สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

COMPONENT PLACER MACHINE

T046205

โดย

นายศุภกร สมัยทองเจริญ

นายสิทธิพงษ์ วงศ์น้ำคำ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46205
วัน, เดือน, ปี 21 ส.ค. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

COMPONENT PLACER MACHINE

โดย

นายศุภกร สมัยทองเจริญ 41014430

นายสิทธิพงษ์ วงศ์น้ำคำ 41014460

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
(COMPONENT PLACER MACHINE)

ผู้จัดทำ

1. นายศุภกร สมัยทองเจริญ เลขประจำตัว 41014430
2. นายสิทธิพงษ์ วงศ์น้ำคำ เลขประจำตัว 41014460

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

COMPONENT PLACER MACHINE

จัดทำโดย นายศุภกร สมัยทองเจริญ เลขประจำตัว 41014430

นายสิทธิพงษ์ วงศ์น้ำคำ เลขประจำตัว 41014460

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

โครงงานนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

ลงชื่อ.....

(อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

นายศุภกร สมัยทองเจริญ
นายสิทธิพงษ์ วงศ์น้ำคำ
อ.พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ทำเครื่องต้นแบบของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อศึกษาการทำงาน โดยนำ stepping motor มาใช้ในการขับเคลื่อนแกนทั้ง 3 เนื่องจาก stepping motor มีความแม่นยำสูง และสามารถควบคุมได้ง่าย โดยโปรแกรมผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS 51 ซึ่งสามารถปรับให้มีความละเอียดสูงถึง 0.1 มิลลิเมตรในพิกัดของการวางอุปกรณ์ ส่วนในการใช้งานได้ออกแบบให้สามารถวางอุปกรณ์ได้ในพื้นที่ขนาด 15×15 ตารางเซนติเมตร และยังสามารถ interface กับคอมพิวเตอร์ได้ด้วยโปรแกรม Visual Basic 6 ทางพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPONENT PLACER MACHINE

Supakorn Samaithongjareon

Sittipong Wongnumcum

Mr. Phollasat Leutphaseut(Advisor)

Educational Year 2001

ABSTRACT

This project presents a pre-model machine for placing component machine for the study and has development of the system. We chose to use stepping motor for movement in 3 axises because it highly accurate and could be controlled with MCS-51 microcontroller programing. We interfaced with computer by positioning the component with the number which will be input to software then the value of numbers from processing will be sent MCS-51. This is just a model using solenoid instead of the air vacuum.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	IV
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 รายละเอียดโดยย่อของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ประโยชน์หรือผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น	3
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมอเตอร์	3
2.2 หลักการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์	5
2.2.1 คุณลักษณะทางสถิตย์ (Static Characteristics)	6
2.2.2 คุณลักษณะทางพลวัต (Dynamic Characteristics)	8
2.3 ประเภทของสเตปปิงมอเตอร์	10
2.3.1 สเตปปิงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	10
2.3.2 สเตปปิงมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานของสนามแม่เหล็กได้	11
2.3.3 สเตปปิงมอเตอร์แบบไฮบริดจ์	12
2.4 วงจรขับสำหรับสเตปปิงมอเตอร์	14
2.4.1 การใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับวงจรขับ	15
2.4.2 การใช้วงจรขับแบบใช้แรงดันไฟฟ้าสองระดับ	17
2.4.3 การใช้วงจรขับแบบชอปเปอร์	18
2.4.4 การใช้วงจรขับแบบบริดจ์	19
2.5 การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเตปปิงมอเตอร์	21
2.5.1 การกระตุ้นสเตปปิงมอเตอร์แบบเวฟ (Wave)	21
2.5.2 การกระตุ้นสเตปปิงมอเตอร์แบบสองเฟส	21
2.5.3 การกระตุ้นสเตปปิงมอเตอร์แบบครึ่งสเตป	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 หลักการพื้นฐานของการส่ง รับค่าทางพอร์ตอนุกรม 23
2.6.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส 23
2.6.2 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS 232 23
2.6.3 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ 24
บทที่ 3 การออกแบบและหลักการทำงาน 26
3.1 การออกแบบด้านโครงสร้าง 26
3.1.1 การเลือกวัสดุ 26
3.1.2 การออกแบบชิ้นงานส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง 27
3.2 การออกแบบและหลักการทำงานของวงจรขับสเตปปิงมอเตอร์ 28
3.3 การออกแบบส่วนรับค่าพิกัดของตัวอุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์ 31
3.4 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์ 32
บทที่ 4 การเขียนโปรแกรม 37
บทที่ 5 ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง 63
กิตติกรรมประกาศ 67
บรรณานุกรม 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 3
ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 4
ภาพที่ 2.3 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ตัวหมุนเป็นแม่เหล็กถาวร 4
ภาพที่ 2.4 แสดงการหมุนที่เป็นแบบสเตป 5
ภาพที่ 2.5 แสดงการหมุนที่เป็นแบบต่อเนื่อง 6
ภาพที่ 2.6 แสดงกราฟคุณลักษณะของแรงบิดต่อมุมสเตป 7
ภาพที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์คุณลักษณะแรงบิดต่อกระแส 8
ภาพที่ 2.8 แสดงกราฟคุณลักษณะพลวัตของสเตปปิงมอเตอร์ 9
ภาพที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของสเตปปิงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร 4 เฟส 10
ภาพที่ 2.10 แสดงโครงสร้างสเตปปิงมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานสนามแม่เหล็ก 11
ภาพที่ 2.11 แสดงตำแหน่งของสถานะที่สมดุลเมื่อเกิดการกระตุ้นที่เฟสใดเฟสหนึ่ง 12
ภาพที่ 2.12 แสดงหน้าตัดของมอเตอร์ 4 เฟส ที่มีฟันโรเตอร์ 50 ซี่ มุมสเตป 1.8 ^{o} 12
ภาพที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของสเตปปิงมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ 13
ภาพที่ 2.14 แสดงภาพการวางโรเตอร์ตามยาวเพื่อใช้สำหรับสร้างสนามแม่เหล็กขั้วเดียวกัน 13
ภาพที่ 2.15 แสดงหลักการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ 14
ภาพที่ 2.16 แสดงวงจรสมมูลย์ของสเตปปิงมอเตอร์ 14
ภาพที่ 2.17 แสดงการใช้ความต้านทานต่ออนุกรมกับขดลวดของสเตปปิงมอเตอร์ 15
ภาพที่ 2.18 แสดงวงจรขับกำลังซึ่งใช้ไดโอด-ความต้านทาน 16
ภาพที่ 2.19 แสดงผลการเพิ่มตัวเก็บประจุขนานกับความต้านทาน 16
ภาพที่ 2.20 แสดงวงจรขับสเตปปิงมอเตอร์แบบแรงดันไฟฟ้าสองระดับ 17
ภาพที่ 2.21 แสดงวงจรขับแบบชอปเปอร์ 18
ภาพที่ 2.22 แสดงวงจรขับแบบบริดจ์ที่ใช้ไดโอดเพื่อป้องกันยอดแหลม 19
ภาพที่ 2.23 แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสของการขับสเตปปิงมอเตอร์แบบสองภาวะ 20
ภาพที่ 2.24 แสดงวงจรขับแบบบริดจ์อีกแบบหนึ่งซึ่งใช้แหล่งจ่ายไฟเดียว 20
ภาพที่ 2.25 แสดงคอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขาและการต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ 24
ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างโดยรวมของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.2 แสดงชิ้นงานส่วนสำคัญต่าง ๆ ของเครื่อง 27
ภาพที่ 3.3 แสดงวงจรขับของสเตปปิงมอเตอร์ของแกน X ขับเคลื่อน 29
ภาพที่ 3.4 แสดงวงจรขับสเตปปิงมอเตอร์ของแกนY และ Z เพียง 1 เฟส 30
ภาพที่ 3.5 แสดงวงจรขับกระแสของส่วนหัวดูด Solenoid 30
ภาพที่ 3.6 แสดงโปรแกรมที่ใช้รับค่าตำแหน่งทางคอมพิวเตอร์ 31
ภาพที่ 3.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์ด้วย MCS 51 32
ภาพที่ 3.8 ผังแสดงกระบวนการทำงานโดยรวมของขั้นตอนการวางในแต่ละตำแหน่ง 33
ภาพที่ 3.9 ผังแสดงกระบวนการเลื่อนหัวดูดไปที่ตำแหน่งอุปกรณ์ 34
ภาพที่ 3.10 ผังแสดงขั้นตอนการเลื่อนแกน X และ Y ไปยังพิกัดที่ต้องการ 35
ภาพที่ 3.11 ผังแสดงขั้นตอนการเลื่อนแกน Z ขึ้น-ลง 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ	22
ตารางที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบสองเฟส	22
ตารางที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเตป	23
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองการหาระยะทางต่อสเตปของมอเตอร์แกน X	63
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองการหาระยะทางต่อสเตปของมอเตอร์แกน Y	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายถึงกระบวนการ และวิธีการในการออกแบบเครื่องต้นแบบของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้นำเอาสเตปปิงมอเตอร์ (Stepping Motor)มาใช้งานในด้านการขับเคลื่อนแกน X แกนY และแกน Z ของเครื่อง รวมทั้งภาพแสดงประกอบเพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีเบื้องต้นที่มีความจำเป็น ภาพชิ้นงานของส่วนต่าง ๆ ของเครื่องที่ใช้ประกอบกันขึ้นมาเป็นเครื่อง วงจรขับสเตปปิงมอเตอร์ และบล็อกไดอะแกรมที่แสดงการเชื่อมโยงระหว่างตัวเครื่องกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์และรวมทั้งผลการทดสอบการศึกษาการทำงานของเครื่องนี้ โดยเนื้อหาของรายงานได้มีการแบ่งออกเป็นบทต่างๆ รายละเอียดของรายงานแต่ละบทมีดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎี จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและหลักการพื้นฐานของมอเตอร์ประเภทต่าง ๆ รวมทั้งสเตปปิงมอเตอร์เป็นสำคัญ โดยมีการอธิบายถึงส่วนของวงจรขับแบบต่าง ๆ การควบคุมและการกระตุ้นการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์ เป็นต้น

บทที่ 3 การออกแบบ จะกล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบส่วนต่างๆของเครื่อง ซึ่งจะแบ่งออกเป็นทางด้านโครงสร้าง และทางด้านโปรแกรม

บทที่ 4 การเขียนโปรแกรม จะกล่าวถึงส่วนของโปรแกรมทั้งหมดที่ใช้ในการควบคุมการขับเคลื่อนของทั้ง 3 แกนรวมทั้งส่วนที่ใช้ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วย

บทที่ 5 ผลการทดสอบเครื่องและสรุปผล จะกล่าวถึงการทดสอบการทำงานความเที่ยงตรงและแม่นยำของเครื่อง

1.1 รายละเอียดโดยย่อของโครงงาน

ในการสร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นเริ่มจากการศึกษาทางด้านโครงสร้างของเครื่อง โดยเทียบแนวทางกับเครื่องพอร์ตเตอร์ในตอนแรก เมื่อเกิดความเข้าใจและได้แนวความคิดเกี่ยวกับตัวโครงสร้างของเครื่องแล้วก็จะทำการคำนวณขนาดที่เหมาะสมและออกแบบทีละชิ้นส่วนอย่างละเอียด และทำการสร้างชิ้นงานแต่ละชิ้นขึ้นมาประกอบกันจนได้ส่วนโครงสร้างตามที่ต้องการมา จากนั้นก็ส่วนของมอเตอร์เริ่มจากการเลือกสเตปปิงมอเตอร์ที่สามารถขับตัวโครงสร้างที่ได้ทำการสร้างไว้แล้วได้ แล้วออกแบบวงจรขับสเตปปิงมอเตอร์และส่วนที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมควบคุมกระบวนการวางอุปกรณ์รวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งโปรแกรมที่ส่วนที่ใช้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ เมื่อได้ส่วนต่าง ๆ ข้างต้นมาแล้วก็จะทำการเขียนโปรแกรมทางส่วนคอมพิวเตอร์ด้วย Visual Basic 6 ในการส่งค่าของพิกัดที่จะวางอุปกรณ์ทางพอร์ตอนุกรม จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติความเที่ยงตรง และความแม่นยำของเครื่องโดยมีการกำหนดพื้นที่การทำงานและลักษะของตัวอุปกรณ์ไว้ดังนี้ คือ มีพื้นที่การทำงานอยู่ที่ 15×15 ตารางเซนติเมตร และขนาดของตัวอุปกรณ์ที่จะวางมีปริมาตร 3×5×1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้ คือ การสร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องวางอุปกรณ์เล็กทรอนิกส์เพื่อการศึกษาการทำงาน โดยใช้สเตปปิงมอเตอร์ที่สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้เพื่อที่จะสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรมอื่น ๆ ได้โดยง่าย

1.3 ประโยชน์หรือผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ

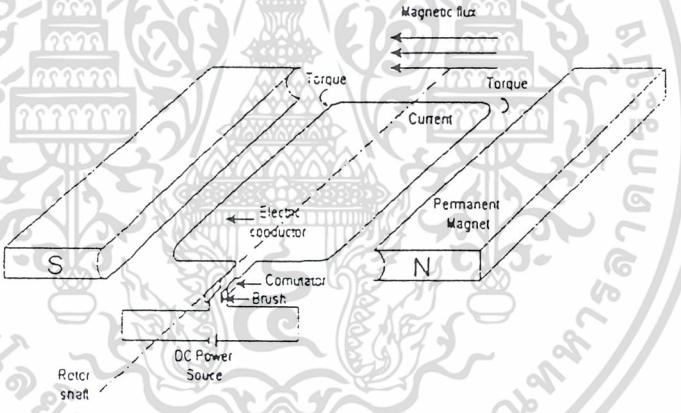
ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องของสเตปปิงมอเตอร์อย่างถ่องแท้และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านอื่น ๆ ได้ และจากแนวความคิดที่จะได้จากเรื่องโครงสร้าง เรื่องสเตปปิงมอเตอร์ และทางด้านโปรแกรมอาจจะนำไปสู่การพัฒนาความสามารถในการทำเครื่องวางที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นสามารถพัฒนาเครื่องให้สามารถวางได้ละเอียดแม่นยำโดยอาจจะไม่ต้องใช้กล้องจับภาพ หรือวางได้เร็วขึ้น และยังอาจจะสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องประเภทอื่น ๆ ได้ เพราะในแกน Z สามารถเปลี่ยนได้ เช่น เครื่องเจาะ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมอเตอร์

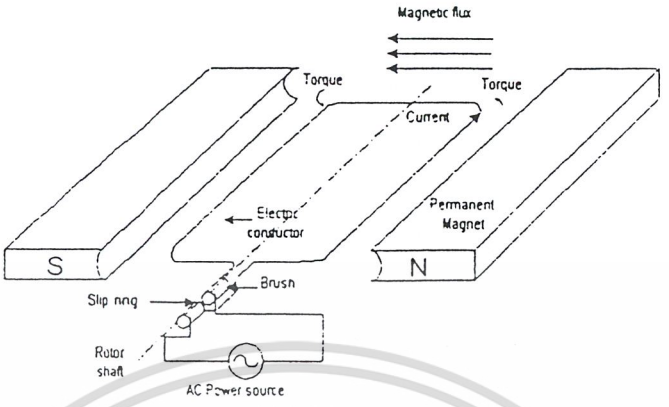
มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ดังที่แสดงในภาพที่ 2.1 เป็นภาพโครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งในการหมุนและการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับตัวหมุน (DC Power Source) โดยที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับตัวหมุนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



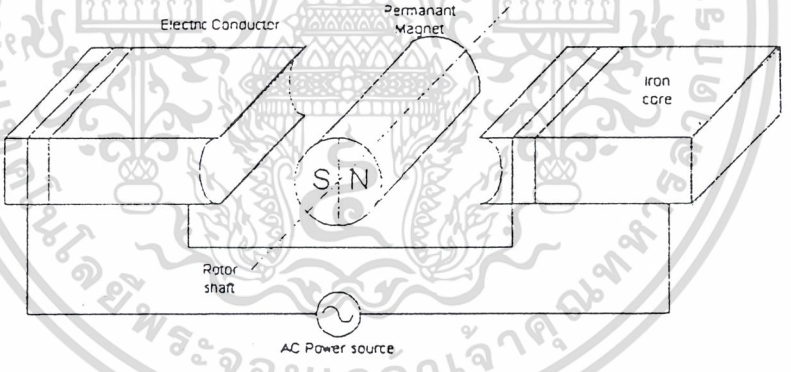
ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ภาพที่ 2.2 และ ภาพที่ 2.3 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับนั้นจะใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับมอเตอร์ (AC Power Source) ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ที่ป้อน โดยในภาพที่ 2.2 จะแสดงให้เห็นถึงตัวหมุนที่เป็นลวดตัวนำ ส่วนภาพที่ 2.3 จะแสดงลักษณะของตัวหมุนที่เป็นแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ



ภาพที่ 2.3 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ตัวหมุนเป็นแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านนั้นจะอาศัยโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับตามภาพที่ 2.3 โดยใช้วงจรขับควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดตัวนำในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้สอดคล้องกับการหมุนของตัวหมุนที่เป็นแม่เหล็กถาวร

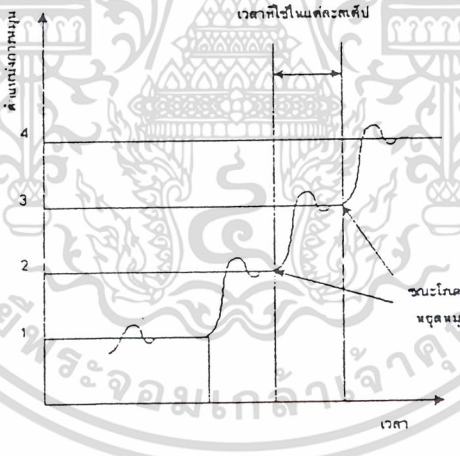
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปริญญานิพนธ์นี้ได้มีการนำสเตปปิงมอเตอร์มาใช้งานในด้านการขับเคลื่อนแกนของเครื่องต้นแบบ ดังนั้นเพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับสเตปปิงมอเตอร์ เนื้อหาที่จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไปจึงเป็นเรื่องของหลักการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์

2.2 หลักการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์

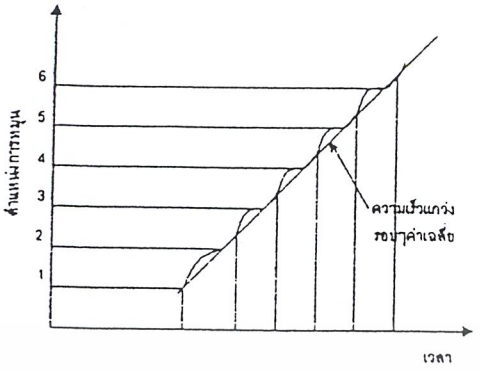
สเตปปิงมอเตอร์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นการเคลื่อนที่ทางกล จึงเหมาะสำหรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ทางดิจิตอลหรือคอมพิวเตอร์ การทำงานของสเตปปิงมอเตอร์ในลำดับที่ถูกต้องด้วยวงจรจัดลำดับลอจิกและกระแสที่เพียงพอด้วยวงจรขับซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

การทำงานของสเตปปิงมอเตอร์ตามอัตราเร็วของแต่ละสเตปจะแบ่งออกเป็น 2 โหมดการทำงาน คือ โหมดของการหมุนเป็นสเตป (Discrete Mode) และโหมดของการหมุนแบบต่อเนื่อง (Slewing Mode)



