สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แขนกลอาบน้ำ

Bath Arm Robot

โดย

นาย ปิยะ พันธุคุปต์

นาย อัศวพล หอสังข์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42368
วัน, เดือน, ปี 20 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แขนกลอาบน้ำ

Bath Arm Robot

โดย

นาย ปิยะ พันธุคุปต์ 42015697

นาย อัศวพล หอสังข์ 42015699

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bath Arm Robot

Mr. Piya	Pantukup	42015697
Mr. Autsavapon	Horsung	42015699

Project Report Submitter in Partial Fulfillment of the Requirement

For the Bachelor 's Degree

Department of Industrial Technology

Faculty of Engineering

King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แขนกลอาบน้ำ		
ชื่อนักศึกษา	นายปิยะ	พันธุคุปต์	42015697
	นาย อัศวพล	หอสังข์	42015699
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ นภพินทุ์ อนันตรศิริชัย		
	ผศ.ดร. ปิติเขต สู้รักษา		
ปีการศึกษา	2544		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานคณะกรรมการ
( )

.....กรรมการ
( )

.....กรรมการ
( )

.....กรรมการ
( )

.....กรรมการ
( )

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แขนกลอาบน้ำ		
ชื่อนักศึกษา	นาย ปิยะ	พันธุคุปต์	42015697
	นาย อัศวพล	หอสังข์	42015699
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ นภพินทุ์	อนันตรศิริชัย	
	ผศ.ดร. ปิติเขต	สู้รักษา	
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2544		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอแขนกลอาบน้ำที่ใช้สเตปปิ้งมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนให้แขนกลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการเพื่อช่วยในการอาบน้ำ การควบคุมแขนกลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แขนกลอาบน้ำนี้ถูกออกแบบให้มีลักษณะคล้ายกับแขนมนุษย์ ดังนั้นสามารถทำงานได้ในบริเวณกว้าง และ มีความแม่นยำพอสมควร

ผลการทดลองและประยุกต์ใช้งานแสดงให้เห็นว่าต้นแบบแขนกลอาบน้ำสามารถ ทำงานได้ดีด้วยวิธีควบคุมที่ได้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Bath Arm Robot		
Name	Mr. Piya	Pantukup	42015697
	Mr. Autsavapon	Horsung	42015699
Project Report Advisor	Miss Noppin	Anantrasirichai	
	Assist. Prof. Dr. Pitikhate	Sooraksa	
Department	Industrial Technology		
Academic Year	2001		

Abstract

This thesis is Presented the Bath Arm Robot that moved to the expected point by stepping motor. The controlling of the Bath Arm Robot is Microcontroller. This Bath Arm Robot is designed simila to a human arm so it can provide large working area and provide high accuracy

The experimental results and the applications show that the prototype works effectively by merely using the proposed algorithms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

เนื่องจากแขนกลอาบน้ำประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ฮาร์ดแวร์ และ ซอฟแวร์ จึงจำเป็นต้องใช้ความรู้และการค้นคว้าอย่างมาก ซึ่งมีความซับซ้อนทางกล และ วิธีทางโปรแกรมนั้นมากเป็นพิเศษ ซึ่งคณะผู้จัดทำมีความถนัดทางด้านนี้น้อยมาก แต่หากได้รับความอนุเคราะห์ด้านคำปรึกษาชี้แนะในแนวทางที่ถูกต้องของอาจารย์ผู้มีพระคุณ ซึ่งนอกจากจะได้รับคำสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้แล้วยังได้รับความห่วงใยต่อคณะผู้จัดทำฉันท์ศิษย์และอาจารย์อีกด้วย ตลอดจนเพื่อนที่ให้กำลังใจเสมอมา

ฉะนั้นโอกาสอันเหมาะสมนี้ คณะผู้จัดทำขอได้กล่าวคำขอบคุณในความรู้ ความห่วงใย และความปรารถนาดี ที่คณะผู้จัดทำได้รับ จากท่านอาจารย์ อาจารย์ นภพินทุ์ อนันตรศิริชัย ผศ. ดร. ปิติเขต สู้รักษา มา ณ ที่นี้ด้วยความสำนึกในพระคุณ อย่างสูง และเพื่อนทุกคน ส่วนข้อผิดพลาดหรือแนวทางที่ผิดนั้น คณะผู้จัดทำขอน้อมรับไว้เพื่อแก้ไขต่อไปในอนาคต

คณะผู้จัดทำ

12 ตุลาคม 2444

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 วิธีดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
1.6 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	4
2.1 แขนกล	4
2.2 การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม	4
2.3 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	8
2.4 การสั่งงาน	9
2.5 ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้า	10
2.6 คุณสมบัติของ MCS-51 เบอร์ 8252	21
2.7 การจัดหน่วยความจำ	24
2.8 โปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล	25
2.9 รีจีสเตอร์หน้าที่พิเศษ	26
2.10 รีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป	26
2.11 การจัดสรรค์หน่วยความจำ	29
2.12 สายพาน	31
บทที่ 3 การสร้างและการออกแบบ	35
3.1 หลักการทำงานของแขนกล	35
3.2 ตัวตรวจรู้หรือเซนเซอร์	36
3.3 ชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	40
3.4 โปรแกรมควบคุม	41
3.5 ภาคขับสเต็ปปิงค์มอเตอร์	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบแขนกล 51
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง 61
4.1 การทดลองที่ 1 61
4.2 การทดลองที่ 2 62
บทที่ 5 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 65
5.1 สรุปโครงงาน 65
5.2 ปัญหาในการทำโครงงาน 65
บรรณานุกรม 66

ภาคผนวก
ภาคผนวก ก Source Code ของโปรแกรมที่ใช้ 67
ภาคผนวก ข คู่มือไอซี L298N 91
ภาคผนวก ค วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์ 105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 2
รูปที่ 2.1 แบบที่มีการเคลื่อนไหวพิกัดเชิงขั้ว 5
รูปที่ 2.2 แบบที่มีการเคลื่อนไหวพิกัดทรงกระบอก 6
รูปที่ 2.3 แบบที่มีการเคลื่อนไหวลักษณะข้อต่อ 6
รูปที่ 2.4 แบบของหุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียน 7
รูปที่ 2.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแขนแบบต่าง ๆ 8
รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่ของมือ 9
รูปที่ 2.7 หลักการของมอเตอร์ไฟตรง 11
รูปที่ 2.8 แสดงการคำนวณแรงบิด 12
รูปที่ 2.9 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็กได้ 14
รูปที่ 2.10 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร 15
รูปที่ 2.11 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ 16
รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานแบบเฟสเดี่ยว 16
รูปที่ 2.13 แสดงการทำงานแบบเฟสคู่ 17
รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานแบบลูปเปิด 17
รูปที่ 2.15 วงจรขับกระแสแบบขั้วเดี่ยว 18
รูปที่ 2.16 วงจรขับกระแสแบบสองขั้ว 19
รูปที่ 2.17 วงจรขับกระแสแบบลูปปิด 20
รูปที่ 2.18 รูปแสดงการทำงานของแหล่งจ่ายไฟ 20
รูปที่ 2.19 แสดงการจัดตำแหน่งขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 22
รูปที่ 2.20 แสดงการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในส่วนของหน่วยความจำ 25
รูปที่ 2.21 แสดงการจัดหน่วยความจำ และรีจีสเตอร์หน้าที่พิเศษ 26
รูปที่ 2.22 แสดงให้เห็นถึงขบวนการในการแปลงโปรแกรมแอสแซมบลี 28
รูปที่ 2.23 แสดงการจัดแบ่งช่วงแอสเดรสใช้งานของแรมภายใน 30

บทที่ 3
รูปที่ 3.1 บล๊อกไดอะแกรมการทำงานของแขนกลอาบน้ำ 35
รูปที่ 3.2 กระบวนการควบคุม 36
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างระบบควบคุมแบบลูปเปิด 36
รูปที่ 3.4 ระบบควบคุมแบบลูปปิด 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 วงจรเซนเซอร์ที่ใช้ไมโครสวิทซ์ 37
รูปที่ 3.6 การสะท้อนของคลื่นอินฟาเรด 38
รูปที่ 3.7 วงจรเซนเซอร์แบบคลื่นอินฟาเรด 39
รูปที่ 3.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของ ETT รุ่น CP-S 8252 V2.0 41
รูปที่ 3.9 แสดงตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ บนบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ 41
รูปที่ 3.10 โฟลชาร์ตควบคุมการเช็คตำแหน่งมอเตอร์ 42
รูปที่ 3.11 สัญญาณพัลส์ที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์ 43
รูปที่ 3.12 โฟลชาร์ตแสดงการสร้างพัลส์จำนวน 1 ลูกคลื่น 45
รูปที่ 3.13 โฟลชาร์ตควบคุมการเช็คตำแหน่งมอเตอร์ 46
รูปที่ 3.14 การควบคุมขอบเขตแผ่นหลัง และการถูหลัง 47
รูปที่ 3.15 การติดตั้งเซนเซอร์อินฟาเรด 48
รูปที่ 3.16 แสดงการติดต่ออินพุตและเอาท์พุทของชุดสเต็ปมอเตอร์ 49
รูปที่ 3.17 แสดงบล็อกการทำงานของภาคขับสเต็ปมอเตอร์ 49
รูปที่ 3.18 แบบร่างของแขนกล 52
รูปที่ 3.19 มู่เล่ หรือ รอกที่ใช้ส่งกำลังจากแขนท่อนกลางไปยังปลายแขน 54
รูปที่ 3.20 ส่วนของแขนท่อนกลาง 55
รูปที่ 3.21 ข้อต่อแขน 55
รูปที่ 3.22 ส่วนปลายแขน 56
รูปที่ 3.23 ฐานรองรับแขนท่อนกลาง 57
รูปที่ 3.24 ตัวยึดมอเตอร์ 57
รูปที่ 3.25 ภาพรวมของแขนเมื่อมองจากด้านข้าง 58

บทที่ 4
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ได้เมื่อปรับค่าดิวตี้ไซเกิลเป็น 25% 63
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ได้เมื่อปรับค่าดิวตี้ไซเกิลเป็น 50% 64
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ได้เมื่อปรับค่าดิวตี้ไซเกิลเป็น 90% 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์ และแขนกล ได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากความต้องการความสะดวกสบายของมนุษย์ ทั้งเพื่อความสะดวกรวดเร็วและแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน

มนุษย์ได้พยายามที่จะคิดค้นสิ่งต่างๆขึ้นมาใช้ และวิทยาการสมัยใหม่ก็ได้อำนวยให้การสร้างหุ่นยนต์ และแขนกลไม่ใช่เรื่องยากอีกต่อไป จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นก็จะทำให้มองเห็นได้ว่าในอนาคตอันใกล้หุ่นยนต์ และแขนกลจะเข้ามามีบทบาทกับชีวิตมนุษย์อย่างแน่นอนให้สามารถใช้งานได้จริงในชีวิตประจำวันเพื่อรองรับความเจริญของการใช้หุ่นยนต์ และแขนกลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นจึงได้มีแนวความคิดที่จะประยุกต์แขนกลเข้ามาใช้ในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมนุษย์เราเมื่ออาบน้ำจะไม่สามารถทำความสะอาดแผ่นหลังได้หมด จึงได้เพิ่มมือที่สามเพื่อนำไปช่วยทำความสะอาดแผ่นหลังของมนุษย์แทน ดังนั้นจึงได้ออกแบบ และประดิษฐ์แขนกลเพื่อช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. ศึกษาการทำงาน MCS-51 เบอร์ 8252 ในการนำไปประยุกต์ควบคุมแขนกลต้นแบบได้
2. ศึกษาการทำงานของมอเตอร์แบบต่าง ๆ เพื่อการเลือกใช้มอเตอร์ที่เหมาะสม
3. ศึกษาลักษณะของแขนมนุษย์ และแขนกลแบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับโครงงาน
4. ออกแบบแขนกลต้นแบบที่สามารถนำมาใช้กับโครงงานได้
5. สามารถรับผิดชอบงานที่ได้รับมอบหมายได้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ออกแบบตัว ซอร์ฟแวร์ เพื่อใช้ควบคุมมอเตอร์ให้หมุนตามต้องการ
2. สามารถให้ตัว ซอร์ฟแวร์ และตัว ฮาร์ดแวร์ ทำงานสอดคล้องกัน
3. ตัวแขนกลสามารถปฏิบัติงานตามโปรแกรมที่เขียนไว้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีดำเนินการ

1. ศึกษาแขนกลแบบต่างๆ ที่มีอยู่ก่อน
2. กำหนดรูปแบบที่จะให้แขนกลเคลื่อนที่เพื่อที่จะถูแผ่นหลังได้
3. ทำการร่างแบบของแขนกล
4. ทำการออกแบบ และคำนวณวัสดุอุปกรณ์
5. ศึกษาโปรแกรม และวงจรควบคุมมอเตอร์ให้สามารถใช้กับแขนกลได้
6. ทำการประดิษฐ์แขนกลที่ทำการออกแบบไว้
7. เขียนโปรแกรมควบคุม และการทำงานร่วมกันระหว่าง ซอร์ฟแวร์ (Software) และ ฮาร์ดแวร์ (Hardware)
8. ทำการทดลองการใช้งานของแขนกลในการถูแผ่นหลัง
9. ปรับปรุง และแก้ไข

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ทำให้ได้ต้นแบบในการพัฒนาแขนกล
2. รู้ปัญหา และแนวทางในการพัฒนาแขนกล
3. แขนกลนี้สามารถช่วยให้การทำความสะอาดแผ่นหลังง่ายขึ้น
4. เข้าใจในการเขียนโปรแกรม แก้ไขคำสั่ง ซึ่งอาจมีการกำหนดขอบเขตงานของแขนกลมากยิ่งขึ้น
5. ได้ใช้ความคิด และแนวคิดสร้างสรรค์ในการทำโครงงานเป็นการฝึกให้มีการทำงานเป็นระบบ และมีความรับผิดชอบต่องานมากยิ่งขึ้น
6. ส่งเสริมการประดิษฐ์สิ่งใหม่ๆ ขึ้นในประเทศ

1.6 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์นี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษา และการทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบไปด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้ คือ ทฤษฎีของแขนกล สเต็ปปิ้งมอเตอร์ การควบคุมมอเตอร์ และตัวตรวจรู้

บทที่ 3 การออกแบบการสร้าง กล่าวถึงการคำนวณอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำแขนกลการทำงาน กล่าวถึงวงจรต่างๆที่ใช้ในโครงงานได้แก่ วงจรขับมอเตอร์ วงจรตัวตรวจรู้

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง ประกอบด้วย การทดลองวงจรขับมอเตอร์ การทดลองการควบคุมมอเตอร์ และการทดลองการทำงานของแขนกลร่วมกับโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา และแนวทางแก้ไขปัญหา กล่าวถึงข้อสรุปข้อบกพร่องต่างๆ ของชุดแขนกลปัญหาที่เกิดในการจัดสร้าง และกล่าวถึงแนวทางในการปรับปรุงการแก้ไข และพัฒนาเพื่อให้ชุดแขนกลมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นต่อไป

ภาคผนวก ก Source Code ของโปรแกรมที่ใช้

ภาคผนวก ข คู่มือไอซี L298N

ภาคผนวก ค วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการ

2.1 แขนกล

ในเมื่อเราต้องการสร้างแขนหุ่นยนต์ให้มีคุณลักษณะเหมือนแขนของมนุษย์เราจึงต้องศึกษาโครงสร้าง และลักษณะการเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์ก่อน

แขนของมนุษย์ประกอบด้วย 2 ส่วนที่แยกเห็นกันอย่างชัดเจน คือ ส่วนที่เป็นข้อมือ ซึ่งมีข้อต่อหลักอยู่ 3 ข้อต่อ และอีกส่วนคือแขน ซึ่งมีข้อต่อหลักอยู่ 2 ข้อต่อ (หัวไหล่ และข้อศอก)

2.1.1 ส่วนข้อมือของมนุษย์

การหมุนข้อมือ (ROOL (angle)) สามารถหมุนได้ –180 < > 0 < >+90 = 270

การพับข้อมือ (PITCH (angle)) สามารถพับได้ -90 < > 0 < > +50 = 140

การบิดข้อมือ (YAW (angle)) สามารถบิดได้ –45 < > 0 < > +15 = 60

การเคลื่อนที่ของข้อมือทั้ง 3 แบบ มีการเคลื่อนที่ที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นเราจึงให้การเคลื่อนที่แต่ละแบบเป็น 1 องศาอิสระ

2.1.2 ส่วนแขนของมนุษย์

ประกอบด้วยข้อต่อหลัก 2 ข้อต่อ แต่มี 3 องศาแห่งอิสระคือ 2 องศาแห่งอิสระที่หัวไหล่ และอีก 1 องศาแห่งอิสระที่ข้อศอก แต่หัวไหล่ของแขนกลจะมีเพียง 1 องศาแห่งอิสระ ลักษณะหนึ่งที่สำคัญของโครงสร้างของแขน คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวของแขนท่อนบนกับแขนท่อนล่าง จะมีราวๆ 1.2 : 1 นั่นคือแขนท่อนล่างจะต้องสั้นกว่าแขนท่อนบน ถ้าเราออกแบบให้แขนท่อนล่างยาวกว่าแขนท่อนบนทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแขนกลลดลง

2.2 การแบ่งประเภทหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

เราสามารถแบ่งประเภทของแขนกลโดยพิจารณาจากพื้นฐานใหญ่ๆ ดังนี้

1. โครงสร้างภายนอก และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์
2. ทางเดินของแขนกลซึ่งขึ้นอยู่กับการควบคุมการเคลื่อน

2.2.1 การแบ่งประเภทของแขนกลโดยอาศัยการเคลื่อนที่ และโครงสร้างภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์อุตสาหกรรม มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันไปแล้วแต่ลักษณะการใช้งาน โดยขีดความสามารถในการเคลื่อนที่ของมือจะแตกต่างกันไปแต่โดยทั่วไปหากจะจัดแบ่งออกเป็นกลุ่ม ๆ แล้วก็คงจะแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มคือ

- หุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหวได้ในระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinate Configuration)
- หุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหวได้ในระบบพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical Coordinate Configuration)
- หุ่นยนต์ที่มีแขนลักษณะข้อต่อ (Joint Arm ConFiguration)
- หุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหวในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน

ลักษณะของหุ่นยนต์ทั้งสี่ชนิดแสดงไว้ในรูป โดยรายละเอียดจะเป็นดังนี้

ก) หุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหวในระบบพิกัดเชิงขั้ว

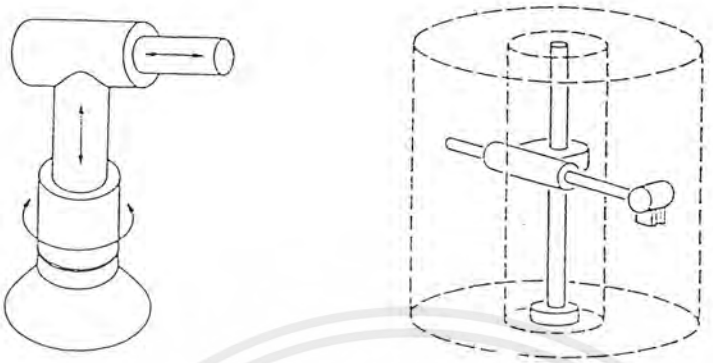
ขอบเขตการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ที่มีลักษณะเช่นนี้ อาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอยู่ในระบบพิกัดทรงกลม (Spherical Coordinate Configuration) ทั้งนี้เพราะลักษณะบริเวณที่แขนหุ่นยนต์จะกวาดไปจะมี ลักษณะเป็นรูปวงกลม ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แบบที่มีการเคลื่อนไหวในระบบพิกัดเชิงขั้ว

ข) หุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหวในระบบพิกัดทรงกระบอก

ขอบเขตการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ลักษณะนี้มีลักษณะการกวาดแขนเป็นรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 2.2

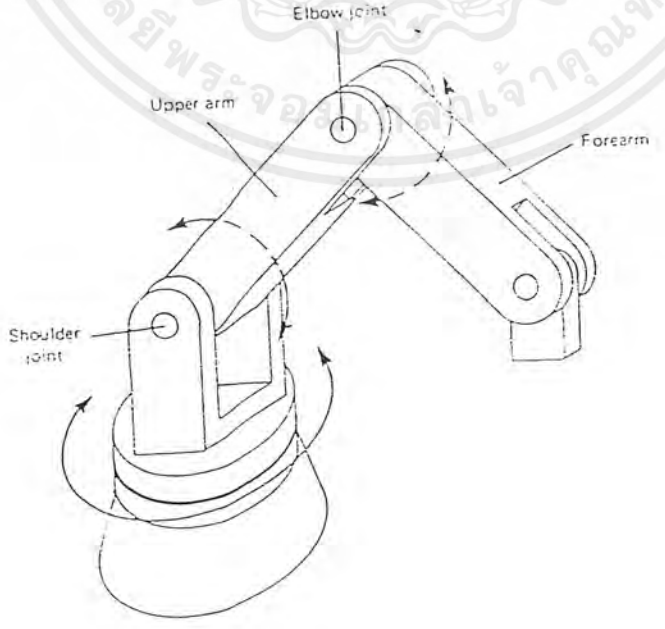
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แบบที่มีการเคลื่อนไหวในระบบพิกัดทรงกระบอก

ค) หุ่นยนต์ที่มีลักษณะเป็นแขนข้อต่อ

หุ่นยนต์ประเภทนี้ จะเลียนแบบลักษณะของแขนมนุษย์โดยส่วนต่างๆ สามารถยืดหดได้เช่นเดียวกันกับส่วนไหล่ ตัวแขน ข้อศอก และข้อมือ ทำให้การเคลื่อนที่คล่องตัวโดยจะมีรัศมีที่กวาดได้เป็นลักษณะรูปครึ่งทรงกลม ดังรูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 แบบการเคลื่อนไหวในลักษณะข้อต่อ

