สเตปปิ้งมอเตอร์ไดร์ฟ

STEPPING MOTOR DRIVE

มนตรี เตรียมเชิดติวงค์

Montree Triamchertivong

วิสูตร ชาญพิพัฒนชัย

Wisoot Chanphiphatanachai

วิเชษฐ์ เรืองวงศ์โรจน์

Wichet ruangwongroj

ศรีชัย รุจิรวัฒนกุล

Srichai Rujirawatanakul

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032679

ปีการศึกษา 2535

สเตปปิ้งมอเตอร์ไดร์ฟ (STEPPING MOTOR DRIVE)

โดย

นายมนตรี เตรียมเชิดดิวงค์

นายวิสุตร ชาญพิพัฒนชัย

นายวิเชษฐ์ เรืองวงศ์โรจน์

นายศรีชัย รุจิรวัฒนกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032679

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2535

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สเตปปิ้งมอเตอร์ไดร์ฟ (Stepping Motor Drive)

ผู้จัดทำ

1. นายมนตรี เตรียมเชิดติวงค์ 32.1234
2. นายวิสูตร ชาญพิพัฒนชัย 32.1313
3. นายวิเชษฐ์ เรืองวงค์โรจน์ 32.1315
4. นายศรีชัย รุจิรวัฒนกุล 32.1326

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตปปิ้งมอเตอร์ไดร์ฟ

นายมนตรี เตรียมเชิดติวงศ์
นายวิสูตร ชาญพิพัฒนชัย
นายวิเชษฐ์ เรืองวงศ์โรจน์
นายศรีชัย รุจิรวัฒนกุล

รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ
(อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2535

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน "สเตปปิ้งมอเตอร์" เริ่มมีบทบาทมากขึ้นในงานอุตสาหกรรม อันเนื่องมาจากความสามารถในการกำหนดทิศทาง , ตำแหน่งและความเร็วได้อย่างแม่นยำ การสร้างวงจรควบคุมก็สามารถทำได้ง่าย รวมทั้งการปฏิบัติงานภายใต้คำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์

โครงงานนี้ ได้ทำการประยุกต์ใช้สเตปปิ้งมอเตอร์ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของชุดเครื่องกลให้สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 มิติ โดยการทำงานร่วมกับ PC และวงจรซีเควนเชียล และพัฒนาเป็น "เครื่องเจาะแผ่นปริ๊นท์" โดยใช้ "ภาษาซี" เป็นซอฟแวร์ในการสร้างโปรแกรมการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STEPPING MOTOR DRIVE

Mantree Triamchertiwong

Wisoot Chanphiphatanachai

Wichet Ruangwongroj

Srichai Rujirawatanakul

Associate Professor

Viriya Pichetjamroen

(Advisor)

1992

Abstract

"Stepping Motor" is useful in industrial because of its accurracy direction , position and speed. It's eacy 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 set in three dimensions by operating with PC and sequencial circuit which develop to " print Circuit Board's Hole Drilling Machine "

In this project " C-Language "is the software for making program control its operation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการทำงานของสเตปปิ้งมอเตอร์	3
บทที่ 3	การแบ่งชนิดของสเตปปิ้งมอเตอร์	
	สเตปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	6
	สเตปปิ้งมอเตอร์แบบรีลัคแตนซ์แปรค่าได้	7
	สเตปปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริด	21
บทที่ 4	การกระตุ้น	29
	ข้อแตกต่างระหว่างการกระตุ้นแบบ 1เฟสและ 2เฟส	30
	การกระตุ้นแบบ 1 เฟส	31
	การกระตุ้นแบบ 2 เฟส	31
	การกระตุ้นแบบ ครึ่งสเตป	32
บทที่ 5	ระบบขับกระแสและวงจรสำหรับควบคุมสเตปปิ้งมอเตอร์	
	ระบบขับกระแส	33
	วงจรจัดลำดับการกระตุ้น	34
	ปัญหาที่เกิดในวงจรขับกระแส	40
บทที่ 6	การใช้ p.c ควบคุมวงจรจัดลำดับการกระตุ้น	46
	การนำ printer portมาใช้ในงานควบคุม สเตปปิ้งมอเตอร์	48
บทที่ 7	การเขียนโปรแกรมภาษาซี เพื่อควบคุมสเตปปิ้งมอเตอร์ และรายละเอียดของการสร้างไฟล์ต้นแบบเพื่อใช้งาน	51
	โปรแกรม drive.c	53
	โปรแกรม kmit'1	69
	ผลการทดสอบเพื่อหาค่า step/mm ของชุดขับ	85
บทที่ 8	สรุปผลการทดลองและวิจารณ์	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

Stepping Motor เป็นมอเตอร์ชนิดที่หมุนทีละ step โดยแต่ละ step มอเตอร์จะหมุนด้วยมุมคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งในการควบคุมการหมุนของ stepping Motor นั้นจะอาศัยวงจรควบคุมทางดิจิตอล โดยที่วงจรทางดิจิตอลนี้จะทำหน้าที่ในการจัดลำดับการกระตุ้นในแต่ละเฟสของ Stepping Motor ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดทิศทางการหมุน, ความเร็วในการหมุนและตำแหน่งที่ต้องการจะเลื่อนไปของ Stepping Motor ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

เนื่องจากวงจรทางดิจิตอลที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของ Stepping Motor สามารถกำหนดความเร็วในการหมุนและตำแหน่งที่ต้องการจะเลื่อนไปของ Stepping Motor ได้อย่างถูกต้องแม่นยำดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการป้อนกลับ (Feedback Control) เพื่อควบคุมความเร็วและตำแหน่งในการหมุนเพราะฉะนั้นเราอาจจะกล่าวได้ว่าระบบควบคุมการหมุนของ Stepping Motor เป็นแบบไม่มีการป้อนกลับ (Open-Loop Control System) แต่ในการหมุนของ Stepping Motor นั้นก็มีข้อเสียคือในบางช่วงของความเร็วในการหมุนของ Stepping Motor อาจจะทำให้เกิดการออสซิเลท (Oscillate) ที่แกนเพลาของมอเตอร์ได้และอาจจะทำให้มอเตอร์เกิดการ Unstable ได้

สำหรับการประยุกต์การใช้งานของ Stepping Motor มีดังนี้คือ

1) อุปกรณ์ประกอบการทำงานของคอมพิวเตอร์
   - Serial Printer
   - X-Y Plotter
   - Floppy Disk Drives
2) ระบบ Numerical Control
   - X-Y Table And Index Table
   - Driller Machine
   - Automatic Drafting Machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การประยุกต์ใช้งานอื่น

- Facsimiles
- Semiautomatic Wiring Unit
- Application Inspec Science

ในระบบควบคุมตำแหน่งที่ใช้ Stepping Motor นั้นมีข้อดีอยู่หลายประการคือ

- เป็นลักษณะการควบคุมแบบไม่ต้องการป้อนกลับ ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมตำแหน่งหรือความเร็ว

- ความผิดพลาดเกี่ยวกับตำแหน่งแทบไม่มีเลย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของ Stepping Motor นั้นเคลื่อนที่เป็นสเตปด้วยจำนวนองศาที่มีค่าแน่นอน

- จะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยความถี่และความกว้างของพัลส์

- Stepping Motor จะถูกนำมาใช้กับเครื่องมือที่ต้องการความละเอียด แม่นยำและใช้อยู่ในเครื่องมือประเภทดิจิตอล เช่น เครื่องวาดรูป เครื่องคอมพิวเตอร์ นิวเมอริคอลคอนโทรล (Computer Numerical Control) หรือ CNC

- ไม่จำเป็นต้องใช้วงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอกเมื่ออินเตอร์เฟสกับไมโครคอมพิวเตอร์

สำหรับโครงงานนี้ได้ประยุกต์ใช้งาน Stepping Motorในการควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน X , แกน Y และแกน Z โดยได้นำเอา Stepping Motor มาใช้ในการขับ Power Screw ให้ทำงานเป็นเครื่องสำหรับเจาะแผ่นปริ้นท์ ซึ่งจะทำให้เราสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน X , แกน Y , แกน Z และตัวเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการทำงานของ Stepping Motor

Stepping Motor เป็นอุปกรณ์จำพวกเชิงกลทางไฟฟ้า ที่มีอินพุทเป็นกลุ่มของไบนารีโวลท์เตจ และเอาท์พุทเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม หรือหมุนไปทีละสเตป (แต่ละสเตปอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 30 องศา ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของ Stepping Motor) ตามสัญญาณพัลซ์ที่ป้อนให้กับขดสเตเตอร์ (Stator) ซึ่งจะเกิดแรงผลักต่อโรเตอร์ (Rotor) หมุนไป แต่ลักษณะของ Stepping Motor จะมีขดของสเตเตอร์อยู่หลายขดซึ่งเรียกว่า "เฟส (Phase)" ฉะนั้นเมื่อป้อนสัญญาณที่เป็นพัลซ์ในลักษณะซีเควันซ์ (Sequence) ของเลขไบนารีโดยผ่านวงจรไดรเวอร์ (Driver) จะทำให้โรเตอร์หมุนได้อย่างต่อเนื่องดังบล็อคไดอะแกรมรูปที่ 2.1

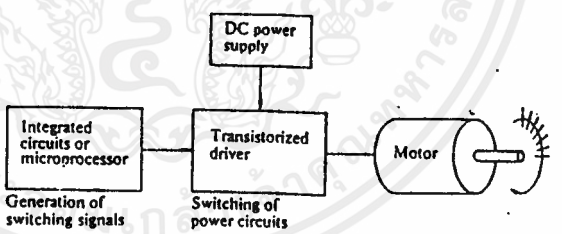


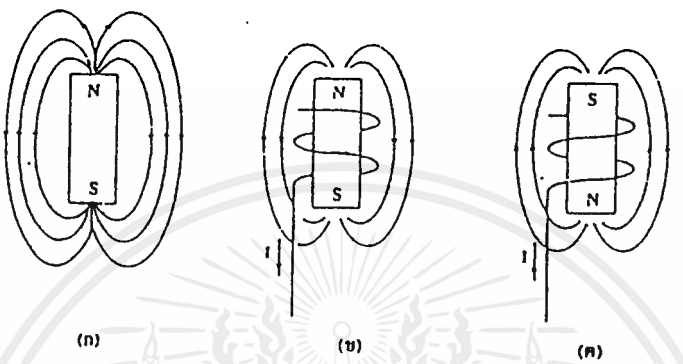
Fig. 1.2. Modern driving system for a stepping motor.

รูปที่ 2.1 บล็อคไดอะแกรมแสดงการควบคุม Stepping Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของ Stepping Motor โดยทั่ว ๆไป

ในรูปที่ 2.2 แสดงหลักการพื้นฐานของเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 2.2 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ

(ก) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวร

(ข) สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแส I

(ค) ขั้วแม่เหล็กกลับทิศทางเมื่อขดลวดถูกพันกลับทิศทางและทิศทางการไหลของกระแสไม่เปลี่ยนแปลง

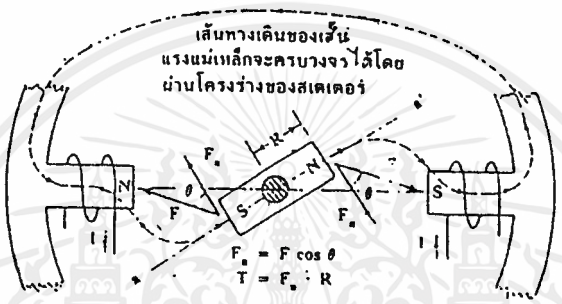
หลักการทำงานของ Stepping Motor

ในรูปที่2.3 แท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่กับเพลาและหมุนได้อิสระเหมือนอาร์มาเจอร์ (Armature) มีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ขั้วซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะที่เป็นสเตเตอร์ ตำแหน่งแกนของอาร์มาเจอร์แม่เหล็กคือ a-a' ซึ่งต่างไปจากตำแหน่งแกนขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กน้อยเป็นมุม θ แรงแม่เหล็กที่เกิดจากการดึงดูดของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกัน ทำให้เกิดส่วนของแรงบิด (Torque) ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงแม่เหล็กที่เกิดจากการดึงดูดของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกันทำให้เกิดส่วนของแรง $F_n = F.\cos\theta$ (แรงนี้ตั้งฉากกับแกน a-a′)

- แรงบิดรวม $T = F_n * R$ (ทำให้อาร์มาเจอร์หมุนไปทิศทาง CW จนกว่าแกนของมาเจอร์ a-a′ จะอยู่ในแนวเดียวกับแกนขั้วของสเตเตอร์)



รูปที่ 2.3 แสดงแรงดึงดูดที่ทำให้เกิดแรงบิดที่หมุนอาร์มาเจอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุล

ถ้าหากมีคู่ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลาย ๆ คู่ขั้วรอบ ๆ สเตเตอร์และถ้าหากขั้วเหล่านั้นถูกกระตุ้น ด้วยกระแสพัลซ์ในรูปแบบที่เรียงลำดับกัน ไปอาร์มาเจอร์ก็จะหมุนในรูปลักษณะของสเตปที่เป็นไปตามการหมุนของสนามแม่เหล็ก ที่เกิดจากการสวิทซ์ที่เรียงลำดับของขดลวดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การแบ่งชนิดของ Stepping Motor

Stepping Motor แบ่งชนิดตามลักษณะโครงสร้างได้ 3 ชนิด คือ

1) Permanent Magnet Stepping Motor
   (PM Stepping Motor)
2) Variable Reluctance Stepping Motor
   (VR Stepping Motor)
3) Hybrid Stepping Motor

Permanent Magnet Stepping Motor

มอเตอร์ชนิดนี้มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งมีอำนาจแม่เหล็กตามแนวรัศมีดึงดูดกับ Stator Pole มอเตอร์ชนิดนี้จะมี Holding Torque เกิดขึ้นแม้ไม่ได้ถูก Energize ที่ขดลวดบนสเตเตอร์

ในรูปที่ 3.1 เป็นสเตปมอเตอร์แบบ 4 เฟส แต่ละเฟสเป็นขดลวดอยู่บน 2 ขั้วของสเตเตอร์ ดังนั้นในการออกแบบนี้สเตเตอร์จะต้องมี 8 ขั้ว

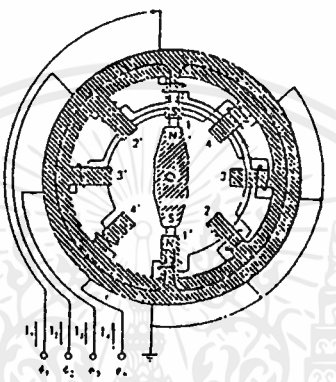
โครงสร้างของมอเตอร์ชนิดนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1

โรเตอร์ทำจากแม่เหล็กถาวรและอยู่ในแนวของขั้วสเตเตอร์ 1 และ 1' จะหยุดอยู่ที่ตำแหน่งนี้ได้ด้วยกระแส I_1 ที่ไหลอยู่ในเฟส 1

ขดลวดของเฟส ϕ_1 , ϕ_4 , ϕ_3 และ ϕ_2 (1-4-3-2 ตามลำดับ) จะได้รับพลังงานด้วยกระแสพัลส์ที่สอดคล้องกัน I_1 , I_4 , I_3 และ I_2 (กระแสแต่ละเฟสในทิศทางที่แสดงในไดอะแกรม) แต่ละสเต็ป โรเตอร์จะหยุดหมุนไปตามทิศทางตามเข็มนาฬิกา 45 องศา ($360^\circ/8$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อขั้วเหนือของโรเตอร์ (แม่เหล็กถาวร) หมุนไปถึงขั้วของสเต่เตอร์หมายเลข 2 ลำดับการขับขดลวดเฟสของสเตปมอเตอร์คือ 1-4-3-2 จะต้องกระทำเหมือนเดิม (เพื่อให้มอเตอร์หมุนไปตามเข็มนาฬิกาอีก 180 องศา) ยกเว้นเราต้องการให้หมุนกลับทิศทางใน 180 องศา ที่เหลือด้วยการป้อนกระแสกลับทิศทางเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นขั้วใต้ที่ขั้วสเตเตอร์ 3-4-1-2 ตามลำดับ (ทิศทางกระแสแสดงในรูปที่ 3.1)



<u>รูปที่ 3.1</u> โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟส และแต่ละเฟสพันด้วยขดลวดบน 2 ขั้วของสเตเตอร์มุมสเตป = 45°

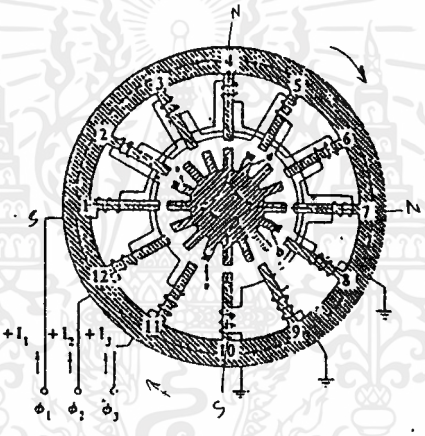
<u>Variable Reluctance Stepping Motor</u>

มอเตอร์ชนิดนี้มีโรเตอร์เป็นซี่ฟัน และเป็น Soft Iron ตัวสเตเตอร์ถูกพันด้วยขดลวดตามปกติ การหมุนเกิดขึ้นได้โดยเราให้กระแสไฟฟ้าต่อขดลวดที่พันบนสเตเตอร์ทำให้เกิดอานาจแม่เหล็กไปดึงดูดให้โรเตอร์หมุนได้ตามตำแหน่งของ Stator Pole ที่ต้องการ Rotor Inertia ของมอเตอร์ชนิดนี้มีค่าต่ำและมี Response ที่เร็วถ้าขดลวดไม่ได้ถูก Energize แล้ว Static Torque ของมอเตอร์ชนิดนี้จะมีค่าเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- VR Stepping Motor แบบมีสแต็คเดียว

โครงสร้างของ VR Stepping Motor จะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.2 VR Stepping Motor ที่มีแสต็คเดียวจะมีโรเตอร์เดียว และ VR Stepping Motor แบบหลายแสต็คจะหมายถึงมีหลายโรเตอร์ ซึ่งทำจากสารแม่เหล็ก ส่วน Stepping Motor ในรูปที่ 3.2 มี 3 เฟส แต่ละเฟสใช้ขดลวดพันบน 4 ขั้วหรือซี่ฟันของสเตเตอร์