ภาพที่ 2.4 แสดงการหมุนที่เป็นแบบสเตป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 แสดงการหมุนที่เป็นแบบต่อเนื่อง

จากภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะการหมุนแบบสเตปซึ่งมีเวลาหยุดนิ่งก่อนที่จะเปลี่ยนไปเป็นสเตปถัดไป ดังนั้นหากมีการเพิ่มอัตราเร็วในแต่ละสเตปให้เร็วขึ้นโดยเป็นไปอย่างต่อเนื่อง การหมุนของสเตปปิงมอเตอร์ก็จะเป็นแบบต่อเนื่องดังในภาพที่ 2.5 ในการนำสเตปปิงมอเตอร์ไปใช้งานไม่ว่าจะเป็นโหมดการทำงานแบบใดหรือจะเป็นสเตปปิงมอเตอร์แบบไหน ควรจะมีการศึกษาถึงคุณลักษณะต่างๆของสเตปปิงมอเตอร์ เช่น แรงบิด การตอบสนองต่อความถี่สูงสุด และความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงบิดกับค่าของกระแส ทั้งนี้เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งคุณลักษณะเหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

2.2.1 คุณลักษณะทางสถิตย์ (Static Characteristics)

คุณลักษณะทางสถิตย์ หมายถึง คุณลักษณะในสภาวะที่มอเตอร์หยุดนิ่งไม่มีการเคลื่อนไหวซึ่งตำแหน่งที่มีความสมดุลของการหมุนมากที่สุดก็คือ ตำแหน่งที่ซี่ฟันของโรเตอร์และซี่ฟันของสเตเตอร์มีความสัมพันธ์อยู่ในแนวเดียวกัน และยังคงอยู่ในตำแหน่งนี้จนกว่าจะมีการกระตุ้นอีกครั้ง โดยที่ตำแหน่งสมดุลของโรเตอร์มีค่าของแรงบิดเท่ากับศูนย์ ซึ่งถ้าโรเตอร์มีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง มอเตอร์ก็จะทำการสร้างสมดุลให้กับโหลดโดยการสร้างแรงบิดในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ ผลของแรงบิดกับการเคลื่อนที่ของโรเตอร์จะมีลักษณะคล้ายกับรูปคลื่นซายน์

แรงบิดสูงสุดที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับกระแสที่จ่ายให้เฟสนั้น ๆ โดยที่แรงบิดนี้ เรียกว่า สภาพคงแรงบิด (Holding Torque) หรือ แรงบิดสถิตย์ (Static Torque) และคุณลักษณะความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างค่าของแรงบิดกับค่าของกระแสที่เปลี่ยนแปลงไปจะเป็นลักษณะเชิงเส้น

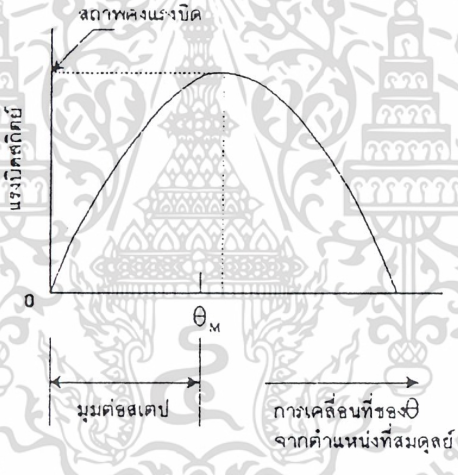
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ก็จะมีขีดจำกัดอยู่ที่จุดอิ่มตัวแม่เหล็กของทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแม่เหล็กโดยที่จุดอิ่มตัวนี้จะไม่มีการเพิ่มขึ้นของแรงบิดแม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของกระแสเฟสก็ตาม

คุณลักษณะทางสถิตย์จะแสดงความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

(ก) คุณลักษณะของแรงบิดกับมุมสเตป (T/θ Characteristics)

ภาพที่ 2.6 จะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและตำแหน่งเชิงมุมของโรเตอร์ แรงบิดสถิตย์สูงสุดที่เกิดขึ้น เรียกว่า สภาพคงแรงบิดที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง $\theta = \theta_m$ ตำแหน่งที่เกิดสภาพคงแรงบิดขั้นมูลฐานทั้งหมดของมอเตอร์ แสดงถึงแรงบิดที่มีการสะสมอยู่ที่ตัวมอเตอร์โดยจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของโรเตอร์ แรงบิดสถิตย์จะมีจุดเริ่มต้นที่สภาพคงแรงบิด

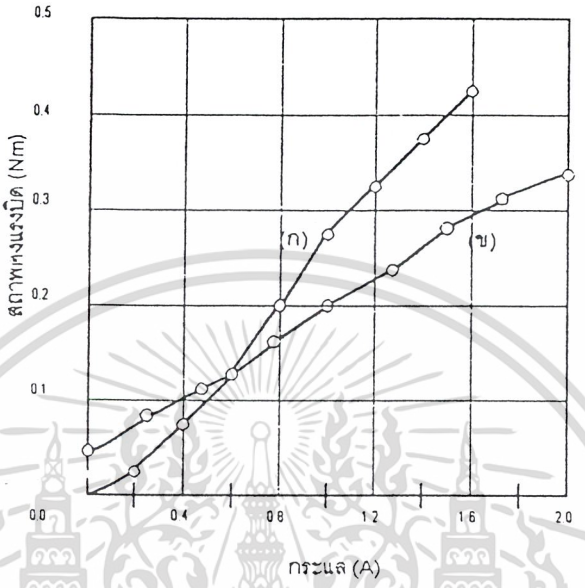


ภาพที่ 2.6 แสดงกราฟคุณลักษณะของแรงบิดต่อมุมสเตป

(ข) คุณลักษณะแรงบิดต่อกระแส (T/I Characteristics)

ภาพที่ 2.7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สภาพคงแรงบิดกับกระแสที่จ่ายให้กับเฟสต่าง ๆ ของสเตปปิงมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) คือสเตปปิงมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานทางแม่เหล็ก 4 เฟส โดยมีมุมสเตป 1.8°

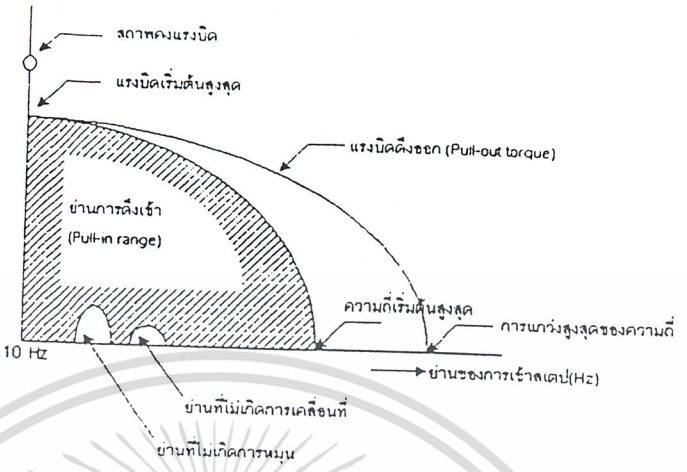
(ข) คือไฮบริดจ์มอเตอร์ 4 เฟส มีมุมสเตป 1.8°

ภาพที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์คุณลักษณะแรงบิดต่อกระแส

2.2.2 คุณลักษณะทางพลวัต (Dynamic Characteristics)

ในการพิจารณาคุณลักษณะสถิตย์ของแรงบิดของสเตปปิงมอเตอร์ จะพิจารณาก็ต่อเมื่อไม่มีการเคลื่อนที่ของเพลามอเตอร์ แต่การพิจารณาคุณลักษณะทางพลวัตของสเตปปิงมอเตอร์นั้น จะมองถึงความสามารถในการสร้างแรงบิดที่สัมพันธ์กับความเร็วโดยสามารถศึกษาได้จากคู่มือ (Data Sheet) ของบริษัทผู้ผลิต ดังตัวอย่างในภาพที่ 2.8 ซึ่งจะบอกถึงรายละเอียดการใช้งานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 แสดงกราฟคุณลักษณะพลวัตของสเตปปิงมอเตอร์

จากภาพที่ 2.8 คุณลักษณะของแรงบิดดึงเข้า (Pull-in Torque) เป็นคุณลักษณะเริ่มต้นและจะอ้างอิงกับย่านของแรงบิดที่เกิดจากแรงเสียดทานของโหลดที่ซึ่งมอเตอร์สามารถเคลื่อนที่และหยุดได้โดยปราศจากการสูญเสียในสเตป สำหรับย่านความถี่ต่าง ๆ ที่ใช้นั้น จำนวนของพัลส์ที่ใช้ในการทดสอบจะอยู่ในช่วง 100 เฮิรตซ์ หรือใกล้เคียง

ส่วนคุณลักษณะของแรงบิดดึงออก (Pull-out Torque) สำหรับพิจารณาคุณลักษณะในขณะที่มอเตอร์เคลื่อนที่ หลังจากที่ได้ทำการทดสอบมอเตอร์ให้เคลื่อนที่โดยใช้วงจรขับเคลื่อนลักษณะพิเศษ ในกรณีของการกระตุ้นในย่านของการเคลื่อนที่ด้วยตนเอง (Self Starting Range) ความถี่ของพัลส์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เกิดการเคลื่อนที่โดยปราศจากการเข้าจังหวะ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่เกิดจากแรงเสียดทานของโหลดกับความถี่พัลส์สูงสุดจะทำให้มอเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างมีการเข้าจังหวะ ซึ่งเรียกว่า คุณลักษณะดึงออก ดังภาพที่ 2.8 โดยที่ขนาดของเส้นโค้งดึงออกจะขึ้นอยู่กับวงจรขับ การต่อเชื่อมเครื่องมือที่ใช้ในการวัด (Measuring Instruments) และเงื่อนไขอื่น

ความถี่สูงสุดที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (Maximum Starting Frequency) เป็นการกำหนดการควบคุมความถี่สูงสุดให้มอเตอร์เคลื่อนที่และหยุดได้ในขณะที่ไม่มีโหลดโดยปราศจากการสูญเสียทางสเตป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

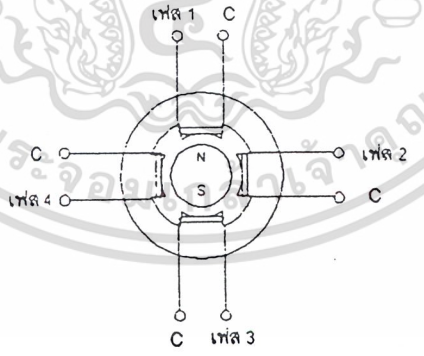
ระดับสูงสุดของอัตราการดึงออก (Maximum Pull-out Rate) เป็นการกำหนดค่าความถี่สูงสุดในขณะที่มอเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อไม่มีโหลดโดยปราศจากการสูญเสียทางสเตปเช่นกัน

ส่วนแรงบิดสูงสุดที่เกิดจากการเคลื่อนที่ (Maximum Starting Torque) เรียกว่า แรงบิดดึงเข้าสูงสุด และเป็นการกำหนดค่าของแรงบิดที่เกิดจากแรงเสียดทานสูงสุดของโหลด ซึ่งทำให้มอเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างเข้าจังหวะกับพัลส์ที่มีความถี่ต่ำประมาณ 10 เฮิรตซ์

2.3 ประเภทของสเตปปิงมอเตอร์

2.3.1 สเตปปิงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Stepping Motor)

สเตปปิงมอเตอร์ชนิดนี้จะใช้แม่เหล็กถาวรเป็นโรเตอร์ และมีซี่ฟันของสเตเตอร์ล้อมรอบดังภาพที่ 2.9 เป็นตัวอย่างสเตปปิงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร 4 เฟส โดยที่โรเตอร์เป็นทรงกระบอก สเตเตอร์มีซี่ฟัน 4 ซี่ โดยที่แต่ละซี่จะมีขดลวดพันโดยรอบเพื่อทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อต้องการให้สเตปปิงมอเตอร์ชนิดนี้มีขนาดมุมสเตปเล็กลงจะต้องเพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์หรือจำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ แต่ก็มีขีดจำกัดในการเพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีโครงสร้างแบบมีขั้วแม่เหล็กหลาย ๆ ขั้วนั้นทำได้ยาก



ภาพที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของสเตปปิงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร 4 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทั่วไปของมอเตอร์แบบนี้ก็คือโรเตอร์จะถูกยึดอยู่กับที่แม้ว่าจะไม่มีการกระตุ้นเฟสลักษณะเช่นนี้เรียกว่า ดีเทนท์แมคคานิคซั่ม (Detent Mechanism) ข้อเสียของสเตปปิงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรคือมีขนาดมุมสเตปใหญ่ทำให้ความละเอียดของสเตปต่อรอบต่ำมากเนื่องจากว่าโครงสร้างของมอเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร การสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีหลายขั้วทำได้ยากดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้ไม่สามารถสร้างสเตปให้มีขนาดเล็กลงได้ สเตปปิงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างขนาดเล็กทำให้ค่าแรงบิดที่ได้ต่อปริมาตรมีค่าต่ำ ถ้าต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องของแรงบิด แม่เหล็กถาวรที่ใช้ต้องทำมาจากสารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กสูง

2.3.2 สเตปปิงมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานของสนามแม่เหล็กได้ (Variable Reluctance Stepping Motor)

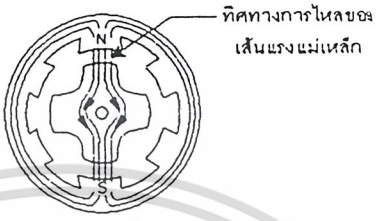
สเตปปิงมอเตอร์ชนิดนี้เราสามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วีอาร์สเตปปิงมอเตอร์ (VR Stepping Motor) โดยที่โครงสร้างจะมีโรเตอร์และสเตเตอร์ที่ทำมาจากโลหะซิลิคอน ซึ่งเป็นสารแม่เหล็กที่มีสภาพซึมซาบทางแม่เหล็ก (Permeability) สูงและสามารถให้เส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านได้มากโดยโรเตอร์จะติดอยู่กับแกนของมอเตอร์และสเตเตอร์จะติดอยู่กับโครงของตัวมอเตอร์

ภาพที่ 2.10 แสดงโครงสร้างสเตปปิงมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานสนามแม่เหล็ก

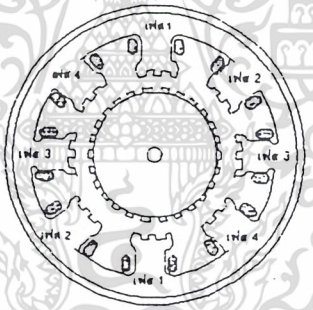
ภาพที่ 2.10 เป็นภาพตัดขวางของสเตปปิงมอเตอร์ซึ่งเป็นมอเตอร์ 3 เฟส โดยที่โรเตอร์มีซี่ฟัน 4 ซี่ และสเตเตอร์จะมีซี่ฟัน 6 ซี่ อยู่ในตำแหน่งตรงข้ามและทำมุม 180 องศา ต่ออนุกรมหรือขนานกันก็ได้ แต่ในภาพต่อในลักษณะอนุกรม จะเห็นว่าฟันของสเตเตอร์ 2 ซี่ที่มีเฟสเดียวกันจะมีขั้วแม่เหล็กตรงข้ามซึ่งกันและกัน ส่วนภาพที่ 2.11 แสดงตำแหน่งของสถานะที่สมดุลเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการกระตุ้นที่เฟสใดเฟสหนึ่งของมอเตอร์ และภาพที่ 2.12 แสดงการลดขนาดมุมสเตปลงซึ่งทำได้โดยการเพิ่มจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์ให้มากขึ้น



ภาพที่ 2.11 แสดงตำแหน่งของสถานะที่สมดุลเมื่อเกิดการกระตุ้นที่เฟสใดเฟสหนึ่ง



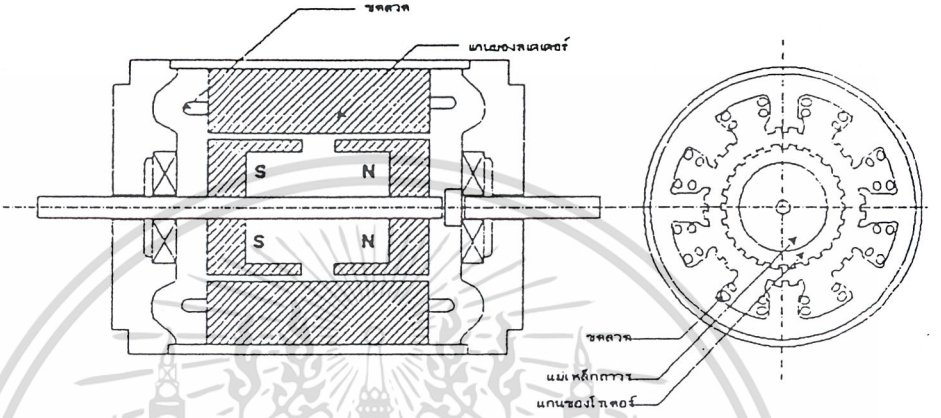
ภาพที่ 2.12 แสดงหน้าตัดของมอเตอร์ 4 เฟส ที่มีฟันโรเตอร์ 50 ซี่ มุมสเตป 1.8 °

2.3.3 สเตปปิงมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ (Hybrid Stepping Motor)

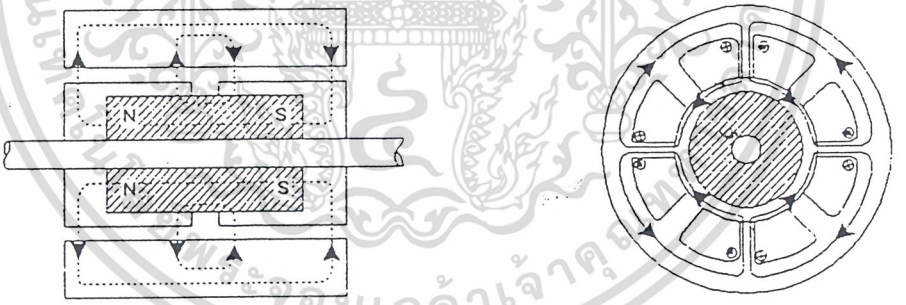
เป็นสเตปปิงมอเตอร์ที่มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร การใช้ชื่อว่าไฮบริดจ์ได้มาจากการรวมหลักสำคัญของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร และแบบแปรค่าความต้านทานของสนามแม่เหล็กได้เข้าด้วยกัน สเตปปิงมอเตอร์แบบไฮบริดจ์จะมีโครงสร้างของสเตเตอร์คล้ายกับโครงสร้างของสเตปปิงมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานแม่เหล็กได้ ซึ่งจะมีขดลวดอยู่ 2 ขด และขดลวดทั้ง 2 จะพันอยู่ที่เดียวกันในลักษณะของสองภาวะขั้ว (Bipolar) ซึ่งจะทำให้ขั้วแม่เหล็กมีความต่างกันขณะที่มีการกระตุ้นแต่ละครั้ง แสดงได้ดังภาพที่ 2.13 ลักษณะที่สำคัญอีกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งของสเตปปิงมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ ตัวโรเตอร์จะเป็นแม่เหล็กถาวร รูปร่างทรงกระบอกตามยาวอยู่ในแกนเหล็กของโรเตอร์ เพื่อใช้สร้างสนามแม่เหล็กขั้วเดียว ดังแสดงในภาพที่ 2.14 โดยที่แต่ละขั้วของแม่เหล็กจะถูกล้อมรอบด้วยฟันเหล็กอ่อน ฟันของโรเตอร์กับสเตเตอร์จะอยู่ในตำแหน่งที่เหลื่อมกันอยู่ 90 องศา