(ง) หุ่นยนต์การเคลื่อนไหวในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน

หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ได้ใน 3 แกนหลักคือ แกน x, แกน y, และแกน z ของระบบพิกัดคาร์ทีเซียน ดังนั้นขอบเขตรัศมีการกวาดของมือจะเป็นรูปกรอบ 4 เหลี่ยม ดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 แบบของหุ่นยนต์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน

ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นหุ่นยนต์ในลักษณะใด งานหลักของหุ่นยนต์ ก็คือการจัดการกับเป้าหมาย โดยจะใช้ส่วนที่อยู่ปลายสุดของแขนเป็นตัวจัดการ ส่วนนี้จะทำหน้าที่คล้ายมือของมนุษย์มีชื่อเฉพาะว่า (End Effector) ดังนั้นในการนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงความสามารถของส่วนนี้เป็นหลัก โดยปกติแล้วการเคลื่อนที่ของส่วนมือหรือ End Effector นี้จะทำได้ใน 6 ระดับขั้นความเสรี (Degree of freedom) ซึ่งจะทำให้คล้ายกับการทำงานของมือมนุษย์

2.2.2 การแบ่งประเภทของแขนกลโดยอาศัยทางเดินของแขนกล

การควบคุมทางเดินของแขนกลแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การควบคุมแบบจุด [Point-topoint (PTP) control]
2. การควบคุมแบบต่อเนื่อง [Continous path (CP) control]

การควบคุมแบบจุด แขนกลจะได้รับการตั้งโปรแกรมให้หยุดที่จุดใดจุดหนึ่งและใช้จุดนั้นในการกำหนดจุดที่ต้องการให้หยุดจุดต่อไป แม้ว่าจะไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ระหว่างจุดให้อยู่ในระหว่างเส้นทางที่ต้องการ แต่การเคลื่อนที่ไปยังจุดที่กำหนดก็ยังถูกต้องตามที่กำหนด ในทางตรงกันข้ามที่ควบคุมแบบต่อเนื่อง จะสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง

การควบคุมแบบจุดจะมีความแม่นยำสูงมากทั้งในแง่ความเที่ยงตรง และการทำงานซ้ำๆ แม้ว่าการควบคุมแบบต่อเนื่องจะเคลื่อนไหวได้นุ่มนวลมากกว่าในเส้นทางที่ได้ระบุไว้ แต่ก็มีข้อเสียในด้านความเร็ว ซึ่งเป็นฟังก์ชันของจังหวะการเคลื่อนที่ ๆ คำนวณโดยคอมพิวเตอร์ในลักษณะเวลาจริง (Real Time) ข้อเสียนี้คือจะทำให้ความเร็วของการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องลดลงถึง 15-25% และประสิทธิภาพการทำงานจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแขนกลตัวเดียวกันที่ควบคุมแบบจุด

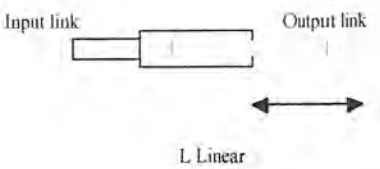
2.3 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถแบ่งการเคลื่อนที่ได้เป็น 2 ส่วนคือ

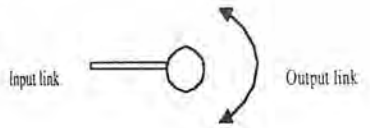
2.3.1 การเคลื่อนที่ของตัวและแขน (Body and arm)

การเคลื่อนที่ของตัว และแขนแบ่งตามลักษณะการหมุนได้คือ

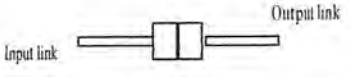
- การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (Linear)
- การเคลื่อนที่แบบหมุนรอบจุดหมุน (Rotational)
- การเคลื่อนที่แบบบิดรอบจุดหมุน (Twisting)
- การเคลื่อนที่แบบหมุนตั้งฉาก (Revolving)



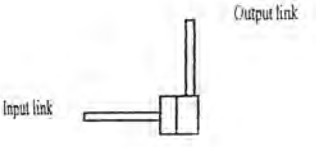
L Linear



R rotation



T Twisting



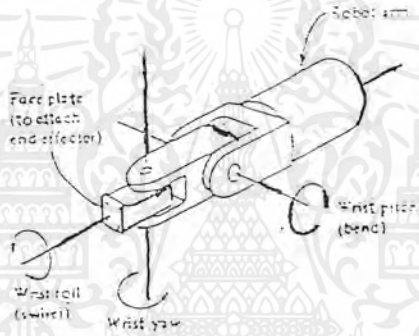
V Revolving

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแขนแบบต่าง ๆ

2.3.2 การเคลื่อนที่ของมือ

- หมุน (Roll) บางครั้งเรียกว่า Swival ข้อมือหมุนรอบแกนของแขน
- บิด (Pitch) บางครั้งเรียกว่า Bend ข้อมือยกขึ้นลงในแนวดิ่ง
- ส่าย (Yaw) หมายถึงบิดไปมาทางซ้ายขวาของแกนมือ



รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่ของมือ

2.4 การสั่งงาน

การสั่งงานให้หุ่นยนต์ในอุตสาหกรรมทำงานตามที่กำหนดนี้ อาจทำได้หลายลักษณะ คือ

- แบบ Manual
- แบบ Lead Through
- แบบการสั่งงานด้วยโปรแกรม

2.4.1 การสั่งงานแบบ Manual

การสั่งงานแบบนี้เป็นการสั่งงานที่ง่ายที่สุด และใช้กันมากในการสั่งงานให้หุ่นยนต์ทำงาน โดยจะทำงานแบบจากจุดหนึ่งไปจุดหนึ่ง (Point – to – Point) โดยวิธีการจะเป็นการเคลื่อนแกนต่าง ๆ ไปยังตำแหน่งที่ต้องการโดยการกดปุ่มบังคับ ดังนั้นลักษณะนี้จึงคล้ายกับการ Setup มากกว่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม คือจะมีการเคลื่อนไปยังจุดเริ่มต้นแล้วกำหนดค่าไว้ จากนั้นก็เคลื่อนไปยังตำแหน่งต่อไป แล้วกำหนดค่าไว้ เป็นต้น โดยค่าที่กำหนดไว้นี้จะเก็บไว้ในหน่วยความจำเรียกออกมาใช้ได้ในภายหลัง

2.4.2 การสั่งงานแบบ Lead Through

การสั่งงานแบบนี้คล้าย ๆ กับการจับมือหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามแนวที่ต้องการ ในลักษณะที่เป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องแล้วจึงเก็บค่าตำแหน่งต่าง ๆ ที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับความเร็วที่เคลื่อนที่ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ เนื่องจากข้อจำกัดในแง่เทคนิค (อาทิเช่น ระบบเกียร์ เป็นต้น) ดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นอุปกรณ์ซึ่งเลียนแบบแขนหุ่นยนต์โดยสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ได้ อุปกรณ์ตัวนี้มีชื่อเรียกว่า Robot Simulator ซึ่งทำงานโดยผู้สั่งงานจะเลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยมีแนวทางเคลื่อนที่กำหนดได้โดยตำแหน่งต่าง ๆ จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ การสั่งงานชนิดนี้ใช้มากในงานด้านการพ่นสี ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ เป็นต้น

2.4.3 การสั่งงานด้วยโปรแกรม

การสั่งงานให้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมการทำงานโดยเรียกใช้โปรแกรมสั่งงานนี้ จะเป็นการให้ข้อมูลกับหุ่นยนต์เพื่อให้แขนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ และทำงานตามที่กำหนด โดยในปัจจุบันได้มีผู้เขียนภาษาคอมพิวเตอร์ เพื่อสั่งให้หุ่นยนต์ทำงานมากมายหลายภาษาโดยโปรแกรมจะถูกเขียนบนเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วส่งไปควบคุมหุ่นยนต์อีกต่อหนึ่ง

2.5 ทฤษฎีของมอเตอร์ไฟฟ้า

2.5.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

มอเตอร์คือตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เพื่อนำพลังงานที่ได้ไปขับสิ่งต่าง ๆ ที่ต้องการ เกิดจากหลักการที่ว่าเมื่อมีกระแสไหลในตัวนำซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงขึ้นในทิศทางที่หาได้จากกฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

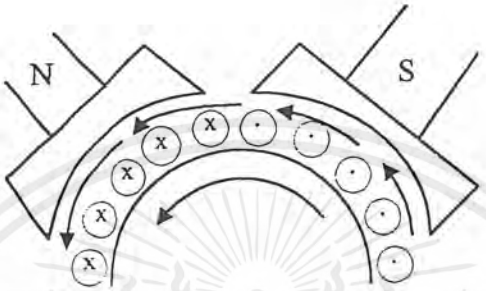
$$F = BIL$$

เมื่อ	F คือ แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำหนึ่งตัว	หน่วยเป็น	นิวตัน
	B คือ ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก	หน่วยเป็น	เวเบอร์/ตารางเมตร
	i คือกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ	หน่วยเป็น	แอมป์
	l คือความยาวของตัวนำ	หน่วยเป็น	เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และกระแสที่ไหลผ่านตัวนำนั้นมอเตอร์กระแสไฟตรงนี้มีโครงสร้างพื้นฐานเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จึงสามารถนำไปใช้งานสลับกันได้

1. หลักการของมอเตอร์ไฟตรง



รูปที่2.7 หลักการของมอเตอร์ไฟตรง

รูปที่3.1 แสดงส่วนหนึ่งของมอเตอร์ไฟตรงที่มีหลายขั้วแม่เหล็ก เมื่อป้อนไฟเข้าไปที่สนามกระตุ้นจะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ขั้วแม่เหล็ก และเมื่อป้อนกระแสให้ไหลผ่านตัวนำที่อาเมเจอร์ก็จะทำให้เกิดแรงขึ้นในตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็กนั่นคือทำให้อาเมเจอร์หมุน

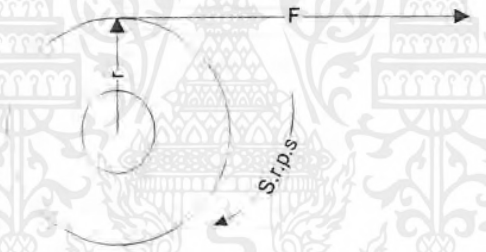
จากรูปกำหนดให้กระแสที่ไหลในตัวนำของอาเมเจอร์ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือมีทิศทางของกระแสพุ่งเข้าข้างในดังหางลูกศรที่เป็นกากบาท ส่วนตัวนำที่อยู่ภายใต้ขั้วใต้ให้กระแสพุ่งออกด้านนอกดังหัวลูกศรเป็นจุด ดังนั้นเราจึงสามารถหาทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำทุกๆตัวที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กทั้งขั้วเหนือและขั้วใต้ได้จากกฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง วิธีหาคือ กางมือซ้ายออกโดยให้นิ้วหัวแม่มือ,นิ้วชี้ และนิ้วกลางกางออกให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน และกำหนดให้นิ้วชี้ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็กคือชี้จากขั้วเหนือไปขั้วใต้ ให้นิ้วกลางชี้ไปตามทิศทางการไหลของกระแส ณ ตัวนำที่กำหนดการหาทิศทางการเคลื่อนที่ และนิ้วหัวแม่มือชี้ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำนั้นๆ พบว่าแรงที่เกิดขึ้นกับตัวนำที่อยู่ภายใต้ขั้วเดียวกันจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางเดียวกัน อยู่ในแนวเส้นสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาเมเจอร์นั้น ๆ และพบอีกว่าแรงที่เกิดขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กทุก ๆ ขั้วนั้นที่สลับกันไปจะมีทิศทางเดียวกันทั้งสิ้นโดยอยู่ในแนวเส้นสัมผัสกับเส้นรอบวงนั้น ๆ นั่นคือภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วก็จะเกิดแรงลัพธ์ขึ้นแรงหนึ่งดังนั้นเมื่อมีหลายขั้วจึงมีหลายแรง และทุกแรงต่างก็รวมตัวกันเป็นแรงบิดขึ้นมาแรงหนึ่งจึงทำให้มอเตอร์หมุนไปได้จากแรงที่เกิดขึ้น ตัวที่ทำหน้าที่ให้กระแสไหลผ่านตัวนำไปในทิศทางเดียวกันภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้ว ซึ่งช่วยทำให้แรงบิดไปในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่องนั่นคือคอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้น ๆ และพบอีกว่าแรงที่เกิดขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กทุก ๆ ขั้วนั้นที่สลับกันไปจะมีทิศทางเดียวกันทั้งสิ้น โดยอยู่ในแนวเส้นสัมผัสกับเส้นรอบวงนั้น ๆ นั่นคือภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วก็จะเกิดแรงลัพธ์ขึ้นแรงหนึ่งดังนั้นเมื่อมีหลายขั้วจึงมีหลายแรง และทุกแรงต่างก็รวมตัวกันเป็นแรงบิดขึ้นมาแรงหนึ่งจึงทำให้มอเตอร์หมุนไปได้จากแรงที่เกิดขึ้น ตัวที่ทำหน้าที่ให้กระแสไหลผ่านตัวนำไปในทิศทางเดียวกันภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้ว ซึ่งช่วยทำให้แรงบิดไปในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่องนั่นคือคอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

2. แรงบิด (Torque)

เป็นการหมุนหรือการบิดของโมเมนต์ของแรง ๆ หนึ่งที่กระทำรอบแกนอันหนึ่ง สามารถวัดได้จากผลคูณของแรงกับรัศมี ณ ที่แรงไปกระทำ



รูปที่2.8 แสดงการคำนวณแรงบิด

จากรูปพิจารณาวงล้อที่มีรัศมี r เมตร มีแรง F นิวตัน มากระทำกับวงล้อนี้จึงทำให้เกิดการหมุนด้วยความเร็ว N รอบต่อวินาที

จะได้แรงบิด $T = F * r$ หน่วยเป็น นิวตันเมตร

งานที่กระทำได้ในหนึ่งรอบจากแรงนี้ = แรง * ระยะทาง

$= F * 2\pi r$ หน่วยเป็น จูลส์

งานที่กระทำต่อวินาที $W = F2\pi rN$ ซึ่ง $2\pi N$ เป็นมุม θ เรเดียนต่อวินาที

และ Fr เป็นแรงบิด

เพราะฉะนั้น งานที่ทำต่อวินาที $= T\theta$ หน่วยเป็น จูลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นกำลังที่เกิดขึ้น $= T\theta$ หน่วยเป็น จูลส์

2.5.2 ทฤษฎีของสเต็ปปิงมอเตอร์

สเต็ปปิงมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลภายในรูปการหมุน โดยมีโครงสร้างทั่วไปประกอบด้วยส่วนที่อยู่กับที่เรียกว่า สเตเตอร์ (Stator) และส่วนที่เคลื่อนที่ได้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ในสเต็ปปิงมอเตอร์มุมที่หมุนไปได้นั้นจะมีค่าเท่า ๆ กันเรียกว่า สเต็ป โดยจำนวนสเต็ปที่หมุนไปได้ขึ้นอยู่กับจำนวนของสัญญาณเข้าที่มีลักษณะเป็นลูกคลื่นพัลซ์ต่อ ๆ กัน ส่วนทิศทางในการหมุนของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับทิศทางการกระตุ้นจากพัลซ์ว่ามีทิศทางทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา และความเร็วในการหมุนจะขึ้นอยู่กับความถี่ในการกระตุ้นของพัลซ์

คุณลักษณะของสเต็ปปิงมอเตอร์

1. แรงบิดคงค่า (Holding Torque) : คือ แรงต้านการบิดสูงสุดที่ทำให้มอเตอร์ที่กำลังหมุนหยุดหมุน
2. แรงบิดหน่วง (Detent Torque) : คือแรงบิดสูงสุดที่ทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์ที่ยังไม่ทำงานไม่มีการหมุน ค่าแรงบิดหน่วงนี้พบเฉพาะในมอเตอร์ที่มีแกนโรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวรเท่านั้น
3. มุมในการหมุน (Step Angle) : คือมุมที่สเต็ปปิงมอเตอร์หมุนได้ตามปกติเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดตัวนำในสเตเอร์ โดยค่าของมุมขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์นั้นๆ
4. ความเที่ยงตรงของมุมในการหมุน (Step Angle Accuracy) : คือค่าเปอร์เซ็นต์ที่เกินหรือขาดของค่ามุมในการหมุนปกติ
5. ค่าความต้านทานต่อหนึ่งขดลวด (Resistance Per Winding) : เป็นตัวกำหนดว่าจะมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำ โดยยิ่งค่าความต้านทานมีค่าน้อยกระแสก็จะไหลได้มาก ทำให้มอเตอร์มีค่าแรงบิดมากเพราะค่าแรงบิดจะแปรตามกระแส
6. ค่าความเหนี่ยวนำต่อหนึ่งขดลวด (Inductance Per Winding) : เป็นตัวบอกความเร็วในการเพิ่มขึ้นของปริมาณกระแสให้ถึงค่าที่ระบุไว้ของขดลวดตัวนำเมื่อมีการจ่ายกระแสให้ ถ้าค่าความเหนี่ยวนำนี้มีค่ามากการเพิ่มของกระแสก็จะใช้เวลามาก ทำให้การทำงานที่ความเร็วรอบสูง ๆ ไม่ดีเท่าที่ควร
7. ความเฉื่อยโรเตอร์ (Rotor Inertia) : เป็นตัวที่ใช้ในการคำนวณความเร็วของมอเตอร์
8. แรงบิดดึงเข้า (Pull In Torque) : เป็นค่าแรงบิดที่กระทำต่อมอเตอร์ ที่ยังสามารถทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนและหยุดหมุนได้ด้วยตัวเองตามจังหวะการกระตุ้นของพัลซ์ โดยไม่มีการข้ามจังหวะ
9. แรงบิดดึงออก (Pull Out Torque) : เป็นค่าแรงบิดสูงสุดที่กระทำต่อมอเตอร์ขณะที่หมุนโดยไม่ทำให้มอเตอร์หยุดหมุน และไม่มีการหมุนข้ามจังหวะ
10. ค่าความถี่ในการหมุนสูงสุด (Maximum Starting Frequency) : เป็นค่าความถี่สูงสุดของพัลซ์ที่ทำให้มอเตอร์หมุนได้โดยไม่ข้ามจังหวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของสเต็ปปิงมอเตอร์

1. มีการทำงานที่เที่ยงตรง และสามารถต่อเชื่อมเข้ากับระบบคอมพิวเตอร์ได้ง่าย
2. โรเตอร์มีโมเมนต์ความเฉื่อย (Moment Of Inertia) ต่ำ
3. ควบคุมการทำงานได้ง่ายโดยใช้วงจรเชิงเลข (Digital Electronic) , คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) , ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) และระบบควบคุมเชิงเลขที่โปรแกรมได้ (Programmable Logic Controller : PLC) เป็นต้น
4. สามารถทำงานได้ทั้งระบบเปิด (Open Loop) และระบบปิด (Close Loop)
5. ไม่สร้างสนามแม่เหล็กที่จะไปรบกวนระบบอื่นรอบข้าง

ข้อเสียของสเต็ปปิงมอเตอร์

1. ประสิทธิภาพในการทำงานต่ำเมื่อเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่นๆ
2. ต้องการตัวควบคุมความถี่ของพัลซ์ที่จ่ายกระแสให้กับขดลวดตัวนำเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์
3. โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment Of Inertia) ของโหลดที่จะขับได้ต้องมีค่าไม่เกิน 4 เท่าของโมเมนต์ความเฉื่อยที่โรเตอร์
4. มีเสียงรบกวนที่ความถี่สูง ๆ

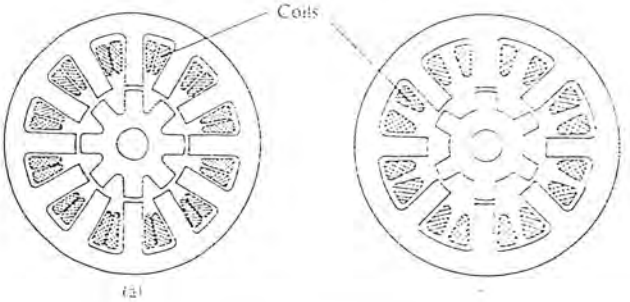
ชนิดของสเต็ปปิงมอเตอร์

แบ่งตามลักษณะทางโครงสร้างได้ดังนี้

1. แบบปรับค่าความความต้านทานแม่เหล็กไฟฟ้าได้ (Variable Reluctance : VR)

ส่วนของโรเตอร์ (Rotor) ทำด้วยโลหะที่มีความซึมซับทางแม่เหล็กสูง เช่น เหล็กอ่อน (Soft Iron) โดยโครงสร้างเป็นลักษณะซี่ของฟันขนาดเท่ากันเรียงตัวในแนวเดียวกันกับแกนหมุนของโรเตอร์ ในส่วนของสเตเตอร์ (Stator) จะทำเป็นขั้วโลหะที่มีเส้นลวดตัวนำพันอยู่โดยรอบ เมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับขดลวดเหล่านี้จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นโดยมีฟลักซ์ (Flux) เกี่ยวคล้องกันระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ ฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงบิด (Torque) เพื่อทำให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งที่มีค่าความต้านทานแม่เหล็ก (Reluctance) น้อยที่สุด นั่นคือบริเวณที่มีช่องว่างระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



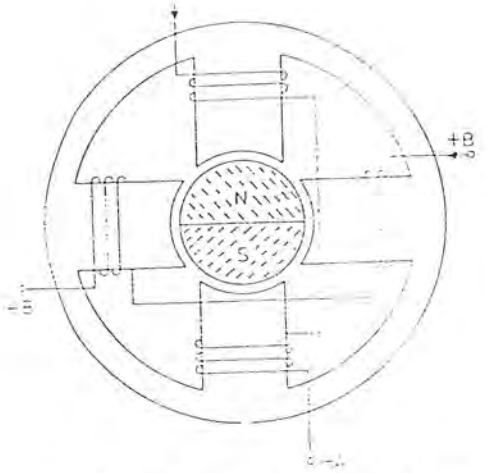
รูปที่2.9 สเต็ปปิงมอเตอร์แบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็กได้