รูปที่ 3.2 VR Stepping Motor แบบสแต็คเดียว ซึ่งมีรายละเอียดโครงสร้างดังนี้ $N_r = 16$, $N_s = 12$, $X = 4$ โพล/เฟส , $\theta_s = 7.5$ องศา , $R_s = 48$ สเตป/รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง เฟสที่ 1 พันอยู่ที่ 1-4-7-10 ของสเตเตอร์ ดังนั้นสเตเตอร์จะมี 12 ซี่ฟัน และในที่นี้กำหนดให้โรเตอร์มี 16 ซี่ฟัน ขั้วของสเตเตอร์ที่อยู่ตรงกันข้ามจะพันด้วยขดลวดในลักษณะที่ต่างกันเพื่อให้มีความสมดุลย์ระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กเข้าและออกจากโรเตอร์

โดยที่ เฟส (1) = 1-4-7-10

เฟส (2) = 12-3-6-9

เฟส (3) = 2-5-8-11

(ดังรูปที่ 3.2)

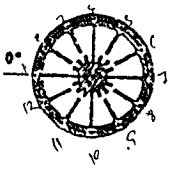
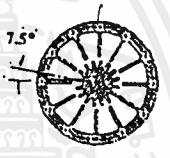
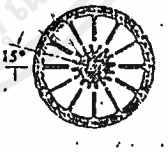
สมมุติว่ากระแส I ป้อนให้กับเฟสที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และโรเตอร์ทั้ง 4 ซี่ฟันจะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 1-4-7 และ 10 ของสเตเตอร์ แล้นแรงแม่เหล็กจะเข้าสู่โรเตอร์จากสเตเตอร์ซี่ฟันที่ 4 และ 10 และออกจากโรเตอร์ไปยังซี่ฟันของสเตเตอร์ที่ 1 และ 7 ซึ่งเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่ครบวงจรโดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ เราจะสังเกตได้ว่าปลายของซี่ฟันของสเตเตอร์ที่ 4 จะถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ (เนื่องจากเส้นแรงออกจากซี่ฟันที่ 4) และปลายของซี่ฟันโรเตอร์ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันที่ 4 ของสเตเตอร์ จะเป็นเส้นทางผ่านเข้าไปยังโรเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็กนี้ จะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กอย่างต่อเนื่องผ่านช่องว่าง (Gap) ระหว่างซี่ฟันทั้งสอง ที่อยู่ในแนวเดียวกันส่วนซี่ฟันของสเตเตอร์และโรเตอร์ที่เหลืออีก 3 คู่ก็เกิดลักษณะของแม่เหล็กในทำนองเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
032679

ในสภาวะต่อไปเราจะให้โรเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตปในทิศทาง CW เราจะต้องจ่ายพลังงาน ให้กับเฟส 3 ที่มีขดลวดพันอยู่บนซี่ฟันที่ 2-5-8 และ 11 ของสเตเตอร์ด้วยกระแส I_3 หลังจากหยุดจ่ายกระแส I_1 แล้ว ในตอนนี้เส้นแรงแม่เหล็กจะหาทางเดินที่ต่างไปจากเดิมเพื่อทำให้วงจรแม่เหล็กครบวงจร (เหมือนกับกระแสในวงจรไฟฟ้าจะหาเส้นทางไหลในส่วนที่มีความต้านทานต่ำที่สุด) ในทำนองเดียวกันเส้นแรงแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กก็จะหาเส้นทางเดินที่มีค่าริลัคแต้นซ์ที่สุด (ช่องว่างอากาศระหว่างซี่ฟันจะทำให้เกิดค่ารีลัคแต้นซ์ต่อเส้นแรงแม่เหล็กช่องว่างกว้างมากค่ารีลัคแต้นซ์ก็จะมีค่ามาก) ด้วยเหตุผลดังกล่าวเส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากขั้วที่ 2 และ 8 ของสเตเตอร์ซึ่งถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วเหนือ และเส้นแรงแม่เหล็กนี้ก็จะกระโดดผ่านช่องว่างไปยังซี่ฟัน ของโรเตอร์ที่ใกล้ที่สุด ซี่ฟัน a และ b ของโรเตอร์เป็นโรเตอร์ที่อยู่ใกล้ที่สุดและจะถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วใต้ เส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากซี่ฟัน d และ e ของโรเตอร์ผ่านช่องว่างอากาศเข้าสู่ซี่ฟันที่ 5 และ 11 ของสเตเตอร์ ดังนั้นส่วนที่เหลือของวงจรแม่เหล็กจะสมบูรณ์โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ ในระหว่างเวลานั้นแรงของแม่เหล็กหรือแรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างซี่ฟันที่ 2 ของสเตเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ) และซี่ฟัน a ของโรเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วใต้) แรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างคู่ขั้ว (11,e),(8,b) และ (5,d) ด้วย ดังที่อธิบายในรูปที่ 1.2 ผลที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้เกิดทอร์คกระทำต่อโรเตอร์หมุนไปจนกระทั่งซี่ฟัน a,d,b และ e ของโรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟัน 2,5,8 และ 11 ของสเตเตอร์ตามลำดับ ขณะเวลาดังกล่าวข้างช่องว่างระหว่างซี่ฟันตามลำดับจะมีค่าน้อยที่สุด ผลลัพธ์ของค่ารีลัคแต้นซ์ จะมีค่าต่ำที่สุดและเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าสูงสุดผ่านวงจรแม่เหล็ก ที่ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่สมดุลย์ของการขับเฟส 3 ในกระบวนการที่กล่าวมาแล้วโรเตอร์จะเคลื่อนที่ในทิศทาง CW หนึ่งสเตปเป็นมุม 7.5°

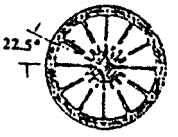
ลำดับการทำงานที่สมบูรณ์แสดงได้ในรูปที่ 1.5 เมื่อตำแหน่งเริ่มต้นของซี่ฟันของโรเตอร์ จะเป็นสีดำเพื่อให้เราทำความเข้าใจได้ชัดเจนถึงการหมุนของโรเตอร์ในทิศทาง CW เมื่อเฟสถูกขับในลักษณะเรียงลำดับ 1-3-2-1 ซี่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสีดำจะเคลื่อนที่ไป 3 สเตปคิดเป็นมุมได้เท่ากับ 22.5° เราจะขับเฟสในลักษณะเรียงลำดับเดิมซ้ำใหม่อีกเมื่อต้องการให้โรเตอร์หมุนต่อเนื่องในทิศทาง CW แต่ถ้าเราต้องการให้โรเตอร์หมุนในทิศทาง CCW เราต้องกลับการเรียงลำดับเฟสเป็น 1-2-3-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียงลำดับเฟส	ตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นแรงแม่เหล็ก
ตำแหน่งโรเตอร์เริ่มต้น : - เฟส ϕ 1 ได้รับพลังงาน - ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟัน ที่ 1,4,7,10 ของสเตเตอร์	
สเตปที่ 1 : เฟส ϕ 3 ได้รับพลังงาน - ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟัน ที่ 2,5,8,11 ของสเตเตอร์ - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW เป็นมุม 7.5° (1/3 ช่วงห่างระหว่าง ซี่ฟันของโรเตอร์)	
สเตปที่ 2 : เฟส ϕ 2 ได้รับพลังงาน - ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟัน ที่ 3,6,9,12 ของสเตเตอร์ - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW รวมเป็นมุม 7.5°	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตปที่ 3 : เฟส ϕ_1 ได้รับพลังงาน
- ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟัน ที่ 1,4,7,10 ของสเตเตอร์
- โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW รวมเป็นมุม 22.5° (เคลื่อนไปได้ 1 ช่วงห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์)



รูปที่ 3.3 แสดงลำดับการสวิทช์ 3 สเตปของ VR Stepping Motor แบบสแต็คเดียวและแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นทางของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อโรเตอร์เคลื่อนที่ไปในแต่ละสเตป

สัญลักษณ์ต่างๆ ของ VR Stepping Motor

N_r = จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์
N_s = จำนวนซี่ฟันของ Stepping Motor
N_p = จำนวนเฟส
P_r = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์ (องศา)
P_s = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของสเตเตอร์ (องศา)
ϕ_s = มุมสเตป (องศา)
R_s = อัตราการสเตปหรือความเร็วในการสเตป (สเตป/รอบ)
X = N_s/N_p = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ต่อเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ Stepping Motor

1. ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ (Tooth Pitch)

$$P_r = 360^\circ/N_r \quad \text{และ} \quad P_s = 360^\circ/N_s$$

2. มุมสเตป (Step Angle)

ในรูปที่ 5.3 โรเตอร์จะเคลื่อนที่ในขนาดมุม P_r ได้เท่ากับ N_p สเตป ดังนั้นเราจะหามุมสเตปได้

$$\phi_s = P_r/N_p = 360^\circ/N_r N_p \quad \text{องศา/สเตป}$$

มุมสเตปจะเท่ากับความแตกต่างระหว่าง P_r และ P_s ดังนั้นเราหามุมสเตปได้เป็น

$$\phi_s = \left|P_r - P_s\right| \quad \text{องศา/สเตป}$$

3. อัตราการสเตป (Stepping Rate)

ความเร็วในการสเตปต่อรอบ (360 องศา) หาได้เป็น

$$R_s = 360^\circ/\phi_s = N_r N_p \quad \text{(สเตป/รอบ)}$$

4. ความเร็วของ Stepping Motor

เมื่อเราป้อนอินพุทพัลส์ที่มีความถี่ (f) พัลส์/ต่อวินาทีให้กับ Stepping Motor มอเตอร์จะสเตปไปด้วยความเร็วเท่ากับ f/R_s รอบต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของมอเตอร์ $(W) = 60f/R_s$

$= 60f/N_p N_r$

$= \theta_s f/6$ (rpm)

5. จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (number of stator poles per phase)

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส $(X) = N_s/N_p$

หรือ $X = R_s/N_p(N_p \pm 1)$

$= N_r/(N_p \pm 1)$

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (X) จะสัมพันธ์กับอัตราการสเตปหรือจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์

Stepping Motor ในรูปที่ 3.2 เราสามารถสรุปการเลือกพารามิเตอร์บางตัวของ Stepping Motor ได้ดังตาราง

ตาราง แสดงการเลือกพารามิเตอร์ของ Stepping Motor

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การหาพารามิเตอร์ของ Stepping Motor

ขั้นแรกเรากำหนดความต้องการของมุมสเตป = 9°

มุมสเตปจะเป็นตัวจำกัดอัตราการสเตป = 360/9

= 40 สเตป/รอบ

ในเงื่อนไขเหล่านี้อาจจะต้องใช้ Stepping Motor ที่มี 4 หรือ 5 เฟส ที่มีสเตเตอร์ 2 โพลต่อเฟส

ถ้า $N_p = 4$

$N_r = R_s/N_p = 40/4 = 10$

$N_s = N_p S = 4*2 = 8$

ถ้า $N_p = 5$

$N_r = 40/5 = 8$

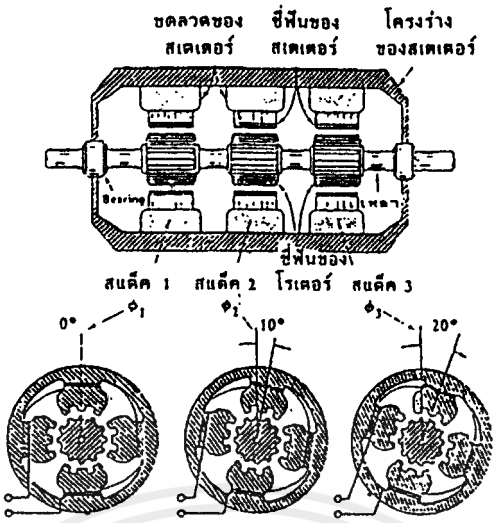
$N_s = 5*2 = 10$

- **VR Stepping Motor แบบมีหลายสแต็ค**

สแต็คในที่นี้หมายรวมไปถึงโรเตอร์ที่เป็นซี่ฟันและโครงร่างของสเตเตอร์อยู่รอบนอก

Stepping Motor ในรูปที่ 3.4 ได้ถูกออกแบบให้สเตเตอร์ของแต่ละสแต็คประกอบด้วย 4 โพล แต่ละโพลจะมีซี่ฟัน 3 ซี่ซึ่งต่างจาก VR Stepping Motor แบบแสต็คเดียว(แต่ละโพลจะมีซี่ฟันเดียว) ข้อสังเกตในแต่ละสแต็คจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะมีจำนวนเท่ากัน ซึ่งต่างกับ VR Stepping Motor แบบสแต็คเดียวคือจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะเท่ากันไม่ได้ ถ้าหากมีจำนวนซี่ฟันเท่ากันมันจะไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<u>รูปที่ 3.4</u> แสดงโครงสร้างของ Stepping Motor แบบ VR ที่มี 3เฟส โรเตอร์และสเตเตอร์ของแต่ละเฟส (แสต็ค) จะมี 12 ซี่ฟันและมุมสเตป (ϕ_s) = 10° แต่ละเฟสของสเตเตอร์ที่เรียงลำดับต่อเนื่องกันจะถูกจัดตำแหน่งให้ต่างกันเท่ากับ 1/3 ของช่องห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (10°)

- <u>การทำงานของ VR Stepping Motor ที่มี 3 สแต็ค</u>

ไดอะแกรมส่วนล่างของรูปที่ 3.4 แสดงถึงโครงสร้างของโรเตอร์และสเตเตอร์ของ VR Stepping Motor ที่มี 3 แสต็ค แต่ละสแต็คจะมี $N_r = N_s$

แต่ละแสต็คจะมีตำแหน่งของสเตเตอร์แตกต่างจากตำแหน่งของสเตเตอร์ในแสต็คถัดไปเท่ากับ 10°

ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 3 อันจะประกอบอยู่บนแกนเดียวกันและได้รับการปรับแต่งให้อยู่แนวเดียวกันอย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติเราจะหาค่ามุมสเตป (หรือ index angle) ได้จากสมการใน ที่นี้เราจะหา ϕ_t (index angle) ได้จากสมการเดียวกันคือ

$$\phi_t = P_r/N_p = \phi_m$$

ในกรณีนี้ $N_r = N_m = 12$ ดังนั้นเราหา $P_r = 360^\circ/12 = 30^\circ$ และค่า $\phi_t = 30^\circ/3 = 10^\circ$

Stepping Motor แบบ 3 แสต็ค ถึงแม้ว่าโรเตอร์ทั้ง 3 อันจะติดอยู่บนเพลาอันเดียวกันแสต็คทั้ง 3 สแต็คจะมีวงจรแม่เหล็กที่แยกกันดังนี้

ถ้าเฟสที่ 1 ถูกขับด้วยกระแสเป็นเฟสเริ่มต้นให้ซี่ฟันของโรเตอร์-สเตเตอร์อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 2 ในขณะนั้นจะมีตำแหน่งต่างกัน 10° และซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 20° ต่อจากนั้นเราหยุดจ่ายกระแส (กระแสขดลวดสเตเตอร์) ในสแต็คที่ 1 และป้อนกระแสให้กับสแต็คที่ 2 อยู่ในแนวเดียวกันในขณะนี้ซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10° ต่อจากนั้นเราหยุดจ่ายกระแสในสแต็คที่ 2 และป้อนกระแสให้กับสแต็คที่ 3 โรเตอร์จะหมุนไปอีก 10° ซึ่งจะทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 3 อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 1 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10°

ลำดับการสวิทช์กระแสให้แต่ละสแต็คแสดงได้ในรูปที่ 3.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพลาของ Stepping Motor จะเคลื่อนที่ไปเท่ากับหนึ่งช่องของระยะห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (30°) ภายใน 3 สเตป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	สเต็ปที่ 1	สเต็ปที่ 2	สเต็ปที่ 3
ตำแหน่งเริ่มต้นของ โรเตอร์ : - เฟส ϕ_1 ได้รับพลังงาน			
สเต็ปที่ 1 : - เฟส ϕ_2 ได้รับพลังงาน - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 10°			
สเต็ปที่ 2 : - เฟส ϕ_3 ได้รับพลังงาน - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 20°			
สเต็ปที่ 3 : - เฟส ϕ_1 ได้รับพลังงาน - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 30° หรือเท่ากับหนึ่งช่องของระยะ ห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์			

รูปที่ 3.5 แสดงลำดับการสเต็ปของ VRSM แบบ 3 เฟส $N_r = N_s = 12$, $P_r = 30°$ และ $\theta_s = 10$ ซี่ฟันของโรเตอร์ลีดำจะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW 10° ในแต่ละสเต็ปรวมทั้งหมด 30 เมื่อสเต็ปไปครบ 3 สเต็ป สำหรับการหมุนในทิศทาง CW ตามลำดับการขับเฟส 1-2-3-1 และต้องการให้หมุนในทิศทาง CCW ลำดับการขับเฟสก็ต้องกลับเป็น 1-3-2-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติเพลาของมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปหนึ่งช่อง ของระยะห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (rotor tooth pitch) ด้วยการสเตปไป N_s คือจำนวนสแต็คที่ใช้(หรือเท่ากับจำนวนเฟส)

ลำดับการสวิทช์ที่แสดงในรูปที่ 3.5 เราสามารถนำมาเขียนเป็นตารางได้ ดังในรูปที่ 3.6 วงจรสวิทช์ประกอบด้วย VRSM แบบ 3 เฟส (ลักษณะของ Stepping Motor) การขับเฟสแสดงได้ด้วยสวิทช์และแหล่งกำเนิดดีซี

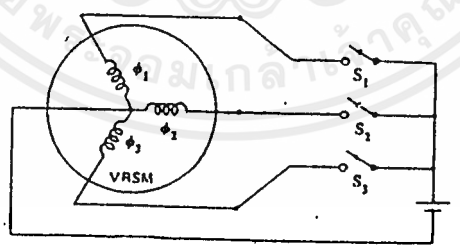
สเตป	S_1	S_2	S_3
1	×		
2		×	
3			×
1	×		

(ก)