ภาพที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของสเตปปิงมอเตอร์แบบไฮบริดจ์

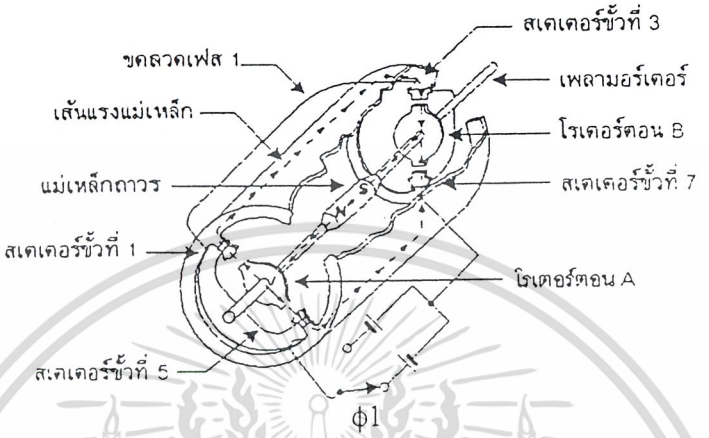


ภาพที่ 2.14 แสดงภาพการวางโรเตอร์ตามยาวเพื่อใช้สำหรับสร้างสนามแม่เหล็กขั้วเดียวกัน

หลักการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ ที่แตกต่างจากสเตปปิงมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานของสนามแม่เหล็กได้ก็คือ แรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กจะไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเพียงอย่างเดียว แต่จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของซี่ฟันด้วยซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 2.15 ข้อดีของสเตปปิงมอเตอร์ชนิดนี้คือมีขนาดของสเตปเล็กทำให้มีความละเอียดของสเตปต่อรอบสูง นอกจากนี้ยังมีค่าของแรงบิดสูงกว่าสเตปปิงมอเตอร์แบบแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

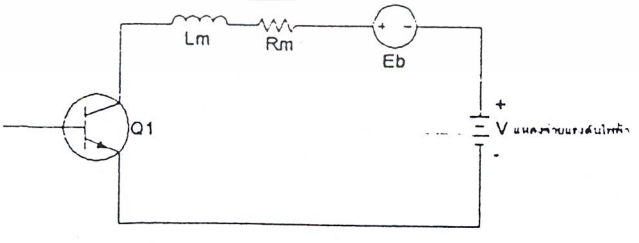
ค่าความต้านทานของสนามแม่เหล็กได้ แต่สเตปปิงมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานของสนามแม่เหล็กได้จะมีแรงเฉื่อยทางกลไกน้อยกว่า



ภาพที่ 2.15 แสดงหลักการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์แบบไฮบริดจ์

2.4 วงจรขับสำหรับสเตปปิงมอเตอร์

การพิจารณาถึงหลักการในการออกแบบวงจรขับกำลังให้กับขดลวดของสเตปปิงมอเตอร์นั้นจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เนื่องจากการหมุนของสเตปปิงมอเตอร์จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ (Back Emf.) ซึ่งจะมีทิศทางตรงข้ามกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าโดยสามารถเขียนวงจรสมมูลย์ (Equivalent circuit) ในหนึ่งเฟสของสเตปปิงมอเตอร์ได้ดังในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 แสดงวงจรสมมูลย์ของสเตปปิงมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

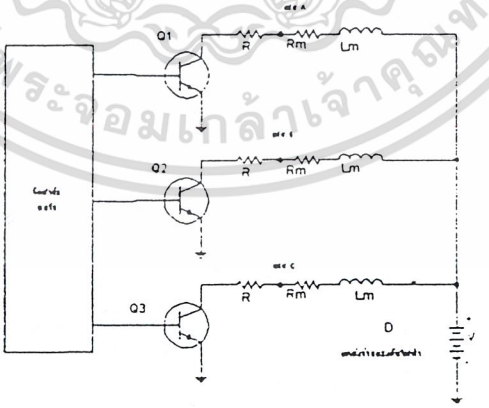
โดยทั่วไปสเตปปิงมอเตอร์ได้ถูกออกแบบให้ทนต่อความร้อนได้สูงถึง 100 องศาเซลเซียส แต่การใช้งานจริงจะถูกใช้งานที่เงื่อนไขที่ต่ำกว่าจุดอิ่มตัวที่กำหนดมา ในการขับสเตปปิงมอเตอร์นั้นต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่กินกระแสสูง เนื่องจากชุดขดลวดในแต่ละเฟสของสเตปปิงมอเตอร์จะต้องมีการนำและหยุดนำกระแสอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับทรานซิสเตอร์กำลังจากแรงดันยอดแหลม (Spike Voltage) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของกระแสในขดลวด (Inductive Turn Off Spike Voltage) และการเสียสภาพแบบฉับพลันของแรงดัน ซึ่งการออกแบบวงจรขับสามารถทำได้ดังนี้

2.4.1 การใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับวงจรขับ

การต่อความต้านทานอนุกรมกับวงจรขับเป็นรูปแบบธรรมดาและราคาถูกที่สุด ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์คือ การต่อความต้านทานอนุกรมเข้ากับชุดขดลวดแต่ละเฟสของสเตปปิงมอเตอร์ การเพิ่มความต้านทานภายนอกทำให้ค่าเวลาคงตัวของวงจรลดลงไป ทำให้เวลาของการเพิ่มและลดระดับของกระแสลดลง

ข้อด้อยของการต่อความต้านทานอนุกรมคือการสูญเสียกำลังงาน ค่าความต้านทานภายนอกมีมากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้ระบบไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ลักษณะการต่อความต้านทานอนุกรมมีผลดังต่อไปนี้คือ

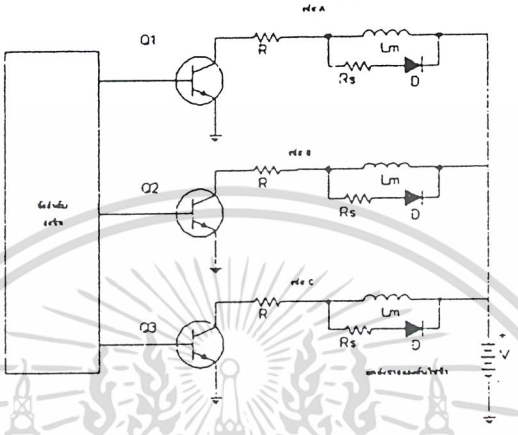
(ก) ค่าความต้านทานทั้งหมด จะถูกแทนที่ด้วยความต้านทานตัวเดียวระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุทกับตัวสเตปปิงมอเตอร์ ดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 แสดงการใช้ความต้านทานต่ออนุกรมกับขดลวดของสเตปปิงมอเตอร์

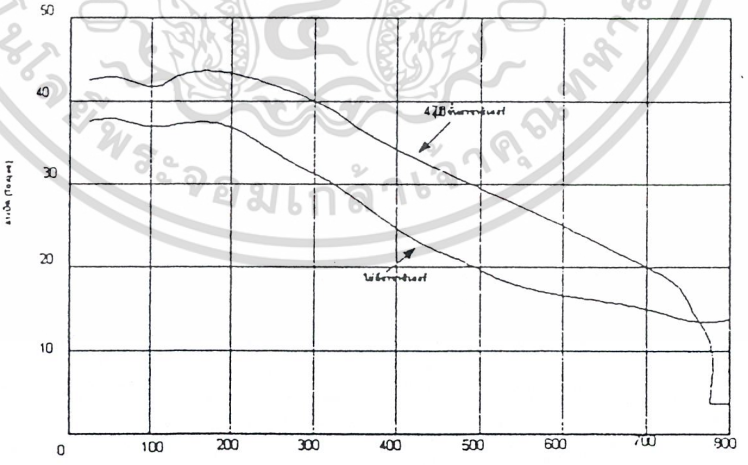
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ความต้านทานอนุกรมจะขนานกับตัวเก็บประจุ ในการเพิ่มตัวเก็บประจุในแต่ละส่วนของโครงข่ายของวงจรจำกัดแรงดัน สามารถช่วยรักษาระดับของแรงดันให้คงที่โดยเฉพาะเมื่อวงจรทำงานมาใกล้ขีดจำกัดสูงสุดของแรงดันที่ทรานซิสเตอร์ทนได้



ภาพที่ 2.18 แสดงวงจรขับกำลังซึ่งใช้ไดโอด-ความต้านทาน

ในภาพที่ 2.18 แสดงวงจรขับกำลังซึ่งใช้ไดโอด-ความต้านทาน และมีการต่อตัวเก็บประจุขนานความต้านทาน ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของแรงบิดดึงออก



ภาพที่ 2.19 แสดงผลการเพิ่มตัวเก็บประจุขนานกับความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

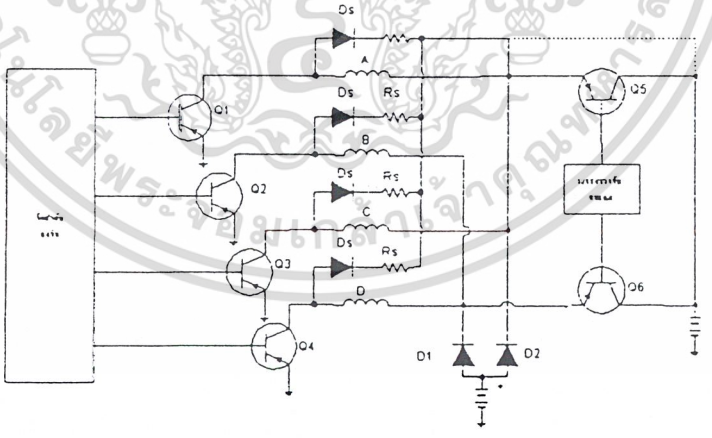
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

(ค) ประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้น ถ้ามีการต่อความต้านทานร่วมกับโหลด (Common Load) ขนานกับทรานซิสเตอร์ระหว่างการใช้ความเร็วสูง วิธีการนี้จะช่วยให้การเปลี่ยนระดับของกระแสเร็วขึ้น แต่จะมีข้อเสียอยู่ที่การสูญเสียกำลังงานมาก

2.4.2 การใช้วงจรขับแบบใช้แรงดันไฟฟ้าสองระดับ

เป็นวิธีการขับที่มีประสิทธิภาพมากกว่ารูปแบบการต่อความต้านทานอนุกรม ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้าระดับสูงสำหรับการยกระดับกระแสและตัดต่อไปยังแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำ เมื่อถึงอัตรากระแสที่ต้องการหรือถึงเวลาที่กำหนด กระแสที่อยู่ในขดลวดจะไหลผ่านไดโอด D1 โดยแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำจะทำงานแทน วิธีการนี้เรียกว่าการขับแบบแรงดันไฟฟ้าคู่หรือการขับแบบสองระดับ

เมื่อพิจารณาการลดลงของเวลาในการเปลี่ยนระดับของกระแสของระบบการขับแบบสองระดับ เปรียบเทียบกับแบบการต่อความต้านทานอนุกรม แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดจะยังคงอยู่ทั้งหมด จนกระทั่งกระแสเพิ่มจนถึงระดับกระแสที่ต้องการ แม้ว่าเวลาคงตัวจะไม่ลดลงเหมือนในแบบการต่อความต้านทานอนุกรม ค่าการยกระดับกระแสค่อนข้างจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นหลังจากแรงดันไฟฟ้าระดับสูงจะตัดต่อไปสู่แรงดันไฟฟ้าระดับต่ำ กระแสจะต่ำลงและเกิดแรงดันย้อนกลับ



ภาพที่ 2.20 แสดงวงจรขับสเตปปิงมอเตอร์แบบแรงดันไฟฟ้าสองระดับ

ขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q5 และ Q6 ไม่ทำงาน ไดโอด D1 และ D2 ของแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำนำกระแสอยู่ เมื่อแรงดันไฟฟ้าระดับสูงทำงาน ทรานซิสเตอร์ Q5 และ Q6 นำกระแสไดโอด

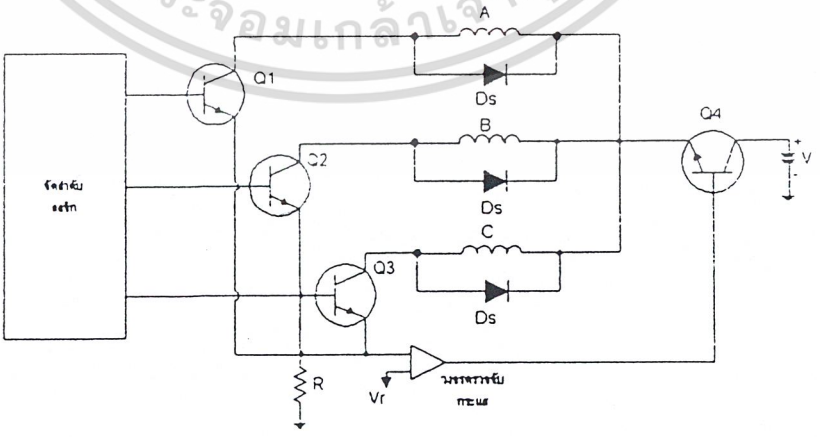
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46205

D1 ต้องหยุดนำกระแสทันที และแหล่งจ่ายไฟของแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำจะกลายเป็นระบบภายนอก การทำงานจะเป็นลักษณะเช่นนี้สลับกันไปตลอดช่วงการทำงาน โดยทั่วไป ไดโอดกระแสสูงจะมีค่าเวลาในการคืนตัวช้า ดังนั้นในกรณีนี้จึงมีความจำเป็นต้องใช้ไดโอดชนิดคืนตัวเร็ว (Fast Recovery Diode) เพื่อให้เกิดกระแสยอดแหลม (Current Spike) ในขณะที่มีแหล่งจ่ายอยู่ในระดับที่ปลอดภัย โดยที่แหล่งจ่ายไฟที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำ ควรออกแบบให้มีระดับกระแสที่เพียงพอในการต้านกระแสย้อนกลับ

2.4.3 การใช้วงจรขับแบบชอปเปอร์

เป็นวงจรขับอีกประเภทหนึ่งที่ใช้กับมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง คือใช้การมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation) หรือการมอดูเลตความถี่ (Frequency Modulation) ควบคุมกระแสเฉลี่ยที่ให้กับสเตปปิงมอเตอร์ วงจรขับแบบชอปเปอร์อย่างง่าย ๆ แสดงได้ดังภาพที่ 2.21 เมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งของมอเตอร์ทำงาน ทรานซิสเตอร์ Q4 จะเปิดและปิดไปสู่แรงดันไฟฟ้าระดับสูงตลอดเวลา การใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าสูงเป็นสาเหตุให้กระแสในแต่ละเฟสเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด เช่นเดียวกับในวงจรขับแบบแรงดันไฟฟ้าสองระดับ คือมีวงจรตรวจระดับกระแสเพื่อจะปรับตั้งค่าการหยุดทำงานของทรานซิสเตอร์ Q4 เมื่อกระแสมาถึงระดับที่ต้องการ และเมื่อกระแสลดลงต่ำกว่ากระแสขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold Current) ทรานซิสเตอร์ Q4 จะทำงานอีกครั้ง การทำงานของวงจรนี้จะยอมให้กระแสเฉลี่ยคงอยู่ในระดับที่ต้องการ ในกรณีนี้ความถี่ของการตัดช่วงจะอยู่ระหว่าง 1-30 KHz ขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงตัวของการพันขดลวดของมอเตอร์และฮีสเตอริซีส (Hysteresis) ของวงจรตรวจระดับกระแส ความถี่ของการตัดช่วงมักจะปรับตั้งอยู่สูงกว่าช่วงที่กำหนดเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนความถี่ซึ่งเกิดจากการสั่นของมอเตอร์



ภาพที่ 2.21 แสดงวงจรขับแบบชอปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

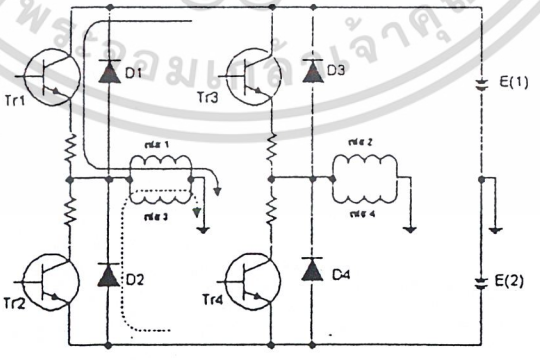
2.4.4 การใช้วงจรขับแบบบริดจ์

ประสิทธิภาพในการใช้งานของสเตปปิงมอเตอร์จะสูงขึ้น ถ้าควบคุมการไหลของกระแสให้ไหลได้ทั้งสองทิศทาง ซึ่งจะช่วยให้แรงบิดเพิ่มขึ้นอีก 20-35 % ของการใช้วงจรขับแบบมีกระแสไหลทิศทางเดียว วงจรขับแบบบริดจ์มีสองชนิดคือ แบบมีแหล่งจ่ายไฟเดียว และแบบมีแหล่งจ่ายไฟสองแหล่ง ซึ่งจะมีคุณลักษณะในการทำงานดังต่อไปนี้

(ก) การต่อขดลวดของมอเตอร์ ถ้ามอเตอร์มี 8 ขั้ว กระแสสลับจะสามารถไหลผ่านได้เหมือนกับมอเตอร์สองเฟส

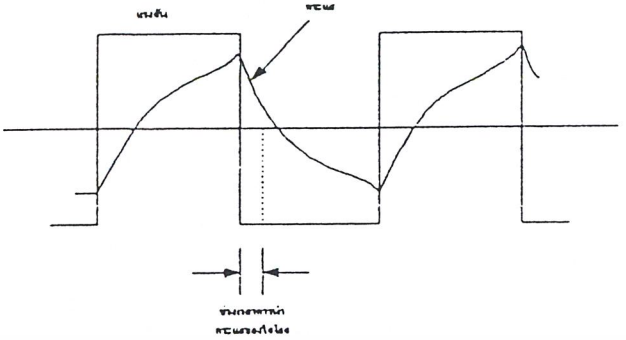
(ข) การป้องกันอันตรายอันเกิดจากทรานซิสเตอร์ "ทำงาน" ในขณะที่ทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่งยังคงนำกระแสอยู่นั้น ทำได้โดยการใส่วงจรหน่วงเวลา คือ ต่อค่าความต้านทานเข้าไประหว่างทรานซิสเตอร์ทั้งสอง