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าในสภาวะเริ่มต้นซี่ฟันบนโรเตอร์จะทำมุม 15° กับขั้วของสเตเตอร์ ดังนั้นเมื่อขดลวดตัวนำมีกระแสไหลก็จะทำให้โรเตอร์หมุนไป 15° คือตำแหน่งที่โรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกันกับขั้วของสเตเตอร์ การที่จะทำให้สเต็บปิงมอเตอร์หมุนอย่างต่อเนื่องคือการจ่ายกระแสไฟให้กับขดลวด A, B, C, D ตามลำดับ และถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาก็ต้องจ่ายกระแสในทิศทางตรงกันข้ามคือ D, C, B, A เป็นต้น สเต็ปปิงมอเตอร์ชนิดนี้มีค่าแรงบิดหน่วง (Detain Torque) ต่ำทำให้ไม่เป็นที่นิยมนำมาขับโหลดที่มีค่ามาก ๆ

2. แบบแม่เหล็กถาวร (Permanet Magnetic : PM)

มีโรเตอร์ที่ทำจากแม่เหล็กถาวร มีขั้วแม่เหล็กเหนือ-ใต้ ตรงข้ามกันในลักษณะตั้งได้ฉากกับแกนการหมุนของโรเตอร์ ส่วนของสเตเตอร์มีลักษณะคล้ายกับแบบปรับค่าความต้านทานสนามแม่เหล็กได้ (VR) ทำให้มอเตอร์ชนิดนี้ที่ค่าแรงบิดหน่วงมากพอที่จะรับโหลดไว้ได้โดยไม่มีการหมุนในขณะที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดตัวนำในสเตเตอร์ การทำให้มอเตอร์หมุนใช้หลักการเดียวกับแบบปรับค่าความต้านทานสนามแม่เหล็กได้ (VR) ดังนั้นยิ่งจำนวนขั้วแม่เหล็กมีมากมุมที่หมุนได้ในแต่ละสเต็ปก็จะมีค่าน้อยเท่านั้น ข้อเสียของมอเตอร์ชนิดนี้คือมีขนาดใหญ่และการทำให้โรเตอร์มีจำนวนขั้วแม่เหล็กมาก ๆ ทำได้ยาก ทำให้มุมในการหมุนมีค่ามาก

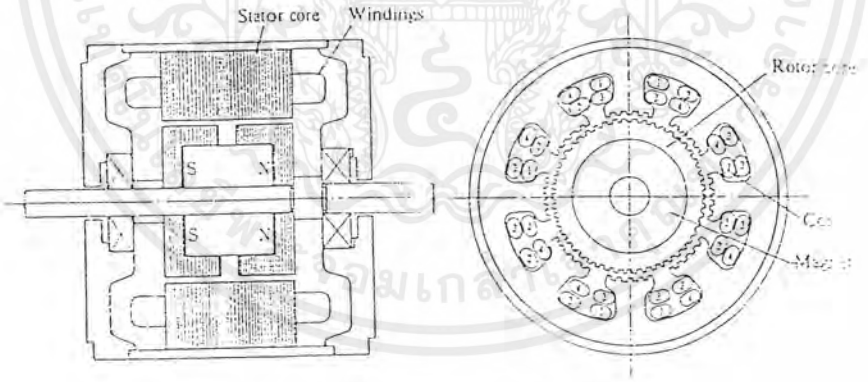
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป2.10 สเต็ปปิงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

3. แบบไฮบริด (Hybrid Stepping Motor)

เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะการทำงานผสมระหว่างมอเตอร์แบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็กได้ (VR) กับมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (PM) โดยโรเตอร์ทำมาจากแม่เหล็กถาวรโดยมีขั้วแม่เหล็กเหนือ-ใต้ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการหมุนของโรเตอร์ ส่วนที่สเตเตอร์จะมีลักษณะขั้วเหมือนกับมอเตอร์ชนิด VR และ PM แต่การเชื่อมต่อ และการพันลวดตัวนำจะแตกต่างกัน โดยในมอเตอร์แบบไฮบริดจะนำลวดตัวนำที่มีเฟสต่างกันมาพันบนขั้วสเตเตอร์เดียวกันเรียกการพันแบบนี้ว่าไบไฟล่าร์ (Bifilar) ดังนั้นในการทำงานของแต่ละขั้วจะเกิดการทำงานของขดลวดตัวนำมากกว่าหนึ่งเฟส ลักษณะเช่นนี้ทำให้มอเตอร์แบบไฮบริดมีแรงบิดหน่วงที่มาก และมีความละเอียดของมุมในการหมุน



รูป2.11 สเต็ปปิงมอเตอร์แบบไฮบริด

การทำงานของสเต็ปปิงมอเตอร์

1. แบบเฟสเดี่ยว (Single Phase Excitation)

ทำการจ่ายกระแสให้กับขดลวดตัวนำของขั้วสเตเตอร์ทีละขดเรียงตามลำดับกันไปตามรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Step / Phase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Phase1										
Phase2										
Phase3										
Phase4										

รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานแบบเฟสเดี่ยว

2.แบบเฟสคู่ (Two Phase Excitation)

ทำการจ่ายกระแสให้ลวดตัวนำเป็นคู่ๆเรียงตามลำดับ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Phase1										
Phase2										
Phase3										
Phase4										

รูปที่ 2.13 แสดงการทำงานแบบเฟสคู่

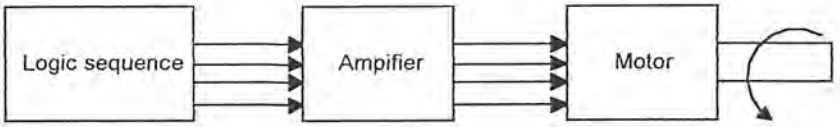
การควบคุมการทำงานของสเต็ปปิงมอเตอร์ สามารถควบคุมได้ 2 วิธีคือ

1. แบบลูปเปิด (Open Loop)

เป็นวิธีการควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์ที่ใช้กันทั่วไป โดยการจ่ายพัลซ์ที่มีการจัดเรียงลำดับแล้วตามจำนวนสเต็ปที่ต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปได้ และไม่จำเป็นที่จะต้องมีการส่งผลย้อนกลับมาว่ามอเตอร์เคลื่อนที่ไปตามที่กำหนดจริงหรือไม่ เพราะสเต็ปปิงมอเตอร์มีความแม่นยำสูงมากทำให้หมุนไปตามที่กำหนดไว้โดยไม่มีการผิดพลาด การควบคุมแบบนี้จะมีความเที่ยงตรงสูงในกรณีที่นำมอเตอร์ไปขับโหลดที่มีค่าไม่มากนักลำดับการควบคุมสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42368



รูปที่ 2.14 แสดงการควบคุมแบบลูปเปิด

การทำงานของภาคต่างๆอธิบายได้ดังนี้

- ภาคจัดเรียงลำดับสัญญาณ จะทำหน้าที่ในการเรียงลำดับสัญญาณพัลซ์ที่จะนำไปขับสเต็ปปิงมอเตอร์ให้มีทิศทางการเคลื่อนที่ตามที่ต้องการ โดยอาจจะสร้างมาจากวงจรเชิงตรรกะ (Logic electronic) ต่างๆ เช่น ฟลิปฟลอป (Flip-flop) , ลอจิกเกท (Logic gate) เป็นต้นแต่แบบที่นิยมคือใช้หน่วยประมวลผลประเภทไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor),ไมโครคอลโทรลเลอร์ (Microcontrollor) หรือคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ให้ทำการสร้างลำดับสัณณาณขึ้นมาซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายและมีความยุ่งยากน้อยกว่าการสร้างจากวงจรเชิงตรรกะ
- ภาคขยายสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณที่ออกมาจากวงจรเรียงลำดับพัลซ์มีค่าต่ำไม่เหมาะจะนำไปขับมอเตอร์ที่มีความต้องการกระแสสูง ๆ ได้จึงต้องใช้วงจรในการขยายกระแสให้มีปริมาณที่มากพอที่จะขับมอเตอร์ได้ วงจรที่ใช้ขับมอเตอร์มีสองชนิดคือ

1.วงจรขับขั้วเดี่ยว (Unipolar drive circuit)

นิยมใช้กับสเต็ปปิงมอเตอร์แบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็กได้ (VR) โดยใช้ทรานซิสเตอร์ (Transistor) เป็นตัวปิดเปิดสัญญาณให้กระแสไหลหรือไม่ไหลไปยังลวดตัวนำโดยถ้าทำการจ่ายกระแสที่ขาเบส (Base) ให้มีค่าสูงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว (Saturate) จะทำให้มีกระแสไหลผ่านขาคอลเลคเตอร์ (Collector)ไปยังขาอิมิตเตอร์ (Emitter)เพื่อผ่านไปยังลวดตัวนำ ในขณะที่ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะที่อิ่มตัวนี้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดจะมีค่าประมาณแรงดันของไฟเลี้ยงวงจร ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจะต้องมีค่าไม่มากเกินที่จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำเกินพิกัดที่ลวดตัวนำทนได้คือ

$$Vs = I \times (R_1 + R_2)$$

เมื่อ Vs คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย (Volte)

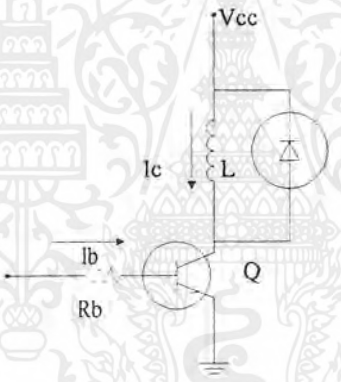
I คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ขดลวดทนได้ (Ampere)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_1 คือ ค่าความต้านทานในลวดตัวนำ (Ω)

R_2 คือ ค่าความต้านทานช่วยจำกัดกระแส (Ω)

เมื่อหยุดจ่ายกระแสให้กับขาเบสก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแสแต่กระแสที่ยังไหลผ่านขดลวดไม่สามารถหยุดไหลได้ในทันทีทันใด เนื่องจากคุณสมบัติความเหนี่ยวนำ (Inductance) ในขดลวด ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างขดลวดคอลเลคเตอร์ และขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ เกิดกระแสไหลเป็นจำนวนมากทำให้ทรานซิสเตอร์พังได้ เราสามารถป้องกันการไหลของกระแสจำนวนนี้ผ่านทรานซิสเตอร์ได้โดยการนำกระแสให้ไหลไปในอีกทิศทางหนึ่ง จากการต่อวงจรที่เรียกว่า Free wheeling circuit ซึ่งอาจประกอบด้วยตัวตานทาน และไดโอด (Diode) เพื่อให้กระไหลทิศทางเดียว

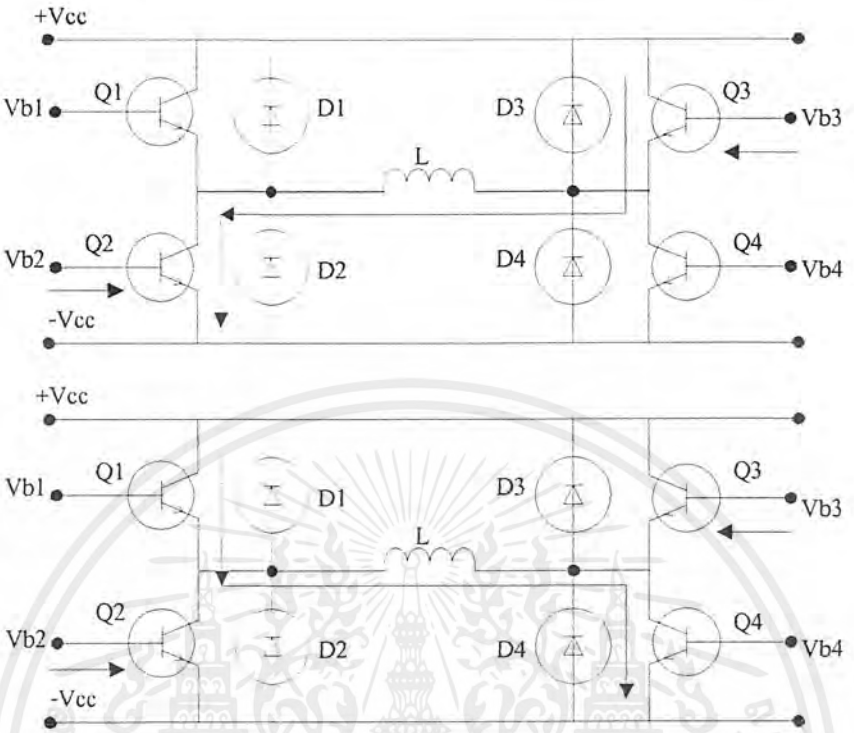


รูป2.15 วงจรขับกระแสแบบขั้วเดี่ยว

2. วงจรขับสองขั้ว(Bipolar drive circuit)

นิยมใช้กับมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (PM) และแบบไฮบริด (Hybrid) ใช้ทรานซิสเตอร์ในการควบคุม 4 ตัว โดยในขณะทำงานทรานซิสเตอร์จะนำกระแสหนึ่งคู่ ในขณะที่อีกคู่หนึ่งไม่นำกระแส ทำให้ทิศทางกระแสที่ไหลผ่านขดลวดมีทิศทางตรงข้ามกัน โดยขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q3 นำกระแสจะทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดในทิศทางจากซ้ายไปขวา ต่อมาเมื่อทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q4 นำกระแสบ้างกระแสจะไหลจากขวาไปซ้ายแต่การขับมอเตอร์แบบนี้จะต้องใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีขั้วตรงข้ามกัน

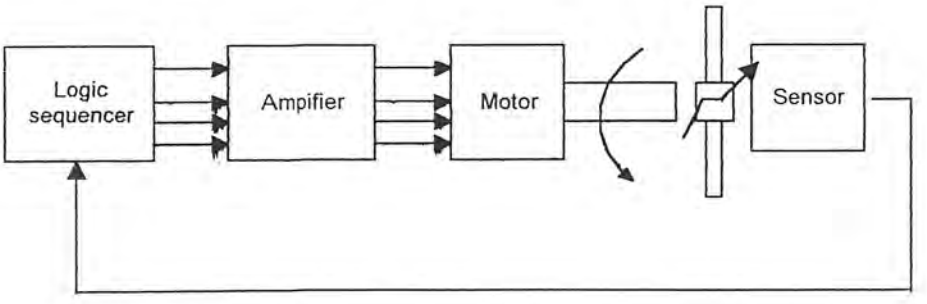
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 วงจรขับกระแสแบบสองขั้ว

2. **แบบลูปปิด (Close Loop)**

เป็นวิธีการควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์ที่มีการตรวจสอบว่า มอเตอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งกำหนดไว้หรือไม่ โดยใช้ตัวตรวจจับ (Sensor) ทำหน้าที่ตรวจจับตำแหน่งของมอเตอร์แล้วส่งผลไปยังวงจรเปรียบเทียบเพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ ถ้าค่าที่ส่งกลับมามีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ วงจรเปรียบเทียบก็จะทำการกระตุ้นให้วงจรลำดับสัญญาณ (Logic sequence) ปล่อยพัลซ์ออกมาขับสเต็ปปิงมอเตอร์อีกเพื่อให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ การควบคุมแบบนี้จึงมีความแม่นยำสูงแม้ว่าจะต้องนำไปขับโหลดที่มีค่ามากๆก็ตาม สามารถเขียนแผนภาพควบคุมแบบลูปปิดได้ดังนี้

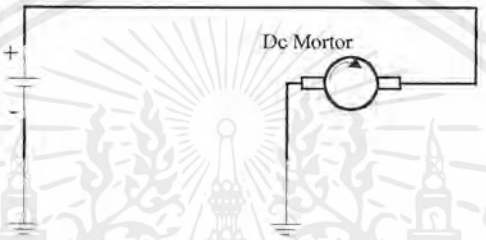


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่2.17 แสดงการควบคุมแบบลูปปิด

การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์แบบกระแสตรงเป็นมอเตอร์ชนิดที่ใช้กระแสไฟตรง เพื่อจ่ายให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และขดลวดผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าภายใน การอินเตอร์เฟสมอเตอร์ชนิดนี้กับไมโครคอนโทรลเลอร์จะแสดงให้เห็นถึงวิธีการแบบหนึ่งสำหรับควบคุมระดับแรงดันไฟกระแสตรงที่จ่ายให้กับมอเตอร์ เพื่อควบคุมความเร็วของการหมุนดังรูป



รูปที่2.18 รูปแสดงการควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายไฟ

ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวควบคุมการ ปิดหรือเปิด แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเพื่อให้เอาต์พุต แบบแอนะลอก สำหรับควบคุมความเร็วในการหมุนมอเตอร์

หลักการทำงาน

โดยปกติเมื่อจ่ายไฟกระแสตรงให้กับมอเตอร์ จะทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูงสุด ดังนั้นการควบคุมความเร็วของการหมุนมอเตอร์ วิธีหนึ่งอาจทำได้โดยการปรับค่าความต้านทานที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง เพื่อปรับระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ แต่วิธีนี้เป็นการสูญเสียกำลังไฟฟ้าไป (Power consumption) และความร้อนที่เกิดขึ้นมากตลอดเวลา ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้วิธีนี้แต่จะไปใช้การควบคุมแบบสวิตช์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเป็นช่วง ๆ ให้กับมอเตอร์แทนซึ่งมีเทคนิคอยู่ 2 วิธีคือ พัลส์วิดมอดูเลท (PWM : Pluse Width Modulate) และ พัลส์ฟรีเควันซี่มอดูเลท (PFM : Pluse Frequency modulate)

2.6 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 8252

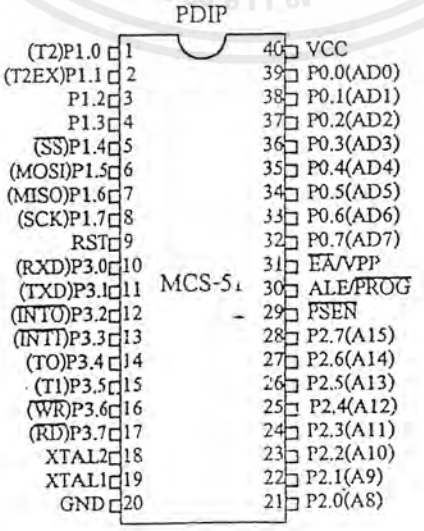
1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต
2. มีวงจรออสซิลเลเตอร์ และวงจรผลิตสัญญานนาฬิกาภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory) โดยอ้างตำแหน่งแอสเดรสได้ถึง 64 กิโลไบต์
4. สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) โดยอ้างตำแหน่งได้ถึง 64 กิโลไบต์
5. มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัว (On-chip Program Memory) ขนาด 8 กิโลไบต์
6. มีหน่วยความจำข้อมูลภายในตัว (On-chip Data Memory) ขนาด 256 ไบต์
7. หน่วยความจำข้อมูลในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ทำให้การควบคุมหรือตรวจสอบสถานะบิตทำได้ง่าย ส่งผลให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายมากยิ่งขึ้น
8. มีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ (Timer/Counter) ขนาด 16 บิตจำนวน 2 ตัว
9. การอินเตอร์รัปต์สามารถทำได้จาก 6 แหล่งกำเนิด โดยการอินเตอร์รัปต์ยังสามารถจัดระดับความสำคัญได้เป็น 2 ระดับ
10. มีพอร์ตสื่อสารอนุกรมภายในตัวเอง ซึ่งทำงานเป็นแบบฟูลดูเพลกซ์ (Full Duplex)
11. มีคำสั่งในการคำนวณในทางคณิตศาสตร์ และทางตรรกศาสตร์
12. คำสั่งทั่วไปใช้เวลาในการทำงาน 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตรอลความถี่ 12 เมกะเฮิตซ์
13. มีขาอินพุตเอาต์พุตจำนวน 32 บิต
14. สามารถเขียน และลบแก้ไขโปรแกรมได้ 2 กิโลไบต์
15. สามารถดาวน์โหลดข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ 8 กิโลไบต์
16. ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 4-6 โวลต์เพียงชุดเดียว

2.6.1 โครงสร้างภายนอกของ MCS-51 เบอร์ 8252

ไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกันดังรูปที่ 2.19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19 แสดงการจัดตำแหน่งขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

สำหรับหน้าที่การใช้งานของแต่ละขามีดังนี้

1. ขา V_{CC} เป็นขาป้อนแรงดันไฟเลี้ยง 5 โวลต์
2. ขา V_{SS} เป็นขากราวด์
3. ขาพอร์ต 0 (Port 0) มี 8 ขา ได้แก่ขา $P_{0.0}$ - $P_{0.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ทต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้ขาพอร์ตเหล่านั้นอยู่ในสภาวะปล่อยลอย ซึ่งในสถานะนี้เองที่สามารถนำมาใช้เป็นพอร์ตอินพุตอิมพีแดนซ์สูงได้ นอกจากพอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่กำหนดแอสเดรสไบต์ต่ำ (A_0-A_7) ซึ่งใช้งานแบบมัลติเพลกซ์กับการรับส่งข้อมูลขนาด 8 บิต (D_0-D_7)
4. ขาพอร์ต 1 (Port 1) มี 8 ขาได้แก่ขา $P_{1.0}$ - $P_{1.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้ขาพอร์ต $P_{1.0}$ ถูกนำมาใช้งานเป็นขา T2 ซึ่งใช้ติดต่อไทเมอร์เคาน์เตอร์ภายนอก , พอร์ต $P_{1.1}$ ถูกนำมาใช้เป็นขา T2EX ซึ่งใช้ตรวจจับทริกเกอร์หรือทิศทางควบคุมของไทเมอร์เคาน์เตอร์ ตัวที่ 2 , พอร์ต $P_{1.4}$ ถูกนำมาใช้เป็นขา SS ซึ่งใช้เลือกพอร์ตอินพุต , พอร์ต $P_{1.5}$ ถูกนำมาใช้เป็นขา MOSI ซึ่งใช้ควบคุมข้อมูลเอาต์พุตและใช้เลือกขาส่งผ่านข้อมูลจากอินพุต , พอร์ต $P_{1.7}$ ถูกนำมาใช้เป็นขา SCK ซึ่งใช้ควบคุมสัญญาณนาฬิกาของเอาต์พุตและใช้เลือกขาส่งผ่านสัญญาณนาฬิกาจากอินพุต
5. ขาพอร์ต 2 (Port 2) มี 8 ขาได้แก่ขา $P_{2.0} - P_{2.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตแบบ 2 ทิศทางสำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากพอร์ตนี้จะใช้เป็นพอร์ตอินพุตเอาท์พุตแล้วมันยังใช้ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่การกำหนดตำแหน่งแอสเดรสไบต์สูง ($A_9 - A_{15}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