สเตป	S_1	S_2	S_3
	×	×	
		×	×
	×		×
	×	×	

(ค) (ข)

สเตป	S_1	S_2	S_3
1	×	×	
2		×	
3		×	×
4			×
5	×		×
6	×		
1	×	×	



(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 แสดงถึง VRSM แบบ 3 เฟส (ก) ตารางแสดงลำดับการขับแบบเฟสเดียวในทิศทาง CW (ข) ตารางแสดงลำดับการขับแบบ 2 เฟสในทิศทาง CW (ค) การขับแบบ ครึ่งสเตปในทิศทาง CCW เราจะต้องกลับลำดับของการขับคือให้อ่านตาราง (ก) (ข) และ (ค) จากข้างล่างขึ้นไปข้างบน

จากตาราง (ก) ถ้าเราขับเฟสที่ 1 และ เฟสที่ 2 เรียงตามลำดับมอเตอร์จะหมุนไปหนึ่งสเตป

จากตาราง (ข) ถ้าเราขับเฟสที่ 1 และ เฟสที่ 2 พร้อมกัน เพลาของมอเตอร์จะหมุนไปที่ 3/2 สเตป ต่อจากนั้นเราขับเฟสที่ 2 และเฟสที่ 3 พร้อมกันอีกก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปครบเต็ม 2 สเตป ดังนั้นการขับแบบ 2 เฟสเราเรียงลำดับการขับได้ดังนี้ 1-2, 2-3, 3-1 และ 1-2 กระทำซ้ำเดิมไปเรื่อย ๆ

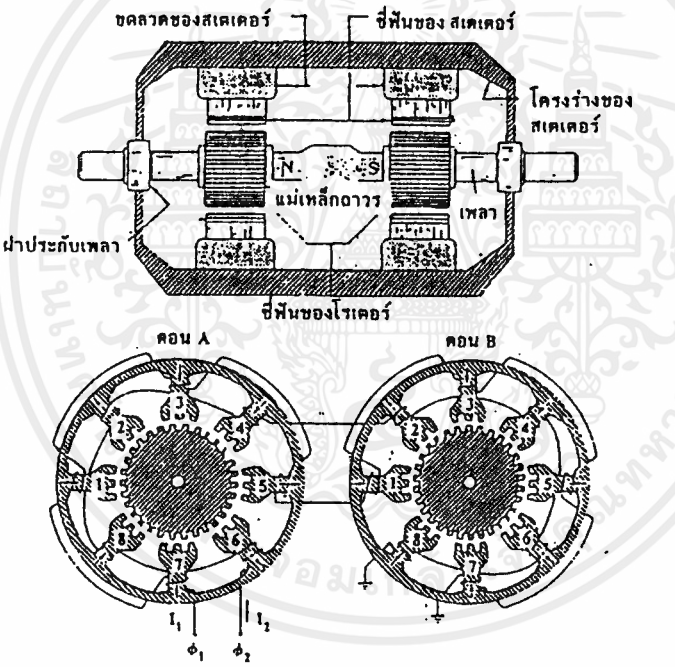
อย่างไรก็ตามการขับแบบ 2 เฟส หรือ 1 เฟส ก็จะให้การหมุนเป็นมุมสเตปเท่ากันที่ต่างกัน ก็คือ การขับแบบ 2 เฟส จะให้การหมุนของโรเตอร์นำหน้าการขับแบบเฟสเดียวด้วยขนาด 1/2 สเตป นอกจากนั้นการขับแบบ 2 เฟส จะต้องการกระแสเป็น 2 เท่าของการขับแบบเฟสเดียว

ตาราง (ค) แสดงการขับแบบ 2 เฟส สลับกับการขับแบบ 1 เฟส ซึ่งจะทำให้โรเตอร์ หมุนไป 1/2 สเตปเท่านั้น การขับแบบนี้จะทำให้จำนวนสเตปต่อรอบเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าจากเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stepping Motor แบบไฮบริด

ไฮบริดสเตปมอเตอร์ (HSM) มีคุณลักษณะผสมของ PM และ VR Stepping Motor ในรูปที่ 3.7 แสดงถึงโครงสร้างของ HSM ประกอบด้วย 2 ตอนกับแกนแม่เหล็กอยู่ระหว่าง 2 ตอน แต่ละตอนประกอบซี่ฟันของโรเตอร์และโพลของสเตเตอร์ที่มีซี่ฟันเช่นกันและพันด้วยขดลวด รายละเอียดโครงสร้างของสเตเตอร์และโรเตอร์ของแต่ละตอนแสดงในไดอะแกรมข้างล่างของรูปที่ 3.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>รูปที่ 3.7</u> โครงสร้างของ Hybrid Stepping Motor ; N_r = 30, N_s = 24 ซี่ฟันของสเตเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะอยู่ในแนวเดียวกันส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตัวจะมีตำแหน่งต่างกัน $1/2P_r$ ($=6^\circ$) $\phi_s = 3^\circ$

ลักษณะโครงสร้างของ Hybrid Stepping Motor

- จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และของสเตเตอร์ไม่เท่ากัน
- ตอน A และ ตอน B มีโครงสร้างเหมือนกัน
- ซี่ฟันของสเตเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะอยู่ในแนวเดียวกันอย่างถูกต้อง
- ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะมีตำแหน่งที่แตกต่างกัน $1/2\ P_r$ (ในรูปที่ 3.7 กำหนดให้ $P_r = 360^\circ/30 = 12^\circ$ ดังนั้นตำแหน่งซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะแตกต่างกัน 6°)
- สเตเตอร์ของแต่ละตอนมี 8 โพลแบ่งของเป็น 2 สเตเตอร์เฟส
- เฟสที่ 1 จะพันขดลวดบนสเตเตอร์โพลหมายเลข 1-3-5 และ 7 ของทั้งในตอน A และ ตอน B
- เฟสที่ 2 จะพันขดลวดบนสเตเตอร์โพลหมายเลข 2-4-6 และ 8 ของทั้งในตอน A และ ตอน B
- แกนแม่เหล็กถาวรจะเหนี่ยวนำโรเตอร์ในตอน A ให้เป็นแม่เหล็กขั้วเหนือ และโรเตอร์ในตอน B ให้เป็นแม่เหล็กในขั้วใต้ ความซับซ้อนจะเพิ่มมากขึ้นเนื่อง จากการแบ่งส่วนของ ขดลวดเฟสใน 2 ตอน ทำให้ได้วงจรแม่เหล็กที่ซับซ้อนและได้เส้นทางเดินของเส้นทางแม่เหล็ก ที่แตกต่างกันเป็นวงกลมทิศทางเดินของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์โพลจะขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสเฟส ดังแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ Hybrid Stepping Motor

ขณะที่เฟสที่ 1 (ϕ_1) ได้รับพลังงานด้วยการป้อนกระแส I_1 ในทิศทางดังแสดงด้วยลูกศร

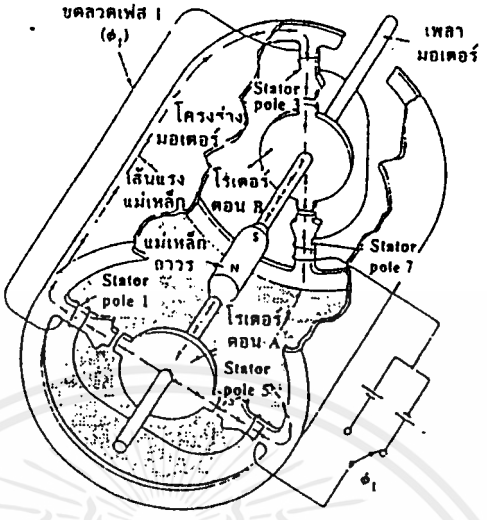
ซี่ฟันของโรเตอร์ในตอน A จะอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันของสเตเตอร์ของโพลที่ 1 และโพลที่ 5 ส่วนของตอน B จะอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันของโพลที่ 3 และโพลที่ 7 ดังแสดงในรูปที่ 3.8

เพื่อให้เพลาของมอเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตปในทิศทาง CW เราจะต้องหยุดป้อนกระแส I_1 และป้อนกระแส I_2 ให้กับเฟสที่ 2 (ϕ_2)

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

เราจะต้องป้อนกระแส I_2 ในทิศทางที่ถูกต้องคือจะต้องทำให้โพลที่ 4 และโพลที่ 8 และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ถูกเหนี่ยวนำเป็นแม่เหล็กในทิศทางที่ถูกต้อง (เกิดวงจรแม่เหล็กที่สมบูรณ์) ด้วย I_2 ในกรณีที่ I_2 จะต้องเป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<u>รูปที่ 3.8</u> วงจรแม่เหล็กของ HSM แสดงถึงเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อ เฟสที่ 1 ได้รับพลังงานและเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นในตอน A จะผ่านโพลที่ 1 และโพลที่ 5 เข้าไปยังโรเตอร์ของตอน B ผ่านโพลที่ 3 และโพลที่ 7 เข้าสู่ขั้วใต้ (S) ของแม่เหล็กถาวร

ในรูปที่ 3.9 แสดงถึงลำดับการสวิทช์ (ให้กระแสไหล) ให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทาง CW 4 สเตป ซึ่งแสดงถึง ตำแหน่งของโรเตอร์และทิศทางการเป็นแม่เหล็กของสเตเตอร์โพลในแต่ละตอนด้วยการกำเนิดทิศทางของการไหลของกระแสเฟส สำหรับการหมุนในทิศทางของ CW (ดังแสดงในรูป) เราจะต้องกำหนดลำดับของกระแสเฟสดังนี้ 1+, 2-, 1-, 2+ และ 1+ ตามลำดับ ถ้าต้องการหมุนในทิศทาง CCW ลำดับเหล่านั้นก็กลับไปเป็น 1+, 2+, 1-, 2- และ 1+

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพลาของมอเตอร์หมุนไปได้หนึ่งช่องห่างระหว่างซี่ฟันภายใน 4 สเตป ดังนั้นมุมสเตป จะต้องเท่ากับ 1/4 P_r หรือมีค่าเท่ากับ $|P_s - P_s|$ ดังนั้น

$$\theta_s = P_r/4 = 360/4N_r = 90/N_r$$

$$\theta_s = |P_s - P_r|$$

สเตป	θ_1 I_1	θ_2 I_2	เส้นแรงออกจากตอน A	เส้นแรงเข้าสู่ตอน B	ตอน A ตอน B
1	+		1.5	3.7	
2		−	4.8	2.6	
3	−		3.7	1.5	
4		+	2.6	4.8	
1	+		1.5	3.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 ลำดับ 4 สเตปของ HSM แบบ 2 เฟส ในแต่ละสเตปแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์และทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก $N_r = 30$, $N_s = 24$, $\phi_s = 3^\circ$ ซี่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสีดำจะหมุนในทิศทางของ CW ไป 3° ในแต่ละสเตปได้เป็น 12° เมื่อครบตามจำนวนลำดับ (หนึ่งช่องห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์) สำหรับการหมุนในทิศทาง CW จะต้องจัดลำดับการขับเป็น 1+, 2-, 1-, 2+, 1+

ในรูป $N_r = 30$ และ $N_s = 24$

ดังนั้น $\phi_s = 90/30 = 3^\circ$

$= (360/24) - (360/30) = 3^\circ$

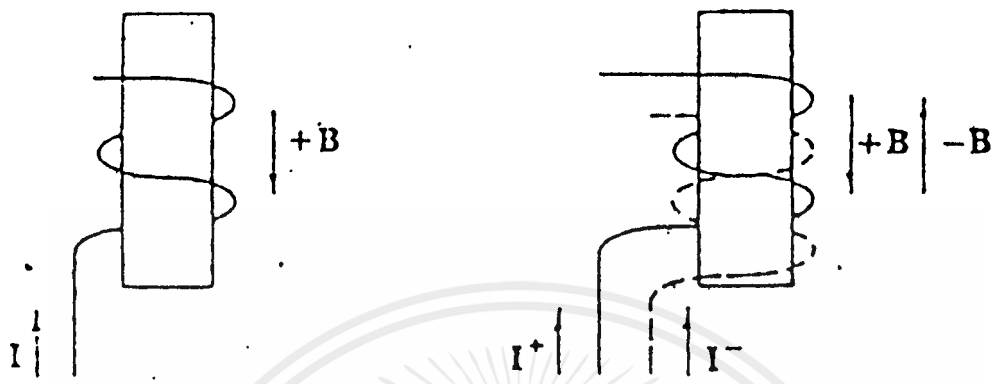
Hybrid Stepping Motor (HSM) จะทำงานด้วยกระแสเฟสที่มีการไหล ได้ 2 ทิศทาง ดังนั้นเราจำเป็นต้องใช้เพาเวอร์ซัพพลาย 2 ตัว (bipolar drive)

การแก้ปัญหาเพื่อจะขับ Hybrid Stepping Motor ให้ทำงานด้วยเพาเวอร์ซัพพลายเพียงตัวเดียว (Unipolar drive)

ขดลวดแบบ unifiler แสดงดังในรูปที่ 3.10 (ก) จะต้องกลับทิศทางของกระแสเพื่อกลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก B

ขดลวดแบบ bifilar แสดงในรูปที่ 3.10 (ข) ถ้าเราต้องการกลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเป็น -B สามารถทำได้โดยป้อนกระแสขนาดเดิมจากเพาเวอร์ซัพพลายตัวเดิมเข้าที่ขดลวดที่เป็นเส้นประในรูปที่ 3.10 (ข) ก็จะทำให้ทิศทางการเหนี่ยวนำแม่เหล็กและทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก (-B) กลับทิศทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



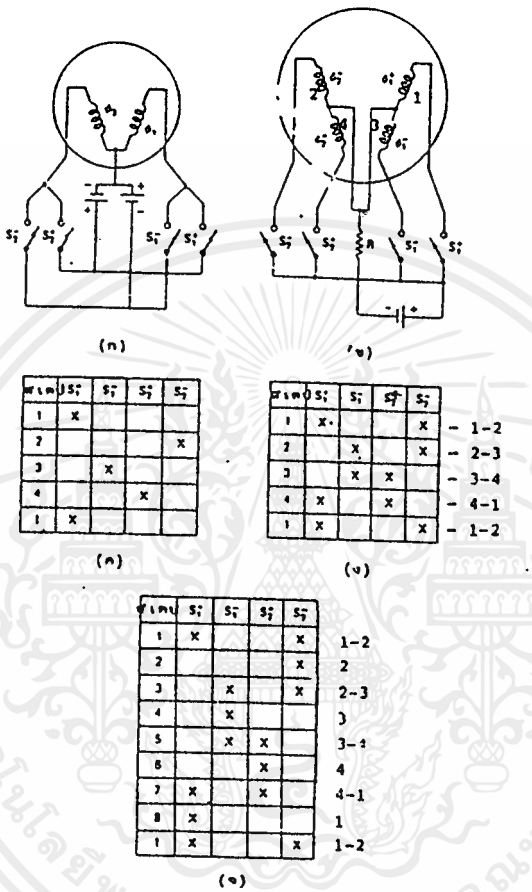
รูปที่ 3.10 การพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์
(ก)แบบ unifilar (ข) แบบ bifilar

ถ้าหาก HSM ในรูปที่ 3.7 มีขดลวดเฟสของสเตเตอร์เป็นแบบ bifilar
ขดลวดเฟส ϕ_1 เดิมจะถูกแบ่งตัวออกเป็นสองขดลวดเฟส ϕ_1+ และเฟส ϕ_1-
ขดลวดเฟส ϕ_2 เดิมจะถูกแบ่งตัวออกเป็นสองขดลวดเฟส ϕ_2+ และเฟส ϕ_2-

ในตอนนี้ก็จะทำให้เราได้ขดลวดเฟสถึง 4 เฟสและแต่ละเฟสสามารถขับได้ด้วยกระแสที่ไหลในทิศทางเดียว ส่วนเครื่องหมาย + และ - ใช้สำหรับแสดงถึงทิศทางการเกิดสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์โพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.11 (ก) (ข) แสดงวงจรการสวิทช์ 2 วงจร สำหรับ HSM แบบ 2 เฟสและ แบบ 4 เฟส รูป (ค) (ง) และ (จ) แสดงตารางลำดับการขับแบบทีละเฟส และแบบทีละ 2 เฟส และการขับแบบครึ่งสเตปตามลำดับ



รูปที่ 3.11 Hybrid Stepping Motor

(ก) HSM แบบ 2 เฟส unifilar จะต้องขับแบบไบโพลาร์

(ข) HSM แบบ 4 เฟส bifilar ใช้การขับแบบยูนิโพลาร์

(ค) ตารางแสดงการขับทีละ 1 เฟส

(ง) ตารางแสดงการขับทีละ 2 เฟส

(จ) ตารางแสดงการขับ แบบครึ่งสเตปในทิศทาง CW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การกระตุ้น (Stepping Motor Excition)

แบบที่นิยมใช้มีอยู่ 3 แบบ คือ

1) กระตุ้นเฟสเดียว (One Phase Excitation)

2) กระตุ้น 2 เฟส (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 4.1 แสดงแผนภูมิเวลาของการกระตุ้นแบบต่าง ๆ

ก) One Phase Excitation

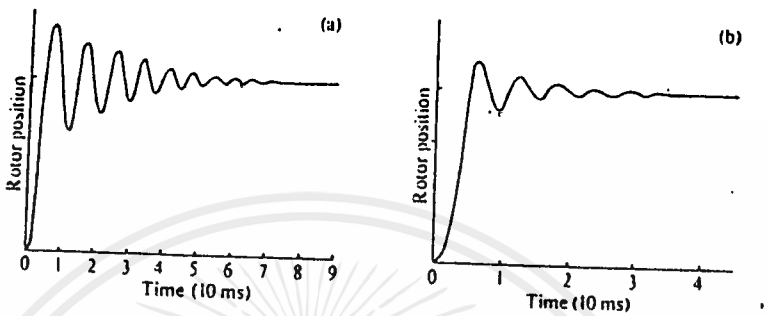
ข) Two Phase Excitation

ค) Half Step Excitation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

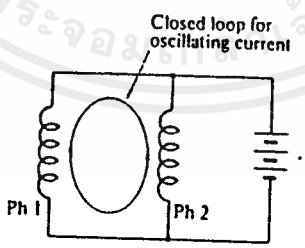
ข้อแตกต่างระหว่างการกระตุ้นแบบ 1 เฟสและ 2 เฟส