(ค) การใช้ไดโอดเพื่อป้องกันยอดแหลม โดยไดโอดจะถูกใส่ขนานเข้าไปกับทรานซิสเตอร์กำลัง เพื่อกำจัดแรงดันยอดแหลม เมื่อทรานซิสเตอร์ "หยุดการทำงาน" การทำงานของไดโอดจะแตกต่างจากแบบสภาพมีขั้วเดี่ยว ถ้าทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 นำกระแสซึ่งแสดงโดยเส้นทึบ เมื่อทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 หยุดทำงาน และทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 ทำงาน กระแสไม่ได้ไหลกลับทิศทาง แต่จะไหลวนผ่านไดโอด D2 และแหล่งจ่ายไฟ E2 ขณะนี้จะถูกเก็บประจุ หรือถ้าพิจารณาในเทอมของกำลังงานจากสนามแม่เหล็กจะถูกป้อนกลับเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟในขณะที่การขับสเตปปิงมอเตอร์แบบสภาพขั้วเดี่ยวกำลังงานจากสนามแม่เหล็กจะถูกใช้ไปในขดลวดความต้านทานภายนอก และซีเนอร์ไดโอด ทำให้การขับแบบสองภาวะขั้วมีข้อดีมากกว่า



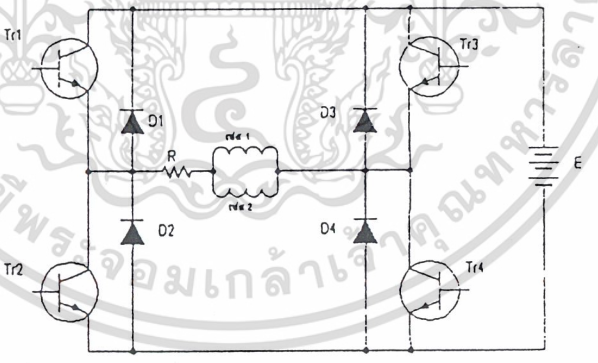
ภาพที่ 2.22 แสดงวงจรขับแบบบริดจ์ที่ใช้ไดโอดเพื่อป้องกันยอดแหลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.23 แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสของการขับสเตปปิงมอเตอร์แบบสองภาวะ

กระแสในทิศทางกลับสำหรับการขับแบบสภาพขั้วเดี่ยว ต้องใช้วงจรจำกัดแรงดันเกินเพื่อหน่วงกระแสหลังจาก “หยุดทำงาน” ของทรานซิสเตอร์ แต่สำหรับการขับแบบสองภาวะขั้วจะให้แรงดันไฟฟ้าเพื่อให้กระแสไหลกลับทิศทาง หลังจากกระแสที่เหลืออยู่หลังจากทรานซิสเตอร์หยุดการทำงานกลายเป็นศูนย์ และจะมีกระแสชุดใหม่เพิ่มขึ้นผ่านทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 ในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้น รูปคลื่นของกระแสจะไม่เป็นตัวชี้กำลัง แต่จะขึ้นอยู่กับแรงดันย้อนกลับที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโรเตอร์



ภาพที่ 2.24 แสดงวงจรขับแบบบริดจ์อีกแบบหนึ่งซึ่งใช้แหล่งจ่ายไฟเดียว

รูปแบบอีกอย่างหนึ่งของการขับแบบสองภาวะขั้ว แสดงได้ในภาพที่ 2.24 ในกรณีนี้จะใช้แหล่งจ่ายไฟเดียวแต่ใช้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัว สำหรับแต่ละเฟส ความต้านทานจะถูกต่อขนานกับขดลวดเพื่อระดับกระแสที่เร็วขึ้น วงจรหน่วงเวลาจะใช้เพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์นำกระแสเหลื่อมกัน (Overlap)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเตปปิงมอเตอร์

การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเตปปิงมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเตป ทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้องแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือแบบเวฟ (Wave) แบบ 2 เฟส และแบบครึ่งสเตป ทั้ง 3 แบบต่างก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป

2.5.1 การกระตุ้นสเตปปิงมอเตอร์แบบเวฟ (Wave)

เป็นการกระตุ้นที่ง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งและเรียงถัดกันไป ดังเช่น ขดที่ 1,2,3,4,1 หรือ 1,4,3,2,1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุน ดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวเท่านั้นที่ถูกกระตุ้นในเวลาหนึ่ง วงจรกระตุ้นแบบเวฟจึงมีราคาถูกและง่ายขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 2.1

สเตปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ

2.5.2 การกระตุ้นสเตปปิงมอเตอร์แบบสองเฟส

เป็นการกระตุ้นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งคล้ายกับแบบเวฟแต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำงานโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับการเวฟคือ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 12,23,34,41,12 หรือ 14,43,32,21,14 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุน การเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงแบบเต็มแรง จาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกันและต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือ การกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบสองเฟส

2.5.3 การกระตุ้นสเตปปิงมอเตอร์แบบครึ่งสเตป

เป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบเวฟและการกระตุ้นแบบสองเฟส เพื่อเพิ่มจำนวนสเตปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 1,12,2,23,3,34,4,41,1 หรือการกระตุ้นในอีกทิศทางหนึ่งจะได้เป็น 1,14,4,43,3,32,2,21,1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเตปมีระยะสั้นลงและแต่ละสเตปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องแม่นยำของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้นแต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่งว่าเมื่อถูกกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเตปจึงจะเท่ากับ 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องใช้เทียบเท่ากับแบบ 2 เฟสจึงจะเพียงพอขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

สเตปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเตป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 หลักการพื้นฐานของการส่ง รับค่าทางพอร์ตอนุกรม

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่ก็สามรถรับส่งข้อมูลได้คราวละหลายๆบิตได้ หากแต่จะต้องตกลงกันระหว่างตัวรับและตัวส่งว่า จะรับส่งข้อมูลคราวละกี่บิต ตัวรับจะต้องรอรับข้อมูลมาให้ครบทั้งหมดก่อนจึงทำการประมวลผล ส่งผลให้การสื่อสารแบบอนุกรมอาจมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน แต่ในด้านจำนวนสายสัญญาณการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะใช้จำนวนสายที่น้อยกว่า และยังมีระยะทางในการสื่อสารข้อมูลที่สามารถทำได้ไกลกว่าด้วย

การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบคือการสื่อสารแบบซิงโครนัสและแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิการ่วมอยู่กับการทำงานด้วย ตัวอย่างการรับส่งแบบซิงโครนัสก็คือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกสายหนึ่งจะเป็นสายของข้อมูล จะเห็นได้ว่าการสื่อสารแบบซิงโครนัสจำเป็นต้องใช้สายอย่างน้อย 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา, ข้อมูลและกราวด์ ส่วนแบบอะซิงโครนัสนั้นไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณนาฬิกามาร่วมทำงานด้วยซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

2.6.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสก็คือการรับส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วยเหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส แต่จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งทางภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งนี้ว่า อัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือ บอดเรต (baudrate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) ซึ่งจะมีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิต หรือไม่มี
4. บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1, 1.5 หรือ 2 บิต

2.6.2 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS 232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

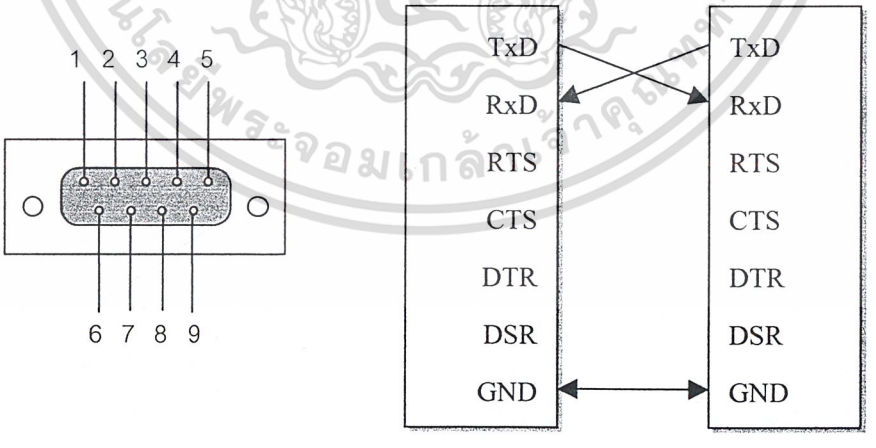
ข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดหนึ่งซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่า สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ –3 ถึง -12V แสดงว่ามีข้อมูล และ +3 ถึง +12 V เป็นช่องว่าง

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลกับวงจรข้อมูลปลายทางไว้ว่า อุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลจะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนวงจรข้อมูลปลายทางจะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลเท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้ง 2 จะกระทำผ่านมาตรฐานRS-232

สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 มักถูกใช้เชื่อมต่อกับโมเด็มหรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร

2.6.3 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้หรือ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์ทั้ง 2 แบบ จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเท่านั้น โดยแสดงดังภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 แสดงคอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขา และการต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์ดังในภาพที่ 2.25 นั้นเป็นลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 สาย โดยใช้เส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นหนึ่งใช้สำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายใช้เป็นกราวด์สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีดังนี้

Data Carrier Detect : DCD หรืออาจจะเรียกว่า CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล สำหรับการใช้งานปกติขานี้จะไม่ได้ใช้งานมากนัก

Receive Data : RxD ขานี้ใช้สำหรับรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์

Transmitted Data : TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและหลักการทำงาน

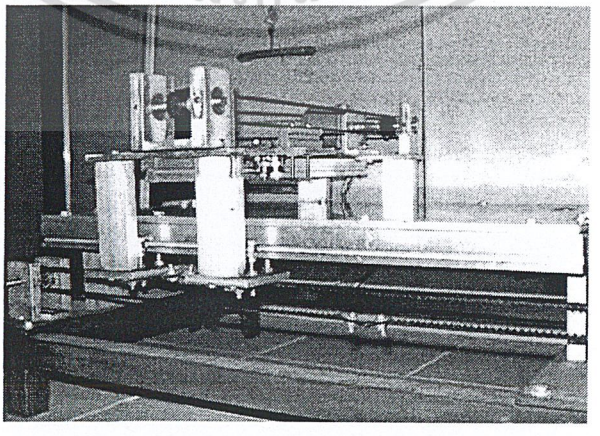
ในส่วนของการออกแบบและหลักการทำงานของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนสำคัญดังนี้คือ ส่วนโครงสร้างของเครื่อง ส่วนวงจรขับมอเตอร์ และส่วนระบบควบคุมการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์ ซึ่งจะแยกอธิบายแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบด้านโครงสร้าง

3.1.1 การเลือกวัสดุ

เนื่องจากโครงงานนี้เป็นการสร้างต้นแบบของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อการศึกษาการทำงานของเครื่องโดยการประยุกต์ใช้สเตปปิงมอเตอร์ ดังนั้นในการเลือกใช้วัสดุจึงพิจารณาถึงการใช้งาน ความแข็งแรงและราคาที่พอเหมาะเป็นหลัก โดยวัสดุที่ใช้นั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่เป็นฐานของตัวเครื่องและส่วนชิ้นงานต่าง ๆ ที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นตัวเครื่อง โดยในส่วนแรกนั้นใช้เหล็กแผ่นและเหล็กฉากเนื่องจากมีความแข็งแรงคงทน สามารถประกอบได้ง่ายโดยใช้นอตยึด และราคาถูก

ในส่วนชิ้นงานส่วนต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบกันเป็นตัวเครื่องนั้นเลือกใช้อลูมิเนียมเนื่องจากในส่วนนี้จำเป็นต้องใช้เป็นจำนวนมากและยังต้องมีการกัด ตัด กลึง เพื่อให้ได้ส่วนของชิ้นงานตามที่ต้องการ ซึ่งอลูมิเนียมก็มีราคาพอเหมาะเมื่อเทียบกับสแตเลสหรืออลูมิเนียมอัลลอยย์ อีกทั้งยังสามารถกัด ตัด เจาะ กลึงให้เป็นรูปทรงตามที่ต้องการได้ง่ายและมีความสวยงามในระดับหนึ่ง โดยภาพที่ 3.1 ได้แสดงถึงโครงสร้างโดยรวมของเครื่อง

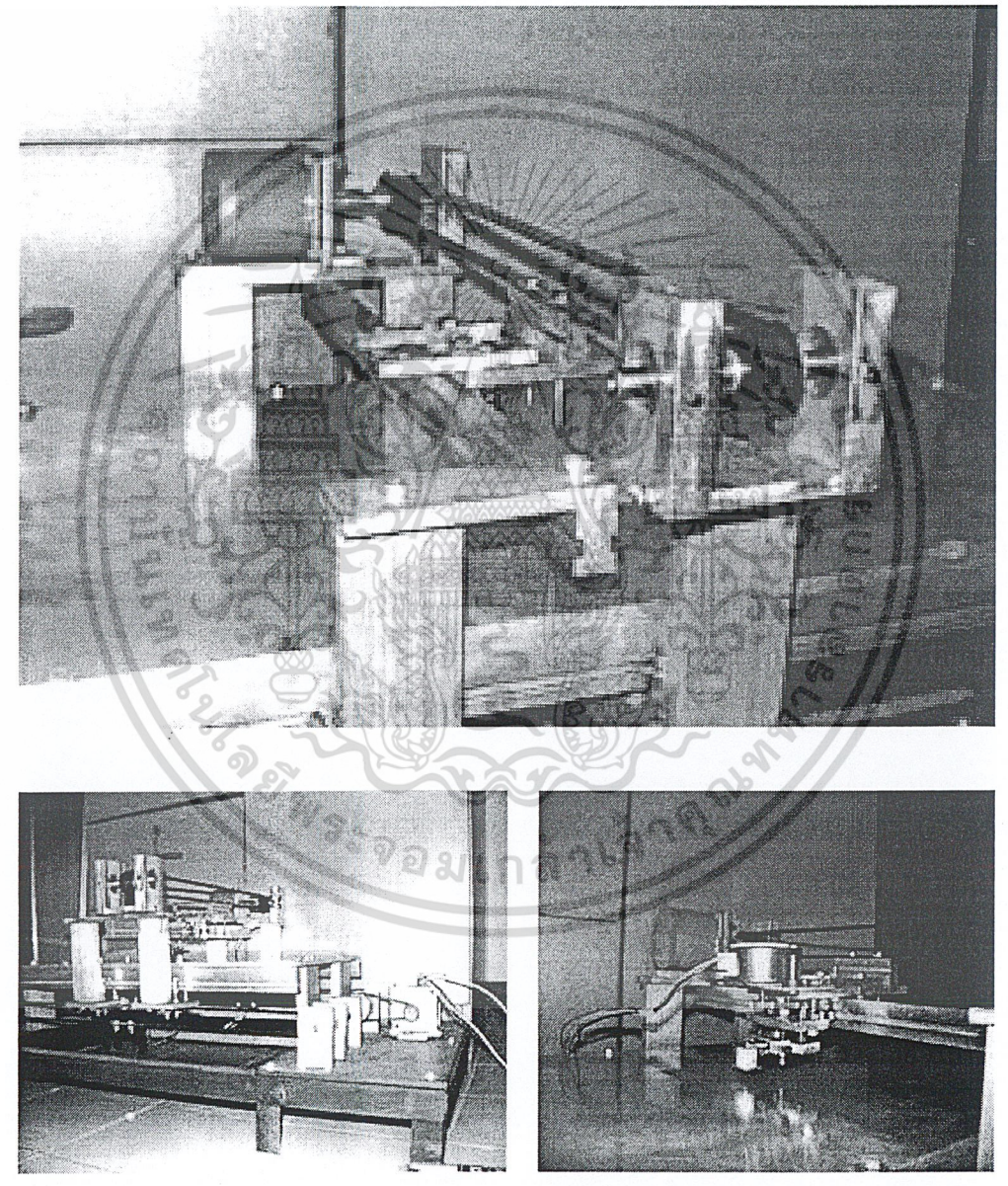


ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างโดยรวมของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบชิ้นงานส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง

ในส่วนของการออกแบบในส่วนนี้ได้นำโครงสร้างของเครื่องพอร์ตเตอร์มาเป็นแนวทางในการออกแบบ ซึ่งชิ้นงานส่วนใหญ่จะใช้อลูมิเนียมในการทำ โดยใช้เครื่องกัด เครื่องกลึง เครื่องเจาะที่ภาคเครื่องกล ทำให้ได้ชิ้นงานที่ใช้ในการประกอบกันเป็นตัวเครื่องดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แสดงชิ้นงานส่วนสำคัญต่าง ๆ ของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพที่ 3.2 ภาพใหญ่ด้านบนจะแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่เป็นส่วนของแกน Y ซึ่งทำจากอลูมิเนียมทั้งชุดโดยประกอบด้วยสเตปปิงมอเตอร์และชุดสายพานที่ใช้ในการขับเคื่อนทางด้านแกน Y ภาพใหญ่ด้านล่างจะแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่เป็นฐานของเครื่องวางซึ่งทำจากเหล็กฉากและเหล็กแผ่นเป็นส่วนประกอบหลัก และได้มีการติดตั้งตุ๊กตาที่ยึดเพลาของแกนขับเคลื่อนแกน X บนฐานด้วยดังในภาพ ซึ่งในส่วนของตุ๊กตาถ้าซื้อแบบสำเร็จจะมีราคาค่อนข้างสูง จึงทำโดยการกว้านอลูมิเนียมแผ่นแล้วใส่ตลับลูกปืนแทนซึ่งแสดงในภาพเล็กด้านล่าง

ส่วนภาพเล็กด้านขวาในภาพที่ 3.2 นั้นแสดงถึงกลไกที่ใช้เป็นแกนขับเคลื่อนในแกน Z ซึ่งประกอบด้วยส่วนของสเตปปิงมอเตอร์และเฟืองกลไก รวมทั้งส่วนที่ใช้ในการดูดและวางอุปกรณ์ซึ่งนำ solenoid มาใช้งานในส่วนนี้แทนหัวดูดสูญญากาศ

3.2 การออกแบบและหลักการทำงานวงจรขับของสเตปปิงมอเตอร์

ในส่วนของการขับเคลื่อนโครงงานนี้ได้ใช้สเตปปิงมอเตอร์เป็นตัวหลัก เนื่องจากการเลือกใช้สเตปปิงมอเตอร์จะทำให้ระบบเป็นลักษณะการควบคุมแบบไม่ต้องป้อนกลับไม่ว่าจะเป็นการควบคุมตำแหน่งหรือความเร็ว เพราะสเตปปิงมอเตอร์นั้นเคลื่อนที่เป็นสเตปด้วยจำนวนองศาที่แน่นอนทำให้ความผิดพลาดเกี่ยวกับตำแหน่งของสเตปปิงมอเตอร์แทบจะไม่มีเลย อีกทั้งการเลือกใช้สเตปปิงมอเตอร์ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้วงจรแปลงดิจิตอลเป็นอินเตอร์เฟสกับไมโครคอมพิวเตอร์