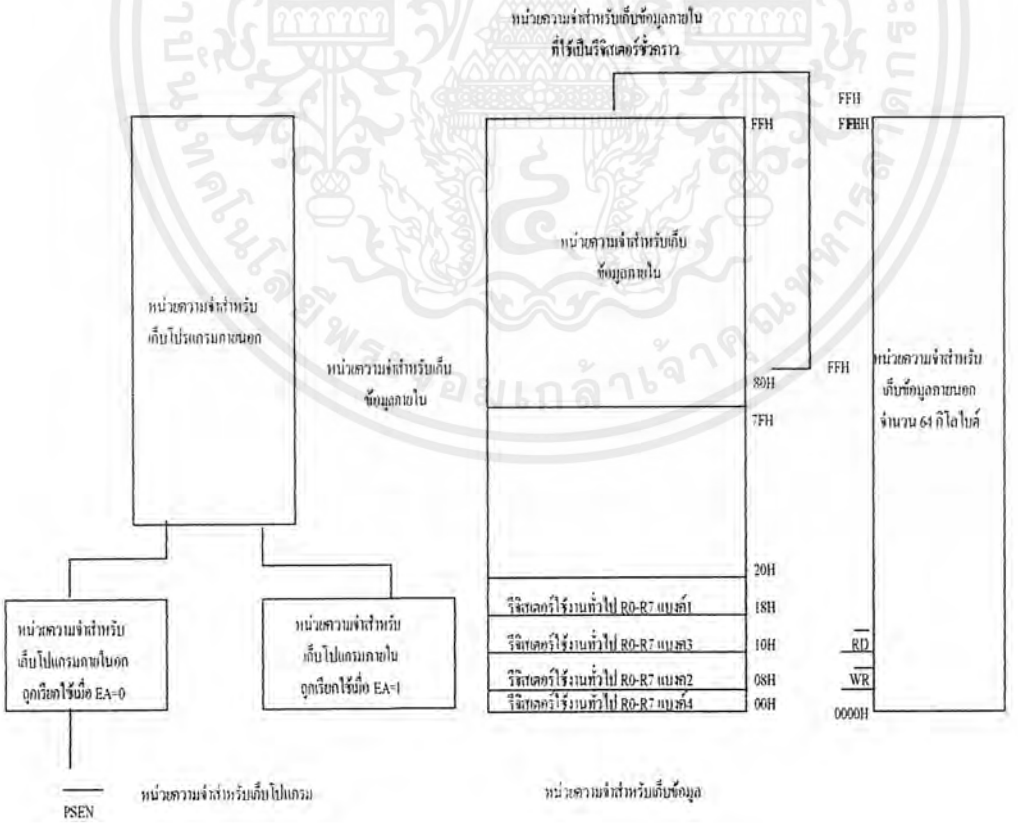
6. ขาพอร์ต 3 (Port 3) มี 8 ขาได้แก่ขา $P_{3.0} - P_{3.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไปถ้าใช้งานเป็นอินพุตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากพอร์ตนี้จะใช้เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังใช้งานในหน้าที่พิเศษต่าง ๆ ดังนี้ ขาพอร์ต $P_{3.0}$ จะถูกนำมาใช้เป็นขา RDX ซึ่งใช้รับติดต่อทางอินพุต , ขาพอร์ต $P_{3.0}$ จะถูกนำมาใช้เป็นขา TXD ซึ่งใช้ส่งติดต่อทางเอาต์พุต , ขาพอร์ต $P_{3.2}$ จะถูกนำมาใช้งานเป็นขา INTO ซึ่งใช้ขาพอร์ตติดต่อการอินเตอร์รัปน์ 0 จากภายนอก , ขาพอร์ต $P_{3.3}$ จะถูกนำมาใช้เป็นขา INT1 ซึ่งใช้ขาพอร์ตติดต่อการอินเตอร์รัปน์ 1 จากภายนอก , ขาพอร์ต $P_{3.4}$ จะถูกนำมาใช้เป็นขา TO ซึ่งใช้ติดต่อกับไทเมอร์ 0 จากอินพุตภายนอก , ขาพอร์ต $P_{3.5}$ จะถูกนำมาใช้เป็นขา T1 ซึ่งใช้ติดต่อกับไทเมอร์ 1 จากอินพุตภายนอก , ขาพอร์ต $P_{3.6}$ จะถูกนำมาใช้เป็นขา WR ซึ่งใช้เขียนข้อมูลในหน่วยความจำภายนอกได้ , ขาพอร์ต $P_{3.7}$ จะถูกนำมาใช้เป็นขา RD ซึ่งใช้อ่านข้อมูลในหน่วยความจำภายนอกได้
7. ขารีเซต (RST) ใช้สำหรับการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการรีเซตต้องคงสถานะเป็น 1 อย่างน้อยนาน 2 แมชชีนไซเกิล ในขณะที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่
8. ขา ALE/PROG เป็นขาสัญญาณเพื่อทำหน้าที่ควบคุมแลตซ์ (Latch) ค่าตำแหน่งแอสเดรสไบต์ (Adress Latch Enable) เมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก นอกจากนี้ขานี้ยังทำหน้าที่เป็นอินพุตรับพัลส์ในหน่วยความจำ EPROM สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในเป็น EPROM
9. ขา PSEN (Program Store Enable) ทำหน้าที่เป็นสัญญาณสโตรปเพื่ออ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภานนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณ สโตรปจำนวน 2 ครั้งในแต่ละแมชชีนไซเกิล แต่ในขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกจะไม่มีการส่งสัญญาณสโตรปแต่อย่างใด
10. ขา EA/VPP (External Acess enable/VPP) เป็นขาสำหรับการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในหรือภายนอก โดยถ้ามีสถานะเป็น 0 จะหมายถึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกที่แอสเดรส 0-1FFFH อย่างไรก็ตามถ้าบิตป้องกัน (Security Bit) ในหน่วยความจำ EPROM ถูกโปรแกรมไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกเลย นอกจากนี้ขานี้ยังทำหน้าที่รับแรงดันไฟสำหรับการโปรแกรม (Vpp) ขนาด 21 โวลต์ เพื่อใช้ในระหว่างการโปรแกรม EPROM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.ขา XTAL1 และขา XTAL2 เป็นขาอินพุตและเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์ติ้งออสซิลเลเตอร์แอมปลิไฟเออร์ (Inverting Oscillator Amplifier) สำหรับใช้ต่อร่วมกับคริสตรอล ภายนอก

2.7 การจัดหน่วยความจำ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบ่งชนิดหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory)และหน่วยความจำข้อมูล (Data memory) หน่วยความจำโปรแกรมจะใช้สำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเบอร์ 8252 นี้เป็นอีพรอมสำหรับหน่วยความจำข้อมูลจะใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทำงานของโปรแกรม ซึ่งใน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่จำนวนหนึ่ง แต่อาจจะมีขนาดมากน้อยต่างกันไปตามแต่ละเบอร์สำหรับการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในส่วนหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลดังแสดงดังรูปที่ 2.20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 แสดงการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในส่วนของหน่วยความจำ

2.8 โปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล

2.8.1 หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมภายใน และ หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะถูกเลือกใช้งานถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 1โดยจะถูกใช้งานในช่วงแอดเดรส 0- 1FFFFH นอกเหนือจากช่วงแอดเดรสนี้จะถูกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด ในกรณีตรงกันข้ามถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0ในช่วงแอดเดรส 0- 1FFFH จะถูกใช้จากหน่วยความจำภายนอก หรือกล่าวได้ว่าถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น $\overline{0}$จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกทั้งหมดตลอดช่วงแอดเดรส

2.8.2 หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือหน่วยความจำข้อมูลภายใน และหน่วยความจำข้อมูลภายนอก สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนย่อย คือ ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลภายในและส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษคือ SFR(Spacial Function Regiter) โดยส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปจะถูกใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทำงานของโปรแกรม ส่วนรีจิสเตอร์พิเศษจะถูกใช้เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานและบอกสถานะการทำงานของไมโครคอลโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8252 จะมีหน่วยความจำข้อมูลขนาด 256 ไบต์

2.9 รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (SFR)

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษมีบทบาทมากในการควบคุมการทำงานของไมโครคอลโทรลเลอร์ และทำหน้าที่ในการเขียนโปรแกรมทำได้สดวกมากขึ้น รีจิสเตอร์พิเศษทำหน้าที่ที่สำคัญคือ ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำหน้าที่แสดงสถานะการทำงาน และยังสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต (bit adressable) ด้วย ดังแสดงรูปการจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่างๆในรูปที่ 2.21

2.10 รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป

รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปมีไว้สำหรับให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถนำข้อมูลไปพักไว้ชั่วคราวหรือใช้งานทั่วไปตามต้องการ ซึ่งรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 8 ตัว คือรีจิสเตอร์ R0-R7 โดยรีจิสเตอร์ทั้ง 8ตัวถูกจัดรวมกัน และมีให้เลือกใช้เองถึง 4 แบงค์ (Bank) นั่นคือมีรีจิสเตอร์ทั่วไปให้ใช้งานถึง 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัว เพียงแต่การเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงค์ใดแบงค์หนึ่งจะถูกกำหนดจากบิต RS0, RS1 ในรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ ดังนั้นในการเลือกใช้งานจึงสามารถเลือกใช้ได้เพียงแบงค์
เดียวในขณะใดขณะหนึ่ง อย่างไรก็ตามค่าข้อมูลในรีจิสเตอร์แบงค์ใดก็ตามที่มีชื่อเดียวกันแต่อยู่คนละแบงค์จะไม่มีผลซึ่งกันและกันเลย ทำให้ผู้เขียนโปแกรมสามารถใช้งานรีจิสเตอร์ทั่วไปนี้ได้ทั้ง 32 ตัว อย่างเต็มที่ และไม่ยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม

การเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี คำสั่งที่ถูกเขียนขึ้นเรียกว่านิวโมนิก (nemonic) โปรแกรมแอสแซมบลียังไม่สามารถนำมาใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทันที แต่ต้องนำมาทำการแปลงจากซอสโค้ดไฟล์เป็นภาษาเครื่อง (machine Code) ทั้งคำสั่งต่างๆ, ข้อมูลและการอ้างแอสเดรสทั้งหมดถูกแปลงเป็นภาษาเครื่อง ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเข้าใจได้ หรือเรียกว่า ออฟเจ็กโค้ด (object code) โดยใช้โปรแกรมแอสเซมเบลอร์ ในที่นี้คือ EXSM51.EXE มาใช้งาน หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งคือ โปรแกรมแอสเซมเบลอร์ทำการสร้างไฟล์ใหม่ขึ้นมาอีกไฟล์หนึ่ง โดยนำเอา ออปเจ็กโค้ดมาแทนที่คำสั่งหรือนิวโมนิกที่เขียนขึ้น โดยไม่สนใจคำอธิบายต่างๆที่เขียนไว้หรือตัดส่วนนี้ออกไปไม่นำมาใช้งานเลย

เอาท์พุทไฟล์ที่ได้จากการแอสเซมเบลอร์จะมีนามสกุลเป็น .HEX ไฟล์ที่ถูกแปลงเป็นภาษาเครื่องแล้วจะอยู่ในรูปเลขฐานสิบหกจำนวนสองหลักเรียงตามลำดับต่างๆที่เขียนขึ้น ไฟล์นี้เองสามารถประมวลผลได้ทันที เมื่อมันถูกส่งผ่านไปเก็บไว้ที่หน่วยความจำบน MCS-51 บอร์ด หรือกล่าวได้ว่าเครื่องพีซีทำหน้าที่สร้างออปเจ็กโค้ดขึ้นมา และทำการส่งผ่านหรือดาวน์โหลดไปยัง MCS-51 บอร์ด โดยทำการติดต่อโปรแกรม V24COM เพื่อส่งผ่านพอร์ทสื่อสารอนุกรม

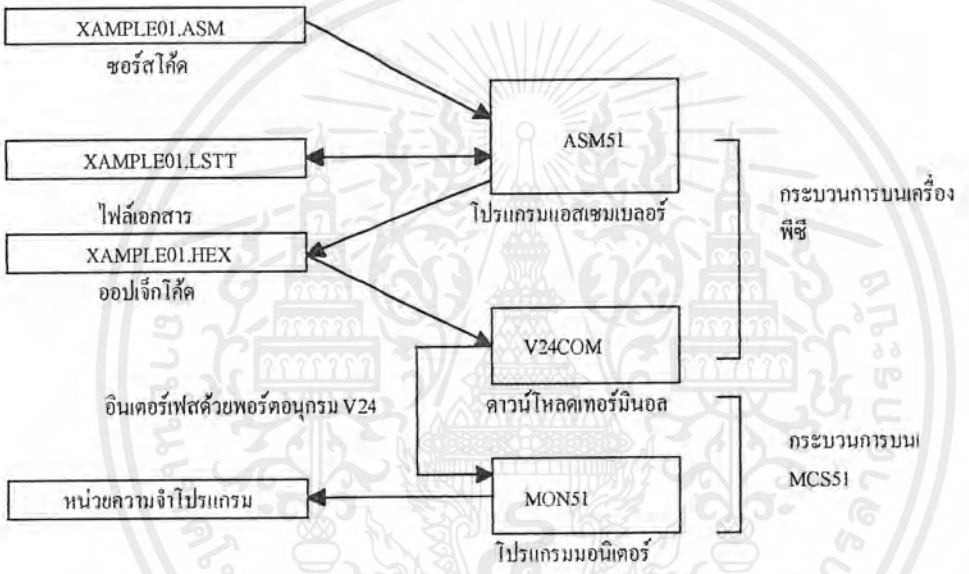
นอกจาก EASM51 จะทำการสร้างออปเจ็กโค้ดขึ้นมาไฟล์หนึ่งแล้วมันยังสร้างไฟล์เอกสาร (List File) ขึ้นมาชุดหนึ่งมีนามสกุล .LST ไฟล์เอกสารนี้สร้างขึ้นเพื่อรวบรวม และแสดงออปเจ็ก

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H	T2CON 00000000	T2MOD XXXXXX00	RCAP2L 00000000	APRC2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000		0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP XX000000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0X000000		SPSR 00XXXXXX					0AFH
0A0H	P2 11111111							0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF xxxxxxxx						9FH
90H	P1 11111111						WMCON 00000000	97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H	P0 11111111	SP 00000111	DP0L 00000000	DP0H 00000000	DP1L 00000000	DP1H 00000000	SPDR xxxxxxxx	PCON 0XXX0000	87H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.21 แสดงการจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่างๆ

โค้ดที่สร้างโดยโปรแกรมแอสเซมเบลอร์ ที่สร้างจากซอร์สโค้ดโปรแกรม และข้อมูลอื่นๆที่สำคัญ ดังนั้นไฟล์เอกสารนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งเมื่อต้องการศึกษาการทำงานภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดจนตรวจสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อพัฒนาในครั้งต่อไป ถึงแม้ว่าไฟล์โปรแกรมนี้ไม่สามารถนำมาใช้งานกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ก็มีประโยชน์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 2.22 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการในการแปลงโปรแกรมแอสเซมบลี

การใช้งานรีจิสเตอร์

โดยปกติไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 จะทำการประมวลผลข้อมูลครั้งละ 1 ไบต์ซึ่งกระทำกับรีจิสเตอร์ภายในโดยที่รีจิสเตอร์แต่ละตัวเก็บข้อมูลได้ขนาด 1 ไบต์เท่ากันเช่นรีจิสเตอร์ A ซึ่งเป็นแอกคิวมูเลเตอร์ (accumulater) ทำหน้าที่เป็นรีจิสเตอร์กลางสำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์หรือทางลอจิกของตัวกระทำ 2 ตัว ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการบวกค่า 10 กับข้อมูลตัวหนึ่ง ให้ทำการโหลดข้อมูลไปเก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ A ก่อนจากนั้นให้ใช้คำสั่งนำค่า 10 ไปบวกกับ A ผลที่ได้จากการบวกข้อมูลและค่า 10 จะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A นอกจากรีจิสเตอร์ A จะทำการบวกด้วยการกำหนดค่าโดยตรงแล้ว มันยังทำการคำนวณร่วมกับรีจิสเตอร์ 8 บิตตัวอื่นได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ และไมโครโปรเซสเซอร์จะมีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานในคำสั่งพิเศษ โดยผู้เขียนอาจกำหนดขึ้นได้เอง โดยกำหนดให้อยู่ในตำแหน่งแอสเดรสพิเศษ ในที่นี้มีค่ามากกว่า 07FH ขึ้นไปตัวอย่างเช่นแอกคิวมูเลเตอร์ถูกกำหนดใช้หน่วยความจำภายในที่ 0E0H รีจิสเตอร์เหล่านี้เรียกว่ารีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (Special Function Registers หรือ SFR) จำนวนของรีจิสเตอร์พิเศษอาจมีไม่เท่ากันในไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS-51 ขึ้นอยู่กับคำสั่งที่ทำการตั้งค่าไว้เพราะรีจิสเตอร์เหล่านี้ถูกรวมอยู่ หรือใช้พื้นที่ในหน่วยความจำภานในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งหน่วยความจำ หรือแรมภายในจะมีขนาดไม่เท่ากันในแต่ละเบอร์

นอกจากรีจิสเตอร์ SFR แล้วยังมีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไปอีก 8ตัว คือรีจิสเตอร์ R0-R7 รีจิสเตอร์ทั้ง 8 ตัวถูกบรรจุอยู่ในแรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปของแบงค์ (bank) และใช้สำหรับเก็บข้อมูลชั่วคราวระหว่างการประมวลผล ในที่นี้จะใช้รีจิสเตอร์เฉพาะแบงค์ 0 เท่านั้นและหลังจากการรีเซตระบบ รีจิสเตอร์ที่แบงค์ 0 จะถูกเลือกโดยอัตโนมัติ

2.11 การจัดสรรหน่วยความจำบน MCS-51 บอร์ด

ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS-51 มีขนาดหน่วยความจำไม่เท่ากันทำให้การจัดสรรพื้นที่ในหน่วยความจำไม่เท่ากัน ทำให้การจัดสรรพื้นที่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม และข้อมูลแตกต่างกัน

2.11.1หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสามารถขยายได้สูง 64 กิโลไบต์ มีหน้าที่สำหรับเก็บคำสั่งต่าง ๆ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ มันสามารถใช้เก็บตารางข้อมูล และค่าคงที่ได้ในการใช้งาน ในที่นี้จะใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเท่านั้นที่ขา 31จึงถูกต่อลงกราวด์ไว้เพื่อกำหนดไว้ไม่ให้ใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมภายในที่มีอยู่แล้ว และเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ยังติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกมันจะส่งสัญญาณลอจิก low ที่ขา 29 หรือที่ขา $\overline{\text{PSEN}}$ ออกมา

หน่วยความจำโปรแกรมไม่จำเป็นเสมอไปว่า ต้องเป็นรอม หรืออีพรอม เช่นเดียวกับตำแหน่งแอดเดรสที่ว่างแต่ละแอดเดรส อาจอยู่ในรูปของหน่วยความจำ หรือเป็นตำแหน่งของพอร์ตอินพุท หรือพอร์ตเอาพุทก็ได้หน่วยความจำโปรแกมในที่นี้ถูกแบ่งออกเป็นสองช่วงดังนี้ คือ ช่วงแอดเดรสต่ำ 0000H – 0400H เป็นส่วนของอีพรอม IC5 และช่วงแอสเดรสจาก 0400H – 0800H เป็นหน่วยความจำ IC6 ของระบบคำสั่งต่างๆ จะถูกป้อนให้ไปเก็บไว้ และทำการประมวลผลจากแรมนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

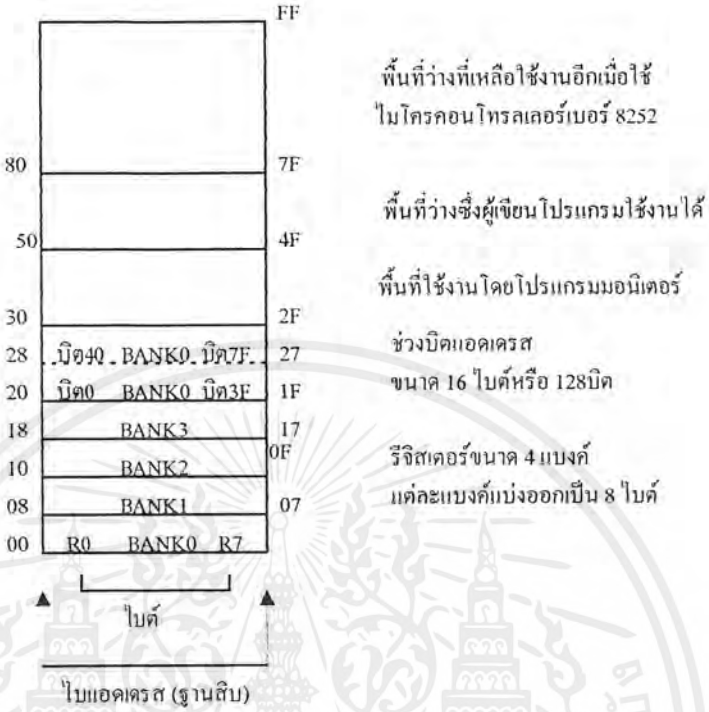
2.11.2 หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 สามารถทำการ และเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลที่มีข้อมูลที่มีขนาดสูงได้ 64 กิโลไบต์ หน่วยความจำในส่วนนี้ทำหน้าที่เก็บข้อมูลใช้งานจำนวนมากเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในบางครั้งอาจเรียกได้ว่าแรมบน MCS-51 บอร์ด หรือ IC6 เป็นผู้ทำหน้าที่นี้ หน่วยความจำข้อมูลบนบอร์ด MCS-51 กำหนดให้มีตำแหน่งใช้งานตั้งแต่ 0000H – 0800H ซึ่งตามที่กล่าวมาแล้วหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมโดยใช้แรม ถูกกำหนดให้เริ่มต้นที่ตำแหน่ง 0400H เป็นต้นไป นั่นคือ โปรแกรมทดลอง หรือโปรแกรมที่ดาวน์โหลดจากคอมพิวเตอร์จะต้องเริ่มประมวลผลที่ตำแหน่ง 0400H ขึ้นไป

การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนใหญ่แล้ว สามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้หน่วยความจำข้อมูลมากเท่าใดนัก ทำให้เมื่อต้องการใช้หน่วยความจำก็อาศัยแรมภายในที่มีอยู่แล้วมากกว่าที่จะใช้แรมจากภายนอก ขนาดของแรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8252 มีขนาด 256 ไบต์

ในส่วนของแรมภายในประกอบด้วย รีจิสเตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ หน่วยความจำสแตกสำหรับการใช้งาน และจัดระบบภายในซับรูทีนก็อยู่ในส่วนของ แรมภายในด้วย ดังนั้นขนาดของหน่วยความจำภายในที่ผู้เขียนโปรแกรมใช้งานได้จริงจึงน้อยกว่า 256 ไบต์ ในช่วงแอดเดรสระหว่าง 020H –02FH เรียกว่า บิตแอดเดรสเอเบิล (bit addressable) ในส่วนนี้ใช้งานในการจัดแจง หรือโยกย้ายถ่ายบิตข้อมูลของคำสั่งไปยังแอดเดรส เปลี่ยน หรือเรียกใช้บิตใดบิดหนึ่ง ส่วนประกอบสุดท้ายที่ใช้แรมภายใน ก็คือโปรแกรมมอนิเตอร์ซึ่งบรรจุอยู่ใน อีพรอม ซึ่งการประมวลผลในส่วนนี้ต้องใช้งานแรมภายในบางส่วนด้วยเช่นกัน ในรูปที่ 2.23 แสดงการแบ่งช่วงแอดเดรสของแรมภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แสดงการจัดแบ่งช่วงแอสเดรสใช้งานของแรมภายใน

2.12 สายพาน

สายพานเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในการถ่ายทอดกำลังจากเพลาเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่ง โดยไม่จำเป็นต้องรักษาอัตราความเร็วระหว่างเพลาทั้งสองให้มีค่าตามที่แท้จริง (กล่าวคือ สายพานไม่ สลิป) โดยทั่ว ๆ ไป ในการใช้งานสายพานขับเคลื่อนจะเกิดกำลังสูญเสียอันเนื่องด้วยการสลิป และการยืด ประมาณ 3-5 % ของความยาวทั้งหมด เพลาทั้งสองที่สายพานใช้ในการถ่ายทอดกำลังจะต้องมีระยะห่างกันอย่างน้อยจำนวนหนึ่ง ขึ้นอยู่กับแบบของสายพานที่ใช้ จึงทำให้สายพานมีประสิทธิภาพสูงสุด

ลักษณะพิเศษของสายพาน

1. ใช้กับระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของเพลาที่ห่างกันมากได้
2. เพราะว่าการ slip และ creep ของสายพานจึงทำให้อัตราส่วนความเร็วเชิงมุมระหว่างเพลาไม่คงที่ หรือไม่เท่ากับอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่
3. สายพานแบน (flat belts) อาจใช้แทนได้เหมือนคลัช โดยปรับสายพานจากหลวมเป็นตึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อใช้สายพานในการถ่ายทอดกำลัง ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเพลาควรจะปรับได้บ้าง
5. การเปลี่ยนอัตราส่วนความเร็วระหว่างเพลาที่ประหยัด ควรจะใช้ step pulleys (มู่เล่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางหลายขนาดในตัวเดียว)

สายพานมีสองแบบคือ สายพานแบน และสายพานตัว V โดยในโครงงานนี้จะใช้สายพานแบนในการถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์ไปยังแขนกล

การขับด้วยสายพานแบน

สายพานแบนมักทำด้วยผ้าชุบหรือหุ้มด้วยยาง (Rubberized fabric), เชือกชุบด้วยยาง (Rubberized cord), เชือกและผ้าชุบด้วยยาง , Plastic หรือยางเสริมด้วยลวด , และสายพานหนัง สายพานหนังใช้ถ่ายทอดกำลังได้สูงที่ความเร็วพอประมาณ มีอายุใช้งานนาน แต่นานเข้าอาจยืด หรือหด และมีราคาแพง ส่วนพวก Reinforced Plastic หรือ Rubber ใช้ถ่ายทอดกำลังได้สูงถึง 10 kW ต่อความกว้างของสายพานหนึ่งมิลลิเมตร ที่ความเร็วสายพาน 200 m / s ตัวประกอบอื่นๆ ที่มีผลในการเลือกใช้วัสดุสายพานคือ ความเชื่อถือได้ และอายุ ขาดของมู่เล่ และราคา

รูปที่ 2. แสดง Open และ Crossed Belts และให้สมการสำหรับหามุมสัมผัส $\propto$ และความยาวของเส้นสายพาน L ของแต่ละแบบ เมื่อติดตั้ง Open belts ในแนวนอนเพลาตัวขับควรหมุนในทิศทางที่ทำให้ด้านหย่อนของสายพานอยู่ด้านบน ซึ่งทำให้มุมสัมผัสของสายพานกับมู่เล่ทั้งสองใหญ่กว่า ถ้าติดตั้งในแนวตั้งหรือระยะระหว่างจุดศูนย์กลางเพลาสั้น มุมสัมผัสอาจทำให้ใหญ่ขึ้นได้ โดยใช้ มู่เล่ปรับความตึง (Idler tension pulley)

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงในสายพานและกำลังส่ง เมื่อสายพานวิ่ง และถ่ายทอดกำลังจะมีแรงดึง F1 บนด้านตึงและแรงดึงที่น้อยกว่า F2 บนด้านหย่อน ถ้าแรงเหวี่ยงจากศูนย์กลาง (Centrifugal Force) บนสายพานไม่คิด ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงทั้งสองของสายพาน (เมื่อไม่มีการขับ) จะเหมือนกับเบรคสายพานคือสมการ

$$F1 / F2 = e^{f\alpha} \qquad (2.1)$$

โดยที่ f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างสายพานกับมู่เล่

$\propto$ คือ มุมสัมผัสระหว่างสายพานกับมู่เล่

กำลังม้าที่ถ่ายทอดคือ

$$hP = (F1 - F2)V / 33000 \qquad (2.2)$$

โดยที่ F เป็นแรงดึงในหน่วย lbs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V เป็นความเร็วสายพานในหน่วย ft / min.

ส่วนในหน่วย SI กำลังส่งถ่ายคือ

$$P = (F1 - F2)\ V \qquad (2.3)$$

โดยที่ P คือ กำลังเป็น watts

F คือ แรงดึงเป็น newtons

V คือ ความเร็วสายพาน เป็น m / s

ในสมการ (2.1) เราไม่คิดแรงเหวี่ยงจากศูนย์กลาง แต่เมื่อรวมผลเข้าไปด้วย สมการ (2.1) จะกลายเป็น

$$\frac{F_1 - F_2}{F_2 - F_C} = e^{f\alpha} \qquad (2.4)$$

โดยที่ $F_C = mv^2$

m คือ มวลของสายพานต่อหนึ่งหน่วยความยาว

V คือ ความเร็วของหนึ่งหน่วยความยาวต่อวินาที

โดยทั่วไปเวลาติดตั้งสายพาน มักจะปรับความตึงเบื้องต้น Fi ไว้จำนวนหนึ่งเมื่อสายพานหมุนด้านที่ถูกตัวขับดึงเข้าไปจะยืดออกเป็นด้านตึง ส่วนด้านที่วิ่งออกจากตัวขับจะหดเข้าเป็นด้านหย่อน ดังนั้น

$$F_1 = F_i - \Delta F \qquad (2.5)$$

$$F_2 = F_i - \Delta F \qquad (2.6)$$

แก้สมการ (2.5) และ (2.6) เพื่อหาแรงดึงเบื้องต้นจะได้

$$F_i = \frac{F_1 - F_2}{2} \qquad (2.7)$$

ความสำคัญของสมการ (2.7) คือใช้หาแรงดึงสูงสุดในสายพาน โดยตอนที่สายพานอยู่นิ่ง แรงดึงทั้งสองด้านของสายพานเท่ากันคือ F1 = F2 = Fi และเมื่อมีการส่งถ่ายกำลังแรงดึงด้านตึงเพิ่มขึ้น ΔF จากเดิม Fi ส่วนด้านหย่อนลดลงจาก Fi ด้วยปริมาณที่เท่ากัน ΔF และถ้าเพิ่มโหลดเข้าไปอีกเรื่อยๆ จนด้าน F2 กลายเป็นศูนย์เพราะว่าสายพานไม่สามารถรับแรงกดได้ที่จุดนี้เองจะได้ F1 = 2Fi ซึ่งเป็นแรงดึงสูงสุดในสายพาน ดังนั้นวิธีหนึ่งที่จะส่งถ่ายกำลังได้มากๆ คือเพิ่มแรงดึงเบื้องต้นในสายพาน

ด้วยเหตุผลข้างต้น สายพานแบนจึงออกแบบโดยจำกัดแรงดึงสูงสุด F1 ตามความเค้นดึงอนุญาตของวัสดุสายพาน แต่ถ้ามีค่าที่แน่นอนกว่าจากผ่ายผลิตควรใช้ตามเขา

ถ้าเราแก้สมการ (2.7) เพื่อหาค่า F2 แล้วแทนลงสมการ (2.2) และ (2.3)จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$hP = \frac{F_1 - F_i}{16500} v \qquad (2.8)$$

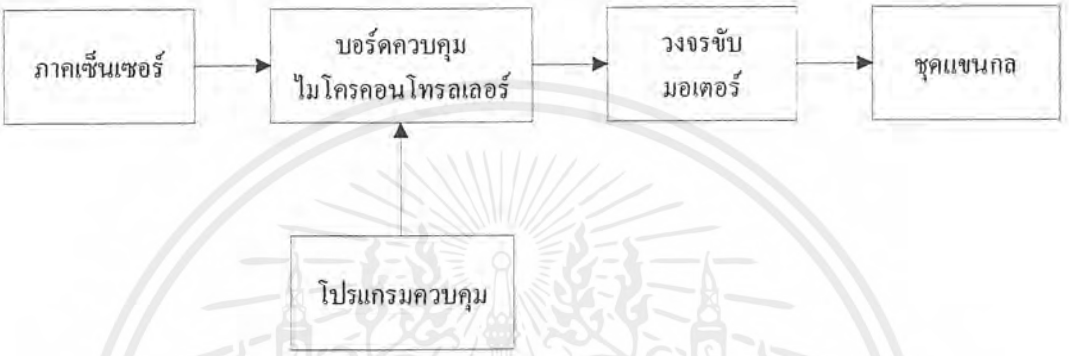
$$P = 2(F_1 - F_i)v$$

หลังจากได้เลือกใช้แรงดึงเบื้องต้น Fi แล้วควรตรวจสอบสมการ 2.4 ไม่ให้เทอมซ้ายมือมากกว่าค่า e ยกกำลัง f $\propto$ ไม่เช่นนั้นแล้วสายพานจะเกิดอาการ slip ถ้าไม่แน่ใจว่าจะเกิดการ slip เราอาจเพิ่มมุมสัมผัส $\propto$ หรือเปลี่ยนใช้วัสดุเพื่อเพิ่มความเสียดทาน หรือใช้สายพานหน้าตัดใหญ่ขึ้น สำหรับสายพานหนังทั้งหมดค่าความเค้นดึงอนุญาตที่ปลอดภัย คือ1.75 Mpa (250 psi) สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของหนังหรือยาง หรือผ้าใบ บนเหล็กกล้า คือ 0.40 , 0.35 และ 0.30 ตามลำดับส่วนวัสดุอื่นๆอาจอยู่ระหว่าง 0.30 ถึง 0.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การสร้างและการออกแบบ

ในการสร้างโครงงานแขนกลชุดนี้มีหลักการทำงานในการที่จะควบคุมแขนกลอาบน้ำนี้ได้อธิบายเป็นบล๊อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 บล๊อกไดอะแกรมการทำงานของแขนกลอาบน้ำ

3.1 หลักการทำงานของแขนกล

จากบล๊อกไดอะแกรมภาคเซ็นเซอร์หรือตัวตรวจรู้จะทำการตรวจจับในเรื่องของตำแหน่งของมอเตอร์ เมื่อทำการเปิดสวิตซ์เพื่อให้มอเตอร์ในแต่ละตัวของแขนกลอาบน้ำนี้อยู่ในตำแหน่งที่เรากำหนดเพื่อให้การควบคุมง่ายขึ้น และเซ็นเซอร์หรือตัวตรวจรู้อีกตัวหนึ่ง จะเป็นตัวคอยเช็คไม่ให้ส่วนปลายแขนถูออกนอกบริเวณของแผ่นหลัง เมื่อตัวตรวจรู้ทั้งสองแบบนี้เช็คเจอก็จะมาเข้าพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ในบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทลเลอร์นี้ได้ใช้แบบเป็นชุดทดลองของบริษัท ETT โดยมีคุณสมบัติที่ดีโดยจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป เมื่อรับค่าเข้ามาแล้วก็จะทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมควบคุมแล้วจะไปเข้าภาควงจรขับมอเตอร์โดยใช้มอเตอร์แบบสเต็ปเปอร์มอเตอร์โดยสัญญาณที่เข้าไปในภาควงจรขับต่อมอเตอร์หนึ่งตัวจะมีสายสัญญาณเพียง 2 เส้นคือ สัญญาณ พัลท์วิทธ์มอดดูเลชั่น เพื่อทำให้มอเตอร์หมุนและสัญญาณลอจิก 0 หรือ 1 เพื่อไปขับทิศทางของมอเตอร์

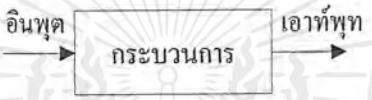
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ตัวตรวจรู้หรือเซ็นเซอร์

ในการใช้ตัวตรวจรู้มาควบคุมแขนกลนั้นก็เป็นระบบควบคุมอย่างหนึ่งซึ่งเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิดซึ่งระบบควบคุมอธิบายได้ดังนี้

ระบบควบคุมคือ ระบบที่อาศัยการป้อนกลับเพื่อให้ได้ผลตอบสนองของระบบเป็นไปตามที่เราต้องการ

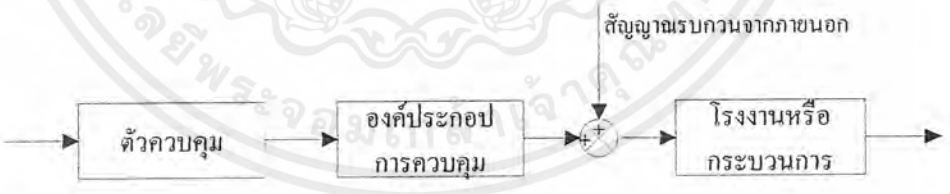
พื้นฐานในการวิเคราะห์ระบบควบคุมกระทำได้โดยอาศัยหลักทฤษฎีระบบลิเนียร์โดยกำหนดถึงความสัมพันธ์ อินพุท-เอาท์พุท ของส่วนประกอบของระบบ ดังนั้นส่วนประกอบของระบบหรือกระบวนการที่เราจะทำการควบคุมสามารถแสดงด้วยบล็อคไดอะแกรมดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กระบวนการที่เราจะควบคุม

ระบบควบคุมแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

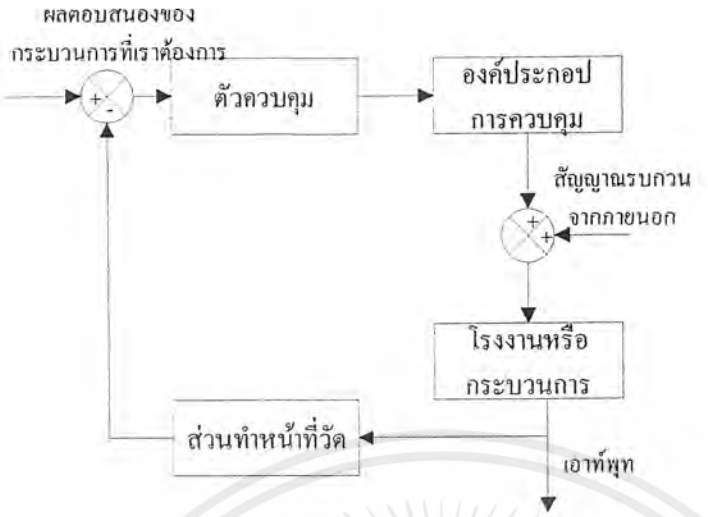
ก) ระบบควบคุมลูปเปิด คือ ระบบที่มีการควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองตามที่เราต้องการ ซึ่งระบบนี้ไม่ได้ใช้ในการควบคุมแขนกลเพราะเมื่อเกิดข้อผิดพลาดจะไม่สามารถเปลี่ยนปแลงได้ ระบบแบบที่ไม่มีการป้อนกลับแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างระบบควบคุมแบบลูปเปิด

ข) ระบบควบคุมแบบลูปปิดหรือแบบมีการป้อนกลับ คือ ระบบที่มีการป้อนกลับเอาเอาต์พุทของระบบกับไปเปรียบเทียบของระบบจะได้เป็นความแตกต่างหรือสัญญาณผิดพลาดป้อนไปให้ตัวควบคุมเพื่อไปควบคุมระบบหรือกระบวนการให้ได้ผลตอบสนองตามที่เราต้องการ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับหรือลูปปิดแสดงไว้ในรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



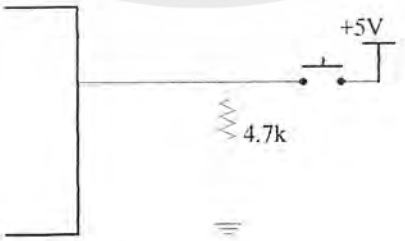
รูปที่ 3.4 ระบบควบคุมป้อนกลับแบบลูปปิด

โดยที่วงจรตรวจรู้หรือเซนเซอร์ที่ใช้ในโครงงานแขนกลนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

- เซนเซอร์แบบที่ใช้ไมโครสวิทช์
- เซนเซอร์แบบที่ใช้คลื่นอินฟาเรด

3.2.1 เซนเซอร์แบบที่ใช้ไมโครสวิทช์

โดยเซนเซอร์แบบนี้จะใช้สวิทช์แบบกดติดปล่อยดับ โดยจะใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของมอเตอร์แต่ละตัวว่าอยู่ในตำแหน่งที่พร้อมที่จะถูหลังแล้วหรือไม่โดยจะตรวจสอบเพื่อให้สามารถหมุนตำแหน่งของมอเตอร์แต่ละตัวให้อยู่ในท่าเตรียมเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ รูปแบบวงจรจะแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรของเซนเซอร์ที่ใช้ไมโครสวิทช์

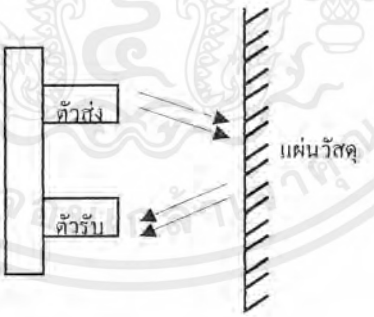
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

เมื่อไม่มีการกดสวิทช์จะได้ลอจิก 0 ออกมาเพื่อไปเข้าพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พอร์ต 0 และ 2 ต่อไป และเมื่อมีการกดสวิทช์จะทำให้มีไฟไหลในวงจรซึ่งเป็นลอจิก 1 และไปยังพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไปเพื่อที่จะนำไปใช้ในการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ต่อไป