ความแตกต่างระหว่างการกระตุ้นแบบ 1 เฟสและ 2 เฟส มีลักษณะต่างกันตรงผลการตอบสนองชั่วขณะ (Transient Response)



รูปที่ 4.2 แสดงความแตกต่างผลตอบสนองของการกระตุ้นแบบ 1 เฟส (ในรูป a) และการกระตุ้นแบบ 2 เฟส (ในรูป b)

การกระตุ้นแบบ 2 เฟส การออสซิเลทที่เกิดขึ้นจะหมดไปเร็วกว่าการกระตุ้นแบบเฟสเดียว ซึ่งสามารถอธิบายได้จากรูป



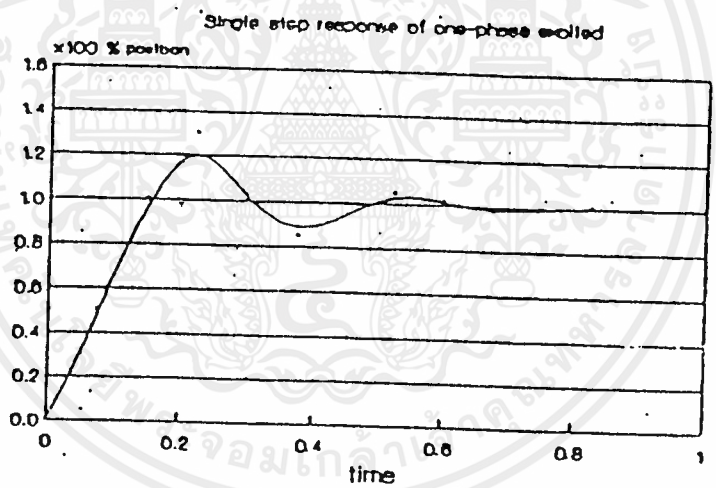
รูปที่ 4.3 กระแสที่เกิดการออสซิเลทในวงจรปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการกระตุ้นแบบ 2 เฟส ลูบที่เกิดขึ้นระหว่าง 2 เฟสที่ถูกกระตุ้นจะมีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น เมื่อมีการออสซิเลทเกิดขึ้น ซึ่งเกิดในช่วงองค์ประกอบของกระแสในช่วงออสซิเลท ไม่ใช่องค์ประกอบในช่วงที่คงที่ องค์ประกอบในช่วงออสซิเลทนี้เองจะสร้าง Holding Torque ขึ้น ดังนั้นการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ที่เกิดการออสซิเลทขึ้น เป็นผลทำให้เกิดกระแสออสซิเลทเกิดขึ้นในช่วงที่คงที่ในแต่ละเฟส ซึ่งองค์ประกอบของกระแสในเฟส 1 และเฟส 2 จะมีทิศทางตรงข้ามกันนั้น Torque ที่ผลิตจาก องค์ประกอบของกระแสออสซิเลทจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของโรเตอร์นั่นเอง ซึ่งลักษณะนี้จะไม่เกิดในการกระตุ้นแบบ 1 เฟส

4.1) One Phase Excitation

แบบนี้จะมีแรงบิดน้อยที่สุดทั้งในขณะเริ่มเคลื่อนที่และเคลื่อนที่อยู่ มี Over Shoot สูง เข้าสู่ตำแหน่งแต่ละสเตปช้าแต่เมื่อเข้าสู่สภาวะ Steady State แล้วจะไม่มีการออสซิเลท

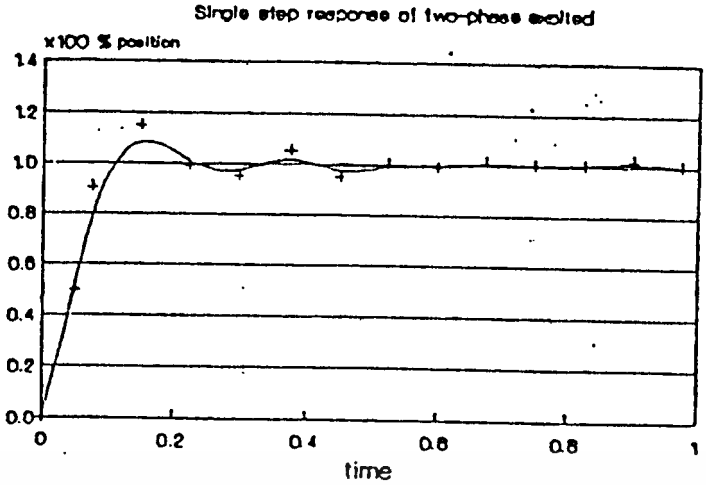


รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของ Stepping Motor ต่อการกระตุ้นเฟสเดียว

4.2) Two Phase Excitation

การกระตุ้นแบบนี้มีแรงบิดขณะเริ่มต้นสูง มี Over Shoot ต่ำ และมีออสซิเลทเล็กน้อยในสภาวะ Steady State

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองของ Stepping Motor ต่อการกระตุ้น 2 เฟส

4.3) Half Step Excitation

สำหรับ Stepping Motor ที่ใช้การกระตุ้นแบบ Half Step Excitation จะทำให้มุมองศาในแต่ละสเตป จะมีค่าลดลงจากค่าที่กำหนดไว้ครึ่งหนึ่งจากค่ามุมองศาที่กำหนดไว้ที่ Data ของ Stepping Motor ตัวนั้น การกระตุ้นแบบนี้จะรวมข้อดีของทั้ง 2 แบบข้างต้นไว้ โดยขณะเริ่มต้นจะกระตุ้นแบบ 2 เฟส ทำให้ได้แรงบิดเริ่มต้นสูงที่สุดและเมื่อเข้าสู่สภาวะ Steady State จะกระตุ้นเพียงเฟสเดียว ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดการออสซิเลท แต่ข้อเสียของการกระตุ้นแบบนี้จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ One Phase Excitation กล่าวคือในขณะ Steady State ค่าแรงบิดจะมีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

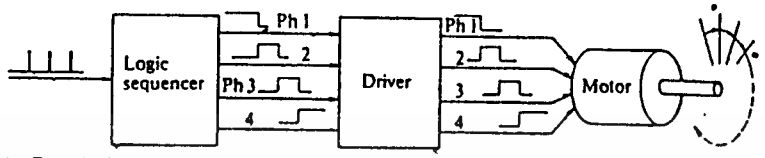
Drive System And Circuitry For Open Loop Control Of Stepping Motor

ระบบขับกระแสและวงจรสำหรับการควบคุม Stepping Motorแบบลูปเปิด หนึ่งในปัญหาสำคัญที่สุดในการประยุกต์ใช้ Stepping Motor ก็คือ ส่วนของวงจรขับกระแส ซึ่งวงจรขับกระแสนี้มีทั้งแบบลูปปิดและลูปเปิด ซึ่งในโครงงานนี้เราใช้การควบคุมแบบลูปเปิด

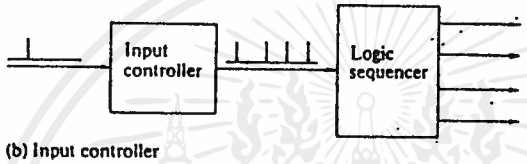
ระบบขับกระแส

ระบบขับกระแสของ Stepping Motor สามารถแสดงได้โดยรูปบล็อคไดอะแกรมในรูปที่ 5.1 ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าบล็อคไดอะแกรมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในรูป a) คือส่วนของวงจรจัดลำดับการกระตุ้น (Sequencial Control) ซึ่งเมื่อพัลส์ (Pulse) ถูกป้อนเข้ามาในวงจรจัดลำดับกระตุ้นก็จะใช้สถานที่สถานะทางด้านออก (OutPut) ที่มีการเปลี่ยนแปลงในการควบคุมในการขับมอเตอร์ (Motor Drive) เพื่อที่จะทำให้ Stepping Motor หมุนไปตามมุมสเตปในทิศทางที่ต้องการ ซึ่งทิศทางที่หมุนไปถูกควบคุมมาจากสถานะทางด้านเข้า (Input) ให้เป็น H และ L เพื่อกำหนดให้หมุนทวนเข็มและตามเข็มนาฬิกานั้นเอง ในรูป a) นั้นแสดงถึงระบบทั้งหมด แต่เมื่อการเพิ่มแบบสเตป 2 สเตปหรือมากว่านั้น สถานะต่าง ๆ ด้าน Input ต้องมีพัลส์ (Pulse) ที่เหมาะสมเพื่อควบคุมวงจรจัดลำดับกระตุ้น แสดงได้ในรูป (b) ซึ่งจะเรียกว่า "วงจรควบคุมด้านเข้า (Input Controller)" ข้อได้เปรียบในวงจรนี้คือ สามารถใช้ Microprocessor ใช้ในการสร้างพัลส์ ในการควบคุมความเร็วของ Stepping Motor ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ Stepping Motor มีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) From logic sequencer to motor



(b) Input controller

รูปที่ 5.1 บล็อคไดอะแกรมแสดงระบบการขับ Stepping Motor

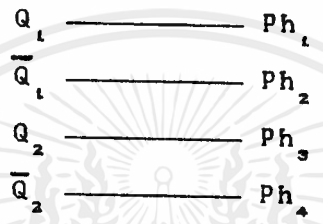
วงจรจัดลำดับการกระตุ้น (Logic Sequencer)

วงจรจัดลำดับการกระตุ้นนี้ เป็นวงจรควบคุมการกระตุ้นของขดลวดของ Stepping Motor ที่ตอบสนองต่อพัลส์ซึ่งถูกส่งเข้ามา ซึ่งวงจรจัดลำดับการกระตุ้นนี้ประกอบไปด้วย Shift-Register และ Gate ต่าง ๆ ซึ่งปัจจุบัน Shift-Register IC Chips ซึ่งเหมาะสมในการใช้ควบคุมในการจัดลำดับกระตุ้น คือ J-K Flip-Flop และพวก Logic Gate ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระตุ้นแบบสองเฟส สำหรับ Stepping Motor แบบ 4 เฟส

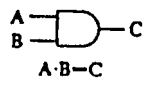
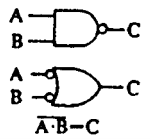
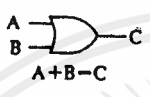
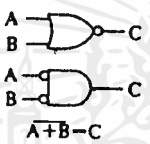
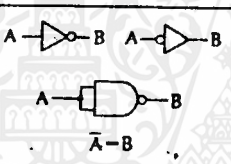
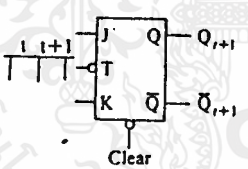
ตารางแสดง Logic ต่าง ๆ แสดงไว้ในตาราง 5.1การโต้ตอบระหว่างผลที่ Output ของลำดับกระตุ้นและขดลวดในแต่ละเฟสของ Stepping Motor จะเป็นดังนี้



นั่นคือ ถ้า Q_1 เป็น H ขดลวดเฟส 1 จะถูกกระตุ้น และถ้า Q_1 เป็น L ขดลวดในเฟสที่ 1 ก็จะไม่ถูกกระตุ้น ถ้าเราเปรียบเทียบ 2 ตาราง 5.2 (a) และ (b) การกระตุ้นในทิศทางตรงข้ามกัน จะทำให้ Stepping Motor หมุนในทิศทางต่างกัน และถ้าจะเปลี่ยนทิศทางในการหมุน ก็ทำได้โดยเปลี่ยนลำดับในการเชื่อมต่อระหว่างในรูป (a) และ (b) ในรูป 5.3 (b) C = A สำหรับคำสั่งในทิศทางที่คำสั่งเป็นระดับ H และ C = B ในทิศทางที่คำสั่งเป็นระดับ L และในรูป 5.4 แสดงถึง การควบคุมทั้งสองทิศทาง (Bidirectional Sequence) สำหรับการกระตุ้นกแบบ 2 เฟสสำหรับ Stepping Motor แบบ 4 เฟส

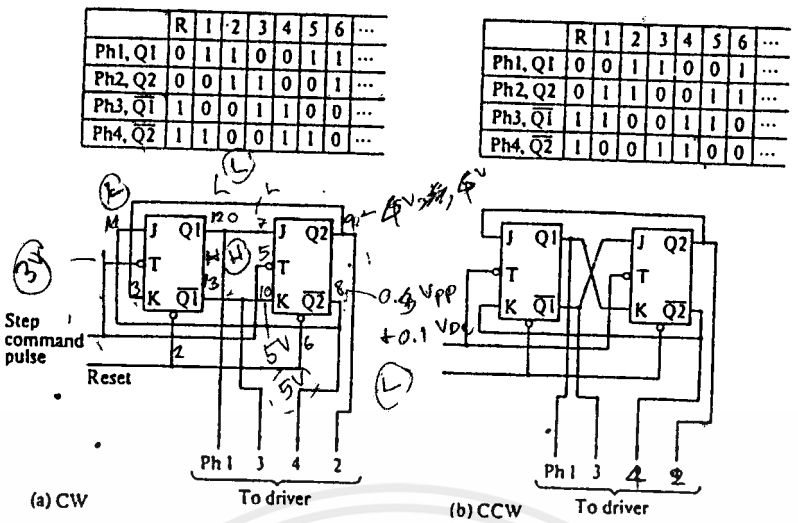
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 5.1. Logic gates and their function.

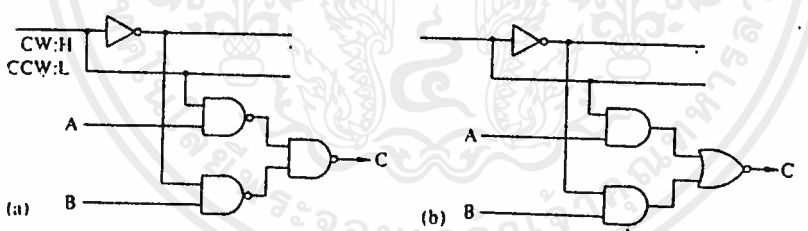
AND		Input A B / Output C: 1 1 → 1; 1 0 → 0; 0 1 → 0; 0 0 → 0
NAND		Input A B / Output C: 1 1 → 0; 1 0 → 1; 0 1 → 1; 0 0 → 1
OR		Input A B / Output C: 1 1 → 1; 1 0 → 1; 0 1 → 1; 0 0 → 0
NOR		Input A B / Output C: 1 1 → 0; 1 0 → 0; 0 1 → 0; 0 0 → 1
NOT		Input A / Output B: 1 → 0; 0 → 1
JK-FF		Input J K / Output Q_{t+1} $\overline{Q}_{t+1}$: 1 1 → $\overline{Q}_t$ Q_t; 1 0 → 1 0; 0 1 → 0 1; 0 0 → Q_t $\overline{Q}_t$ (set • reset). The function of the table is effected when the clear terminal is on level H. If the clear terminal is on level L, output Q will be on L and $\overline{Q}$ on H.

ตารางที่ 5.1 ลอจิกเกทและฟังก์ชั่นการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

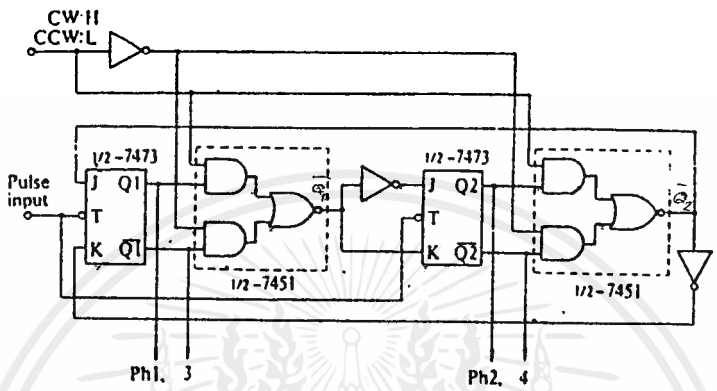


รูปที่ 5.2 การควบคุม Stepping Motor แบบ 4 เฟสโดยลำดับการกระตุ้นแบบไม่มีการควบคุมทิศทาง



รูปที่ 5.3 Logic selector used for commanding rotational direction ; in circuit (a) C = A for the H-level command and C = B for the L-level command,while in (b), C = $\overline{A}$ for the H command and C = $\overline{B}$ for the L command

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 การควบคุม Stepping Motor แบบสี่เฟสโดยการควบคุมลำดับการกระตุ้นแบบ 2 ทิศทาง

การเชื่อมต่อวงจรจัดลำดับการกระตุ้นและวงจรขับกระแส

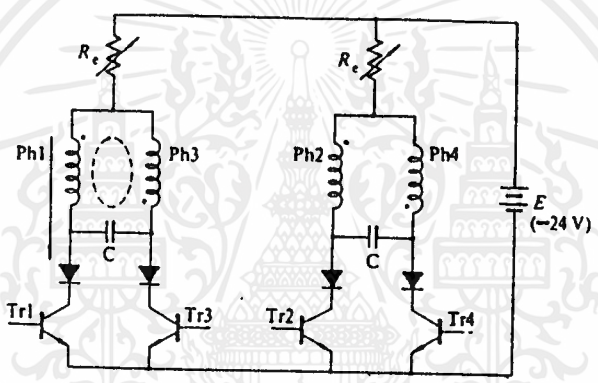
สัญญาณจากด้านออกของวงจรจัดลำดับการกระตุ้นจะถูกส่งต่อมายังจุดด้านเข้าของวงจรขับกระแส โดยการปิดและเปิดของขดลวดของ Stepping Motor วิธีที่ง่ายที่สุดที่จะเชื่อมต่อคือ ต่อตามรูป 5.5 (a),(b) แต่ถ้ากระแสที่ออกมาไม่เพียงพอที่จะขับ Stepping Motor ได้ ก็ต้องใช้ Buffer มาช่วยในการขับกระแสดังในรูป 5.5 C และ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบกับ 2 กรณีแรกแล้ว การใช้ Zener Diode จะทำให้เวลาในการเกิดกระแสไหลวนหมดไปเร็วยิ่งขึ้น