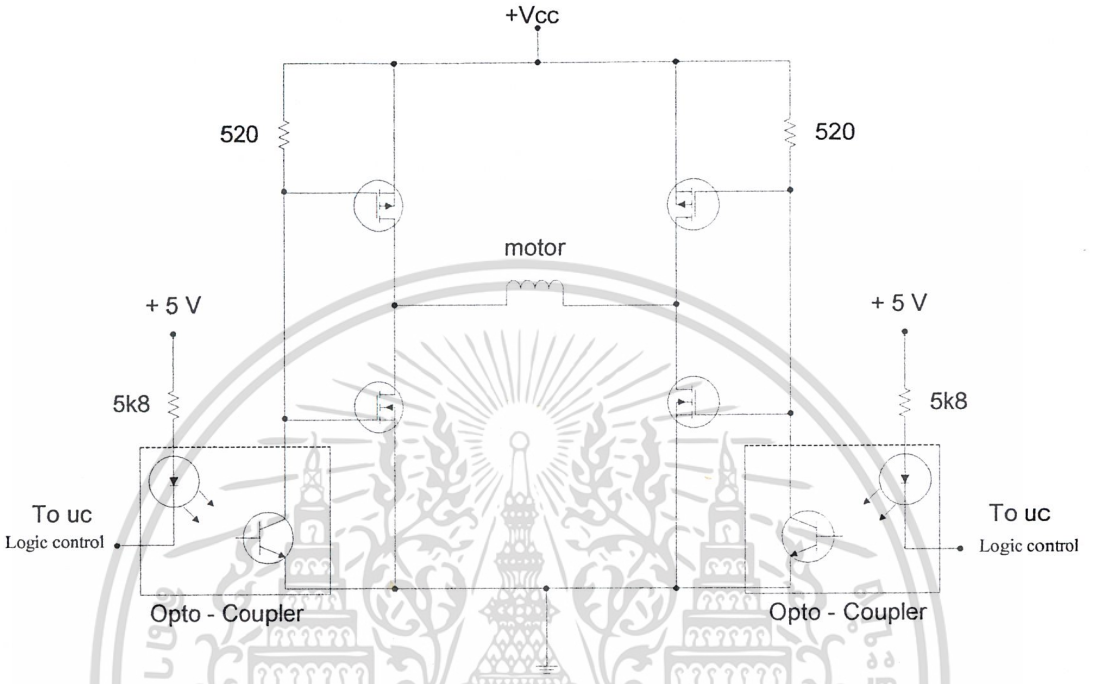
เนื่องจากต้องการให้ได้แรงบิดเพิ่มมากขึ้น จึงเลือกใช้วงจรขับแบบบริดจ์ ซึ่งกระแสจะมีการไหลแบบสองทิศทาง และจะช่วยเพิ่มแรงบิดให้อีกประมาณ 20-35 % ของวงจรขับแบบมีกระแสไหลทางเดียว วงจรขับที่ใช้แสดงดังภาพที่ 3.3 ดังนี้

จากภาพที่ 3.3 สามารถอธิบายการทำงานของวงจรขับได้ดังนี้ วงจรในรูปเป็นแบบบริดจ์ประกอบด้วย Q1,Q2,Q3 และ Q4 โดยที่ Q1 และ Q2 ต่ควงจรให้ทำงานเป็นแบบคอมพลีเมนตารีสวิตซ์ (Complementary Switches) ดังนั้นเมื่อ Q1 ทำงาน Q2 จะหยุดทำงาน เช่นเดียวกันเมื่อ Q3 ทำงาน Q4 จะหยุดทำงาน Q1-Q4 ทำหน้าที่ในการกำหนดทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ขดลวดของสเตปปิงมอเตอร์ หรือกำหนดขั้วไฟฟ้าที่ขดลวดและถ้า Q1-Q4 หยุดการทำงานหมดทุกตัวนั่นคือจะไม่มีกระแสไหลเข้าสู่ขดลวดเลย สถานะการทำงานของ Q1-Q4 ถูกกำหนดโดยพัลส์จากไมโครคอนโทรลเลอร์

จากวงจรจะเห็นได้ว่า IC6 ทำหน้าที่ควบคุมเฉพาะทรานซิสเตอร์ที่เป็นชนิด NPN ในวงจรบริดจ์ สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ถูกขับโดยผ่าน IC4 ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์แบบเอาต์พุทเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด 6 ตัวในตัวเดียว IC4 มีหน้าที่ 2 ประการคือ ประการแรกเป็นตัวเปลี่ยนระดับแรงดันสัญญาณควบคุมจากเอาต์พุทของ IC6 จาก 5 โวลต์ เป็น 12 โวลต์ ในวงจรบริดจ์ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประการที่ 2 คือ เป็นตัวกลับสถานะของสัญญาณอีกหนึ่งครั้งเพื่อไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์แบบ PNP ได้ ส่วน Q5-Q8 การทำงานในส่วนนี้เหมือนกับที่กล่าวไปแล้ว

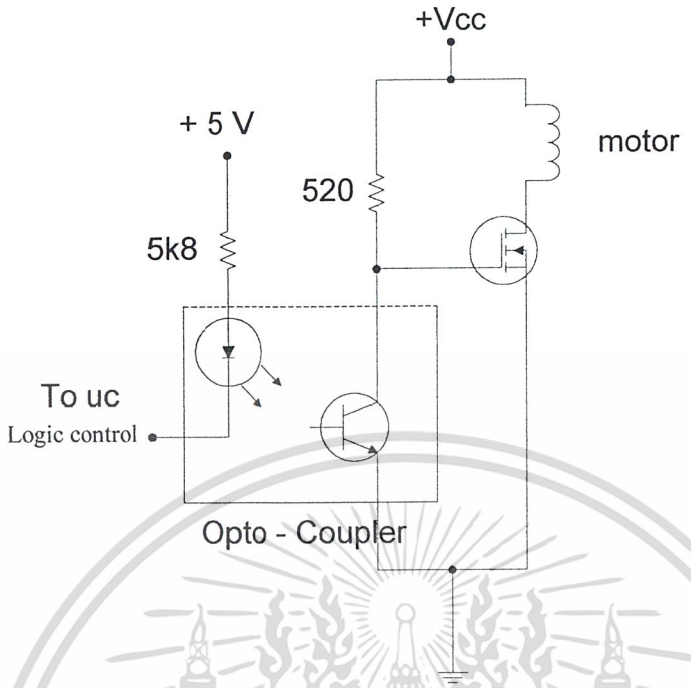


ภาพที่ 3.3 แสดงวงจรขับของสเตปปิงมอเตอร์ของแกน X ขับเคลื่อน

จากวงจรขับด้านบนจะเป็นในส่วนของแกน X แต่ในส่วนของแกน Y และ แกน Z จะใช้วงจรขับอีกวงจรซึ่งมีความยุ่งยากน้อยกว่า เนื่องไม่จำเป็นต้องรับภาระโหลดที่หนักมากเหมือนกับแกน X โดยวงจรขับของส่วนนี้จะเหมือนกันในแต่ละเฟสจึงได้นำมาแสดงไว้เพียงเฟสเดียวดังภาพที่ 3.4 ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

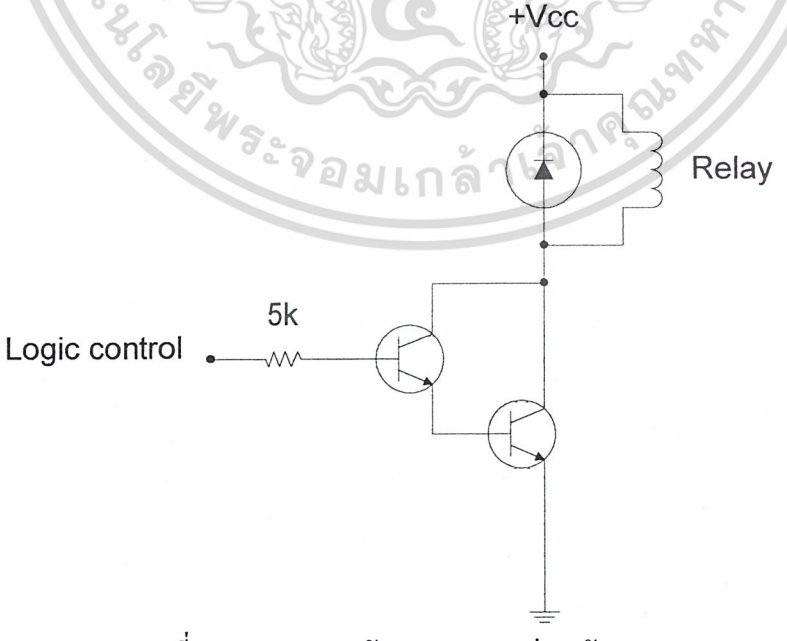
เมื่อป้อนลอจิก 0 จากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ขา 5 ของไอซี QTC 4N35 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ในไอซีมีสภาพนำกระแส ซึ่งจะเป็นผลทำให้กระแสไม่ไหลผ่านขดลวดของมอเตอร์ในเฟสนั้น หมายถึงเฟสนั้นๆก็จะได้ลอจิก 0 ไป แต่ถ้าป้อนลอจิก 1 จากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ขา 5 ของไอซี QTC 4N35 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ในไอซีมีสภาพ Off คือไม่นำกระแส ซึ่งจะเป็นผลทำให้กระแสจากไฟเลี้ยง 5 โวลต์ไหลผ่านขดลวดของมอเตอร์ในเฟสนั้น หมายถึงเฟสนั้นๆก็จะได้ลอจิก 1 ไป ที่กล่าวมานี้เป็นเพียงการป้อนลอจิกให้เพียงเฟสเดียวเท่านั้น ซึ่งก็หมายความว่า ถ้าต้องการ Drive เฟสที่ 1 ก็ป้อนลอจิก 1 ให้ การจะทำให้มอเตอร์หมุนได้นั้นต้องป้อนสเตปของเฟสให้ถูกต้องตามลำดับมอเตอร์จึงจะหมุนตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 แสดงวงจรขับสเตปปิงมอเตอร์ของแกนY และ Z เพียง 1 เฟส

ในส่วนต่อไปจะกล่าวถึงส่วนของวงจรขับกระแสให้กับส่วนของหัวดูดตัวอุปกรณ์ที่เป็น Solenoid ซึ่งในส่วนนี้ได้แสดงภาพวงจรการทำงานไว้แล้วในภาพที่ 3.5 ข้างล่างนี้



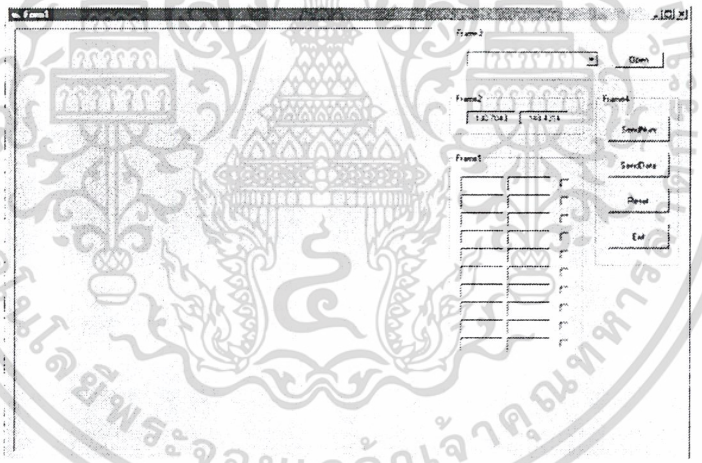
ภาพที่ 3.5 แสดงวงจรขับกระแสของส่วนหัวดูด Solenoid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบส่วนรับค่าพิกัดของตัวอุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์

ในการทำงานส่วนนี้ได้เลือกใช้ภาษา Visual Basic 6 ในการเขียนโปรแกรมเนื่องจากเป็นโปรแกรมแบบวิชวลที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจและเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นเขียนโปรแกรม โดยโปรแกรมที่ได้มีการใช้งานที่ง่าย เพราะเป็นโปรแกรมที่ใช้งานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95 (Windows 95) ขึ้นไป ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สำหรับการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกนั้น ภาษา Visual Basic มีส่วนของการเชื่อมต่อไว้พร้อม โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม

ในภาพที่ 3.6 จะแสดงให้เห็นหน้าจอทำงานของโปรแกรมที่ได้ทำการเขียนขึ้นมา ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ใช้ในการโหลดภาพวงจรที่จะวางตัวอุปกรณ์ ช่องที่แสดงพิกัดของตำแหน่งของตัวอุปกรณ์ที่จะวาง ส่วนของการคำนวณจากพิกัดไปเป็นจำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์เพื่อส่งค่าออกทางพอร์ตอนุกรมไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ควบคุมการขับเคลื่อนแกนต่างๆต่อไป ดังภาพ



ภาพที่ 3.6 แสดงโปรแกรมที่ใช้รับค่าตำแหน่งทางคอมพิวเตอร์

ในส่วนขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม วิธีการคำนวณค่าจำนวนรอบการหมุนจากค่าตำแหน่งที่ได้จากการคลิกเมาส์ที่ภาพวงจรนั้น จะอธิบายเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

เมื่อเริ่มรันโปรแกรม โปรแกรมจะรอรับการป้อนชื่อไฟล์ที่ต้องการวางตัวอุปกรณ์ เมื่อป้อนชื่อไฟล์แล้วให้คลิกปุ่ม OPEN ภาพจะปรากฏที่ส่วนพื้นที่ว่างด้านข้าง จากนั้นโปรแกรมจะรอรับค่าตำแหน่งจากการคลิกเมาส์บนภาพที่โหลดมาและจะนำค่าที่ได้มาแสดงที่ตารางด้วย

จากนั้นเมื่อทำการคลิกปุ่มคำนวณ โปรแกรมจะทำการคำนวณเปลี่ยนจากค่าตำแหน่งให้เป็นค่าจำนวนรอบของการหมุนของสเตปปิงมอเตอร์ โดยค่าที่นำไปหาตำแหน่งคือค่าระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

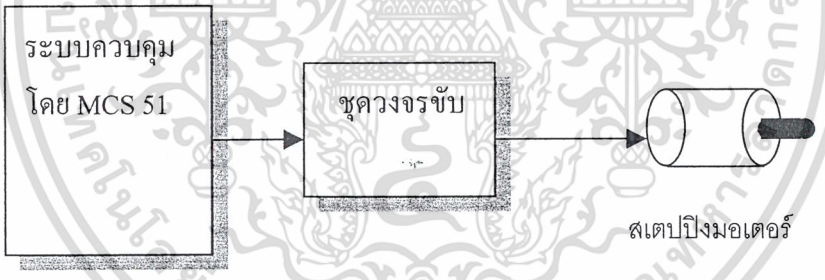
ต่อสเตปของมอเตอร์นั่นเอง ซึ่งของแกน X และแกน Y นั้นไม่เท่ากันเมื่อเราได้ค่าจำนวนสเตปการหมุนของทั้งแกน X และ Y แล้ว ก็จะนำค่าดังกล่าวไปทำการแปรรูปเพื่อให้สะดวกต่อการนำค่าไปใช้ของไมโครคอนโทรลเลอร์ในกระบวนการต่อไป

การแปรสภาพดังกล่าวก็คือการแยกค่าจำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ออกเป็น 2 ไบต์ เพื่อให้ง่ายต่อการรับค่าทางโปรแกรมจะทำการส่งค่าของจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่จะส่งไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อนที่จะส่งข้อมูลทั้งหมดออกทางพอร์ตอนุกรมไป

3.4 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์

การควบคุมการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์ได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งานโดยเลือกตระกูล MCS 51 ซึ่งต้องเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน และแบ่งเป็น 2 ส่วนที่สำคัญคือ ส่วนที่รับค่าพิกัด และส่วนที่คำนวณค่าพิกัดที่ได้ไปเป็นจำนวนรอบการหมุนของสเตปปิงมอเตอร์

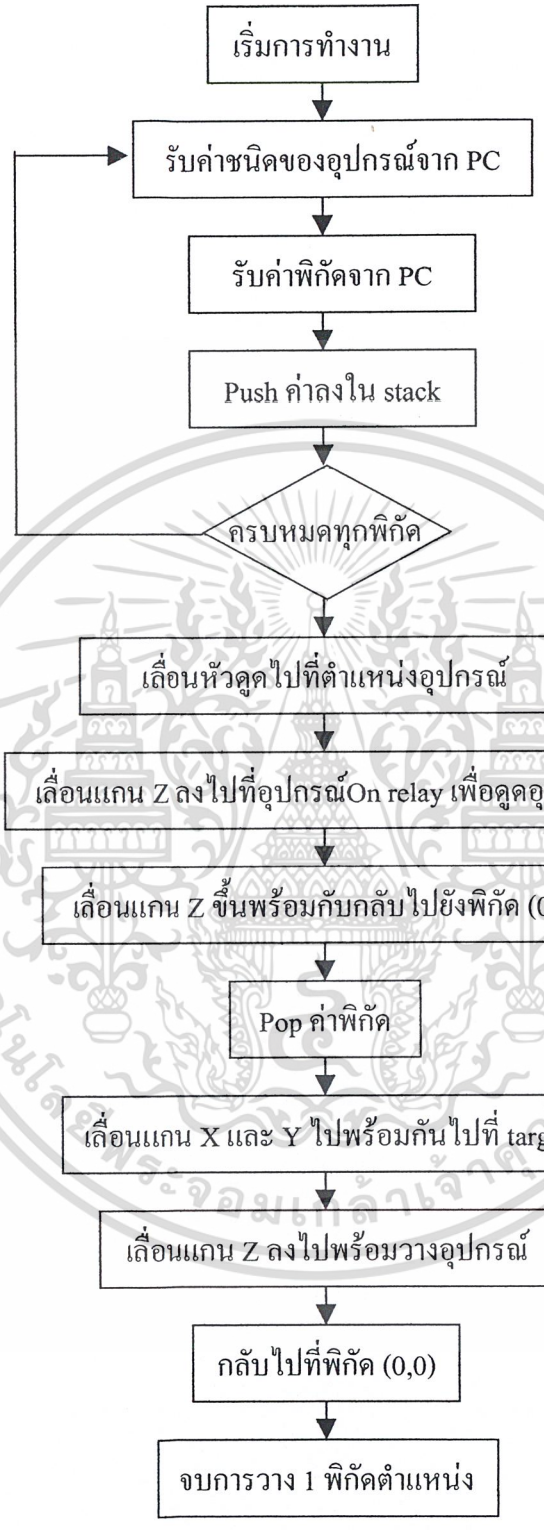
ในภาพที่ 3.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมสเตปปิงมอเตอร์โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51



ภาพที่ 3.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์ด้วย MCS 51

ในการออกแบบการทำงานในส่วนนี้มีขั้นตอนที่ค่อนข้างจะซับซ้อน จึงจะขออธิบายโดยใช้ผังแสดงขั้นตอนการทำงานเพื่อความสะดวกและง่ายแก่การทำความเข้าใจ ดังภาพที่ 3.8 จะเป็นผังแสดงกระบวนการทำงานโดยรวมของขั้นตอนการวางตั้งแต่รับค่าตำแหน่งมาจากคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรม

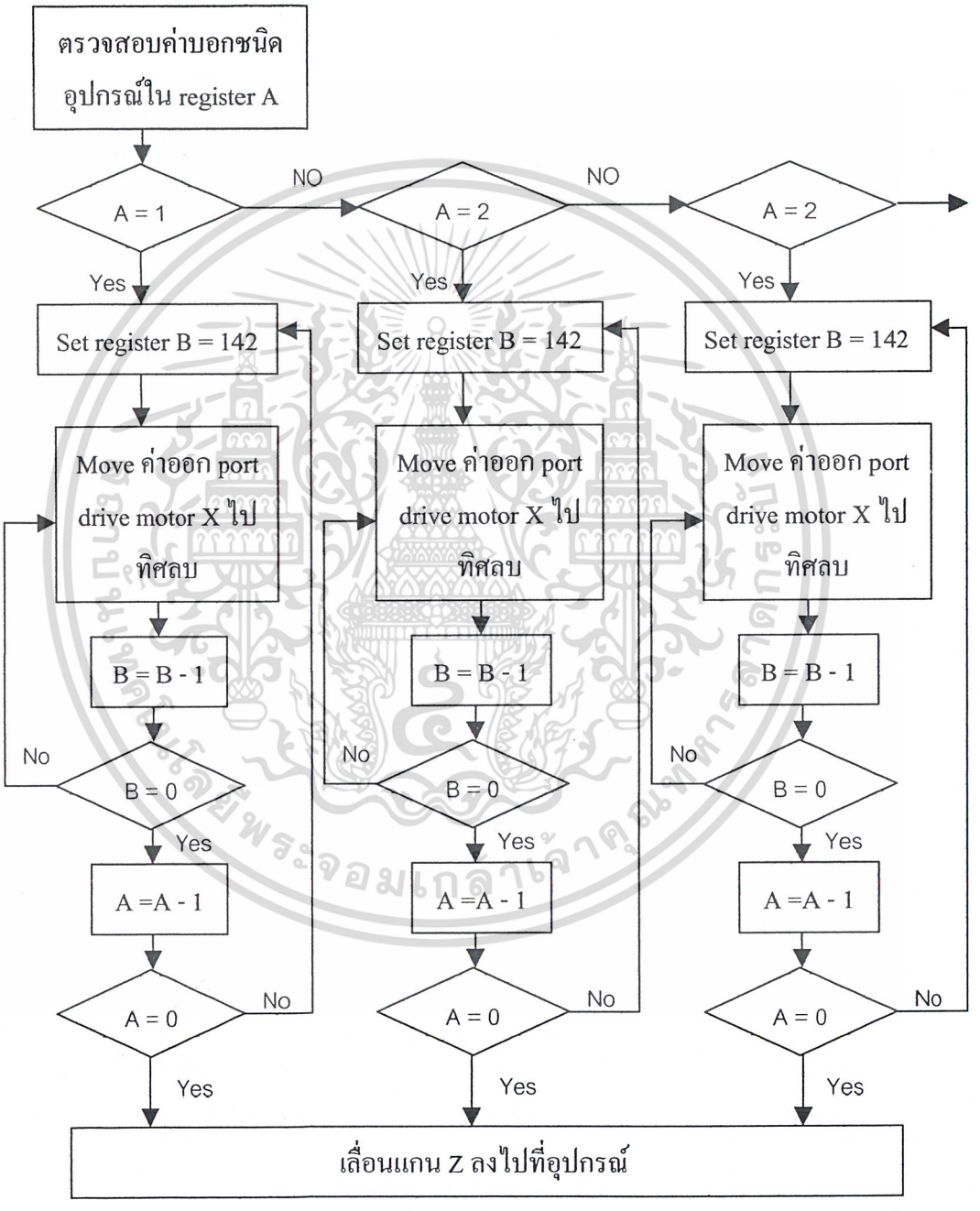
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 ผังแสดงกระบวนการทำงานโดยรวมของขั้นตอนการวางในแต่ละตำแหน่ง

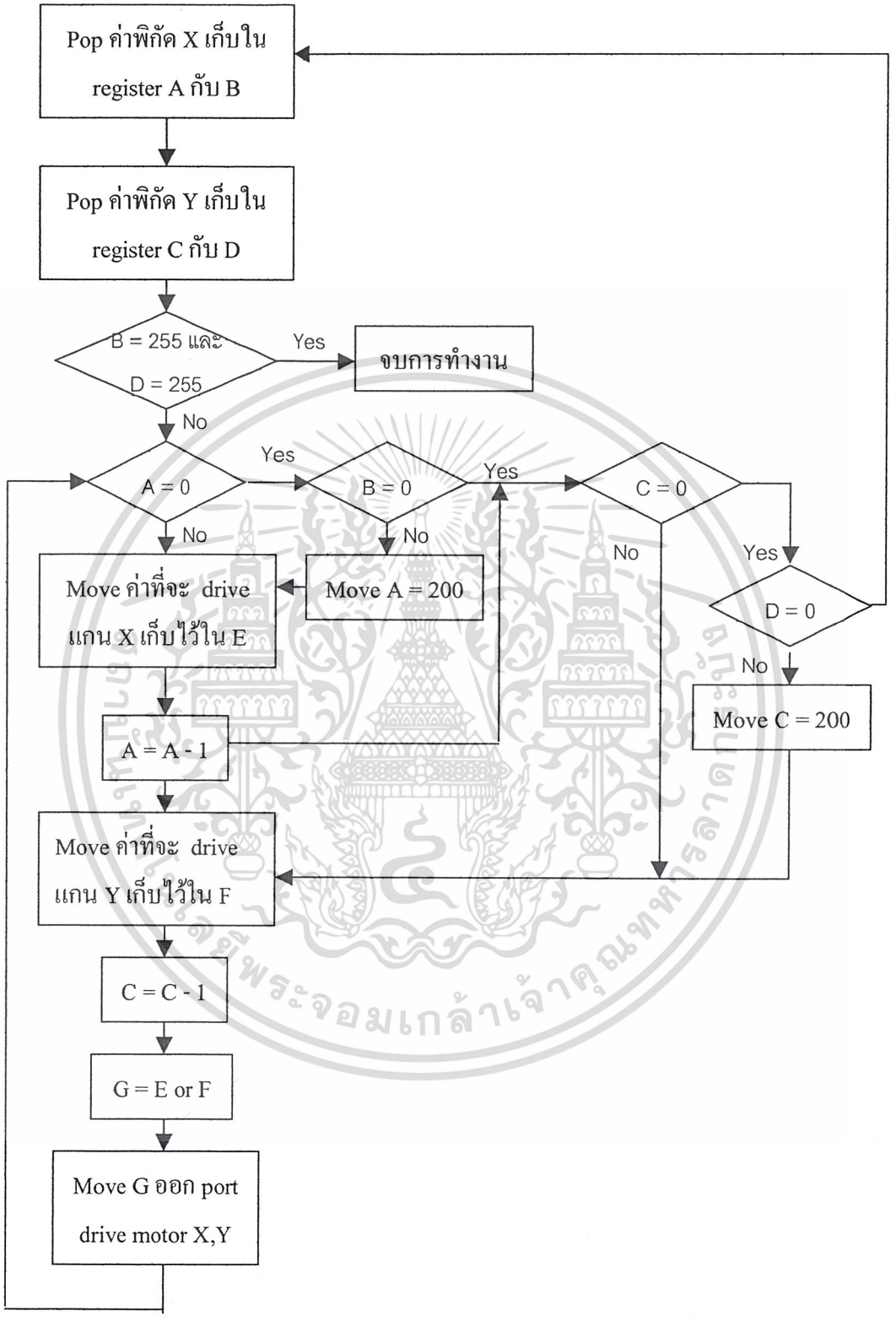
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายขั้นตอนการทำงานในส่วนโปรแกรมย่อยต่างๆ เช่น ขั้นตอนในขณะที่เลื่อนหัวดูดไปที่ตำแหน่งอุปกรณ์ การเลื่อนแกน Z ขึ้น-ลง และการเลื่อนแกน X และแกน Y ซึ่งในขั้นตอนทั้งหมดนั้นจะอธิบายด้วยผังแสดงการทำงานเพื่อความสะดวกและง่ายต่อการนำไปใช้งานและทำความเข้าใจ ดังนี้



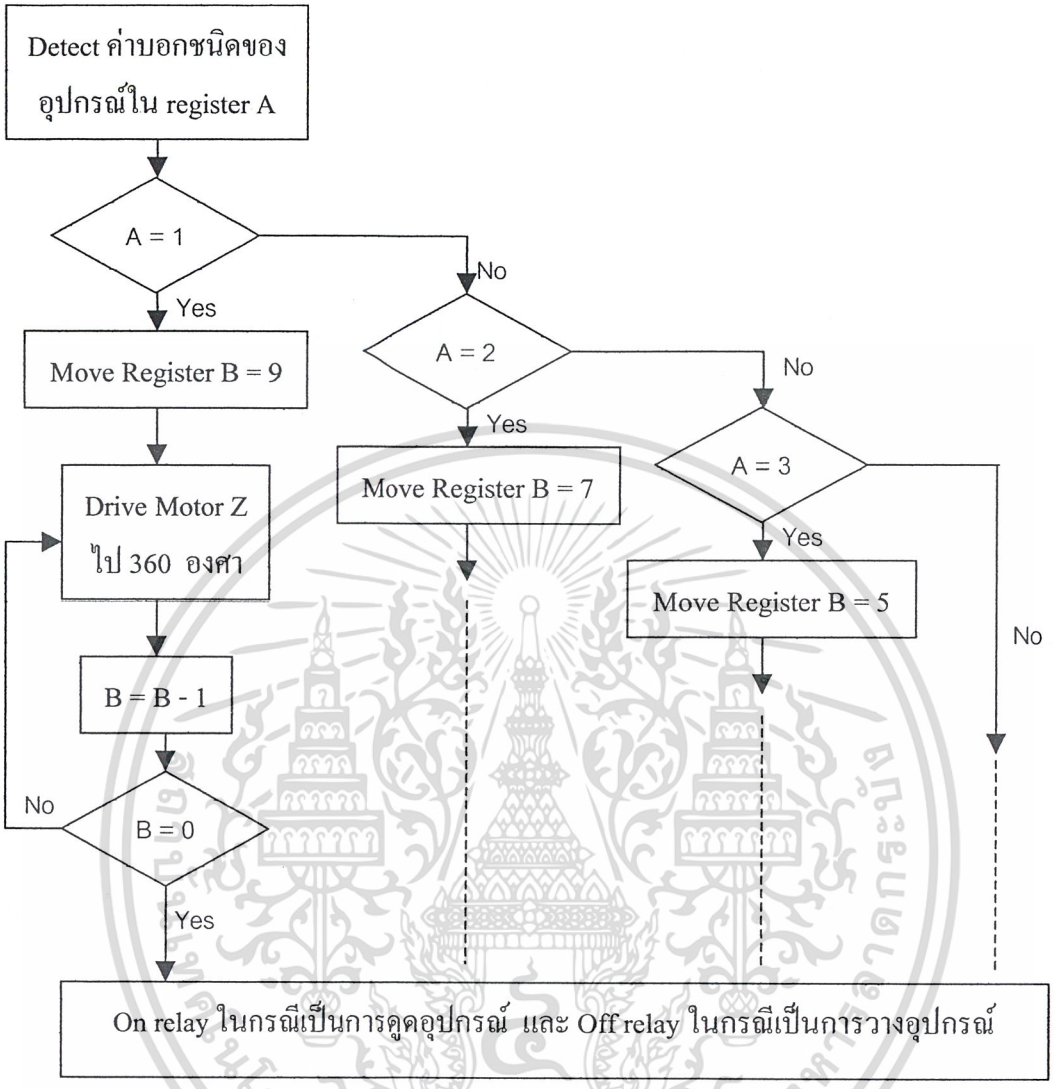
ภาพที่ 3.9 ผังแสดงกระบวนการเลื่อนหัวดูดไปที่ตำแหน่งอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 ผังแสดงขั้นตอนการเลื่อนแกน X และ Y ไปยังพิกัดที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 ผังแสดงขั้นตอนการเลื่อนแกน Z ขึ้น-ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การเขียนโปรแกรม

ในส่วนของการเขียนโปรแกรมควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ทั้ง 3 แกนถือเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในโครงงานนี้ ซึ่งการออกแบบและหลักการทำงานของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นล้วนถูกควบคุมโดยการโปรแกรมทางไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยอาศัยขั้นตอนการออกแบบดังแสดงใน Flow Chat ในบทที่ 3 ในบทนี้จึงได้นำ Source Code มาเขียนไว้เพื่อง่ายต่อการศึกษาและการทำความเข้าใจถึงเทคนิคต่างๆที่ใช้ในการควบคุมการเลื่อนแกนทั้ง 3 แกน ดังนี้