3.2.2 เซนเซอร์แบบคลื่นอินฟาเรด

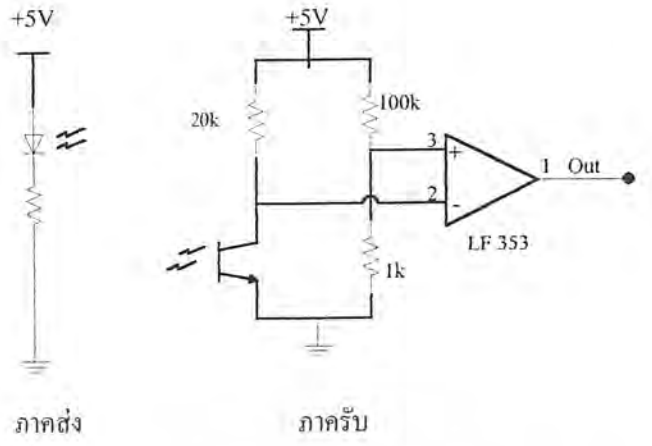
เซนเซอร์แบบนี้จะใช้คลื่นอินฟาเรดเป็นตัวช่วยตรวจจับโดยจะมีอยู่ 2 ภาค คือ ภาคส่งและภาครับคลื่นอินฟาเรด โดยนำไปใช้ในการตรวจจับขอบเขตของแผ่นหลังมนุษย์เพื่อไม่ให้ปลายแขนส่วนที่ทำการขัดแผ่นหลังมนุษย์นั้น ขัดเกินแผ่นหลังออกไป คือให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด และทำให้สามารถควบคุม ให้อยู่ในพื้นที่ของแผ่นหลังเท่านั้นโดยในการออกแบบจะใช้หลักการของการสะท้อนของคลื่นอินฟาเรดนี้โดยเมื่อตัวส่งคลื่นได้ทำการส่งคลื่นแล้วไปกระทบกับแผ่นวัสดุที่ไม่ทึบแสงจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับออกมา และตัวรับคลื่นก็สามารถรับคลื่นได้ในระยะความห่างของแผ่นวัสดุที่จำกัดโดยในระยะที่ใช้ในโครงงานแขนกลนี้ใช้ความห่างประมาณ 2-5 cm โดยสามารถนำหลักการนี้มาใช้ในการตรวจจับในโครงงานนี้ได้เพราะว่าแผ่นหลังมนุษย์เปรียบเสมือนแผ่นวัสดุโดยคลื่นสามารถสะท้อนได้เพราะไม่ทึบแสง โดยหลักการสะท้อนของคลื่นอินฟาเรดแสดงดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 การสะท้อนของคลื่นอินฟาเรด

โดยที่วงจรเซนเซอร์ด้วยคลื่นอินฟาเรด ทางด้านส่งจะใช้ โฟโตไดโอด ทางภาครับจะใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ และใช้ไอซีเบอร์ LF353 ซึ่งเป็นออฟแอมป์ดิฟเฟอเรนเชียลเป็นตัวเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรเซนเซอร์แบบคลื่นอินฟาเรด

การทำงานของวงจร

อินฟาเรดไดโอดจะส่งคลื่นอินฟาเรดออกมาอยู่ตลอดเวลาขณะที่มีไฟเลี้ยงให้กับวงจรเมื่อมีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของคลื่นอินฟาเรด คลื่นจะสะท้อนสิ่งกีดขวางกับมายัง โฟโตทรานซิสเตอร์ โดยสิ่งกีดขวางในโครงงานแขนกลนี้คือแผ่นหลังของมนุษย์ โดยที่ผิวหนังของมนุษย์คลื่นสามารถสะท้อนกลับมาได้เมื่อโฟโตทรานซิสเตอร์รับแสงเข้ามาจะทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแสจะมีสัญญาณส่งไปให้ ออฟแอมป์ LF 353 ออฟแอมป์นี้จะทำงานในลักษณะ ดิฟเฟอเรนเชียล โหมด กล่าวคือในกรณีที่ โฟโตทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะคัทออฟ คือไม่มีคลื่นอินฟาเรดจากอินฟาเรดไดโอดมากระทบ ทำให้แรงดันที่ขา อินเวอร์ติ้ง (Inverting) และนอนอินเวอร์ติ้ง (Non Inverting) จะเท่ากันหรือใกล้เคียงกันซึ่งเอาท์พุทของออฟแอมป์เป็น 0 โวลท์ แต่เมื่อมีคลื่นตกกระทบทรานซิสเตอร์ก็จะนำกระแสทำให้แรงดันที่ขา นอนอินเวอร์ติ้ง กับขาอินเวอร์ติ้งจะไม่เท่ากันออฟแอมป์จะทำการขยายสัญญาณความแตกต่างนี้ออกไปยังเอาท์พุต และนำสัญญาณนี้ไปเป็นอินพุทเพื่อเข้าไปยังไมโครคอลโทรลเลอร์เพื่อนำไปควบคุมแขนกลต่อไปได้

วงจรเซนเซอร์อินฟาเรด

รายการอุปกรณ์ของภาคเซนเซอร์อินฟาเรดต่อ 1 ชุด มีดังนี้

รายการอุปกรณ์	**จำนวน(ตัว)**
1. ไอซีเบอร์ LF353	1 ตัว
2. ตัวต้านทาน 50โอห์ม	1 ตัว
3. ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม	1 ตัว
4. ตัวต้านทาน 20 กิโลโอห์ม	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ตัวต้านทาน 100 กิโลโอห์ม 1 ตัว

3.3 ชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นชุดบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ของบริษัท อีทีที จำกัด โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8252 ซึ่งเหตุผลที่ใช้บอร์ดสำเร็จรูปชุดนี้แทนเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการโดยมี จุดเด่น รวมถึงคุณสมบัติต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

CP-S8252 V2.0 ชุดพัฒนา และใช้งานใน CPU ตระกูล MCS51 ที่พัฒนาต่อมาจากชุด CP-S8252 V1.0 โดยยังคงระบบทั้งหมดไว้ และเพิ่มในส่วนที่ขยายความสามารถของบอร์ดขึ้นมาอีกอทิเช่น สามารถทำงานจากหน่วยความจำภายนอก ในกรณีที่หน่วยความจำภายในไม่พอ แต่ไม่ต้องการเปลี่ยนบอร์ดควบคุมใหม่ สามารถเชื่อมต่อกับ หน่วยความจำ (Ram) สำหรับเก็บข้อมูล ในกรณีที่ต้องการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก ขยายพร์อต 8255 เมื่อพอร์ตของ ซีพียู ไม่เพียงพอในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก หรือในกรณีที่พอร์ตของซีพียูใช้ควบคุมอุปกรณ์บนบอร์ด สำรองข้อมูลในแรมเมื่อไฟดับ และที่สำคัญคือราคาประหยัด ทำให้ ได้เลือกใช้บอร์ดควบคุมรุ่นนี้เนื่องจากเล็งเห็นว่ามีคุณสมบัติที่ดีต่อการที่จะออกแบบชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เอง

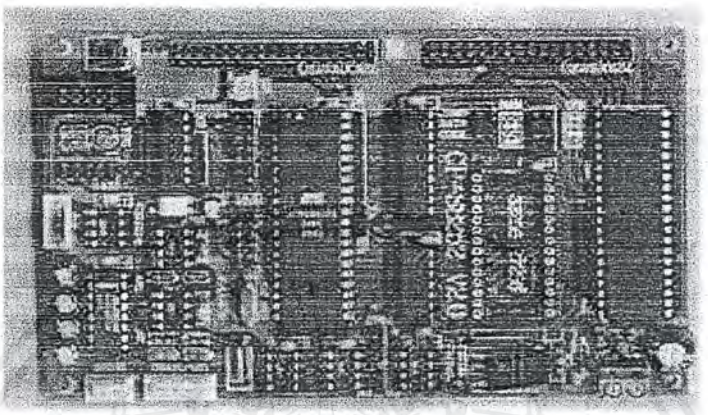
3.3.1 คุณสมบัติของ CP-S8252 V2.0

- ใช้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์MCS_51 เบอร์ AT89S8252 หรือ เบอร์ AT89S53
- การดาวโหลดข้อมูลสามารถทำบนบอร์ดได้โดยตรง
- หน่วยแสดงผลแบบ LCD โดยควบคุมการทำงานจอ LCD แบบ 4 บิท
- หน่วยแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ที 2 แชลแนลขนาด 12 บิท
- ระบบ (Real Time Clock : RTC) เป็นระบบฐานเวลาจริง
- หน่วยความจำใช้เก็บข้อมูลถาวร (Eeprom Memory Unit)
- มีหน่วยสำรองข้อมูล หน่วยความจำ
- ใช้ระบบการสื่อสารแบบ RS232 โดยใช้พอร์ตอนุกรม
- ใช้ระบบการสื่อสารแบบ RS422 และ RS485 ซึ่งเป็นการสื่อสารระยะไกล
- การขยายพอร์ตของ 8255 มีพอร์ตขนาด 34 พิน โดยมีพอร์ต A พอร์ต B และพอร์ต C
- พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นอินพุทเอาท์พุทพอร์ตมี 3 พอร์ต คือ พอร์ต 0 พอร์ต1 และ พอร์ต 2
- พอร์ต 3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์
- การขยายหน่วยความจำที่เป็น แรม หรือขยายหน่วยความจำที่เป็น อีพรอม
- ระบบแสดงผลแบบ 7 SEG เป็นจอแสดงผลขนาด 8 หลัก
- ทำงานที่เร็วกว่าเดิมโดยใช้ Speed Xtal 18.432MHz

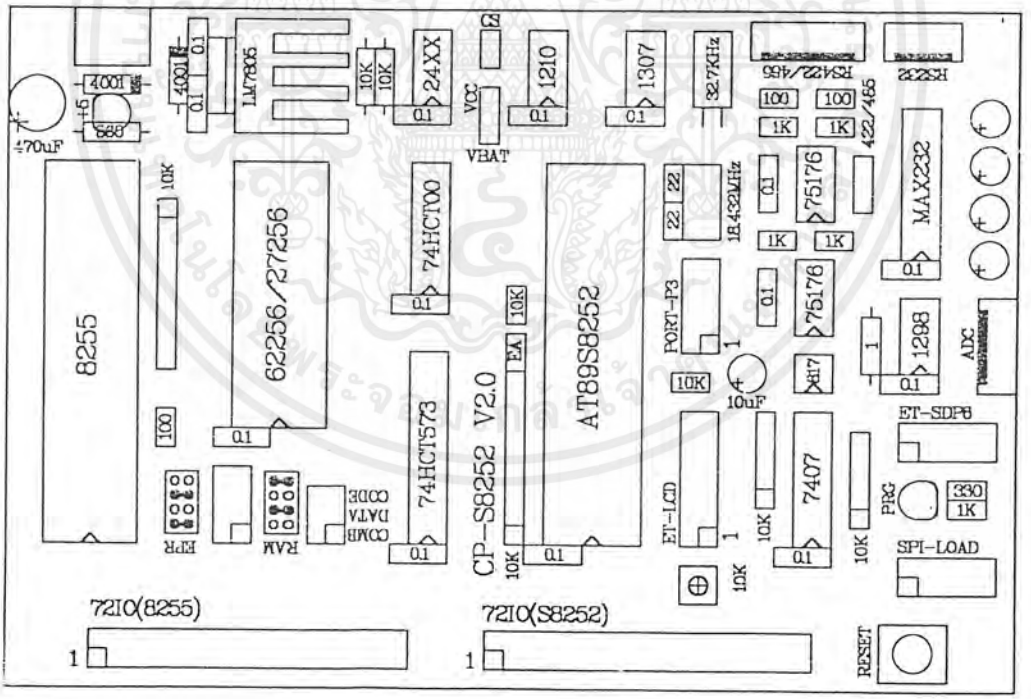
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยจ่ายพลังงานโดยจะรักษาระดับแรงดันที่ 5 โวลท์

3.3.2 รูปชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของ อีทีทีรุ่น CP – S8252 V2.0

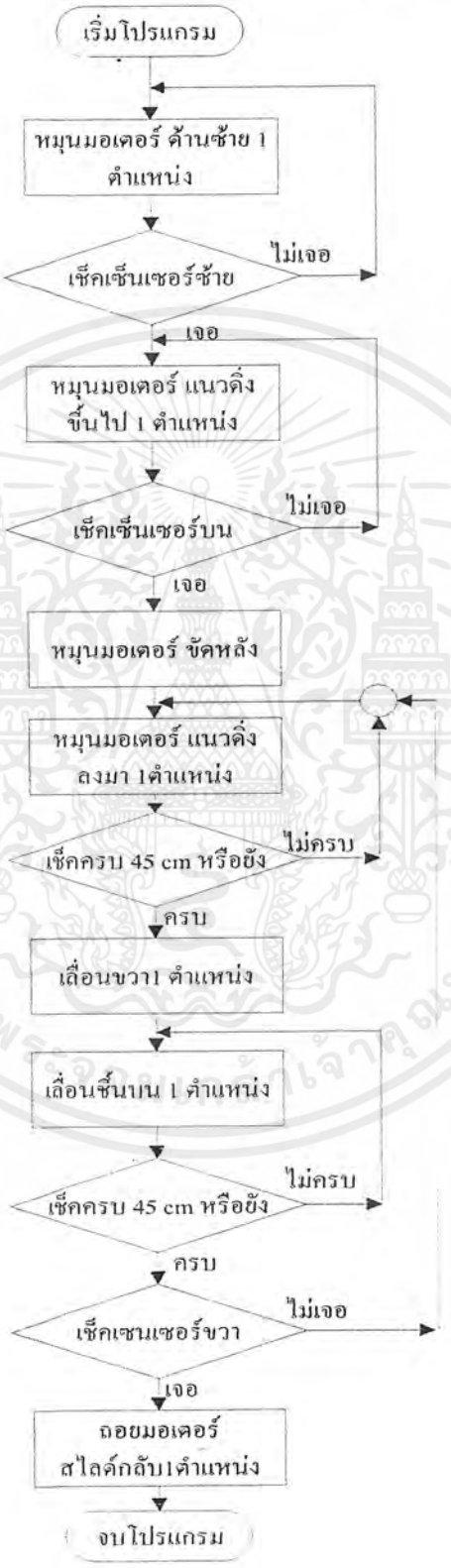


รูปที่ 3.9 แสดงตำแหน่งอุปกรณ์ ต่างๆบนบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

3.5โปรแกรมควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบโปรแกรมควบคุมได้ใช้ภาษาแอสแซมบลีเขียนแล้วโปรแกรมไปในบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์โดยได้อธิบายเป็นโฟลชาร์ตการควบคุมรวมได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 โฟลชาร์ตแสดงโปรแกรมควบคุมแขนกลรวม

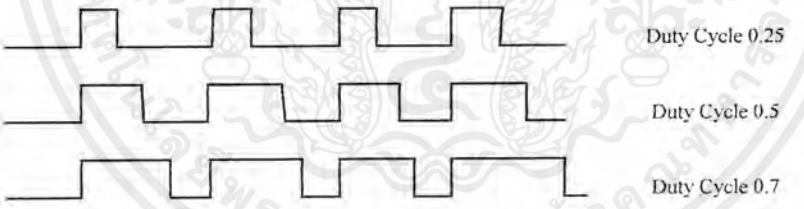
รูปที่ 3.10 เป็นการแสดงโปรแกรมควบคุมรวมโดยจะมีส่วนโปรแกรมควบคุมย่อยในโปรแกรมควบคุมแขนรวมดังนี้

3.4.1 โปรแกรมการหมุนมอเตอร์

ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์นั้นได้ใช้หลักการ พัลส์วิทธ์มอทดูเลทชั่นเป็นตัวควบคุมในการหมุนของมอเตอร์และใช้สัญญาณ ลอจิก 0 และ 1 เป็นตัวควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ โดย สัญญาญพัลส์วิทธ์มอดูเลทอธิบายได้ดังนี้

พัลส์วิดมอดูเลท (PWM : Pluse Width Modulate)

เป็นการใช้ความถี่คงที่ในการสร้างจังหวะการเปิดปิดสวิตช์ ซึ่งจะควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์อีกต่อหนึ่ง สำหรับการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้านั้น ใช้การปรับเปลี่ยนช่วงเวลาการเปิดซึ่งจะสัมพันธ์กับช่วงเวลาการปิดสวิทช์แทนซึ่งอัตรานี้เรียกว่า ดิวตี้ไซเกิล (Duty cycle) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 รูปแสดงสัญญาณพัลส์ที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้พัลส์วิดมอดูเลท

จากรูปที่ 3.11 เมื่อสัญญาณที่มี พัลส์ลอจิก 1 เรียกว่า Ton และ พัลส์ที่มีลอจิก 0 เรียกว่า Toff เมื่อ Ton มากกว่า Toff จะทำให้มอเตอร์หมุนเร็วกว่าเดิม ส่วนที่ Ton น้อยกว่า Toff จะทำให้มอเตอร์หมุนช้ากว่าเดิม และ ที่ Ton เท่ากันกับ Toff ทำให้มอเตอร์หมุบด้วยความเร็วปกติ ซึ่งจากรูปที่ 3.10 ที่ดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 0.25 จะทำให้มอเตอร์หมุนช้า ส่วนที่ ดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 0.5 มอเตอร์จะหมุนปลานกลางหรือปกติ และที่ดิวตี้ไซเกิลเท่ากับ 0.7 จะทำให้มอเตอร์หมุนเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการสร้าง พัลส์วิทธ์มอดูเลทนี้ จะใช้โปรแกรมเป็นตัวสร้างซึ่ง ใช้ฟังค์ชั่น ไทเมอร์และเคาน์เตอร์ (Timer/Counter) ของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8252 นี้ เป็นตัวผลิตพัลส์ส่วนนี้ออกมา โดย ไทเมอร์จะเป็นตัวผลิตพัลส์ ที่มีดิวตี้ไซเกิลต่างๆออกมาส่วน เคาน์เตอร์เป็นตัวนับสัญญาณพัลส์แต่ละลูกเพื่อใช้ในการเช็คการหมุนของมอเตอร์ได้ว่าหมุนไปจำนวนกี่สเต็ปโดยไทเมอร์และเคาน์เตอร์อธิบายได้ดังนี้

ไทเมอร์ และ เคาน์เตอร์ เป็นอีกส่วนประกอปที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องมีการเก็บแล้วการตรวจสอบค่าของเวลา และจำนวณของสัญญาณนาฬิกาอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการสร้างฐานเวลา สร้างสัญญาณพัลส์ เปรียบเทียบค่าเวลา หรือเปรียบเทียบค่าของการนับ รวมไปถึงการกำหนดอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลของพอร์ตอนุกรมด้วย

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89S52 ที่ใช้ในโครงงานแขนกลนี้ จะมีไทเมอร์เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต อยู่ด้วยกัน 3 ตัว โดยจะมี ไทเมอร์ 0 (Timer 0) , ไทเมอร์ 1(Timer 1) , ไทเมอร์ 2 (Timer 2) เรียกสั้น ๆ ว่า T0, T1 และ T2 โดยรีจิตเตอร์ทั้งสามตัวสามารถกำหนดให้ทำงานเป็นตัวตั้งเวลาหรือไทเมอร์ และตัวนับหรือเคาน์เตอร์ได้อย่างอิสระต่อกัน

ก) การทำงานเป็นไทเมอร์

เมื่อกำหนดให้ทำงานเป็นตัวตั้งเวลาหรือไทเมอร์ ค่าของรีจิตเตอร์จะเพิ่มขึ้นทุกๆ แมชีนไซเกิล (Machine Cycle) ดังนั้นเมื่อทำงานเป็นไทเมอร์ รีจิตเตอร์จะทำการนับค่าของแมชีนไซเกิล และเนื่องจากแมลชีนไซเกิลประกอปด้วยคาบของสัญญาณนาฬิกา 12 คาบเวลา ดังนั้นอัตราในการนับของรีจิตเตอร์เท่ากับ 1/12 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา

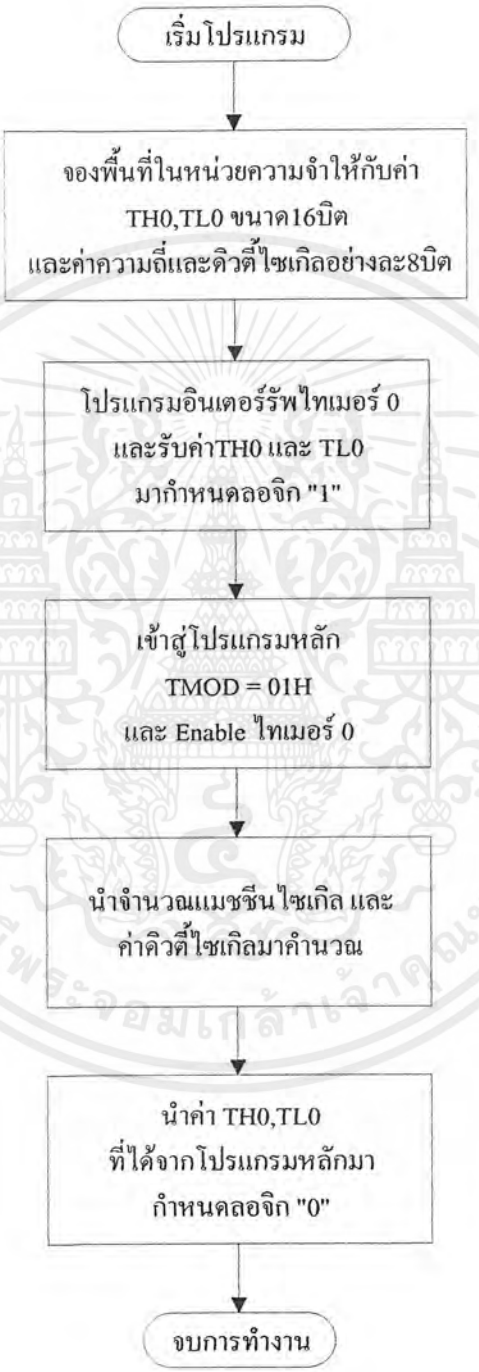
ข) การทำงานเป็นเคาน์เตอร์

เมื่อทำงานเป็นตัวนับหรือเคาน์เตอร์ ค่าของรีจิตเตอร์จะเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับลอจิกจาก “1” เป็น “0” เกิดขึ้นที่ขาอินพุตทางฮาร์ดแวร์ของวงจรไทเมอร์เคาน์เตอร์ ซึ่งก็คือ ขา T0 (P3.4) ขา T1 (P3.5) และ ขา T2 (P1.0) โดยจะมีการสุ่มรับค่าสัญญาณจากขาอินพุตในทุกๆ คาบเวลาที่ 2 ของสเตตที่ 5 (S5P2) ในแต่ละแมชชีนไซเกิล