(4) Condensor Suppressors

ซึ่งรูปแบบ Condensor Suppressors นี้มักถูกใช้กับ Bifilar-Wound Motor ซึ่งวงจรแสดงได้ในรูป 5.10



รูปที่ 5.10 Four-phase driver with condenser suppressor. External resistors denoted by R_e are adjusted so that the current is at rating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปตัวเก็บประจุ (Condensor) จะถูกใส่ระหว่างเฟส 1 และเฟส 3 และเฟส 2 และเฟส 4 และตัวเก็บประจุนี้ถูกใช้เมื่อทรานซิสเตอร์ Turn Off ตัวเก็บประจุที่เชื่อมต่อระหว่างไดโอดจะถูกดูดซับกระแสที่เกิดจากขดลวดเพื่อที่จะป้องกันทรานซิสเตอร์ พิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้คือ เมื่อ Tr_1 Turn Off เพราะฉะนั้น Tr_2 และ Tr_4 ก็ Turn On แต่ Tr_3 ยังคง Turn Off อยู่ ดังนั้นขดลวดเฟสที่ 1 และเฟสที่ 3 ซึ่งเป็นกระแสออสซิเลทที่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน (Oscillating Component current) ทำให้เกิดกระแสทรานเซี้ยน (Transient Current) จะไหลวนในลูปตามเส้นประในรูป ถ้า Tr_3 Turn On เมื่อกระแสทรานเซี้ยนกลายเป็น 0 นั่นคือ ตัวเก็บประจุจะเก็บประจุจนมีประจุมากที่สุด ดังนั้นกระแสfด้านบวกจากประจุ C ก็จะ Discharge ไหลผ่านขดลวดเฟส 1 ได้อย่างง่ายดาย โดยขบวนการกำธร (Resonance) ดังนั้นกระแสจะถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการใช้ตัวเก็บประจุนี้เหมาะสมที่จะใช้ขับ Stepping Motor ที่พิกัดที่จำกัดในขอบเขตแคบ ๆ ซึ่งเราจะใช้ Condensor Suppressors เป็นตัวหน่วงทางไฟฟ้า (Electrical Damper) ช่วยหน่วง Rotor ไม่ให้เกิดการออสซิเลท

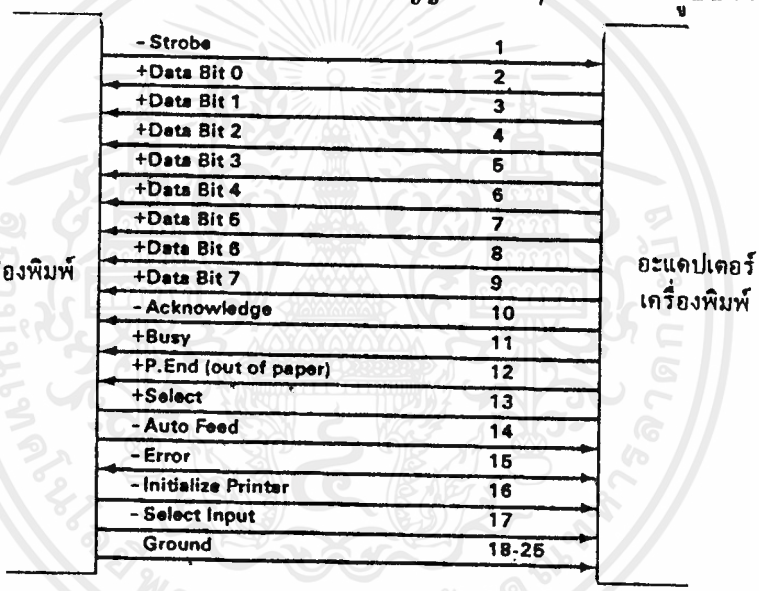
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การใช้ PC ควบคุมวงจรลำดับการกระตุ้น(SEQUENCIAL CIRCUIT)

ปรกติในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะมีพอร์ทไว้สำหรับบริการผู้ใช้เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งได้แก่ PARALELL PORT และ SERIAL PORT โดยพอร์ทต่างๆเหล่านี้ จะมี ADDRESS ประจำตัวที่สามารถอ้างถึงได้ เมื่อต้องการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานก็สามารถอ้างแอดเดรสดังกล่าวในการส่งข้อมูลได้ทันที

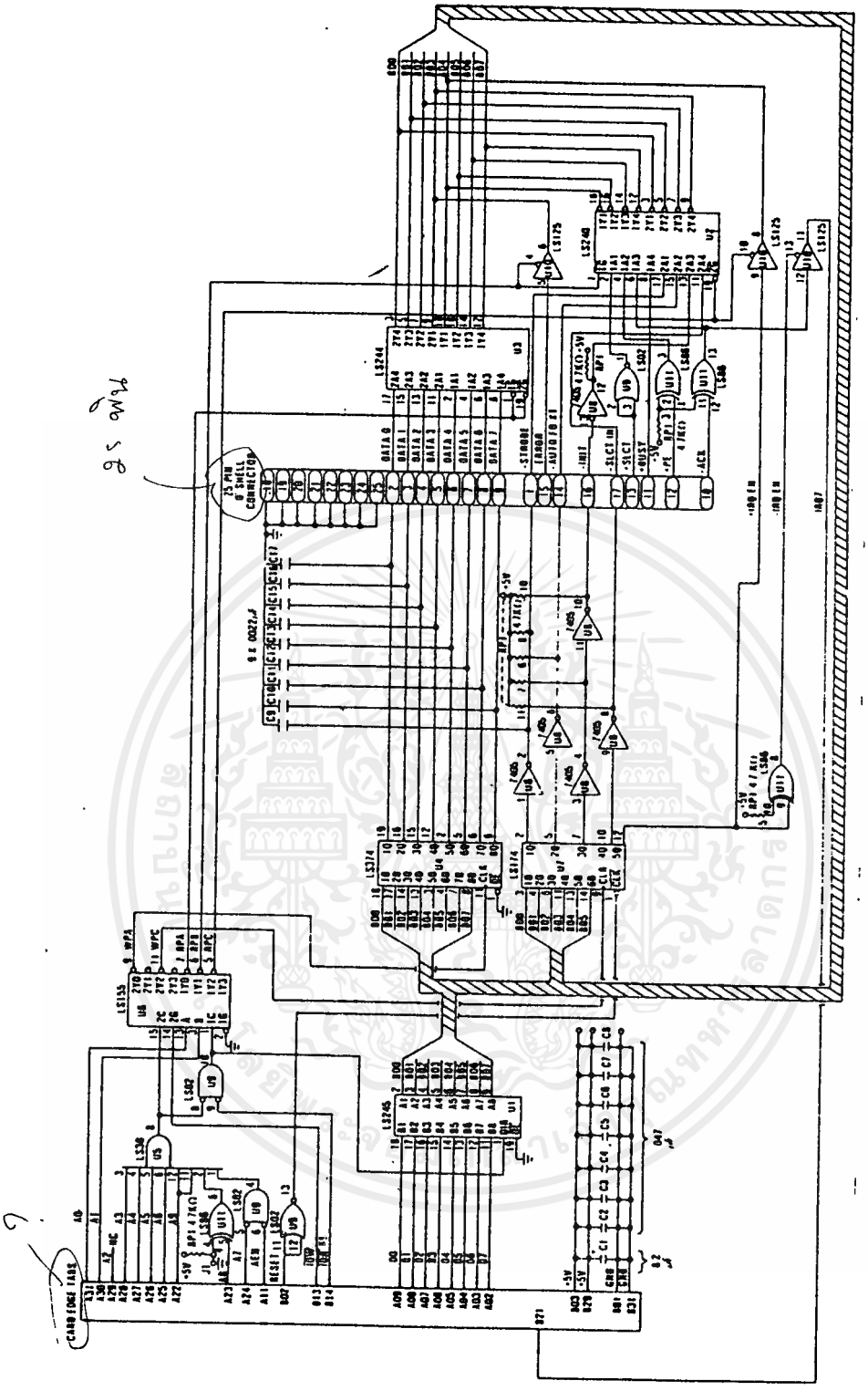
ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้ PRINTER PORT ซึ่งเป็น PARALELL PORT สามารถส่งข้อมูลได้ทีเดียว 8 BIT รายละเอียดของขาสัญญาณต่างๆ แสดงดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 6.1 แสดงรายละเอียดขาสัญญาณต่างๆบน PRINTER PORT

แอดเดรสประจำตัวของ PRINTER PORT คือ 378 ซึ่งเป็น DATA PORT ใช้สำหรับส่งข้อมูลจำนวน 8 BIT (D0 - D7) และมีแอดเดรส 37A ใช้ในการส่งสัญญาณควบคุมได้แก่สัญญาณ RESET,STROBE,ACK ฯลฯ มีไว้เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานแยกออกมาจากพอร์ทข้อมูลต่างหาก โดยหมายเลขของ BIT ของขาสัญญาณควบคุมนี้ดูได้จากวงจรเชื่อมต่อระหว่าง I/O SLOT กับ PRINTER PORT ซึ่งแสดงในรูปถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงวงจรเชื่อมต่อระหว่าง I/O SLOT กับ PRINTER PORT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำ PRINTER PORT มาใช้ในงานควบคุม STEPPING MOTOT DRIVES

การใช้ PRINTER PORT มาควบคุมชุดขับเคลื่อน STEPPING MOTOR นั้น จะนำมาใช้ในการสร้างสัญญาณกระตุ้น โดยการส่งข้อมูลออกไปทางขา DATA สลับไปมาระหว่าง 0 และ 1 และใช้ในการกำหนดเลือกมอเตอร์ตัวที่ต้องการให้ทำงาน โดยถือว่า LOGIC 0 หมายถึงไม่ต้องการให้มอเตอร์ตัวดังกล่าวทำงาน และ LOGIC 1 หมายถึงต้องการให้มอเตอร์ดังกล่าวเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร็วที่กำหนด

ตารางต่อไปนี้แสดงความหมายของขาสัญญาณต่างๆตั้งแต่ D0 - D7

ขาสัญญาณ	ความหมาย
D0	สร้างสัญญาณ PULSE กระตุ้นเฟสต่างๆ ของมอเตอร์แกน X
D1	กำหนด LOGIC การทำงานของมอเตอร์ X
D2	สร้างสัญญาณ PULSE กระตุ้นเฟสต่างๆ ของมอเตอร์แกน Y
D3	กำหนด LOGIC การทำงานของมอเตอร์ Y
D4	สร้างสัญญาณ PULSE กระตุ้นเฟสต่างๆ ของมอเตอร์แกน Z
D5	กำหนด LOGIC การทำงานของมอเตอร์ Z

ตาราง 6.1 แสดงความหมายของขาสัญญาณต่างที่ใช้ในการควบคุมชุดขับเคลื่อน STEPPING MOTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างสัญญาณ PULSE ดังที่กล่าวมาแล้วว่า ทำได้โดยการ OUTPUT ค่าของขาสัญญาณสลับไปมาระหว่าง 1 กับ 0 ยกตัวอย่างเช่นถ้าเราต้องการให้มอเตอร์แกน X ทำงาน ก็จะได้ D7 -> D0 เท่ากับ 0 0 0 0 0 0 1 1

และ เท่ากับ 0 0 0 0 0 0 1 0

จะเห็นว่า ขา D0 ถูกเปลี่ยนค่า จาก 1 เป็น 0 (หรือจาก HIGH เป็น LOW) ถ้าเราใช้คำสั่งวนลูปให้ส่งสัญญาณดังกล่าวซ้ำๆกันก็จะได้ PULSE TRAIN ออกมา ซึ่งเราสามารถกำหนดความถี่ของมันได้ โดยเขียนโปรแกรมหน่วงเวลา(DELAY)คั่นไว้ในช่วงของการเปลี่ยนแปลง LOGIC ดังนี้

```
    I = TOTALPULSE;
WHILE I>0
  BEGIN
   OUT      0 0 0 0 0 0 1 1
   DELAY    ? msec.
   OUT      0 0 0 0 0 0 1 0
   DELAY    ? msec.
   I = I - 1;
  END;
```

เนื่องจากคอมพิวเตอร์สามารถ EXCECUTE คำสั่งได้รวดเร็ว จึงถือว่าการทำงานในแต่ละลูปจะขึ้นอยู่กับค่าหน่วงเวลา(DELAY)นั้น โดยปกติแล้วในโปรแกรมภาษาต่างๆจะมีคำสั่ง DELAY นี้ให้ใช้ได้เลยโดยไม่ต้องสร้างโปรแกรมขึ้นมาอีกที สมมติว่าเราให้มีการ DELAY 10 msec. เพราะฉะนั้น ในลูปหนึ่งๆก็จะมีคาบการทำงานเท่ากับ 20 msec. คิดเป็นค่าความถี่ก็เท่ากับ 1/20 kHz. หรือ 50 Hz. ซึ่งก็คือค่าความถี่ของสัญญาณพัลซ์นั่นเอง

ในบางกรณี จำเป็นจะต้องขับมอเตอร์สองแกนหรือสามแกนพร้อมๆกัน ก็สามารถทำได้ไม่ยาก โดยการเขียนคำสั่งวนลูปให้มีการสลับขาสัญญาณกระตุ้นระหว่าง 0 กับ 1 ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาสัญญาณของมอเตอร์ตัวที่เราต้องการให้ทำงาน และให้ขา LOGIC ของมอเตอร์ตัวที่เลือกให้ทำงานมีค่าเท่ากับ 1

สำหรับพอร์ทแอดเดรส 37A ถูกนำมาใช้ในการ DETECT สัญญาณที่มาจาก SENSOR ที่ตรวจจับการเซ็ตตำแหน่งที่จุด ORIGIN ซึ่งจะมีทุกครั้งในช่วงเริ่มต้นการทำงาน ซึ่งเข็มของดอกสว่านจะวิ่งกลับไปอยู่ที่ ORIGIN เสมอ ในที่นี้เลือกใช้ขาสัญญาณ ACK (ACKNOWLEDGE)ซึ่งเป็นขาสัญญาณที่รับการตอบรับจากอุปกรณ์ภายนอกเข้าสู่ PCโดยเฉพาะ เมื่อเริ่มต้นเปิดเครื่องทำงานก็จะให้มอเตอร์แกน Xและ Y ขับให้สว่านเจาะปริ๊นท์วิ่งกลับไปยัง ORIGIN และตรวจสอบสัญญาณที่ส่งมาจาก ACK เสมอ เมื่อใดก็ตามที่สัญญาณถูกส่งมาเป็น"0" ก็หมายความว่ามีการเซ้ตตำแหน่งไปที่จุด ORIGIN เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การเขียนโปรแกรมภาษาซีเพื่อควบคุม STEPPING MOTOR DRIVES และรายละเอียดของการสร้างไฟล์ต้นแบบสำหรับใช้งาน

ภาษาซี (C-LANGUAGE) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่กำลังเป็นที่นิยมอย่างสูงในขณะนี้ เนื่องจากความคล่องตัวและความยืดหยุ่นของการเขียนฟังก์ชั่นการทำงาน ในโครงงานนี้จึงได้เลือกใช้ภาษาซีเป็นซอฟท์แวร์สำหรับเขียนชุดคำสั่งในการควบคุมการทำงาน

คำสั่งการทำงานที่สำคัญที่ใช้ในการควบคุม

OUTPORTB(ADDRESS,DATA); เป็นคำสั่งที่ใช้ในการส่งข้อมูลขนาด 8 BIT ไปยังพอร์ทแอดเดรสที่ระบุไว้ ในที่นี้ใช้ PRINTER PORT ที่มีค่าแอดเดรสเท่ากับ 378 จึงใช้ค่านี้อ้างอิงตลอดในการส่งข้อมูล

INPORTB(ADDRESS,DATA); เป็นคำสั่งที่ใช้รับข้อมูลขนาด 8 BIT จากอุปกรณ์ภายนอกที่มีค่าแอดเดรสดังกล่าวเข้าไปยัง PC

DELAY(msec.); เป็นคำสั่งที่ใช้ในการหน่วงเวลาตามค่าที่ระบุไว้ในวงเล็บ ซึ่งมีค่าเป็นมิลลิวินาที

CLOCK(); เป็นคำสั่งที่ใช้ในการจับเวลาโดยการเก็บค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้ายเอาไว้จากนั้นนำค่าสุดท้ายนี้มาลบออกจากค่าเริ่มต้นแล้วหารด้วย CLK_TCK ก็จะได้ค่าเวลาในหน่วย มิลลิวินาทีออกมา

รายละเอียดของโปรแกรมการควบคุม STEPPING MOTOR DRIVES

โปรแกรมที่เขียนนี้แบ่งเป็นโปรแกรมทดสอบกับโปรแกรมใช้งานจริง โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบชื่อ DRIVE.C และโปรแกรมใช้งานมีชื่อว่า KMITL.C ซึ่งมีรายละเอียดคร่าวๆดังนี้

DRIVE.C

ส่วนแรกจะเป็นการทดลองขับมอเตอร์โดยเลือกมอเตอร์ที่ต้องการขับ และจำนวนพัลซ์ที่ต้องการสเต็ปไป โดยความถี่ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสำหรับแกน X และแกน Y เท่ากับ 100 Hz ส่วนแกน Z เท่ากับ 50 Hz

ส่วนที่สองเป็นการควบคุมโดยใช้คีย์ลูกศร(ARROW KEY) และใช้คีย์ ENTER บังคับแกน Z ให้วิ่งลงมาเจาะแผ่นปริ้นท์และวิ่งกลับไปยังตำแหน่งเดิม

ส่วนที่สาม ส่วนสุดท้ายใช้ในการหาจำนวน STEP/mm. ซึ่งจะทำให้ทราบว่ามีค่าเท่าไรทั้งแกน X และ Y ผลการทดลองดูได้จากหน้าที่ 85

KMITL.C

จะประกอบไปด้วยคำสั่งสร้างไฟล์ต้นแบบในการเจาะปริ้นท์ โดยให้ผู้ใช้กำหนดจุดต่างๆที่ต้องการเจาะ ซึ่งจะมีการบันทึกลงในไฟล์นี้