3.1 โปรแกรมควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ทั้ง 3

```
org    0000h
xstep1  equ
xstep2  equ    00001010b
xstep3  equ    00001011b
xstep4  equ    00001001b
xstep5  equ    00001101b
xstep6  equ    00000101b
xstep7  equ    00000111b
xstep8  equ    00000110b
ystep1  equ    00010000b
ystep2  equ    00110000b
ystep3  equ    00100000b
ystep4  equ    01100000b
ystep5  equ    01000000b
ystep6  equ    11000000b
ystep7  equ    10000000b
ystep8  equ    10010000b
zstep1  equ    00010000b
zstep2  equ    00100000b
zstep3  equ    01000000b
zstep4  equ    10000000b
bzstep1 equ    10000000b
bzstep2 equ    01000000b
bzstep3 equ    00100000b
bzstep4 equ    00010000b
bxstep1 equ    00000110b
bxstep2 equ    00000111b
bxstep3 equ    00000101b
bxstep4 equ    00001101b
bxstep5 equ    00001001b
bxstep6 equ    00001011b
bxstep7 equ    00001010b
bxstep8 equ    00001110b
devide  equ    200
typecom equ    142
compn1  equ    108
compn2  equ    84
compn3  equ    60
pmotor  equ    p0
portz   equ    p3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
relay  equ   p2.7
rest   equ   00001111b
restz  equ   00000000b
lbytex equ   1010
hbytex equ   1210
lbytey equ   1410
hbytey equ   1610
cl1    equ   p2.0
cl2    equ   p2.1
cl3    equ   p2.2
row1   equ   p2.3
row2   equ   p2.4
row3   equ   p2.5
row4   equ   p2.6
baud   equ   244    :256-12
newic: mov   p1,#0
mov    sp,#0090h
mov    pcon,#80h
mov    tmod,#22h
mov    th1,#baud
mov    tl1,#baud
setb   tcon.6
mov    scon,#52h
setb   psw.4
clr    psw.3
lcall  getxy
mov    r7,a
clr    psw.4
clr    psw.3
lcall  getxy
mov    0038h,a
mov    r0,0038h
inc    r0

start1:djnz  r0,get
       jmp   con
get:   lcall getxy
       push  acc
       jmp   start1

con:   mov   p2,#01111111b
       clr   cl3
       jnb   row4,checkenter
       setb  cl1
       ajmp  con
checkenter: lcall  delay10ms
       jnb   row4,go
       ajmp  con

go:    nop
       clr   psw.4
       setb  psw.3
       mov   r0,#lbytex
       mov   r1,#hbytex
       setb  psw.4
       clr   psw.3
       mov   r0,#lbytey
       mov   r1,#hbytey
       clr   psw.4
       clr   psw.3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      mov    r0,0038h
ckb:  clr    psw.4
      clr    psw.3
      cjne   r0,#0,popacc
      jmp    mov255

popacc:setb   psw.4 position y
      clr    psw.3
      pop    acc
      mov    @r0,acc
      inc    r0
      pop    acc
      mov    @r1,acc
      inc    r1

      clr    psw.4
      clr    psw.3
      dec    r0
      dec    r0

      clr    psw.4          ;keep position x
      setb   psw.3
      pop    acc
      mov    @r0,acc
      inc    r0
      pop    acc
      mov    @r1,acc
      inc    r1

      clr    psw.4
      clr    psw.3
      dec    r0
      dec    r0
      jmp    ckb

mov255:clr    psw.4          ;mov valuve
for check end position xy
      setb   psw.3
      mov    @r0,#0
      mov    @r1,#11111111b

      setb   psw.4
      clr    psw.3
      mov    @r0,#0
      mov    @r1,#11111111b

      clr    psw.4
      clr    psw.3

      clr    psw.4          ;set start position
address for keep number
      setb   psw.3          ;of step from pc so
it use register blank1
      mov    r0,#lbytex     ;lowbytex
      mov    r1,#hbytex     ;highbytex
      setb   psw.4
      clr    psw.3
      mov    r0,#lbytey     ;lowbytey
      mov    r1,#hbytey     ;highbytey

      jmp    begin
start: clr    psw.4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        setb    psw.3
        inc     r0
        inc     r1
        setb    psw.4
        clr     psw.3
        inc     r0
        inc     r1
begin:  setb    psw.4
        clr     psw.3
        mov     r5,#typecom
        mov     a,r7
        mov     r6,a

comp1:  setb    psw.4
        clr     psw.3
        cjne    r5,#0,comd1
        cjne    r6,#0,cset1
        ajmp    halfcomp
cset1:  dec     r6
        mov     r5,#typecom
comd1:  dec     r5
        setb    psw.4
        setb    psw.3
        mov     r6,#bxstep2
        mov     r7,#0
        clr     psw.4
        clr     psw.3
        lcall   outport

comp2:  setb    psw.4
        clr     psw.3
        cjne    r5,#0,comd2
        cjne    r6,#0,cset2
        ajmp    halfcomp
cset2:  dec     r6
        mov     r5,#typecom
comd2:  dec     r5
        setb    psw.4
        setb    psw.3
        mov     r6,#bxstep3
        mov     r7,#0
        clr     psw.4
        clr     psw.3
        lcall   outport

comp3:  setb    psw.4
        clr     psw.3
        cjne    r5,#0,comd3
        cjne    r6,#0,cset3
        ajmp    halfcomp
cset3:  dec     r6
        mov     r5,#typecom
comd3:  dec     r5
        setb    psw.4
        setb    psw.3
        mov     r6,#bxstep4
        mov     r7,#0
        clr     psw.4
        clr     psw.3
        lcall   outport

comp4:  setb    psw.4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        clr    psw.3
        cjne   r5,#0,comd4
        cjne   r6,#0,cset4
        ajmp   halfcomp
cset4: dec     r6
        mov    r5,#typecom
comd4: dec     r5
        setb   psw.4
        setb   psw.3
        mov    r6,#bxstep5
        mov    r7,#0
        clr    psw.4
        clr    psw.3
        lcall  outport

comp5: setb    psw.4
        clr    psw.3
        cjne   r5,#0,comd5
        cjne   r6,#0,cset5
        ajmp   halfcomp
cset5: dec     r6
        mov    r5,#typecom
comd5: dec     r5
        setb   psw.4
        setb   psw.3
        mov    r6,#bxstep6
        mov    r7,#0
        clr    psw.4
        clr    psw.3
        lcall  outport

comp6: setb    psw.4
        clr    psw.3
        cjne   r5,#0,comd6
        cjne   r6,#0,cset6
        ajmp   halfcomp
cset6: dec     r6
        mov    r5,#typecom
comd6: dec     r5
        setb   psw.4
        setb   psw.3
        mov    r6,#bxstep7
        mov    r7,#0
        clr    psw.4
        clr    psw.3
        lcall  outport

comp7: setb    psw.4
        clr    psw.3
        cjne   r5,#0,comd7
        cjne   r6,#0,cset7
        ajmp   halfcomp
cset7: dec     r6
        mov    r5,#typecom
comd7: dec     r5
        setb   psw.4
        setb   psw.3
        mov    r6,#bxstep8
        mov    r7,#0
        clr    psw.4
        clr    psw.3
        lcall  outport
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
comp8: setb   psw.4
       clr    psw.3
       cjne   r5,#0,comd8
       cjne   r6,#0,cset8
       ajmp   halfcomp
cset8: dec    r6
       mov    r5,#typecom
comd8: dec    r5
       setb   psw.4
       setb   psw.3
       mov    r6,#bxstep1
       mov    r7,#0
       clr    psw.4
       clr    psw.3
       lcall  outport

       ajmp   comp1

halfcomp: lcall  downz
       lcall  delay1ms
onrelay: setb   relay
       lcall  delay1s
       lcall  upz
backto00: setb   psw.4
       clr    psw.3
       mov    r5,#typecom
       mov    a,r7
       mov    r6,a

       setb   psw.4
       setb   psw.3
       cjne   r6,#bxstep8,comck2
       ajmp   bcom2
comck2: cjne   r6,#bxstep7,comck3
       ajmp   bcom3
comck3: cjne   r6,#bxstep6,comck4
       ajmp   bcom4
comck4: cjne   r6,#bxstep5,comck5
       ajmp   bcom5
comck5: cjne   r6,#bxstep4,comck6
       ajmp   bcom6
comck6: cjne   r6,#bxstep3,comck7
       ajmp   bcom7
comck7: cjne   r6,#bxstep2,comck8
       ajmp   bcom8
comck8: cjne   r6,#bxstep1,comerr
       ajmp   bcom1
comerr: nop

bcom1: setb   psw.4
       clr    psw.3
       cjne   r5,#0,cbmd1
       cjne   r6,#0,cbet1
       ajmp   endchoose
cbet1: dec    r6
       mov    r5,#typecom
cbmd1: dec    r5
       setb   psw.4
       setb   psw.3
       mov    r6,#xstep1
       mov    r7,#0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        clr    psw.4
        clr    psw.3
        lcall  outport

bcom2:  setb   psw.4
        clr    psw.3
        cjne   r5,#0,cbmd2
        cjne   r6,#0,cbet2
        ajmp   endchoose
cbet2:  dec    r6
        mov    r5,#typecom
cbmd2:  dec    r5
        setb   psw.4
        setb   psw.3
        mov    r6,#xstep2
        mov    r7,#0
        clr    psw.4
        clr    psw.3
        lcall  outport

bcom3:  setb   psw.4
        clr    psw.3
        cjne   r5,#0,cbmd3
        cjne   r6,#0,cbet3
        ajmp   endchoose
cbet3:  dec    r6
        mov    r5,#typecom
cbmd3:  dec    r5
        setb   psw.4
        setb   psw.3
        mov    r6,#xstep3
        mov    r7,#0
        clr    psw.4
        clr    psw.3
        lcall  outport

bcom4:  setb   psw.4
        clr    psw.3
        cjne   r5,#0,cbmd4
        cjne   r6,#0,cbet4
        ajmp   endchoose
cbet4:  dec    r6
        mov    r5,#typecom
cbmd4:  dec    r5
        setb   psw.4
        setb   psw.3
        mov    r6,#xstep4
        mov    r7,#0
        clr    psw.4
        clr    psw.3
        lcall  outport

bcom5:  setb   psw.4
        clr    psw.3
        cjne   r5,#0,cbmd5
        cjne   r6,#0,cbet5
        ajmp   endchoose
cbet5:  dec    r6
        mov    r5,#typecom
cbmd5:  dec    r5
        setb   psw.4
        setb   psw.3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    mov   r6,#xstep5
    mov   r7,#0
    clr   psw.4
    clr   psw.3
    lcall outport

bcom6: setb  psw.4
    clr   psw.3
    cjne  r5,#0,cbmd6
    cjne  r6,#0,cbet6
    ajmp  endchoose
cbet6: dec   r6
    mov   r5,#typecom
cbmd6: dec   r5
    setb  psw.4
    setb  psw.3
    mov   r6,#xstep6
    mov   r7,#0
    clr   psw.4
    clr   psw.3
    lcall outport

bcom7: setb  psw.4
    clr   psw.3
    cjne  r5,#0,cbmd7
    cjne  r6,#0,cbet7
    ajmp  endchoose
cbet7: dec   r6
    mov   r5,#typecom
cbmd7: dec   r5
    setb  psw.4
    setb  psw.3
    mov   r6,#xstep7
    mov   r7,#0
    clr   psw.4
    clr   psw.3
    lcall outport

bcom8: setb  psw.4
    clr   psw.3
    cjne  r5,#0,cbmd8
    cjne  r6,#0,cbet8
    ajmp  endchoose
cbet8: dec   r6
    mov   r5,#typecom
cbmd8: dec   r5
    setb  psw.4
    setb  psw.3
    mov   r6,#xstep8
    mov   r7,#0
    clr   psw.4
    clr   psw.3
    lcall outport

    ajmp  bcom1
endchoose: nop
    clr   psw.4
    setb  psw.3
    mov   a,@r0
    clr   psw.4
    clr   psw.3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov    r0,a              ;r0 in blank0
keep lowbytex
        mov    r4,a
        clr    psw.4
        setb   psw.3
        mov    a,@r1
        clr    psw.4
        clr    psw.3
        mov    r1,a
        mov    r5,a
        setb   psw.4
        clr    psw.3
        mov    a,@r0
        clr    psw.4
        clr    psw.3
        mov    r2,a
        mov    r6,a
        setb   psw.4
        clr    psw.3
        mov    a,@r1
        clr    psw.4
        clr    psw.3
        mov    r3,a
        mov    r7,a

mr6r7: setb    psw.4
        setb   psw.3
        mov    r6,#xstep1
        mov    r7,#ystep1
        clr    psw.4
        clr    psw.3
        cjne   r1,#11111111b,ckzero
        cjne   r3,#11111111b,ckzero
        ljmp   endd
ckzero:clr     psw.4
        clr    psw.3
        cjne   r0,#0,step1
        cjne   r1,#0,step1
        cjne   r2,#0,step1
        cjne   r3,#0,step1
        ljmp   finish

ckfinish1: cjne  r0,#0,step1
        cjne  r1,#0,step1
        cjne  r2,#0,step1
        cjne  r3,#0,step1
        ljmp  rest3s
    step1: nop
    ckx1: cjne r0,#0,decxstep1
cjne r1,#0,set1x200
        nop
        jmp  cky1
set1x200: dec  r1
        mov  r0,#devide
decxstep1: dec  r0
        setb psw.4
        setb psw.3
        mov  r6,#xstep1
        clr  psw.4
        clr  psw.3
    cky1: cjne r2,#0,decystep1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        cjne r3,#0,set1y200
        nop
        jmp  outport1
set1y200: dec  r3
        mov  r2,#devide
decystep1: dec  r2
        setb psw.4
        setb psw.3
        mov  r7,#ystep1
        clr  psw.4
        clr  psw.3

outport1: lcall outport

ckfinish2: cjne  r0,#0,step2
        cjne  r1,#0,step2
        cjne  r2,#0,step2
        cjne  r3,#0,step2
        ljmp  rest3s

  step2: nop
   ckx2: cjne  r0,#0,decxstep2
        cjne  r1,#0,set2x200
        nop
        jmp   cky2
set2x200: dec   r1
        mov   r0,#devide
decxstep2: dec   r0
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov   r6,#xstep2
        clr   psw.4
        clr   psw.3

  cky2: cjne  r2,#0,decystep2
        cjne  r3,#0,set2y200
        nop
        jmp   outport2
set2y200: dec   r3
        mov   r2,#devide
decystep2: dec   r2
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov   r7,#ystep2
        clr   psw.4
        clr   psw.3
 outport2: lcall outport

ckfinish3: cjne  r0,#0,step3
        cjne  r1,#0,step3
        cjne  r2,#0,step3
        cjne  r3,#0,step3
        ljmp  rest3s

 step3: nop
  ckx3: cjne  r0,#0,decxstep3
        cjne  r1,#0,set3x200
        nop
        jmp   cky3
set3x200: dec   r1
        mov   r0,#devide
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
decxstep3: dec   r0
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov   r6,#xstep3
        clr   psw.4
        clr   psw.3

    cky3: cjne  r2,#0,decystep3
        cjne  r3,#0,set3y200
        nop
        jmp   outport3
 set3y200: dec   r3
        mov   r2,#devide
decystep3: dec   r2
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov   r7,#ystep3
        clr   psw.4
        clr   psw.3

 outport3: lcall outport

ckfinish4: cjne  r0,#0,step4
        cjne  r1,#0,step4
        cjne  r2,#0,step4
        cjne  r3,#0,step4
        ljmp  rest3s

    step4: nop
     ckx4: cjne  r0,#0,decxstep4
        cjne  r1,#0,set4x200
        nop
        jmp   cky4
 set4x200: dec   r1
        mov   r0,#devide
decxstep4: dec   r0
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov   r6,#xstep4
        clr   psw.4
        clr   psw.3

    cky4: cjne  r2,#0,decystep4
        cjne  r3,#0,set4y200
        nop
        jmp   outport4
 set4y200: dec   r3
        mov   r2,#devide
decystep4: dec   r2
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov   r7,#ystep4
        clr   psw.4
        clr   psw.3

 outport4: lcall outport

ckfinish5: cjne  r0,#0,step5
        cjne  r1,#0,step5
        cjne  r2,#0,step5
        cjne  r3,#0,step5
        ljmp  rest3s
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   step5: nop
   ckx5: cjne  r0,#0,decxstep5
         cjne  r1,#0,set5x200
         nop
         jmp   cky5
set5x200: dec   r1
         mov   r0,#devide
decxstep5: dec   r0
         setb  psw.4
         setb  psw.3
         mov   r6,#xstep5
         clr   psw.4
         clr   psw.3

   cky5: cjne  r2,#0,decystep5
         cjne  r3,#0,set5y200
         nop
         jmp   outport5
set5y200: dec   r3
         mov   r2,#devide
decystep5: dec   r2
         setb  psw.4
         setb  psw.3
         mov   r7,#ystep5
         clr   psw.4
         clr   psw.3

outport5: lcall outport

ckfinish6: cjne  r0,#0,step6
         cjne  r1,#0,step6
         cjne  r2,#0,step6
         cjne  r3,#0,step6
         ljmp  rest3s

step6: nop
   ckx6: cjne  r0,#0,decxstep6
         cjne  r1,#0,set6x200
         nop
         jmp   cky6
set6x200: dec   r1
         mov   r0,#devide
decxstep6: dec   r0
         setb  psw.4
         setb  psw.3
         mov   r6,#xstep6
         clr   psw.4
         clr   psw.3

   cky6: cjne  r2,#0,decystep6
         cjne  r3,#0,set6y200
         nop
         jmp   outport6
set6y200: dec   r3
         mov   r2,#devide
decystep6: dec   r2
         setb  psw.4
         setb  psw.3
         mov   r7,#ystep6
         clr   psw.4
         clr   psw.3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
outport6: lcall outport

ckfinish7: cjne  r0,#0,step7
        cjne  r1,#0,step7
        cjne  r2,#0,step7
        cjne  r3,#0,step7
        ljmp  rest3s

   step7: nop
    ckx7: cjne  r0,#0,decxstep7
        cjne  r1,#0,set7x200
        nop
        jmp   cky7
 set7x200: dec   r1
        mov   r0,#devide
decxstep7: dec   r0
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov   r6,#xstep7
        clr   psw.4
        clr   psw.3

    cky7: cjne  r2,#0,decystep7
        cjne  r3,#0,set7y200
        nop
        jmp   outport7
 set7y200: dec   r3
        mov   r2,#devide
decystep7: dec   r2
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov   r7,#ystep7
        clr   psw.4
        clr   psw.3

 outport7: lcall outport

ckfinish8: cjne  r0,#0,step8
        cjne  r1,#0,step8
        cjne  r2,#0,step8
        cjne  r3,#0,step8
        ljmp  rest3s

   step8: nop
    ckx8: cjne  r0,#0,decxstep8
        cjne  r1,#0,set8x200
        nop
        jmp   cky8
 set8x200: dec   r1
        mov   r0,#devide
decxstep8: dec   r0
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov   r6,#xstep8
        clr   psw.4
        clr   psw.3

    cky8: cjne  r2,#0,decystep8
        cjne  r3,#0,set8y200
        nop
        jmp   outport8
 set8y200: dec   r3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov  r2,#devide
decystep8: dec  r2
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov  r7,#ystep8
        clr  psw.4
        clr  psw.3

outport8: lcall outport

        ajmp  ckfinish1


 rest3s:
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov  r3,#60
   t:   mov  pmotor,#rest
        lcall delay10ms
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        djnz  r3,t

 target: lcall  downz
        lcall  delay1ms
        clr   relay
        lcall  delay1s
        lcall  upz

        setb  psw.4
        setb  psw.3
        cjne  r6,#xstep1,ckjump2
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp  bckfinish1
ckjump2: cjne  r6,#xstep2,ckjump3
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp  bckfinish8
ckjump3: cjne  r6,#xstep3,ckjump4
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp  bckfinish7
ckjump4: cjne  r6,#xstep4,ckjump5
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp  bckfinish6
ckjump5: cjne  r6,#xstep5,ckjump6
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp  bckfinish5
ckjump6: cjne  r6,#xstep6,ckjump7
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp  bckfinish4
ckjump7: cjne  r6,#xstep7,ckjump8
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp  bckfinish3
ckjump8: cjne  r6,#xstep8,error2
        clr  psw.4
        clr  psw.3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ajmp  bckfinish2

error2:  ljmp  error

bckfinish1: clr   psw.4
        clr   psw.3
        cjne  r4,#0,bstep1
        cjne  r5,#0,bstep1
        cjne  r6,#0,bstep1
        cjne  r7,#0,bstep1
        ljmp  finish

   bstep1: nop
    bckx1: cjne r4,#0,bdecxstep1
        cjne r5,#0,bset1x200
        nop
        jmp  bcky1
 bset1x200: dec  r5
        mov  r4,#devide
bdecxstep1: dec  r4
        setb psw.4
        setb psw.3
        mov  r6,#bxstep1
        clr  psw.4
        clr  psw.3

    bcky1: cjne r6,#0,bdecystep1
        cjne r7,#0,bset1y200
        nop
        jmp  boutport1
bset1y200: dec  r7
        mov  r6,#devide
bdecystep1: dec  r6
        setb psw.4
        setb psw.3
     by1: cjne r7,#00010000b,by2
        mov  r7,#10010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport1
     by2: cjne r7,#00110000b,by3
        mov  r7,#00010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport1
     by3: cjne r7,#00100000b,by4
        mov  r7,#00110000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport1
     by4: cjne r7,#01100000b,by5
        mov  r7,#00100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport1
    by5: cjne r7,#01000000b,by6
        mov  r7,#01100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport1
    by6: cjne r7,#11000000b,by7
        mov  r7,#01000000b
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport1
    by7: cjne r7,#10000000b,by8
        mov  r7,#11000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport1
    by8: cjne r7,#10010000b,boutport1
        mov  r7,#10000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3

boutport1: lcall outport

bckfinish2: cjne  r4,#0,bstep2
        cjne  r5,#0,bstep2
        cjne  r6,#0,bstep2
        cjne  r7,#0,bstep2
        ljmp  finish

bstep2: nop
bckx2: cjne r4,#0,bdecxstep2
        cjne r5,#0,bset2x200
        nop
        jmp  bcky2
bset2x200: dec  r5
        mov  r4,#devide
bdecxstep2: dec  r4
        setb psw.4
        setb psw.3
        mov  r6,#bxstep2
        clr  psw.4
        clr  psw.3

bcky2: cjne r6,#0,bdecystep2
        cjne r7,#0,bset2y200
        nop                    ;number stepy =
0 use old step
        jmp  boutport2
bset2y200: dec  r7
        mov  r6,#devide
bdecystep2: dec  r6

        setb psw.4
        setb psw.3
        cjne r7,#00010000b,b2y2
        mov  r7,#10010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport2
    b2y2: cjne r7,#00110000b,b2y3