ดังนั้นในการออกแบบโปรแกรมส่วนนี้จะต้องรู้คาบเวลา 1 แมชชีนไซเกิล ในโครงงานแขนกลนี้ใช้ความถี่ในบอร์ดควบคุมแขนกลเป็น 18.432MHz ดังนั้นคาบเวลาใน 1 แมชีนไซเกิลเท่ากับ 12/18.432MHz จะได้เท่ากับ 1.030815 ไมโครวินาทีทำให้นำไปสร้างพัลส์ได้โดยใช้โปรแกรมควบคุมในการสร้างพัลส์ที่ 1 ลูกคลื่นดังนั้นในพัลส์ 1 ลูกคลื่นก็จะขับมอเตอร์ให้หมุนได้ 1 สเต็ป มีองศาเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 องศา พัลส์นี้ใช้สำหรับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และให้มอเตอร์หมุนโดยโฟลชาร์ตในการสร้างพัลส์ควบคุมมอเตอร์ที่ปรับความถี่ และดิวตี้ไซเกิลได้ แสดง ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โฟลชาร์ตแสดงการสร้างพัลส์ จำนวณ 1 ลูกคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

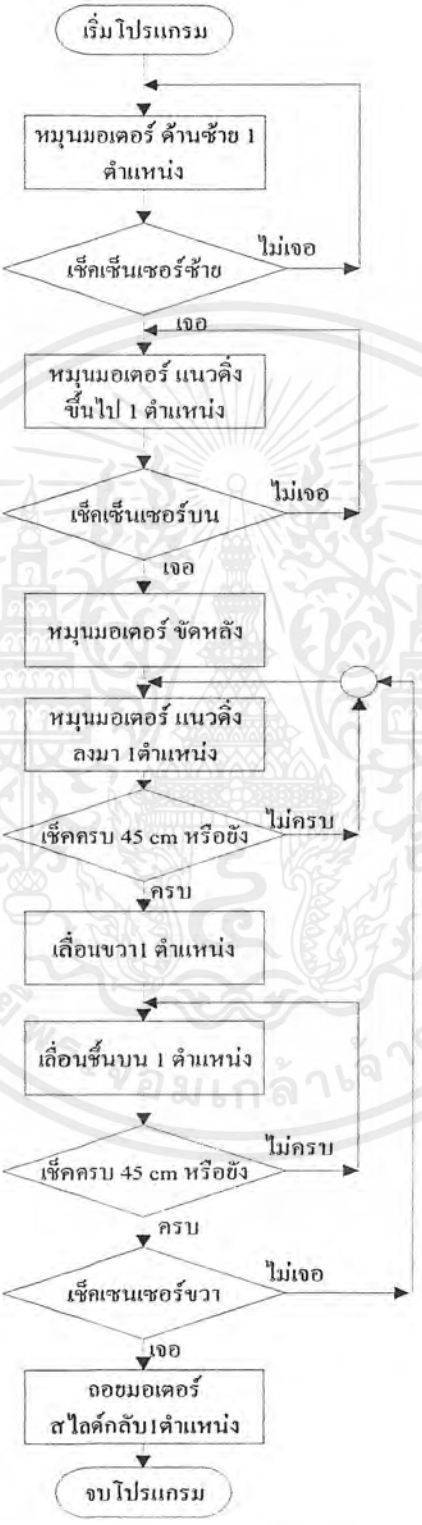
3.4.2 ส่วนเช็คตำแหน่งมอเตอร์

เป็นส่วนที่ใช้ไมโครสวิทซ์มาใช้ในการตรวจจับว่ามอเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมจะควบคุมหรือไม่ โดยจะติดไมโครสวิทช์ไว้ที่จุดกลางของส่วนที่แขนแต่ละส่วนเคลื่นไหวโดยการเขียนโปรแกรมควบคุมได้อธิบายเป็นโฟลชาร์ตได้ดังนี้

รูปที่ 3.13 โฟลชาร์ตควบคุมการเช็คตำแหน่งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

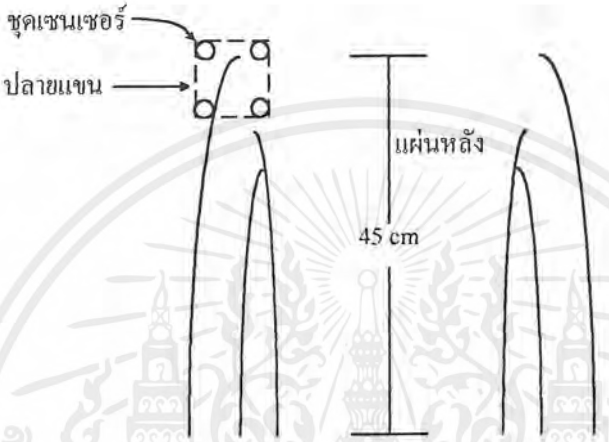
3.4.3 ส่วนเช็คขอบเขตของแผ่นหลังและการถูหลัง



รูปที่ 3.14การควบคุมขอบเขตแผ่นหลังและการถูหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป ที่ 3.14 เป็นการควบคุมขอบเขตของแผ่นหลัง โดยการใช้ตัวตรวจจับแบบคลื่นอินฟาเรด โดยใช้ตรวจเช็คความกว้างของแผ่นหลัง และคอยควบคุมไม่ให้ถูเกินด้านบนของแผ่นหลังออกไป โดยจะมีตัวเซนเซอร์อยู่ 4 ตัว ใช้ในการเช็คขอบเขตนี้ และในด้านความสูงของแผ่นหลังจะใช้การประมาณว่าแผ่นหลังของมนุษย์ เมื่อนับจากบริเวณหัวไหล่ ได้ 45 เซ็นติเมตร โดยลักษณะการติดตั้งของเซนเซอร์เป็นไปตามรูปที่ 3.15

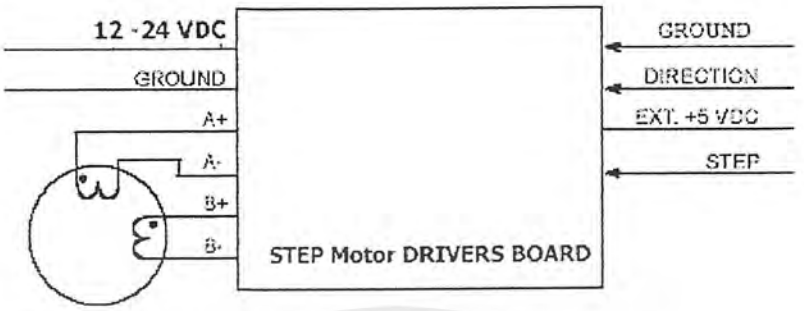


รูปที่ 3.15 การติดตั้งเซนเซอร์อินฟาเรด ที่ใช้ในการควบคุม

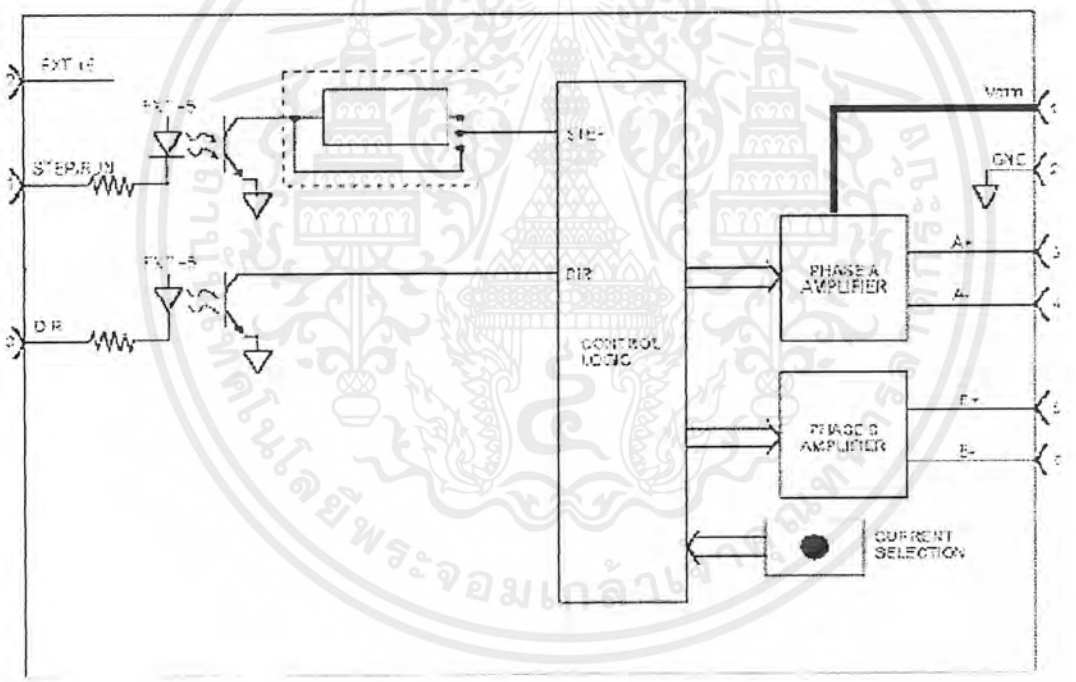
3.5 ภาคขับสเต็ปมอเตอร์

จะใช้ขับมอเตอร์แบบสเต็ปโดยจะมีอยู่ทั้งหมด 4 ตัว โดยวงจรจะเหมือนกันทั้ง 4 ตัวจึงขออธิบายเพียงตัวเดียว โดยสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าภาคขับสเต็ปมอเตอร์มีอยู่ 2 เส้นเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมมอเตอร์ คือ เส้นที่เป็นสัญญาณ พัลส์วิทธ์มอทเพื่อขับมอเตอร์ให้หมุน และเส้นที่เป็น ลอจิก 0 และ 1 จะเป็นตัวขับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ เนื่องจากสเป็กของสเต็ปปิงค์มอเตอร์ที่ใช้ในโครงงานแขนกลอาบน้ำนั้นมีความสามารถ ทนกระแสที่ 2 แอมป์ มีองศาต่อหนึ่งสเต็ปเท่ากับ 1.8 อาศาต่อหนึ่งสเต็ป แรงดันไฟฟ้าขนาด 12 โวลท์ ซึ่งวงจรที่นำมาใช้ในการออกแบบนี้ใช้แรงดันไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ได้ตั้งแต่ 12-24โวลท์ และสามารถปรับกระแสสำหรับขับสเต็ปมอเตอร์ได้ตั้งแต่ 125 มิลิแอมป์ ถึง 2.5 แอมป์ ต่อเฟสมอเตอร์ และในวงจรนี้สามารถ ขับแบบฟูลสเต็ป (Full Step) และ ฮาร์ฟสเต็ป (Half Step) แต่ในโครงงานแขนกลนี้ได้ใช้การขับแบบ ฟูลสเต็ป เพราะการขับแบบฟูลสเต็ปจะได้ความเร็วที่แต่แรงบิดต่ำทำให้กินกำลังไฟน้อยเพราะในโครงงานนี้ไม่ต้องใช้แรงบิดมากนัก ส่วนถ้าเป็นแบบ ฮาร์ฟสเต็ป จะให้แรงบิดที่สูง แต่กินกำลังไฟมากตามไปด้วย จึงไม่ได้ใช้แบบฮาร์ฟสเต็ปนี้เพราะเล็งเห็นว่าสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ โดยการต่ออินพุตและเอาต์พุตของภาคขับสเต็ปมอเตอร์ แสดงในรูปที่ 3.16 และ ส่วนที่แสดงบล๊อกการทำงานของภาคขับสเต็ปมอเตอร์นี้ แสดงได้ดังรูป ที่3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงการต่ออินพุตและเอาท์พุตของชุดขับสเต็ปมอเตอร์



รูปที่ 3.17 แสดงบล๊อกการทำงานของภาคขับสเต็ปมอเตอร์

จากรูปที่ 3.17 เป็น รูปที่แสดงเป็นบล็อกการทำงาน ซึ่งจะแยกออกเป็นส่วนใหญ่ๆได้ 2 ภาค คือ ภาค คอนโทรลลอจิก จะทำหน้าที่รับสัญญาณพัลส์และสัญญาณทิศทาง มาแปลงเป็นลอจิกที่มีขนาด 4 บิต ซึ่งก็คือจำนวณเส้นของสเต็ปมอเตอร์และภาคขยายกระแสจะมีอยู่ 2 ส่วนใช้ขยายกระแสของเฟส A และ เฟส B เพื่อให้สามารถขับสเต็ปมอเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 วงจรของชุดขับสเต็ปมอเตอร์

ในวงจรที่ใช้ขับสเต็ปมอเตอร์นั้นจะไอซีที่สำคัญอยู่ 2 เบอร์ คือ L297 และ L298N และการทำงานของวงจรที่ใช้ในโครงงานแขนกลนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

การทำงานของวงจร

จากรูปที่ 3.16 เป็นวงจรที่ใช้ขับกระแสให้สเต็ปมอเตอร์ได้ 2 แอมป์ เมื่อมีสัญญาณพัลส์ และสัญญาณ Direct เข้ามา ที่ไอซีเบอร์ PC817 ซึ่งเป็นออฟโตคัฟเปอร์คือจะทำหน้าที่ป้องกันไฟย้อนกลับเข้าไปเพราะเนื่องมาจากสเต็ปมอเตอร์จะมีไฟย้อนกลับ และเข้าไปในวงจรคอนโทรลลอจิก ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ L297 โดยจะมี IC3 เบอร์ CA3410 เป็นตัวกำหนด โวลเตจอ้างอิงเพื่อใช้ในการกำหนดควบคุมกระแสของโหลดที่นำมาขับได้ และที่ตัวคอนโทรลลอจิกเมื่อรับสัญญาณเข้ามาคือ สัญญาณพัลส์และสัญญาณทิศทาง จะทำหน้าที่แปลง 2 สัญญาณนี้เป็น สัญญาณเอาท์พุท 4 เส้นเพื่อนำไปขยายใน ไอซีเบอร์ L298N โดยจะขยายมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโวลเตจอ้างอิงดังที่กล่าวมาและสัญญาณที่ออกมาจากขา INH1 และ INH2 เป็น Inhibit Control แบบแอคทีพ Low โดยจะมาควบคุมการขับของเฟส A,B และควบคุมการขับของเฟส C,D ตามลำดับ และที่ ขา OSC เป็นออสซิลเลเตอร์ที่มีความถี่ 20 กิโลโอห์มในส่วนนี้จะใช้วงจร RC เนตเวร์คโดยใช้สูตรคำนวณได้เป็น

$$f = 1/0.69RC \qquad \text{----------} (1)$$

หาค่า C โดยการกำหนดความต้านทานเป็น 22 กิโลโอห์มดังนั้น ค่าC = 3.3 นาโนฟารัด

และไดโอดที่ต่ออยู่ตรงเอาท์พุตของภาคขยายนั้นเป็นตัวป้องกันไฟย้อนกลับอันเนื่องมาจากมอเตอร์เพราะมอเตอร์ก็เหมือนตัวผลิตแรงดันอีกอย่างหนึ่งเพื่อป้องกันการเสียหายของวงจรทั้งหมด

วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

รายการอุปกรณ์ของวงจรขับสเต็ปมอเตอร์ต่อ 1 ชุดมีดังนี้

รายการอุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
1. ไอซีเบอร์ L297	1
2. ไอซีเบอร์ L298N	1
3. ตัวต้านทาน 100 กิโลโอห์ม	1
4. ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	2
5. ตัวต้านทาน 22 กิโลโอห์ม	1
6. ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ตัวต้านทาน 330 โอห์ม	2
8. ตัวต้านทาน 0.5 โอห์ม 2.5 วัตต์	2
9. ตัวเก็บประจุ 3.3 นาโนฟารัด	1
10. ตัวเก็บประจุ 100 นาโนฟารัด	1
11. ไอซี เบอร์ CA3410	1
12. ไอซี เบอร์ PC817	2
13. ไดโอด เบอร์ MUR120	8
14. ไดโอดเปล่งแสง (LED)	2

3.6 การออกแบบแขนกล

ในการออกแบบส่วนประกอบแต่ละชิ้นของแขนกลสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

1. เขียนรูปโดยรวมคร่าว ๆ ของแขนกลที่จะทำการสร้างขึ้นมา

2. กำหนดขนาดต่างๆของแขนกล เช่น ชนิดของแขนที่ต้องการสร้าง จำนวนองศาแห่งอิสระ ความเร็วของการเคลื่อนที่ ,ภาระของแขนกล

3. คำนวณ น้ำหนักโดยประมาณ

4. เขียนแบบของแขนกล

5. หาขนาดของมอเตอร์ และสายพานที่ใช้เป็นตัวส่งกำลัง

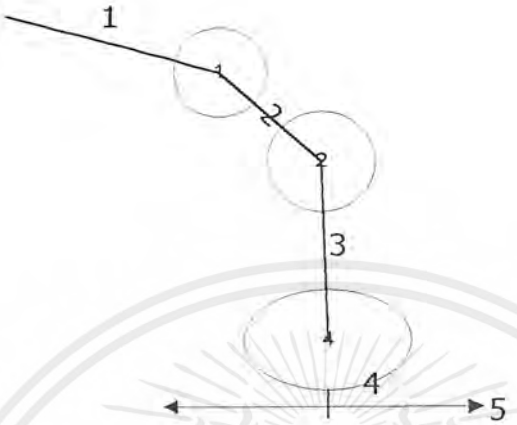
6. ออกแบบเฟือง หรือมู่เล่ เพื่อติดตั้งสายพานกับมอเตอร์

7. ทำการตรวจสอบขนาด และรูปร่างของชิ้นส่วนต่าง ๆ ว่าสามารถสร้างขึ้นมาได้หรือไม่ หรืออุปกรณ์ที่ใช้มีขายในท้องตลาดหรือไม่ หากไม่ได้ให้ทำการออกแบบใหม่จากขั้นตอนข้างต้น

1. เขียนรูปคร่าว ๆ โดยรวมของแขนกลที่จะสร้าง โดยการพิจารณาถึงความเหมาะสม ว่าสามารถเป็นไปได้หรือไม่ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถ และประสบการณ์ของผู้ออกแบบเอง แต่ก็ต้องคำนึงถึงหลักวิชาการด้วย ในที่นี้จะออกแบบแขนกลให้มีลักษณะดังรูปที่ 3.18
2. การกำหนดขนาดและส่วนประกอบ

จากข้อที่ 1 จะเห็นว่าแขนมีส่วนประกอบที่สำคัญ 5 ส่วนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แบบร่างของแขนกล

- ส่วนที่1 สามารเคลื่อนที่ได้ในระยะประมาณ 10 เซนติเมตร, หมุนขึ้นลงจากแนวระดับ 45 องศา
- ส่วนที่ 2 สามารถหมุนขึ้นลงจากแนวระดับ 45 องศา
- ส่วนที่ 3 สามารถหมุนขึ้นลงจากแนวระดับ 45 องศา
- ส่วนที่ 4 สามารถหมุนรอบตัวเองได้ 270 องศา โดยประมาณ
- ส่วนที่ 5 สามารถเคลื่อนที่ในแนวนอน ไปกลับได้ประมาณ 10-20 เซนติเมตร

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบคือ

- ภาระของแขนที่ไปกระทำ (ในที่นี้คือ แผ่นหลังของมนุษย์)
- ความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าที่เราสามารถกำหนดไว้ในส่วนของภาคควบคุม ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนเวลาหน่วงในโปรแกรมได้ตามต้องการ

3. การหาน้ำหนักโดยประมาณของส่วนประกอบต่าง ๆ

การหาน้ำหนักโดยประมาณของส่วนประกอบต่าง ๆ ของแขนกล ในการออกแบบนี้ จะใช้วัสดุที่เป็นพลาสติกเป็นส่วนใหญ่ในการสร้างแขนกลดังนั้น น้ำหนักจะน้อยมากแทบไม่มีผลกับขนาดและความเร็วของมอเตอร์ที่มีจำหน่าย และจะนำมาใช้ในครั้งนี้เลย มีเพียงส่วนประกอบที่ 5 เท่านั้นที่เป็นเหล็ก ซึ่งมีน้ำหนักมากที่สุด แต่ก็ไม่มีผลกับ ส่วนปลายแขนที่จะต้องไปกระทำกับโหลด อย่างไรก็ตาม จะแสดงการหาค่าต่าง ๆ คร่าว ๆ ไว้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของแขนแต่ละท่อนประกอบด้วย

1. น้ำหนักของเฟรม
2. น้ำหนักของเฟือง หรือมู่เล่ และสายพาน
3. น้ำหนักของฐานยึดมอเตอร์ และมอเตอร์

น้ำหนักของส่วนต่าง ๆ แสดงไว้ดังตารางด้านล่าง

ส่วนประกอบ	น้ำหนัก (กรัม)				
	ส่วนที่1	ส่วนที่1	ส่วนที่1	ส่วนที่1	ส่วนที่1
เฟรม	50	70	100	400	5000
มู่เล่ และสายพาน	150	150	150	150	-
ฐานยึด และมอเตอร์	250	250	250	250	250
รวม	450	470	500	800	5250
				รวมทั้งหมด	7470

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

น้ำหนักของเฟรม น.น = น้ำหนักโดยประมาณ * จำนวนวัสดุงาน

หรือ น.น = กว้าง * ยาว * หนา * ความหนาแน่น * จำนวนวัสดุงาน

น้ำหนักของมู่เล่ น.น = พ.ท. วงกลม * ความหนา * ความหนาแน่น

(ประมาณ 4-6)

แรงบิดในแนวดิ่ง $T = \pi(WL)$

เมื่อ T = แรงบิดที่ข้อต่อแขนท่อนต่าง ๆ (kg * c)

W = น้ำหนักของส่วนต่าง ๆ (kg)