อีกส่วนหนึ่งเป็นส่วนที่ใช้โหลดไฟล์ต้นแบบขึ้นมา ซึ่งสว่านจะวิ่งไปเจาะในตำแหน่งต่างๆตามที่ค่าในไฟล์ได้ระบุไว้ ซึ่งจะเรียกค่านี้ขึ้นมาอ่านทีละโคออร์ดิเนตจนหมด

ส่วนของหน้าจอจะใช้ GRAPHICS MODE ในการแสดงผลของรูเจาะ และการสร้างเมนูติดต่อกับผู้ใช้

สำหรับรายละเอียดของโปรแกรมแสดงไว้ตั้งแต่หน้า 53 ถึงหน้า 84

การสร้างไฟล์ต้นแบบในการใช้งาน

สำหรับแผ่นปริ้นท์ต้นแบบที่จะนำมาใช้กับโปรแกรมการทำงานนี้ถูกกำหนดให้มีขนาดความกว้างไม่เกิน 20 cm. และความยาวไม่เกิน 30 cm. และขนาดของรูเจาะมีขนาดเดียวตามขนาดของดอกสว่านเท่านั้น สาเหตุที่ต้องมีการกำหนดเช่นนี้ก็เนื่องจากความสามารถในการแสดงผลทาง GRAPHICS บนจอ ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงในโอกาสต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม DRIVE.C

```
/*
   Program For Drive Testing
   By Faculty of Engineering
   King Mongkut's Ladkrabang
*/

#include "stdio.h"
#include "stdlib.h"
#include "conio.h"
#include "dos.h"
#include "time.h"
#define MAXDATA 30
#define FREQ 10

extern void main();
extern void drawbckg();
extern void drive();
extern void data();
extern void arrow();
extern void clipboard();
extern void test();

int a[8]={0,0,0,0,0,0,0,0},x,y,z,data0,data1;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 void main()
{
int i,ans;
textbackground(BLACK);
clrscr();
_setcursortype(_NOCURSOR);
drawbckg();
clipboard();
gotoxy(8,2);
textcolor(LIGHTRED);
cprintf(" ");
textcolor(LIGHTGREEN);
cprintf("STEPPING MOTOR DRIVES");
textcolor(LIGHTRED);
cprintf(" ");
textcolor(BLACK);
gotoxy(7,4);
cprintf("AXIS: 0 = NOT RUN     1 = RUN");
gotoxy(7,6);
cprintf("DIRECTION:  0 = CCW     1=CW");
gotoxy(5,16);
textcolor(BLACK);
cprintf("<<< PRESS ESC FOR ARROW TEST >>>");
textcolor(LIGHTCYAN);
ans=getch();
if(ans!=27)
{
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
gotoxy(5,9);
cprintf("  1. X-AXIS: ");
scanf("%d",&a[0]);
gotoxy(20,9);
cprintf("  2. DIRECTION: ");
scanf("%d",&a[1]);
gotoxy(10,10);
cprintf("TOTAL PULSE: ");
scanf("%d",&x);
gotoxy(5,11);
cprintf("  3. Y-AXIS: ");
scanf("%d",&a[2]);
gotoxy(20,11);
cprintf("  4. DIRECTION: ");
scanf("%d",&a[3]);
gotoxy(10,12);
cprintf("TOTAL PULSE: ");
scanf("%d",&y);
gotoxy(5,13);
cprintf("  3. Z-AXIS: ");
scanf("%d",&a[4]);
gotoxy(20,13);
cprintf("  4. DIRECTION =1");
gotoxy(10,14);
cprintf("TOTAL PULSE=300");
z=200;
gotoxy(5,16);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
textcolor(BLACK);
cprintf("<<< MOTORS ARE OPERATED NOW! >>>");
drive(a[8]);
gotoxy(3,16);
textcolor(BLACK);
cprintf("<<< PRESS ANY KEY FOR ARROW TEST! >>>");
getch();
} //if68..
arrow();
test();
 }


void drive()
{
int i,px,py,pz;

px=x;
py=y;
pz=z;
a[4]=0;
a[5]=1;
data();
i=x-y;
if(i>0)
{
while(px-->0)
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
outportb(0x378,data0);
delay(FREQ);
outportb(0x378,data1);
delay(FREQ);
}
a[2]=0;
data();
while(i-->0)
{
outportb(0x378,data0);
delay(FREQ);
outportb(0x378,data1);
delay(FREQ);
}
i=1;
}
if(i<0)
{
while(py-->0)
{
outportb(0x378,data0);
delay(FREQ);
outportb(0x378,data1);
delay(FREQ);
}
a[0]=0;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
data();
while(i++<0)
{
outportb(0x378,data0);
delay(FREQ);
outportb(0x378,data1);
delay(FREQ);
}
i=1;
}
 if(i==0)
{
while(px-->0)
{
outportb(0x378,data0);
delay(FREQ);
outportb(0x378,data1);
delay(FREQ);
}
}
a[0]=a[2]=0;
a[4]=1;
a[6]=1;
data();
while(pz-->0)
{
outportb(0x378,data0);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    delay(25);
    outportb(0x378,data1);
    delay(25);
    }
    pz=210;
    a[5]=0;
    a[6]=0;
    data();
    delay(1000);
    while(pz-->0)
    {
    outportb(0x378,data0);
    delay(25);
    outportb(0x378,data1);
    delay(25);
    }
    }

void data()
{
 data0=a[6]*64+a[5]*32+a[4]*16+a[3]*8+a[2]*4+a[1]*2+a[0]*1;
 data1=a[6]*64+a[5]*32+a[3]*8+a[1]*2;
}

void arrow()
{
    int cmd='\r',left=0,right=0,top=0,down=0,i;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
textcolor(YELLOW);
clrscr();
clipboard();
gotoxy(3,2);
textcolor(LIGHTRED);
cprintf("  ");
textcolor(LIGHTGREEN);
cprintf("A R R O W  K E Y  C O N T R O L ");
textcolor(LIGHTRED);
cprintf("  ");
gotoxy(6,4);
textcolor(BLACK);
cprintf("<  Press  Arrow  Key  To  Control");
gotoxy(6,5);
cprintf("Direction  And  Press  ESC  For");
gotoxy(12,6);
cprintf("Leaving  Program >");
gotoxy(8,9);
textcolor(LIGHTCYAN);
cprintf("TOTAL STEP REPORT:");
gotoxy(5,10);
cprintf("LEFT  = ");
gotoxy(5,11);
cprintf("RIGHT = ");
gotoxy(5,12);
cprintf("TOP   = ");
gotoxy(5,13);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cprintf("DOWN  = ");
gotoxy(5,14);
cprintf("X-AXIS= ");
gotoxy(5,15);
cprintf("Y-AXIS= ");
while(cmd!=27)
{
gotoxy(15,10);
printf("%d",left);
gotoxy(15,11);
printf("%d",right);
gotoxy(15,12);
printf("%d",top);
gotoxy(15,13);
printf("%d",down);
gotoxy(15,14);
printf("     ");
gotoxy(15,14);
printf("%d",right-left);
gotoxy(15,15);
printf("     ");
gotoxy(15,15);
printf("%d",top-down);

cmd=getch();
if(cmd=='\x0')
{
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        cmd=getch();
        switch(cmd)
        {
        case 'H' :  outportb(0x378,0x04);
    delay(5);
    outportb(0x378,0x00);
    top++;
    break;
        case 'P' :  outportb(0x378,0x0C);
    delay(5);
    outportb(0x378,0x08);
    down++;
    break;

        case 'K' :  outportb(0x378,0x01);
    delay(5);
    outportb(0x378,0x00);
    left++;
    break;

        case 'M' :  outportb(0x378,0x03);
    delay(5);
    outportb(0x378,0x02);
    right++;
    break;

        default  :  break;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
} //switch..
}//if..
if(cmd=='\r')
{
for(i=200;i>=0;i--)
{
outportb(0x378,0x70);
delay(25);
outportb(0x378,0x60);
delay(25);
}
delay(1000);

 for(i=210;i>=0;i--)
{
outportb(0x378,0x10);
delay(25);
outportb(0x378,0x00);
delay(25);
}

}//if
}//while..
}

void clipboard()
  {
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  int i;

 gotoxy(1,1);
 printf("ส");
 gotoxy(41,1);
 printf("ป");
 gotoxy(1,16);
 printf("ค");
 gotoxy(41,16);
 printf("ผ");
 for(i=2;i<=40;i++)
 {
 gotoxy(i,1);
 printf("อ");
 gotoxy(i,16);
 printf("อ");
 gotoxy(i,7);
 printf("ฤ");
 }

 for(i=2;i<=15;i++)
 {
 gotoxy(1,i);
 printf("บ");
 gotoxy(41,i);
 printf("บ");
 }
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
gotoxy(1,7);
printf("ว");
gotoxy(41,7);
printf("ฎ");

}

void test()
{
 int i=0,j,ans;
 float tme;
  struct dta
 {
 int cm;
 float speed;
 int tpulse;
 }data[MAXDATA];

clock_t start,end;


randomize();
while(i<=MAXDATA)
{
clrscr();
data[i].cm= i+random(3);
gotoxy(5,2);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 printf("CHECKING FOR RANGE %d cm.",data[i].cm);
 data[i].tpulse=0;
 start = clock();
while(!kbhit())
{
  outportb(0x378,0x04);
  delay(FREQ);
  outportb(0x378,0x00);
  delay(FREQ);
  ++data[i].tpulse;
 }//while339..
 end = clock();
 tme = (end-start)/CLK_TCK;
 data[i].speed= data[i].cm/tme;
 gotoxy(5,3);
 printf("DATA OK?");
 ans=getch();
 if(ans=='y'||ans=='Y')
 ++i;
 gotoxy(10,5);
 printf("i=%d",i);

 }//while332..
 clrscr();
 gotoxy(5,2);
 printf("DISTANCE");
 gotoxy(15,2);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  printf("SPEED");
  gotoxy(25,2);
  printf("TOTALPULSE");
  gotoxy(35,2);
  printf("R/T");

  for(j=0;j<=i;j++)
 {
  gotoxy(5,3+j);
  printf("%d",data[j].cm);
  gotoxy(15,3+j);
  printf("%3f",data[j].speed);
  gotoxy(25,3+j);
  printf("%d",data[j].tpulse);
  gotoxy(35,3+j);
  printf("%d",data[j].tpulse/data[j].cm);
  }//for338
  getch();
  }


void drawbckg()
{
int i;

textcolor(LIGHTBLUE);
clrscr();
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 for(i=1;i<=240;i++)
 printf("");
 for(i=1;i<=320;i++)
 printf("");
 for(i=1;i<=400;i++)
 printf("");
 for(i=1;i<=480;i++)
 printf("");//
  textcolor(33);
  for(i=1;i<=480;i++)
 cprintf("");
 window(22,6,62,21);
 textbackground(BLACK);
 clrscr();
 window(20,5,60,20);
 textbackground(LIGHTMAGENTA);
 textcolor(YELLOW);
 clrscr();
 }
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม KMITL

```
/*Program for screwing
print
*/
#include "graphics.h"
#include "math.h"
#include "stdio.h"
#include "conio.h"
#include "alloc.h"
#include "stdlib.h"
#define  ESC 27


 int grdriver=DETECT,grmode,lt,rt,ld,rd,posx,posy,sumx=0,sumy=0;
 void  *img;


 extern void  cursor();     //cursor movement..
 extern void  new_file();
 extern void  editor();     //make window of board..
 extern void  main();
 extern void  load_file();
 extern void  background();
 extern void  drawblock(); //draw clipboard...


    void main()
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
 int x,y,slct;
 initgraph(&grdriver,&grmode,"");
 slct=menu();
 switch(slct)
 {

 case 1: load_file();
 break;
 /*
 case 2: edit();
 break;
 */
 case 3: new_file();
 break;
 /*
 case 4: restore();
 break;
 */
 default: break;
 }
 closegraph();
 }


menu()
{
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int x,y,y1=250,y0=250;
char dcs='\0';
//WINDOW..
x=getmaxx();
y=getmaxy();
setfillstyle(CLOSE_DOT_FILL,LIGHTBLUE);
bar(20,20,x-20,y-20);
setlinestyle(SOLID_LINE,1,NORM_WIDTH);
rectangle(15,15,x-15,y-15);
settextstyle(TRIPLEX_FONT,HORIZ_DIR,8);
setfillstyle(SOLID_FILL,BLACK);
bar(100,45,570,190);
setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTBLUE);
bar(80,30,550,175);
setcolor(RED);
outtextxy(100,35,"K");
outtextxy(200,35,"M");
outtextxy(300,35,"I");
outtextxy(400,35,"T");
outtextxy(500,35,"L");
settextstyle(SANS_SERIF_FONT,HORIZ_DIR,3);
outtextxy(100,135,"<<< PRINT BOARD CUTTING TOOLS >>>");

//ANNOUCE..
setfillstyle(SOLID_FILL,BLACK);
bar(100,215,340,445);
setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTBLUE);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
bar(80,205,320,430);
setcolor(BLUE);
settextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,5);
outtextxy(100,210,"WELCOME TO PCB'S SOFTWARE");
setlinestyle(SOLID_LINE,1,NORM_WIDTH);
line(85,225,315,225);
outtextxy(82,250,"Please consider these condition");
outtextxy(82,260,"before using the program...");
outtextxy(85,300,">> Max.Length of Board =30 cm");
outtextxy(85,320,">> Max.Width of Board  =20 cm");
outtextxy(85,340,">> Only One Hole's Size");
setfillstyle(SOLID_FILL,YELLOW);
bar(85,400,305,415);
outtextxy(92,400,"#Press Any Key To Continue#");
//MENU..
setfillstyle(SOLID_FILL,BLACK);
bar(385,220,570,445);
setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTBLUE);
bar(365,205,550,430);
settextstyle(TRIPLEX_FONT,HORIZ_DIR,4);
outtextxy(415,210,"MENU");
settextstyle(SANS_SERIF_FONT,HORIZ_DIR,4);
setcolor(BLUE);
outtextxy(385,250,"LOAD FILE");
outtextxy(385,285,"EDIT");
outtextxy(385,320,"NEW FILE");
outtextxy(385,355,"RESTORE");
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
outtextxy(385,390,"QUIT");
getch();
setcolor(YELLOW);
outtextxy(385,250,"LOAD FILE");
setcolor(BLUE);
outtextxy(385,285,"EDIT");
outtextxy(385,320,"NEW FILE");
outtextxy(385,355,"RESTORE");
outtextxy(385,390,"QUIT");

while(dcs!='\r')
{
dcs=getch();
if(dcs=='\x0')
{
dcs=getch();
switch(dcs)
{
case'H' : y1=y0-35;
  if(y1<250)
  y1=390;
  break;
case'P' : y1=y0+35;
  if(y1>390)
  y1=250;
  break;
default : break;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }   //switch..
        x=385;
        switch(y0)
        {
        case 250:  setcolor(BLUE);
   outtextxy(x,y0,"LOAD FILE");
   break;
        case 285: setcolor(BLUE);
   outtextxy(x,y0,"EDIT");
   break;
        case 320: setcolor(BLUE);
   outtextxy(x,y0,"NEW FILE");
   break;
        case 355: setcolor(BLUE);
   outtextxy(x,y0,"RESTORE");
   break;
        case 390: setcolor(BLUE);
   outtextxy(x,y0,"QUIT");
   break;
        default : break;
        } //switch..
       switch(y1)
        {
        case 250: setcolor(YELLOW);
  outtextxy(x,y1,"LOAD FILE");
  break;
        case 285: setcolor(YELLOW);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
outtextxy(x,y1,"EDIT");
break;
      case 320: setcolor(YELLOW);
outtextxy(x,y1,"NEW FILE");
break;
      case 355: setcolor(YELLOW);
outtextxy(x,y1,"RESTORE");
break;
      case 390: setcolor(YELLOW);
outtextxy(x,y1,"QUIT");
break;
      default : break;
      } /*switch*/
      y0=y1;
      } /*if*/
      }  /*while loop*/
      y1= (y1- 215)/35;
      return(y1);
      }


  void new_file()
   {
   int length,width,cmd='\r',i,j,px,py;
   char *name,*cx,*cy;
   FILE *fp;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 restorecrtmode();
 background();
 window(18,10,66,15);
 textbackground(BLACK);
 clrscr();
 window(16,9,64,14);
 textbackground(CYAN);
 textcolor(WHITE);
 clrscr();
 drawblock();
 gotoxy(5,2);
 printf("Enter New File Name: ");
 scanf("%8s",name);
 gotoxy(5,3);
 printf("Length Of Board(cm): ");
 scanf("%d",&length);
 gotoxy(5,4);
 printf("Width Of Board(cm): ");
 scanf("%d",&width);

  if(length<=30&&width<=20)
{
//OPEN FILE...
fp=fopen(name,"w");
fprintf(fp,"PCB_FILE %d %d#",length,width);
setgraphmode(grmode);
clearviewport();
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
editor(name,width,length);
setfillstyle(SOLID_FILL,RED);
rectangle(468,404,612,479);
bar(470,405,610,478);
line(468,425,612,425);

setcolor(WHITE);
outtextxy(480,410,"CURRENT POSITION");
outtextxy(480,435,"X =          mm.");
outtextxy(480,460,"Y =          mm.");
setcolor(YELLOW);
outtextxy(100,420,"<<PRESS ESC FOR LEAVING WORKSHEET>>");
//DRAW CURSOR
setcolor(RED);
line(lt+5,rt+10,lt+15,rt+10);
line(lt+10,rt+5,lt+10,rt+15);
img=malloc(imagesize(0,0,10,10));
getimage(lt+5,rt+5,lt+15,rt+15,img);
posx=lt+10;
posy=rt+10;
i=posx-lt;
j=posy-rt;

while(cmd!=ESC)
{
cmd=getch();
if(cmd=='\x0')
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        {
        cmd=getch();
        switch(cmd)
        {
        case 'H' :  sumy=-1;
 if(posy>rt)
 {
 posy=posy+sumy;
 j=j+sumy;
 cursor();
 }
 break;
     case 'P' :  sumy=1;
 if(posy<rd)
 {
 posy=posy+sumy;
 j=j+sumy;
 cursor();
 }
 break;
     case 'K' :  sumx=-1;
 if(posx>lt)
 {
 posx=posx+sumx;
 i=i+sumx;
 cursor();
 }
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        break;
        case 'M' :  sumx=1;
    if(posx<ld)
    {
    posx=posx+sumx;
    i=i+sumx;
    cursor();
    }
    break;
        default  :  break;
        } //switch..
        px=i/6;
        py=j/6;
        itoa(px,cx,10);
        itoa(py,cy,10);
        setcolor(RED);
        bar(520,430,550,478);
        setcolor(WHITE);
        outtextxy(535,435,cx);
        outtextxy(535,460,cy);
        } //if..
        if(cmd=='\r')
        {
        putpixel(posx,posy,WHITE);
        fprintf(fp,"(%d,%d)",i,j);
        }
        } //while..
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    fprintf(fp,"(0,0)");
    fclose(fp);
    } //if..