        mov  r7,#00010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport2
    b2y3: cjne r7,#00100000b,b2y4
        mov  r7,#00110000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport2
    b2y4: cjne r7,#01100000b,b2y5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov  r7,#00100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport2
    b2y5: cjne r7,#01000000b,b2y6
        mov  r7,#01100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport2
    b2y6: cjne r7,#11000000b,b2y7
        mov  r7,#01000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport2
    b2y7: cjne r7,#10000000b,b2y8
        mov  r7,#11000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport2
    b2y8: cjne r7,#10010000b,boutport2
        mov  r7,#10000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3

 boutport2: lcall outport

bckfinish3: cjne  r4,#0,bstep3
        cjne  r5,#0,bstep3
        cjne  r6,#0,bstep3
        cjne  r7,#0,bstep3
        ljmp  finish

      bstep3: nop
       bckx3: cjne r4,#0,bdecxstep3
            cjne r5,#0,bset3x200
            nop              ;number step x = 0
    use old step
            jmp  bcky3
     bset3x200: dec  r5          ;case r1 do not
    zero
            mov  r4,#devide
     bdecxstep3: dec  r4
            setb psw.4
            setb psw.3
            mov  r6,#bxstep3
            clr  psw.4
            clr  psw.3
       bcky3: cjne r6,#0,bdecystep3
            cjne r7,#0,bset3y200
            nop              ;number stepy = 0 use
    old step
            jmp  boutport3
     bset3y200: dec  r7
            mov  r6,#devide
    bdecystep3: dec  r6

            setb psw.4
            setb psw.3
            cjne r7,#00010000b,b3y2
            mov  r7,#10010000b
            clr  psw.4
            clr  psw.3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ajmp boutport3
b3y2: cjne r7,#00110000b,b3y3
    mov  r7,#00010000b
    clr  psw.4
    clr  psw.3
    ajmp boutport3
b3y3: cjne r7,#00100000b,b3y4
    mov  r7,#00110000b
    clr  psw.4
    clr  psw.3
    ajmp boutport3
b3y4: cjne r7,#01100000b,b3y5
    mov  r7,#00100000b
    clr  psw.4
    clr  psw.3
    ajmp boutport3
b3y5: cjne r7,#01000000b,b3y6
    mov  r7,#01100000b
    clr  psw.4
    clr  psw.3
    ajmp boutport3
b3y6: cjne r7,#11000000b,b3y7
    mov  r7,#01000000b
    clr  psw.4
    clr  psw.3
    ajmp boutport3
b3y7: cjne r7,#10000000b,b3y8
    mov  r7,#11000000b
    clr  psw.4
    clr  psw.3
    ajmp boutport3
b3y8: cjne r7,#10010000b,boutport3
    mov  r7,#10000000b
    clr  psw.4
    clr  psw.3

boutport3: lcall outport

bckfinish4: cjne  r4,#0,bstep4
    cjne  r5,#0,bstep4
    cjne  r6,#0,bstep4
    cjne  r7,#0,bstep4
    ljmp  finish
 bstep4: nop
  bckx4: cjne r4,#0,bdecxstep4
    cjne r5,#0,bset4x200
    nop
    jmp  bcky4
bset4x200: dec  r5
    mov  r4,#devide
bdecxstep4: dec  r4
    setb psw.4
    setb psw.3
    mov  r6,#bxstep4
    clr  psw.4
    clr  psw.3

 bcky4: cjne r6,#0,bdecystep4
    cjne r7,#0,bset4y200
    nop
    jmp  boutport4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
bset4y200: dec  r7
        mov  r6,#devide
bdecystep4: dec  r6

        setb psw.4
        setb psw.3
        cjne r7,#00010000b,b4y2
        mov  r7,#10010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport4
    b4y2: cjne r7,#00110000b,b4y3
        mov  r7,#00010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport4
    b4y3: cjne r7,#00100000b,b4y4
        mov  r7,#00110000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport4
    b4y4: cjne r7,#01100000b,b4y5
        mov  r7,#00100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport4
    b4y5: cjne r7,#01000000b,b4y6
        mov  r7,#01100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport4
    b4y6: cjne r7,#11000000b,b4y7
        mov  r7,#01000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport4
    b4y7: cjne r7,#10000000b,b4y8
        mov  r7,#11000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport4
    b4y8: cjne r7,#10010000b,boutport4
        mov  r7,#10000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
    boutport4: lcall outport
bckfinish5: cjne  r4,#0,bstep5
        cjne  r5,#0,bstep5
        cjne  r6,#0,bstep5
        cjne  r7,#0,bstep5
        ljmp  finish

  bstep5: nop
   bckx5: cjne r4,#0,bdecxstep5
        cjne r5,#0,bset5x200
        nop
        jmp  bcky5
 bset5x200: dec  r5
        mov  r4,#devide
bdecxstep5: dec  r4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        setb psw.4
        setb psw.3
        mov  r6,#bxstep5
        clr  psw.4
        clr  psw.3

    bcky5: cjne r6,#0,bdecystep5
        cjne r7,#0,bset5y200
        nop
        jmp  boutport5
 bset5y200: dec  r7
        mov  r6,#devide
bdecystep5: dec  r6

        setb psw.4
        setb psw.3
        cjne r7,#00010000b,b5y2
        mov  r7,#10010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport5
     b5y2: cjne r7,#00110000b,b5y3
        mov  r7,#00010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport5
     b5y3: cjne r7,#00100000b,b5y4
        mov  r7,#00110000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport5
b5y4: cjne r7,#01100000b,b5y5
        mov  r7,#00100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport5
b5y5: cjne r7,#01000000b,b5y6
        mov  r7,#01100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport5
 b5y6: cjne r7,#11000000b,b5y7
        mov  r7,#01000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport5
b5y7: cjne r7,#10000000b,b5y8
        mov  r7,#11000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport5
b5y8: cjne r7,#10010000b,boutport5
        mov  r7,#10000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3

 boutport5: lcall outport

bckfinish6: cjne  r4,#0,bstep6
        cjne  r5,#0,bstep6
        cjne  r6,#0,bstep6
        cjne  r7,#0,bstep6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ljmp  finish

   bstep6: nop
    bckx6: cjne r4,#0,bdecxstep6
        cjne r5,#0,bset6x200
        nop
        jmp  bcky6
 bset6x200: dec  r5
        mov  r4,#devide
bdecxstep6: dec  r4
        setb psw.4
        setb psw.3
        mov  r6,#bxstep6
        clr  psw.4
        clr  psw.3

    bcky6: cjne r6,#0,bdecystep6
        cjne r7,#0,bset6y200
        nop
        jmp  boutport6
 bset6y200: dec  r7
        mov  r6,#devide
bdecystep6: dec  r6

        setb psw.4
        setb psw.3
        cjne r7,#00010000b,b6y2
        mov  r7,#10010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport6
b6y2: cjne r7,#00110000b,b6y3
        mov  r7,#00010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport6
b6y3: cjne r7,#00100000b,b6y4
        mov  r7,#00110000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport6
b6y4: cjne r7,#01100000b,b6y5
        mov  r7,#00100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport6
b6y5: cjne r7,#01000000b,b6y6
        mov  r7,#01100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport6
b6y6: cjne r7,#11000000b,b6y7
        mov  r7,#01000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport6
b6y7: cjne r7,#10000000b,b6y8
        mov  r7,#11000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport6
b6y8: cjne r7,#10010000b,boutport6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov  r7,#10000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3

boutport6: lcall outport

bckfinish7: cjne  r4,#0,bstep7
        cjne  r5,#0,bstep7
        cjne  r6,#0,bstep7
        cjne  r7,#0,bstep7
        ljmp  finish

  bstep7: nop
   bckx7: cjne r4,#0,bdecxstep7
        cjne r5,#0,bset7x200
        nop
        jmp  bcky7
bset7x200: dec  r5
        mov  r4,#devide
bdecxstep7: dec  r4
        setb psw.4
        setb psw.3
        mov  r6,#bxstep7
        clr  psw.4
        clr  psw.3

   bcky7: cjne r6,#0,bdecystep7
        cjne r7,#0,bset7y200
        nop
        jmp  boutport7
bset7y200: dec  r7
        mov  r6,#devide
bdecystep7: dec  r6

        setb psw.4
        setb psw.3
        cjne r7,#00010000b,b7y2
        mov  r7,#10010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport7
b7y2: cjne r7,#00110000b,b7y3
        mov  r7,#00010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport7
b7y3: cjne r7,#00100000b,b7y4
        mov  r7,#00110000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport7
b7y4: cjne r7,#01100000b,b7y5
        mov  r7,#00100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport7
b7y5: cjne r7,#01000000b,b7y6
        mov  r7,#01100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport7
b7y6: cjne r7,#11000000b,b7y7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov  r7,#01000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport7
    b7y7: cjne r7,#10000000b,b7y8
        mov  r7,#11000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport7
    b7y8: cjne r7,#10010000b,boutport7
        mov  r7,#10000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3

boutport7: lcall outport

bckfinish8: cjne  r4,#0,bstep8
        cjne  r5,#0,bstep8
        cjne  r6,#0,bstep8
        cjne  r7,#0,bstep8
        ljmp  finish

   bstep8: nop
    bckx8: cjne r4,#0,bdecxstep8
        cjne r5,#0,bset8x200
        nop
        jmp  bcky8
 bset8x200: dec  r5
        mov  r4,#devide
bdecxstep8: dec  r4
        setb psw.4
        setb psw.3
        mov  r6,#bxstep8
        clr  psw.4
        clr  psw.3

bcky8: cjne r6,#0,bdecystep8
        cjne r7,#0,bset8y200
        nop
        jmp  boutport8
 bset8y200: dec  r7
        mov  r6,#devide
bdecystep8: dec  r6

        setb psw.4
        setb psw.3
        cjne r7,#00010000b,b8y2
        mov  r7,#10010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ljmp boutport8
    b8y2: cjne r7,#00110000b,b8y3
        mov  r7,#00010000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ljmp boutport8
    b8y3: cjne r7,#00100000b,b8y4
        mov  r7,#00110000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ljmp boutport8
    b8y4: cjne r7,#01100000b,b8y5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov  r7,#00100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport8
b8y5:   cjne r7,#01000000b,b8y6
        mov  r7,#01100000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport8
b8y6:   cjne r7,#11000000b,b8y7
        mov  r7,#01000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport8
b8y7:   cjne r7,#10000000b,b8y8
        mov  r7,#11000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ajmp boutport8
b8y8:   cjne r7,#10010000b,boutport8
        mov  r7,#10000000b
        clr  psw.4
        clr  psw.3

boutport8: lcall outport

        ljmp bckfinish1

finish: setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov   r1,#200
ttt:    mov   pmotor,#rest
        acall delay10ms
        setb  psw.4
        setb  psw.3
        djnz  r1,ttt
        clr   psw.4
        clr   psw.3
        ljmp  start

outport: setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov   a,r6
        mov   b,r7
        orl   a,b
        mov   pmotor,a
        acall delay10ms
        clr   psw.4
        clr   psw.3
        ret

getxy:  mov   p1,#11000011b
        jnb   scon.0,getxy
        clr   scon.0
        mov   a,sbuf
        ret

downz:  setb  psw.4
        clr   psw.3
        cjne  r7,#1,nstep2
        mov   r4,#compn1      ;drive z for
pick up component
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        jmp    comckz
nstep2: cjne   r7,#2,nstep3
        mov    r4,#compn2
        jmp    comckz
nstep3: cjne   r7,#3,nserr
nserr: mov     r4,#compn3

comckz: setb   psw.4
        clr    psw.3
        djnz   r4,zdrive1
        jmp    enddownz

zdrive1: mov   portz,#zstep1
        lcall  delay1ms
zdrive2: mov   portz,#zstep2
        lcall  delay1ms
zdrive3: mov   portz,#zstep3
        lcall  delay1ms
zdrive4: mov   portz,#zstep4
        lcall  delay1ms
        jmp    comckz
enddownz: mov  portz,#restz
        ret

  upz: setb    psw.4
        clr    psw.3
        cjne   r7,#1,znstep2
        mov    r4,#compn1      ;drive z for
pick up component
        jmp    bcomckz
znstep2: cjne  r7,#2,znstep3
        mov    r4,#compn2
        jmp    bcomckz
znstep3: cjne  r7,#3,znserr
znserr: mov    r4,#compn3

bcomckz: setb  psw.4
        clr    psw.3
        djnz   r4,bzdrive1
        jmp    endupz

bzdrive1: mov  portz,#bzstep2
        lcall  delay1ms
bzdrive2: mov  portz,#bzstep3
        lcall  delay1ms
bzdrive3: mov  portz,#bzstep4
        lcall  delay1ms
bxdrive4: mov  portz,#bzstep1
        lcall  delay1ms
        jmp    bcomckz
endupz: mov    portz,#restz
        ret

delay1s: clr   psw.4
        setb   psw.4
        mov    r5,#20
l3: mov    r6,#200
l2: mov    r7,#200
l1: nop
        djnz   r7,l1
        djnz   r6,l2
        djnz   r5,l3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ret

delay10ms: setb  psw.4
        setb  psw.3
        mov  r4,#7      ;7
  setvr5: mov  r5,#100
    loop: nop
        djnz  r5,loop
        djnz  r4,setvr5
        clr  psw.4
        clr  psw.3
        ret

   error: mov  p1,#00011000b

finishend: nop

    endd: mov  p1,#11111111b
        acall delay1s
        acall delay1s
        mov  pmotor,#rest
        mov  portz,#restz
        ljmp  newic

        end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลอง

จากระบบการทำงานของเครื่องที่ต้องการศึกษาตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ คือ สามารถดูดและวางอุปกรณ์ตามตำแหน่งที่ได้ป้อนค่าทางคอมพิวเตอร์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในการทดลองผู้จัดทำได้ทำการทดลองในส่วนของแกน X และแกน Y ก่อนที่จะไปทดสอบการทำงานในช่วงขณะการวางและการดูดอุปกรณ์ของทางแกน Z จากนั้นจึงทำการทดลองร่วมกันทั้งระบบซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

5.1.1 ผลการทดลองส่วนของแกน X และแกน Y

ในการทดลองนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การทดสอบเกี่ยวกับการขับเคลื่อนไปยังพิกัดที่ต้องการได้ถูกต้องและแม่นยำของแกน X และแกน Y และการหาระยะทางต่อสเตปของมอเตอร์ในแต่ละแกน โดยผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2 ดังนี้

จำนวนสเตปของมอเตอร์ (สเตป)	ระยะทางที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	จำนวนสเตปของมอเตอร์ (สเตป)	ระยะทางที่วัดได้ (มิลลิเมตร)
100	7.8	1100	85.8
200	15.1	1200	93.5
300	22.5	1300	101.3
400	30.8	1400	109.2
500	38.5	1500	116.4
600	46.5	1600	124.8
700	54.6	1700	133.0
800	62.5	1800	140.7
900	70.5	1900	148.3
1000	78.0	2000	156.0

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองการหาระยะทางต่อสเตปของมอเตอร์แกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนสเตปของมอเตอร์ (สเตป)	ระยะทางที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	จำนวนสเตปของมอเตอร์ (สเตป)	ระยะทางที่วัดได้ (มิลลิเมตร)
50	10.0	450	86.5
100	19.7	500	96.0
150	29.3	550	106.0
200	38.8	600	114.3
250	48.3	650	123.5
300	58.0	700	133.3
350	67.0	750	142.3
400	76.5	800	152.8

ตารางที่ 5.2 แสดงการหาระยะทางต่อสเตปของมอเตอร์แกน Y

จากข้อมูลในตารางทั้ง 2 ข้างต้น ทำให้เราสามารถหาค่าระยะทางต่อสเตปการหมุนของมอเตอร์ในแต่ละโดยประมาณ โดยค่าที่ได้นั้นจะอยู่ในหน่วยของมิลลิเมตร ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าดังต่อไปนี้ ระยะทางต่อสเตปการหมุนของมอเตอร์แกน X มีค่าประมาณ 0.0776 มิลลิเมตร

ระยะทางต่อสเตปการหมุนของมอเตอร์แกน Y มีค่าประมาณ 0.1915 มิลลิเมตร

โดยค่าดังกล่าวข้างต้นเมื่อนำไปหารค่าระยะทางที่ต้องการจะเคลื่อนที่ไปจะทำให้ได้จำนวนรอบการหมุนของสเตปปิงมอเตอร์ของแต่ละแกน ทำให้การทำงานการสั่งการง่ายขึ้นในส่วนของการส่งค่าทางพอร์ตอนุกรมและการควบคุมสเตปปิงมอเตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

แต่พบว่าค่าระยะทางที่ได้จากมอเตอร์ในแกน Y นั้นมักจะมีความผิดพลาดอยู่บ่อยครั้ง ทางผู้จัดทำได้ทำการแก้ไขไปบ้างบางส่วนแล้วแต่ที่ได้นั้นก็ยังพอมีความคลาดเคลื่อนในเกณฑ์ที่ยอมรับได้อยู่บ้าง ซึ่งสาเหตุนั้นผู้จัดทำโครงงานคิดว่าน่าจะเกิดจากความผิดพลาดที่เกิดมาจากทางส่วนของโครงสร้างของตัวเครื่องที่ออกแบบได้ไม่ละเอียดนัก แต่ในส่วนของทางโปรแกรมควบคุมการทำงาน และการรับส่งค่าทางพอร์ตอนุกรมนั้นทำได้ดีเป็นที่น่าพอใจ

5.1.2 ผลการทดลองในส่วนการดูดและวางอุปกรณ์

ในการทดลองนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การดูดตัวอุปกรณ์ ณ ตำแหน่งที่ตัวอุปกรณ์วางอยู่ (โดยตำแหน่งที่วางนั้นกำหนดตายตัว)ไปวาง ณ ตำแหน่งที่เราป้อนค่าจากคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้ ดังนั้นจึงได้ออกแบบจุดที่จะวางตัวอุปกรณ์ไว้ดังในภาพที่ 5.1 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5.1 แสดงแบบการวางตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้เราได้กำหนดขนาดของตัวอุปกรณ์ไว้แน่นอน และได้ทำการทดลองวางตัวอุปกรณ์ ในการวางนั้นได้กำหนดจำนวนตัวอุปกรณ์ไว้ 10 ตัว เพื่อง่ายต่อการควบคุม ในการวางในแต่ละครั้ง ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

จากการทดลองไดผลออกมาเป็นที่พอใช้ได้ คือการดูดตัวอุปกรณ์ของเครื่องนั้นทำได้ในระดับที่น่าพอใจ โดยเครื่องสามารถมาดูดตัวอุปกรณ์ยังตำแหน่งที่เราวางตัวอุปกรณ์ไว้ได้ แต่ในตัวอุปกรณ์ตัวท้ายๆของการวางในแต่ละครั้งมักจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ส่วนในส่วนของการไปวางยังตำแหน่งที่ต้องการนั้นก็ทำได้ในระดับที่น่าพอใจเช่นกัน คือเครื่องสามารถนำไปวางใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่ต้องการได้โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% ซึ่งเกิดมาจากความแรงของการเคลื่อนที่ในแกน Y และความคลาดเคลื่อนของด้านโครงสร้างของแกน Y

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองและการสร้างเครื่องต้นแบบในการวางตัวอุปกรณ์เครื่องนี้ทำให้ผู้ทำโครงงานได้ทราบถึงปัญหาพื้นฐานของการทำงานของเครื่อง ไม่ว่าจะเป็นการส่งค่าจากทางคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์และระบบ การหาระยะต่อสเตปที่ถูกต้อง ขั้นตอนการดูดตัวอุปกรณ์ ขั้นตอนการวางตัวอุปกรณ์ แม้ขณะระหว่างเคลื่อนที่จากตำแหน่งมายังตำแหน่งวาง โดยปัญหาส่วนใหญ่นั้นจะเกิดจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากทางด้านโครงสร้างของตัวเครื่องที่ได้รับการออกแบบแบบธรรมดาๆที่ให้พอทำงานได้ ซึ่งไม่ได้คำนวณทางโครงสร้างโดยละเอียดนัก

อีกทั้งขีดจำกัดทางด้านการวัดค่าต่างๆเพื่อในมาเป็นข้อมูลก็ล้วนมีการประมาณเข้าไปอยู่ด้วยทั้งสิ้น จึงทำให้ค่าที่ใช้ในการควบคุมนั้นไม่ใช่ค่าที่ถูกต้อง 100% ส่งผลให้การทำงานเกิดความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างแต่ก็เป็นผลที่อมรับได้ เนื่องจากค่าส่วนใหญ่ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ย อย่างเช่นการทดลองหาค่าระยะทางต่อสเตปของมอเตอร์ในแต่ละแกน เป็นต้น

โดยสรุปคือเครื่องสามารถทำงานได้ในระดับที่น่าพอใจ จะมีความคลาดเคลื่อนหลักๆ อยู่ 2 ประการคือ ส่วนของความคลาดเคลื่อนทางด้านโครงสร้างซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการออกแบบโครงสร้างให้ดี คำนวณส่วนต่างๆอย่างละเอียดถึงผลต่างที่จะเกิดจากทางด้านโครงสร้าง และส่วนของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากส่วนของการควบคุม ซึ่งประกอบด้วยเรื่องของระยะทางที่แน่นอนของมอเตอร์ในแต่ละรอบการหมุน และการควบคุมขณะนำตัวอุปกรณ์ไปวางซึ่งจากผลการทดลองเห็นได้ชัดเจนว่าที่เครื่องไม่สามารถวางตัวอุปกรณ์ให้ลงไปในกรอบตรงๆได้เพราะเกิดจากความคลาดเคลื่อนทั้งในขณะที่ดูดตัวอุปกรณ์ด้วย Solenoid และขณะนำตัวอุปกรณ์ไปวาง แนวทางในการแก้ไขตรงส่วนนี้ผู้ทำโครงงานคิดว่าควรเขียนโปรแกรมควบคุมการเลื่อนของแกนให้ราบเรียบมากขึ้นเพื่อไม่ให้มีการกระชากขณะนำตัวอุปกรณ์ไปวาง ในส่วนหัวดูดนั้นคิดว่าควรมีขนาดเล็กกว่าตัวอุปกรณ์เพื่อจะได้ดูดตัวอุปกรณ์ได้สะดวกและละเอียดขึ้น และควรมีส่วนตรวจจับก่อนวางอีกทีเผื่อมีการเคลื่อนของตัวอุปกรณ์ โดยตัวหัวดูดควรสามารถหมุนได้อย่างน้อย 180 องศา เพื่อปรับแนวของตัวอุปกรณ์ที่เคลื่อนไปให้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาที่มีค่าเกี่ยวกับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ หลักการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์และคำแนะนำในการออกแบบโครงสร้างของตัวเครื่องจากอาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำโครงงานนี้ ผู้จัดทำได้รู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

อีกทั้งขอขอบคุณทางภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำงานทางด้านโครงสร้าง และเครื่องมือเครื่องใช้ในภายห้องปฏิบัติการของภาค รวมทั้งรุ่นพี่ และเพื่อนๆทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำ ตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ จนทำให้โครงงานนี้สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้จากรายงานฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกๆท่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล . **เรียนรู้และปฏิบัติการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51** , อินโนเวทีฟเอ็กซ์เพอริเมนต์ กรุงเทพฯ , 2539

สุนทร วิทูสุพจน์ . **การโปรแกรมภาษาแอสแซมบลีของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051** , ซีเอ็ดดูเคชั่น , กรุงเทพฯ , 2537

รวมโครงงานอิเล็กทรอนิกส์ไมโครคอมพิวตอร์ , ซีเอ็ดดูเคชั่น , กรุงเทพฯ , 2539

Motion Control System , Parker Motion & Control , กรุงเทพฯ , 2543

กฤษดา ใจเย็น . **เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม** , อินโนเวทีฟเอ็กซ์เพอริเมนต์ กรุงเทพฯ , 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้