:    CJNE  A,#39H,D21
        MOV   R5,#99H
D21:    CJNE  A,#63H,D22
        MOV   R5,#33H
D22:    CJNE  A,#66H,D24
        MOV   R5,#36H
D24:    CJNE  A,#6CH,D26
        MOV   R5,#3CH
D28:    CJNE  A,#69H,D41
        MOV   R5,#39H
D41:    CJNE  A,#0C3H,D42
        MOV   R5,#63H
D42:    CJNE  A,#0C6H,D44
        MOV   R5,#66H
D44:    CJNE  A,#0CCH,D48
        MOV   R5,#6CH
D48:    CJNE  A,#0C9H,D81
        MOV   R5,#69H
D81:    CJNE  A,#93H,D82
        MOV   R5,#0C3H
D82:    CJNE  A,#96H,D84
        MOV   R5,#0C6H
D84:    CJNE  A,#9CH,D88
        MOV   R5,#0CCH
D88:    CJNE  A,#99H,SENDBR
        MOV   R5,#0C9H

SENDBR: MOV   P1,R5
        MOV   R2,#2
DE6:    MOV   R3,#50
DE7:    MOV   R4,#120
        DJNZ  R4,$
        DJNZ  R3,DE7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DJNZ  R2,DE8
        XCH   A,7DH
DRET:   RET

BL:     XCH   A,7DH
        MOV   A,R5
        CJNE  A,#00H,E11
        MOV   R5,#33H
E11:    CJNE  A,#33H,E12
        MOV   R5,#39H
E12:    CJNE  A,#36H,E14
        MOV   R5,#33H
E14:    CJNE  A,#3CH,E16
        MOV   R5,#36H
E16:    CJNE  A,#39H,E21
        MOV   R5,#3CH
E21:    CJNE  A,#63H,E22
        MOV   R5,#69H
E22:    CJNE  A,#66H,E24
        MOV   R5,#63H
E24:    CJNE  A,#6CH,E28
        MOV   R5,#66H
E28:    CJNE  A,#69H,E41
        MOV   R5,#6CH
E41:    CJNE  A,#0C3H,E42
        MOV   R5,#0C9H
E42:    CJNE  A,#0C6H,E44
        MOV   R5,#0C3H
E44:    CJNE  A,#0CCH,E48
        MOV   R5,#0C6H
E48:    CJNE  A,#0C9H,E81
        MOV   R5,#0CCH
E81:    CJNE  A,#99H,E82
        MOV   R5,#99H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
E82:    CJNE    A,#96H,E84
        MOV     R5,#93H
E84:    CJNE    A,#9CH,E88
        MOV     R5,#96H
E88:    CJNE    A,#99H,SENDBR
        MOV     R5,#9CH

SENDBL: MOV     P1,R5
        MOV     R2,#2
DEL1:   MOV     R3,#50
DEL2:   MOV     R4,#120
        DJNZ    R4,$
        DJNZ    R3,DE7
        DJNZ    R2,DE8
        ACH     A,7DH
DLRET:  RET

R90:    MOV     R6,#0F0H
R90L:   LCALL   TR
        DJNZ    R6,R90L
        RET

L90:    MOV     R6,#0F0H
L90L:   LCALL   TL
        DJNZ    R6,L90L
        RET

UTN:    MOV     R6,#244
UTNL1:  LCALL   BR
        DJNZ    R6,UTNL1
        MOV     R6,#244
UTNL2:  LCALL   TL
        DJNZ    R6,UTNL2
        RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PK:    MOV    R2,#0FFH
DE10:  MOV    R3,#0FFH
       MOV    P2,#0FFH
       CLR    P2.0
       JNB    P2.5,SPEED
       AJMP   DE9
SPEED: AJMP   SEF
DE9:   MOV    R4,#30
       DJNZ   R4,$
       DJNZ   R3,DE9
       DJNZ   R2,DE10
SEF:   MOV    R6,#50
LPK:   LCALL  FW
       DJNZ   R6,LPK
       RET

       ORG    3000
       DB     81H,81H,81H,0EDH,81H,23H,81H,25H,81H,4DH
       DB     81H,15H,81H,11H,81H,0ADH,81H,01H,81H,05H
       DB     0EDH,81H,0EDH,0EDH,0EDH,23H,0EDH,25H,0EDH
       DB     4DH,0EDH,13H

       ORG    3100
       DB     0EFH,0F7H,0FBH

       ORG    3200
       Db     0FBH,0F7H,0F7H,0F7H,0EFH

       ORG    3300
       DB     0FBH,0F7H,0EFH

       ORG    3400
       DB     0EFH,0F7H,0F7H,0F7H,0FBH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ORG   3500
DB    0EFH,0F7H,0DFH,0F7H,0FDH,0F7H,0FBH

END
```

กำหนดให้

0DFH = ตรงไป

0EFH = เลี้ยวซ้าย 90°

0FBH = เลี้ยวขวา 90°

0EDH = หยุดชั่วขณะ

0F7H = กลับรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งข้อมูลทุกอย่างที่ให้เราได้ศึกษาค้นคว้าจนให้เราสามารถผลิตโครงงานนี้ขึ้นมา ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติซึ่งในส่วนนี้คงจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่จะศึกษาค้นคว้าหรืออาจจะนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆต่อไปและที่สำคัญต้องขอขอบคุณ อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเดิศ และ ผศ. ประภาษ ไพรสุวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำต่างๆในการทำโครงงานนี้มาตลอดมา

คณะผู้จัดทำ
นาย จิรวิทย์ เสริมมหานะวงค์
นาย เจริญ ด่างน้อย
นาย ชรินทร์ ศรีเกตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. รศ.สมยศ จุณณะปิยะ การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS – 51
2. MCS-51 Microcontroller , Vol.I , Inter Coporation , 1988
3. P .Hammond, T.J.E. Miller, and S. Yamamura Monographs in Electrical and Electronic Engineering
4. Takashi Kenjo , Stepping Motors and Their Microprocessor Controls

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้