    else
    {
    clrscr();
    gotoxy(8,3);
    printf("THE SPECIFICATION VALUE IS TOO HIGH!");
    gotoxy(11,5);
    printf("ก  Prees Any Key To Continue ก");
    getch();
    }
    }



void editor(char *wsh,int wd,int lnth)
{
int x,y;
char *w=*(wsh+8),*l=*(w+8);

x=getmaxx();
y=getmaxy();
settextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,5);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 setcolor(RED);
 line(0,0,0,440);
 line(0,440,x,440);
 outtextxy(5,450,"WORKSHEET: ");
 outtextxy(150,450,"WIDTH:      cm");
 outtextxy(275,450," LENGTH:      cm");
 itoa(wd,w,10);
 itoa(lnth,l,10);
 setcolor(GREEN);
 outtextxy(90,450,wsh);
 outtextxy(210,450,w);
 outtextxy(350,450,l);
 x=(x-lnth*20)/2;      //set block in proper position..
 y=(y-wd*20)/2-30;
 setfillstyle(SOLID_FILL,CYAN);
 rectangle(x,y,x+lnth*20,y+wd*20);
 lt=x;
 rt=y;
 ld=x+lnth*20;
 rd=y+wd*20;
 }


void cursor()
{
 putimage(posx-sumx-5,posy-sumy-5,img,XOR_PUT);
 putimage(posx-5,posy-5,img,XOR_PUT);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  sumx=0;
  sumy=0;
 }



 void load_file()
 {
 char *fnme,*psw;
 int lngth,wdth,px,py;
 FILE *fs;

 restorecrtmode();
 background();
 window(18,10,66,15);
 textbackground(BLACK);
 clrscr();
 window(16,9,64,14);
 textcolor(WHITE);
 textbackground(CYAN);
 clrscr();
 drawblock();
 gotoxy(5,2);
 printf("Enter File Name: ");
 scanf("%8s",fnme);

fs=fopen(fnme,"r");
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 if(fs!=NULL)
 {
 fscanf(fs,"%8s",psw);
 if(strcmp(psw,"PCB_FILE")==0)
 {
 gotoxy(5,3);
 printf("Already Install File Name %8s OK!",fnme);
 delay(50);
 gotoxy(10,5);
 printf("ฦ  Prees Any Key To Continue ฦ ");
 getch();
 fseek(fs,9,SEEK_SET);
 fscanf(fs,"%d",&lngth);
 fseek(fs,1,SEEK_CUR);
 fscanf(fs,"%d",&wdth);
 setgraphmode(grmode);
 editor(fnme,wdth,lngth);

do
{
fseek(fs,2,SEEK_CUR);
fscanf(fs,"%d",&px);
fseek(fs,1,SEEK_CUR);
fscanf(fs,"%d",&py);
px=px+lt;
py=py+rt;
putpixel(px,py,LIGHTRED);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
while((px-lt!=0)&&(py-rt!=0));

getch();
fclose(fs);
} //if
}//if
else
{
gotoxy(10,5);
printf("\n  Can't Find File Name %s  \n",fnme);
}
}

void background()
{
int i=2078;

textcolor(BLUE);
clrscr();

do
{
printf("\xB2");
}
while(i-->=0);
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void drawblock()
{
int i;

gotoxy(1,1);
printf("ษ");
gotoxy(49,1);
printf("ป");
gotoxy(1,6);
printf("ศ");
gotoxy(49,6);
printf("ผ");
for(i=2;i<=48;i++)
{
gotoxy(i,1);
printf("อ");
gotoxy(i,6);
printf("อ");
}

for(i=2;i<=5;i++)
{
gotoxy(1,i);
printf("บ");
gotoxy(49,i);
printf("บ");
}
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบเพื่อหาค่า STEP/mm. ของชุดขับ

แกน X

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
1	104	10.4
1	104	10.4
1	110	11.0

ค่าเฉลี่ย = 10.6 STEP/mm.

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
2	209	10.45
2	211	10.55
2	210	10.50

ค่าเฉลี่ย = 10.5 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
3	317	10.56
3	318	10.60
3	317	10.56

ค่าเฉลี่ย = 10.57 STEP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
5	526	10.52
5	526	10.52
5	525	10.50

ค่าเฉลี่ย = 10.51 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
7	735	10.50
7	735	10.50
7	728	10.40

ค่าเฉลี่ย = 10.46 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
10	1050	10.50
10	1048	10.48
10	1050	10.50

ค่าเฉลี่ย = 10.49 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
13	1367	10.55
13	1368	10.52
13	1372	10.53

ค่าเฉลี่ย = 10.52 STEP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
15	1584	10.56
15	1579	10.52
15	1585	10.56

ค่าเฉลี่ย = 10.55 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
17	1792	10.54
17	1790	10.52
17	1791	10.53

ค่าเฉลี่ย = 10.53 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
20	2104	10.52
20	2104	10.52
20	2104	10.51

ค่าเฉลี่ย = 10.52 STEP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกน Y

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
1	136	10.3
1	136	10.3
1	136	11.3

ค่าเฉลี่ย = 10.3 STEP/mm.

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
2	211	10.55
2	219	10.95
2	219	10.90
2	220	11.00

ค่าเฉลี่ย = 10.8 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
3	331	11.03
3	331	11.03
3	349	11.63
3	346	11.53
3	346	11.53

ค่าเฉลี่ย = 11.35 STEP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
5	527	10.54
5	557	11.14
5	561	11.22

ค่าเฉลี่ย = 10.95 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
7	768	10.97
7	768	10.97
7	768	10.97

ค่าเฉลี่ย = 10.97 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
10	1081	10.81
10	1083	10.83
10	1083	10.83

ค่าเฉลี่ย = 10.82 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
13	1419	10.91
13	1420	10.92
13	1420	10.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ย = 10.92 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
15	1635	10.96
15	1634	10.89
15	1634	10.89

ค่าเฉลี่ย = 10.89 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
17	1853	10.90
17	1855	10.91
17	1853	10.90

ค่าเฉลี่ย = 10.90 STEP

ระยะ(cm.)	จำนวนพัลส์	STEP/mm.
20	2181	10.90
20	2181	10.90
20	2183	10.91

ค่าเฉลี่ย = 10.91 STEP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
สรุปและวิจารณ์

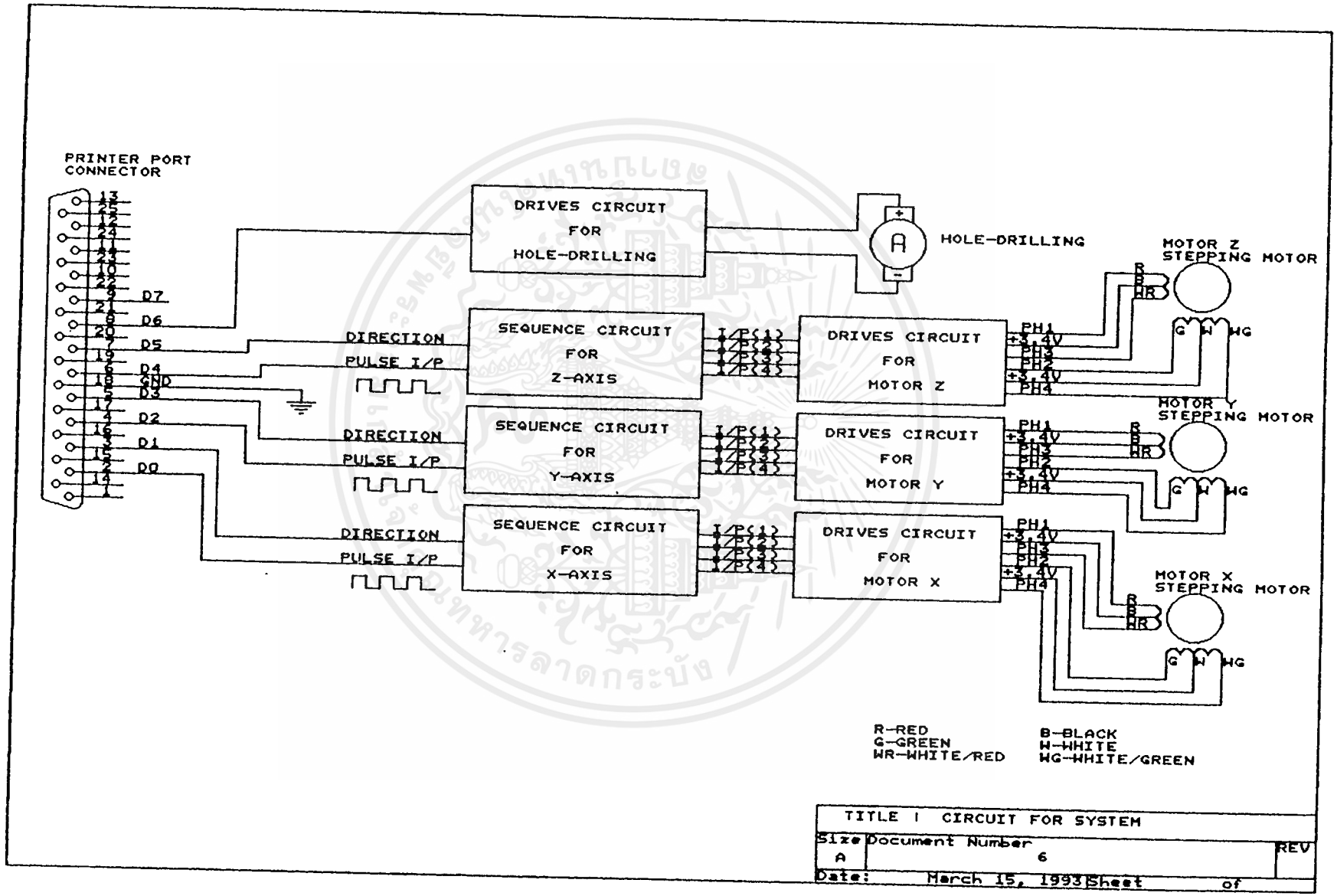
จากการทดลองสร้างเครื่องเจาะปริ๊นท์ซึ่งมีโครงสร้างและมิติดังรูป 8.1 หน้าถัดไป ซึ่งได้ทำการทดสอบคุณสมบัติในการเจาะเมื่อใช้ร่วมกับชุดวงจรควบคุม ได้ผลการทดสอบดังที่เห็นได้จากท้ายบทที่ 7 จากการทดสอบจะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนน่าจะมาจากการตรวจสอบด้วยสายตาซึ่งจะต้องทำการตรวจสอบหลายๆครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียง

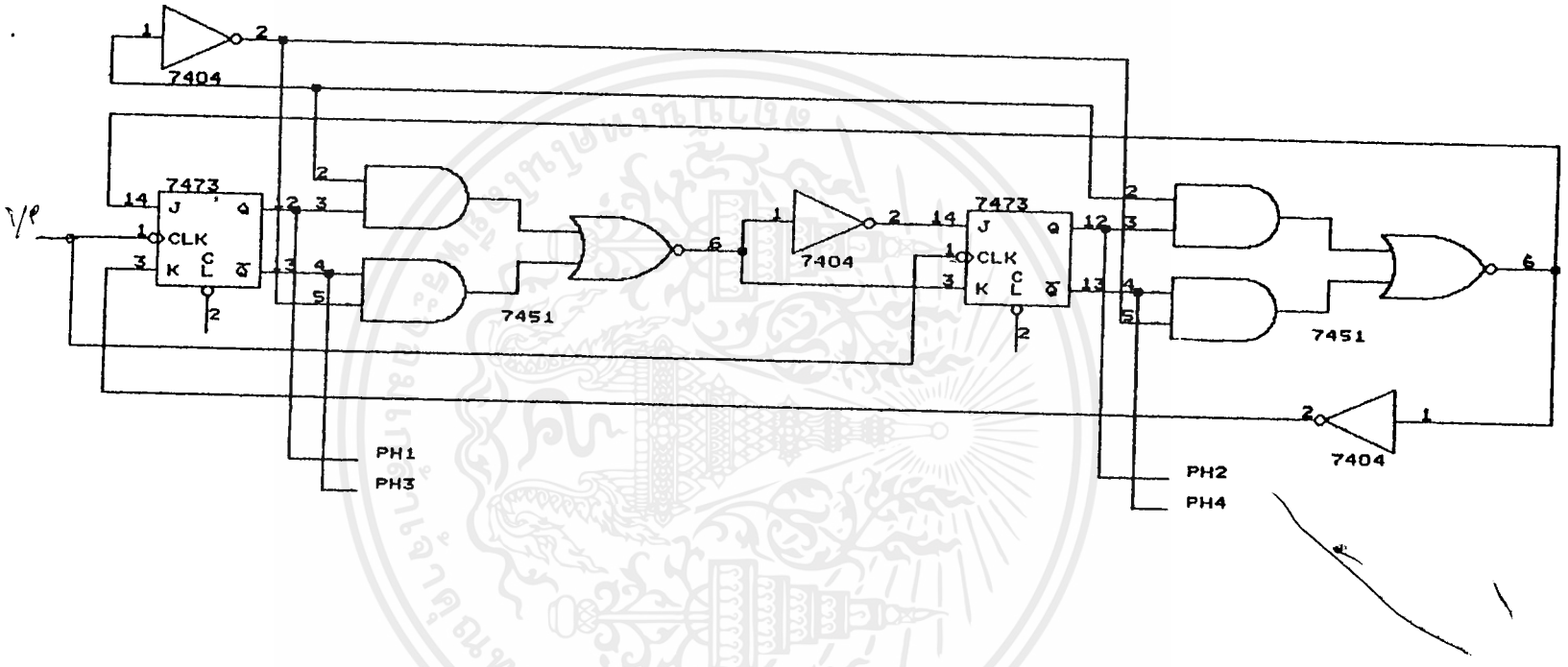
ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเคลื่อนที่ทางแกน X และ Y นั้น ใน 1 mm. จะต้องใช้จำนวนสเต็ปถึง 10.52 และ 10.95 ตามลำดับ หรือประมาณ 1 สเต็ปต่อ 0.1 mm. ซึ่งถือว่ามีความละเอียดมาก

และเมื่อใช้โปรแกรมทำงานจริงทดลองสร้างไฟล์ต้นแบบ ทดลองให้มีการทำงานสร้างแผ่นใหม่ที่เหมือนแผ่นต้นแบบจะได้เห็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้ส่วนหนึ่งมาจาก ชุดขับเคลื่อนทางกล และส่วนหนึ่งมาจากสัญญาณรบกวน แต่จากผลการทดลองในเบื้องต้นก็ยังเป็นที่น่าพอใจ และน่าที่จะเป็นโครงงานที่ควรจะทำต่อเนื่องต่อไป เพื่อแก้ไขส่วนบกพร่องดังกล่าว ก็จะได้เครื่องเจาะปริ๊นท์ที่สมบูรณ์แบบ สามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

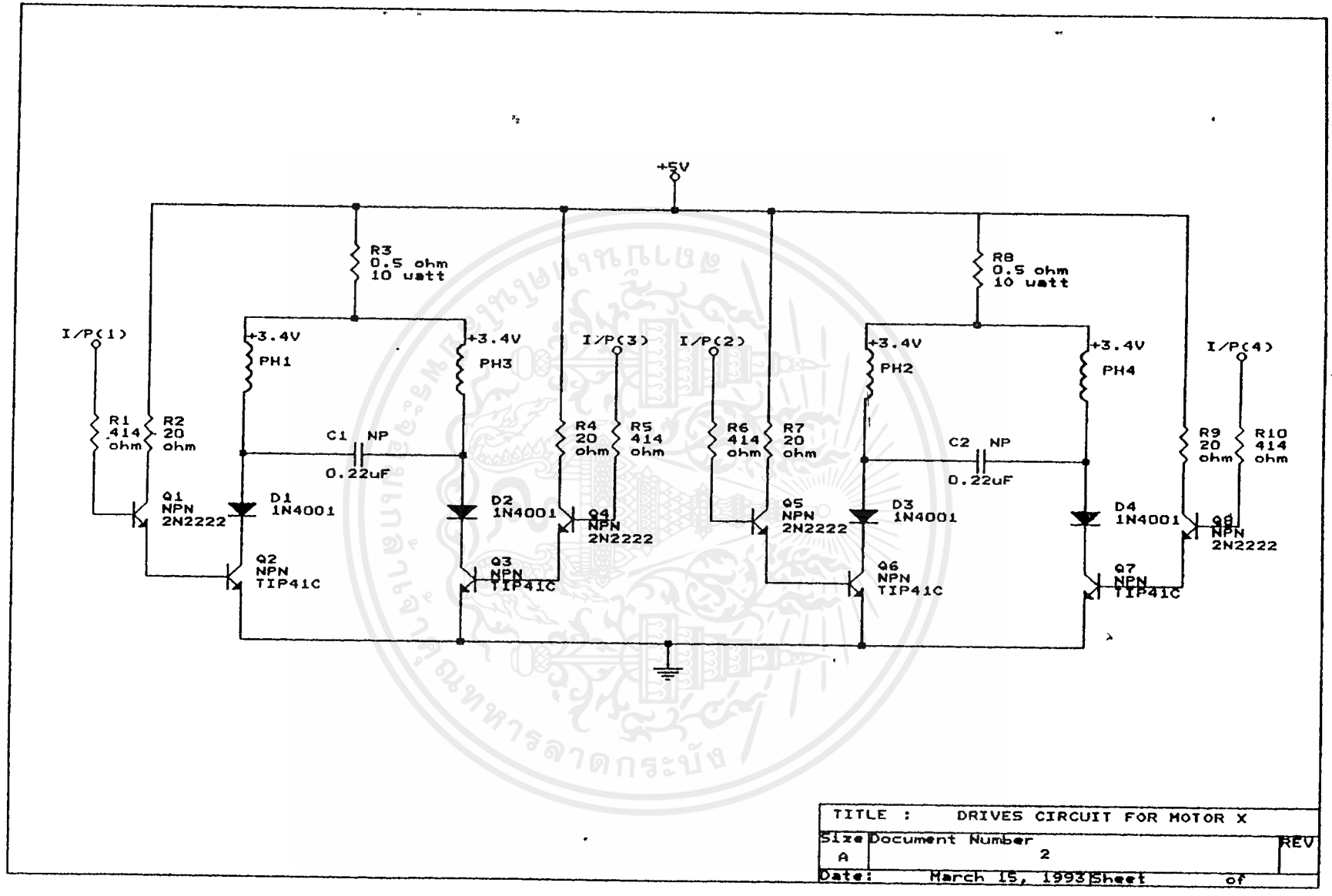
อนึ่ง ในการออกแบบชุดเจาะปริ๊นท์นี้ ได้ทำการลดทอนวงจรควบคุมภายนอกออกไปอย่างมากและใช้การควบคุมโดยการเขียนโปรแกรมขึ้นมาแทน ซึ่งมีข้อดีในแง่ของความประหยัดและความแน่นอนในการปฏิบัติงาน

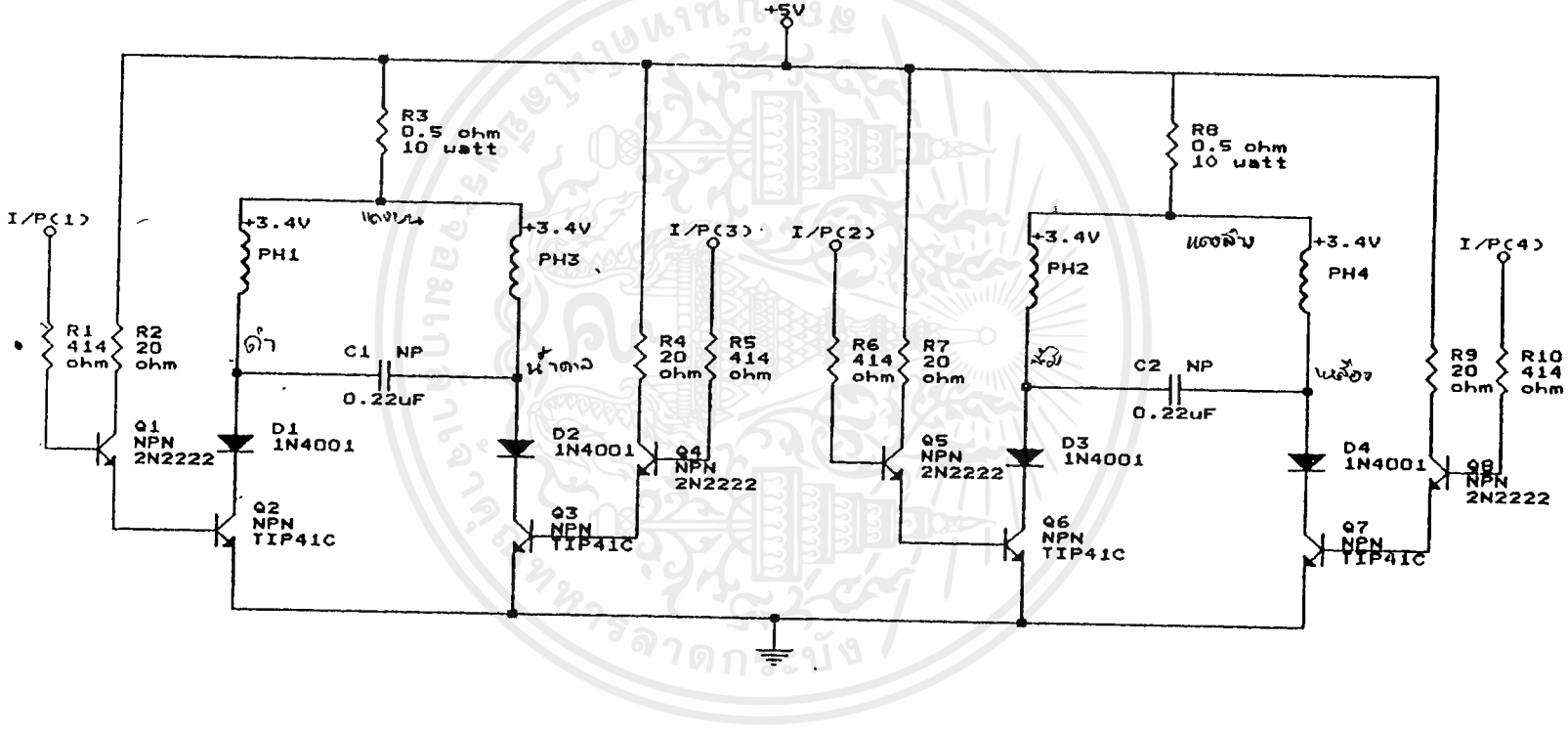
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


PRINTER PORT CONNECTOR
D7
D6
D5
D4
GND
D3
D2
D1
D0
DRIVES CIRCUIT FOR HOLE-DRILLING
HOLE-DRILLING
DIRECTION
PULSE I/P
SEQUENCE CIRCUIT FOR Z-AXIS
DRIVES CIRCUIT FOR MOTOR Z
MOTOR Z STEPPING MOTOR
SEQUENCE CIRCUIT FOR Y-AXIS
DRIVES CIRCUIT FOR MOTOR Y
MOTOR Y STEPPING MOTOR
SEQUENCE CIRCUIT FOR X-AXIS
DRIVES CIRCUIT FOR MOTOR X
MOTOR X STEPPING MOTOR
PH1
PH3
PH2
PH4
+5.4V
R-RED
G-GREEN
WR-WHITE/RED
B-BLACK
W-WHITE
WG-WHITE/GREEN
TITLE : CIRCUIT FOR SYSTEM
Size A
Document Number 6
REV
Date: March 15, 1993
Sheet of

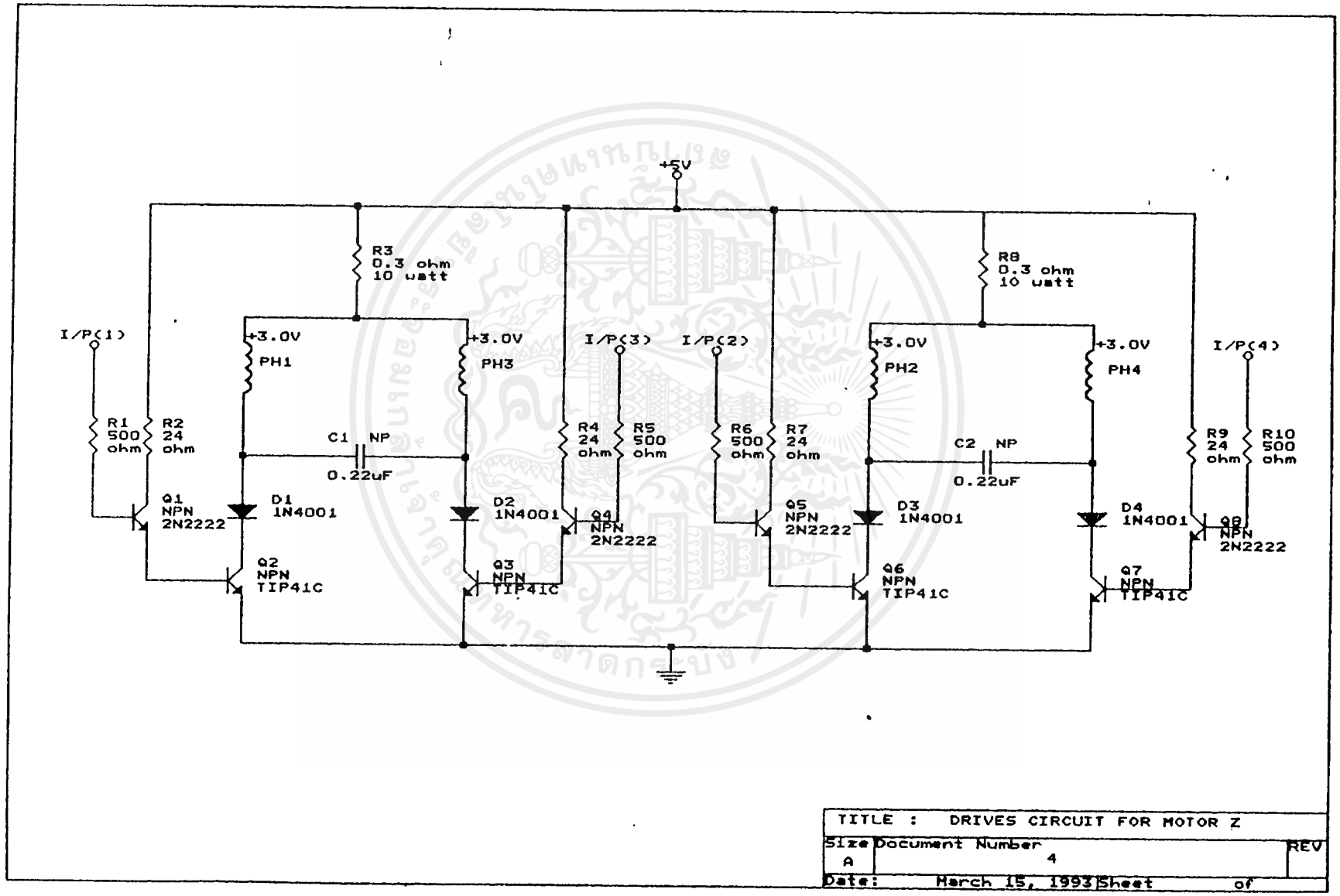


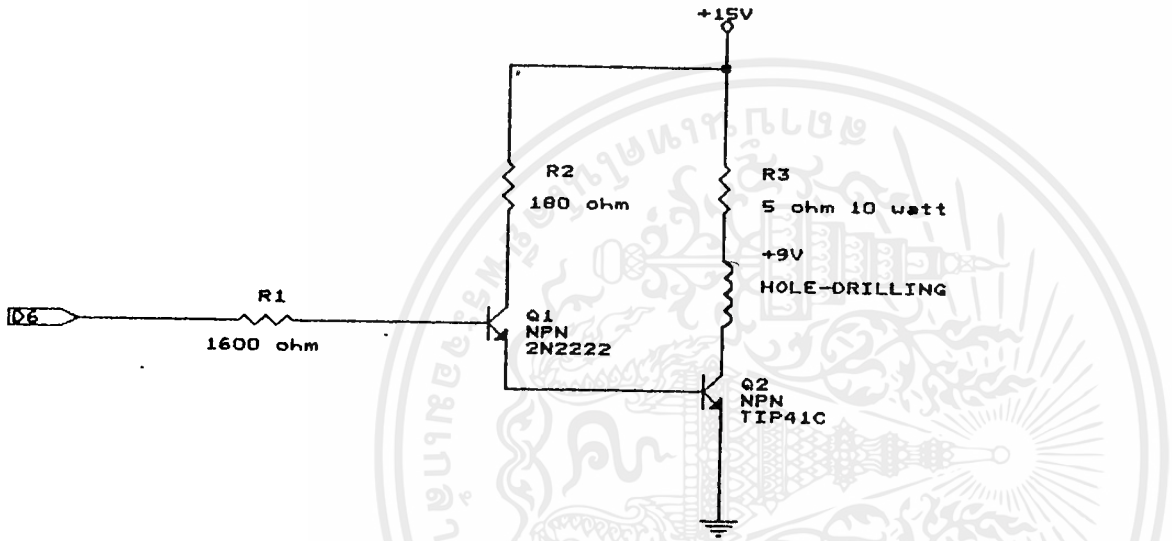
TITLE: SEQUENCE CIRCUIT FOR X , Y, Z-AXIS		
Size A	Document Number 1	REV
Date: March 15, 1993	Sheet of	


+5V
R3
0.5 ohm
10 watt
R8
0.5 ohm
10 watt
I/P(1)
+3.4V
PH1
+3.4V
PH3
I/P(3)
I/P(2)
+3.4V
PH2
+3.4V
PH4
I/P(4)
R1
414
ohm
R2
20
ohm
C1 NP
0.22uF
R4
20
ohm
R5
414
ohm
R6
414
ohm
R7
20
ohm
C2 NP
0.22uF
R9
20
ohm
R10
414
ohm
Q1
NPN
2N2222
D1
1N4001
D2
1N4001
Q4
NPN
2N2222
Q5
NPN
2N2222
D3
1N4001
D4
1N4001
Q8
NPN
2N2222
Q2
NPN
TIP41C
Q3
NPN
TIP41C
Q6
NPN
TIP41C
Q7
NPN
TIP41C
TITLE : DRIVES CIRCUIT FOR MOTOR X
Size
A
Document Number
2
REV
Date: March 15, 1993
Sheet of



TITLE : DRIVES CIRCUIT FOR MOTOR Y		
Size: A	Document Number: 3	REV
Date: March 15, 1993	Sheet of	


+5V
R3
0.3 ohm
10 watt
R8
0.3 ohm
10 watt
I/P(1)
I/P(3)
I/P(2)
I/P(4)
+3.0V
PH1
+3.0V
PH3
+3.0V
PH2
+3.0V
PH4
R1
500
ohm
R2
24
ohm
C1 NP
0.22uF
R4
24
ohm
R5
500
ohm
R6
500
ohm
R7
24
ohm
C2 NP
0.22uF
R9
24
ohm
R10
500
ohm
Q1
NPN
2N2222
D1
1N4001
D2
1N4001
Q4
NPN
2N2222
Q5
NPN
2N2222
D3
1N4001
D4
1N4001
Q8
NPN
2N2222
Q2
NPN
TIP41C
Q3
NPN
TIP41C
Q6
NPN
TIP41C
Q7
NPN
TIP41C
TITLE : DRIVES CIRCUIT FOR MOTOR Z
Size A
Document Number 4
REV
Date: March 15, 1993
Sheet of



TITLE : DRIVES CIRCUIT FOR HOLE-DRILLING		
Size A	Document Number 5	REV
Date: March 15, 1993	Sheet of	

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบคุณผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์จนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
ห้องไมโครคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงาน
คุณพงเทพ ชุติวิทูรชัย ที่ให้คำแนะนำ

ท้ายที่สุดนี้ ขอมอบให้เพื่อนๆร่วมรุ่น 28 ทุกคนที่ได้มีโอกาสร่วมเรียนด้วยกันมาตลอดระยะเวลา 4 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. นภดล อรชร, นลิน พิพิธวรรณ, สามารถ เล้าเจริญสมบัติ "ชุดขับเคลื่อนสเตปปิ้งมอเตอร์สำหรับการควบคุมการทำงานตำแหน่ง x-y KMIT'L, 1991

2. พงเทพ ชุติวิฑูรชัย, มงคล สุขาภิรมณ์, วิชัย วัชรินทร์พร, "Stepping Motor Drive, KMIT'L, 1991 TK 2985.K9 ช4

3. Takashi Kenjo, "Sepping Motors and their Microprocessor controls", The University of Press, 1986

4. C.K. Taft, R.G. Gauthier," stepping motor system design and analysis, University of New Hamshire, 1988

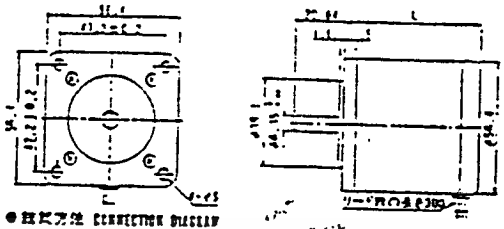
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STEPPING MOTORS HB(HYBRID)type

●ステッピングモータ HB(ハイブリッド)型

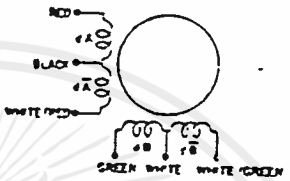
●外形寸法 DIMENSIONS(mm)

Fig.1 EPS5EKW,EPS5EKM,EPS5EUW,EPS5EMW



●接続方法 CONNECTION DIAGRAM

Fig.2



●標準仕様 STANDARD SPECIFICATIONS

型 式 名 MODEL		EPS5EKW1	EPS5EKW2				EPS5EKM1	EPS5EKM2			
		-S01	-S01	-S02	-S03	-S04	-S01	-S01	-S02	-S03	-S04
相 数	PHASE	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ステップ角	STEP ANGLE deg/STEP	0.9	1.8	1.8	1.8	1.8	0.9	1.8	1.8	1.8	1.8
定 電 圧	VOLTAGE V	12	2.25	5	12	24	5	1.4	5	12	24
定 電 流	CURRENT A/PHASE	0.4	1.6	0.75	0.4	0.2	1.0	3.8	1.0	0.43	0.21
巻 線 抵 抗	RESISTANCE Ω/PHASE	30	1.4	5	30	120	5	0.37	5	28	115
インダクタンス	INDUCTANCE mH/PHASE	40	1.45	7	30	95	8.5	0.63	9	44	167
最大静止トルク	HOLDING TORQUE kgf·cm	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
ディテントトルク	DETENT TORQUE g·cm	300	300	300	300	300	300	450	450	450	450
ローターイナーシャ	ROTOR INERTIA g·cm²	60	60	60	60	60	110	110	110	110	110
質 量	WEIGHT kg	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
外形寸法 DIMENSIONS	Fig.	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	L寸法 L LENGTH mm	38	38	38	38	38	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8
結 線 方 法	CONNECTION DIAGRAM Fig	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
絶 縁 種 別	INSULATION CLASS	B					B				
絶 縁 抵 抗	INSULATION RESISTANCE	500V DC 100MΩ min.					500V DC 100MΩ min.				
絶 縁 耐 力	DIELECTRIC STRENGTH	500V 50Hz 1min.					500V 50Hz 1min.				
使用周囲温度	AMBIENT TEMPERATURE °C	−10~50					−10~50				
温 度 上 昇	TEMPERATURE RISE deg	80					80				
リード線仕様	LEADS SPECIFICATION	AWG #27 UL3265					AWG #27 UL3265				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้