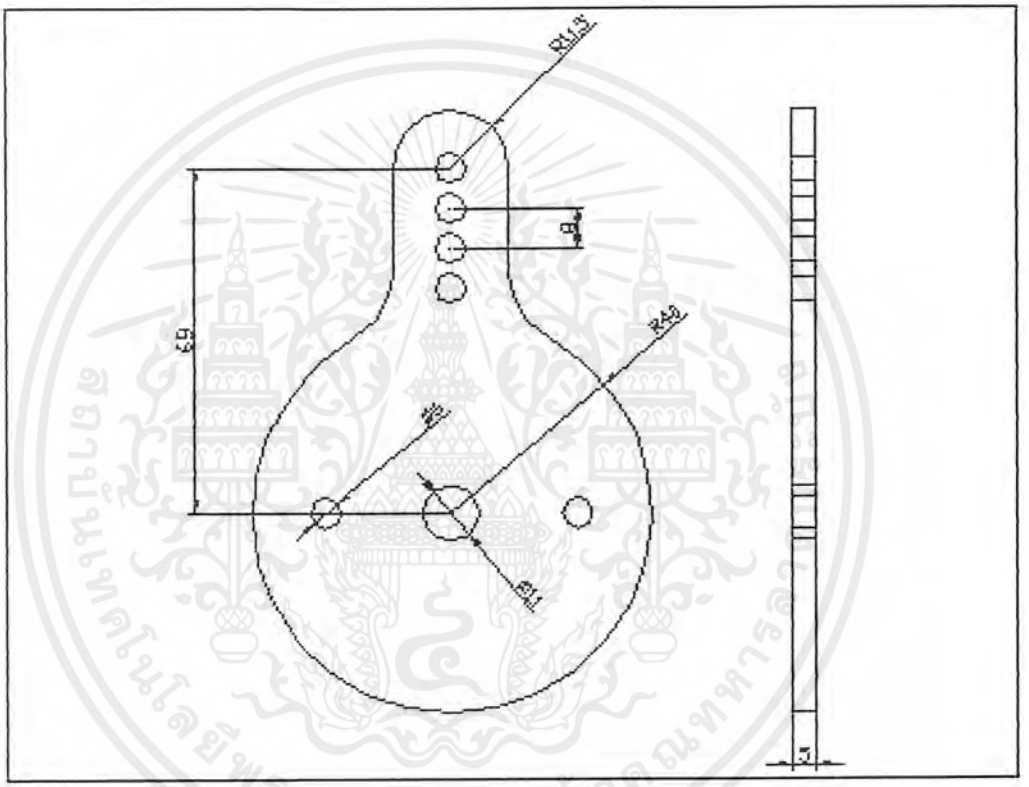
L = ระยะทางจากจุดที่คิดแรงบิด ถึงน้ำหนัก (Centimeter)

แรงบิดที่คำนวณได้ควรบวกค่าแฟกเตอร์เพื่อความปลอดภัยเข้าไปด้วยเนื่องจากระหว่างที่มีการส่งแรงไปยังเฟือง หรือ มู่เล่ หรือจากมู่เล่ไปยังเพลาอาจมีการสูญเสียแรงในรูปของการเสียดทาน (Friction Loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

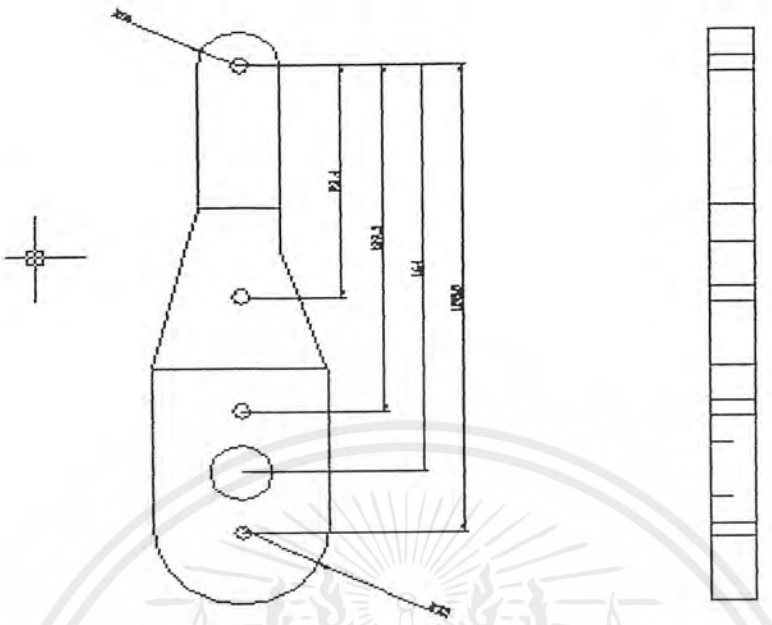
4. การออกแบบแขนกล

ในการออกแบบแขนกลเพื่อนำไปสร้างจริงเพื่อความสะดวก ในที่นี้จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเขียนแบบขึ้นมาโดยใช้โปรแกรม AutoCad 2000 แบบของแขนส่วนต่างๆ แสดงดังรูปด้านล่าง

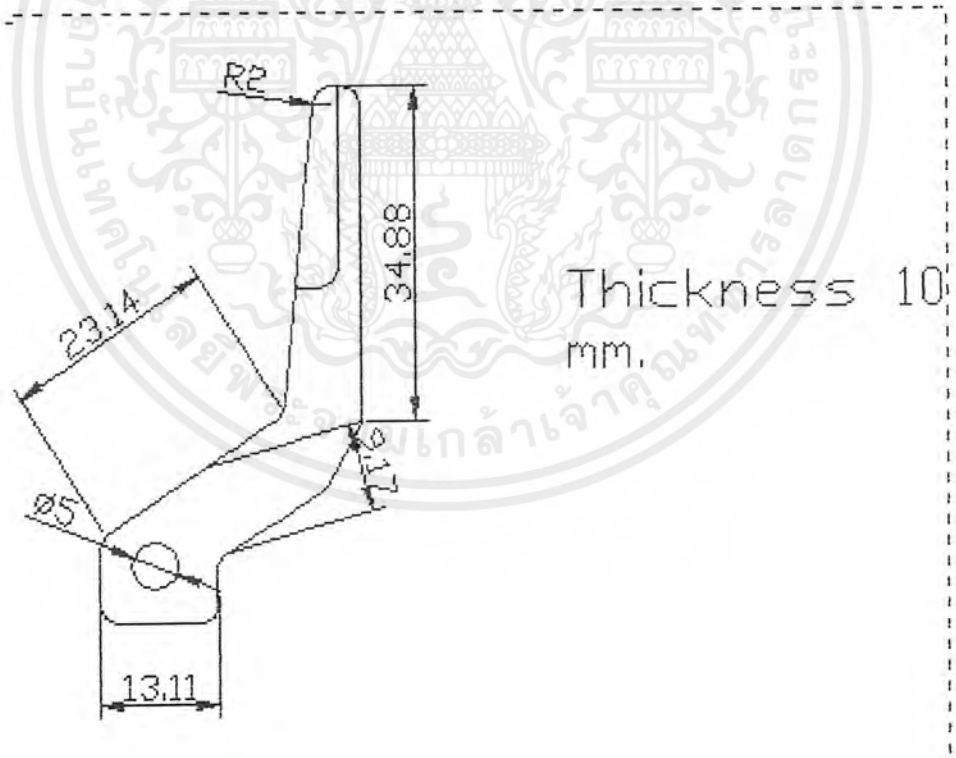


รูปที่ 3.19 มู่เล่ หรือ รอกที่ใช้ส่งกำลังจากแขนท่อนกลางไปยังปลายแขน

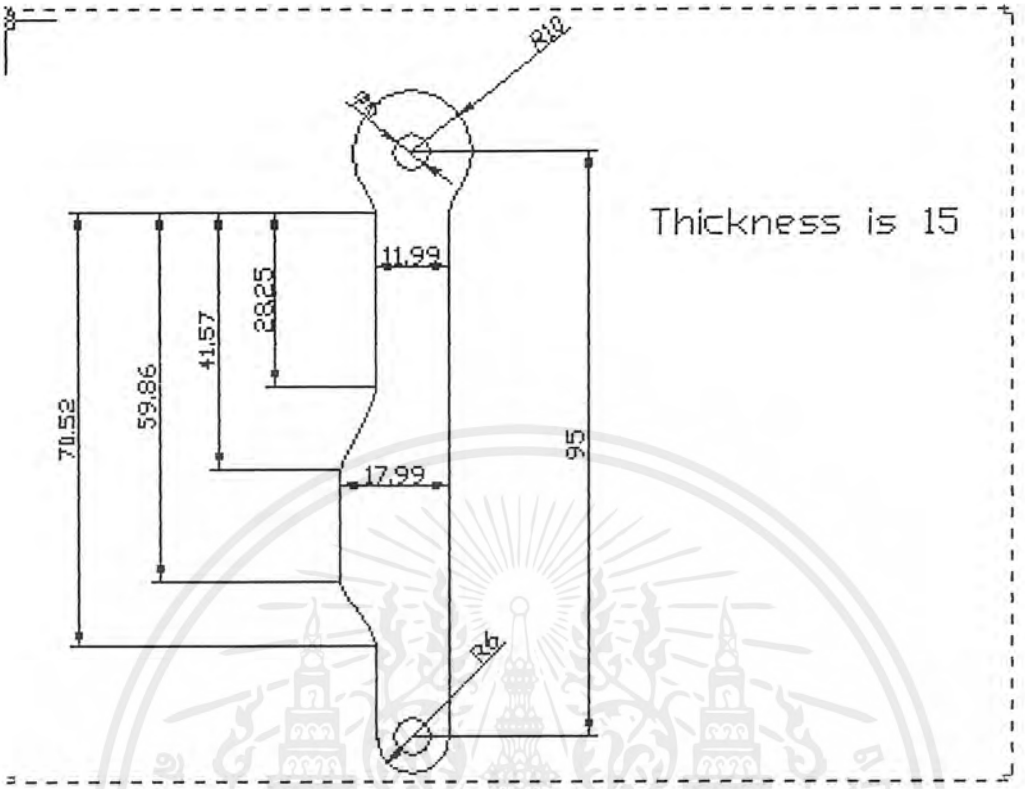
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



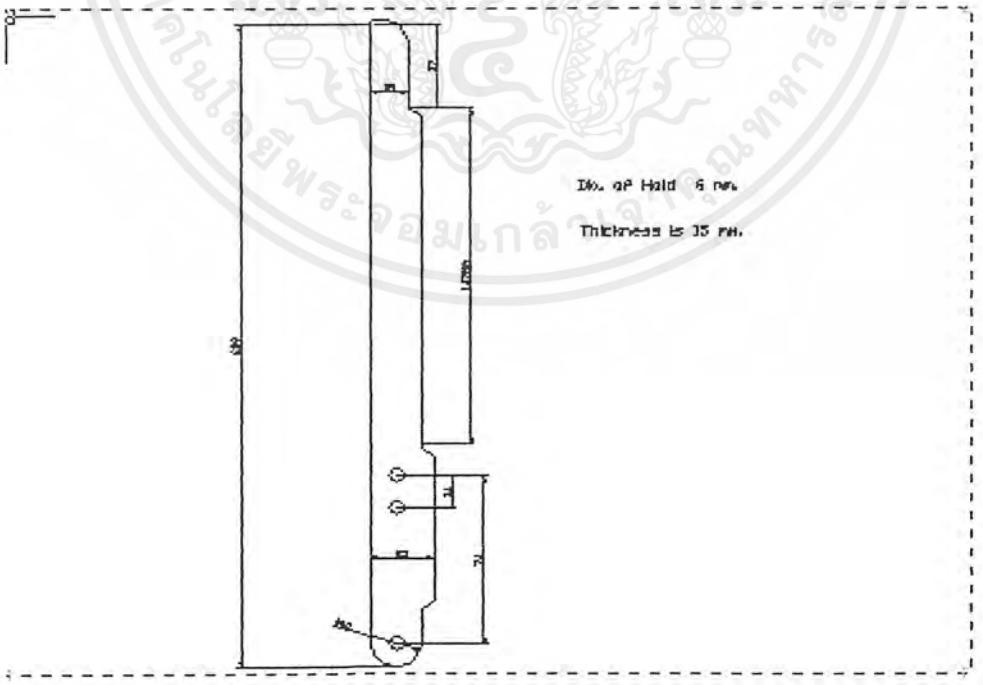
รูปที่ 3.20ส่วนแขนท่อนกลาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

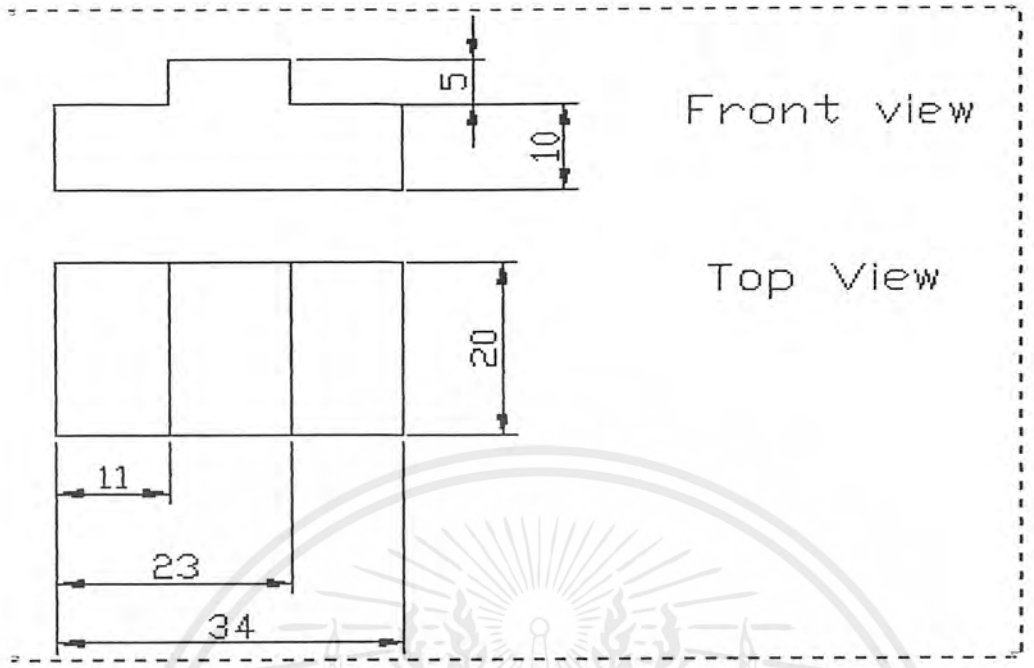


รูปที่ 3.21 ข้อต่อแขน

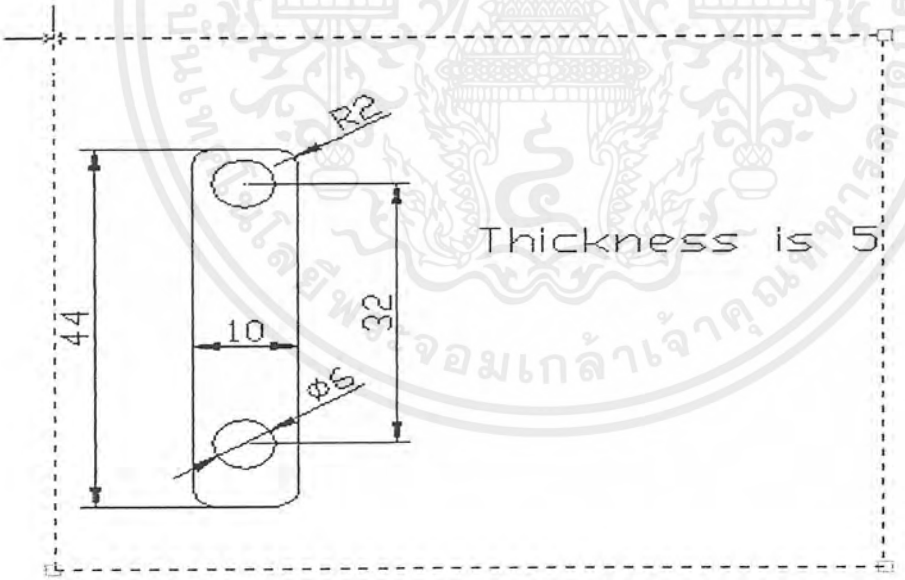


รูปที่ 3.22 ส่วนปลายแขน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

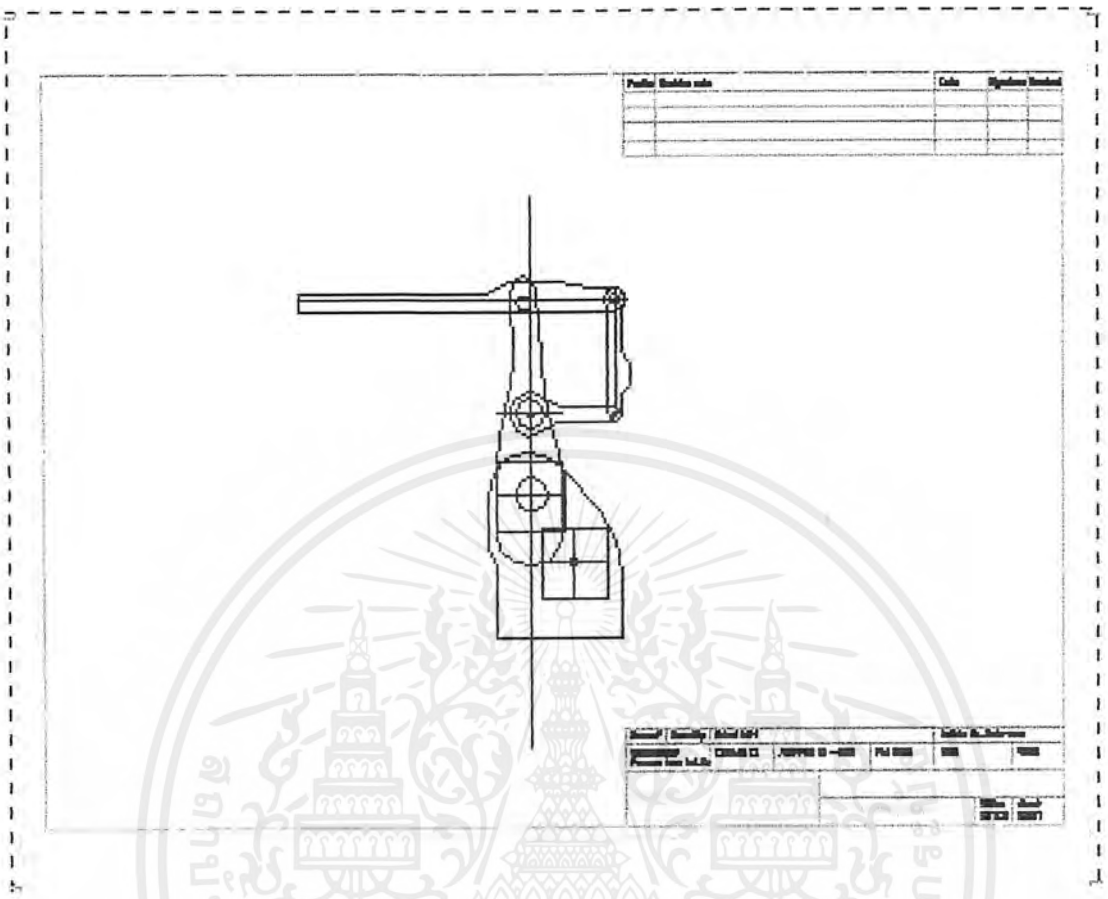


รูปที่ 3.23 ฐานรองรับแขนท่อนกลาง



รูปที่ 3.24 ตัวยึดมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.25 ภาพรวมของแขน เมื่อมองจากด้านข้าง

3.7 การออกแบบสายพาน

เกี่ยวข้องกับทั้งการเลือกสายพานที่เหมาะสมต่อกำลังที่จะส่งผ่านและเกี่ยวกับการคำนวณหากำลังที่สามารถส่งผ่านได้ของสายพานแบนราบ หรือสายพานรูปตัววี โดยทั้งสองกรณีเราพิจารณาว่าทราบความหนาของสายพาน แต่ในกรณีแรกเราจะไม่ทราบ ส่วนกรณีที่สองเราต้องทราบความกว้างของสายพาน

กำลังที่ส่งผ่านสายพาน โดยสายพานขับเคลื่อนจะมีค่าเป็นฟังชั่นของแรงดึงในสายพาน และความเร็วของสายพาน

$Power = (T_1 - T_2)V$ หน่วยเป็น W

โดย T_1 = แรงดึงในสายพานด้านดึง หน่วยเป็น N

T_2 = แรงดึงในสายพานด้านหย่อน หน่วยเป็น N

V = ความเร็วของสายพาน หน่วยเป็น m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสมการที่ใช้หาความเค้น, S_2 สำหรับสายพานแบนราบเมื่อเราทราบความหนาของสายพานแต่ไม่ทราบความกว้างของสายพาน

$$\frac{S_1 - m'v^2}{S_2 - m'v^2} = e^{f\alpha}$$

โดยที่ S_1 = ความเค้นที่ยอมให้ได้มากที่สุด, หน่วยเป็น N/m^2

S_2 = ความเค้นด้านหย่อนของสายพาน หน่วยเป็น N/m^2

m' = มวลของสายพานที่ยาว 1 m และมีพื้นที่หน้าตัด 1 m^2

v = ความเร็วของสายพาน, หน่วยเป็น m/s

f = สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างสายพานกับรอก

α = ค่ามุมที่สายพานสัมผัสกับรอก หน่วยเป็น rad

ในกรณีที่เราไม่ทราบความกว้างของสายพาน สามารถหาพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการของสายพานได้ดังนี้

$$\frac{T_1 - T_2}{S_1 - S_2} = \text{พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ}$$

นั่นคือ ความกว้างของสายพานที่ต้องการ, b = พื้นที่หน้าตัด / ความหนา ส่วนค่าของ $T_1 - T_2$ หาได้จากกำลังที่ส่งผ่าน, $P = (T_1 - T_2)v$ หน่วยเป็น W

แรงดึงที่มากที่สุด ในด้านดึงของสายพานจะขึ้นอยู่กับความเค้นที่ยอมให้ได้ของวัสดุที่นำมาใช้ทำสายพานทั่ว ๆ ไป สายพานจะทำมาจากยางเสริมหนังสัตย์ หรือเส้นฝ้าย โดยความเค้นที่ยอมให้ได้ของสายพานเสริมสายหนังมีค่า 2-3.45 Mpa ส่วนความเค้นที่ยอมให้ได้ของสายพานยางจะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 1.7 Mpa ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุ นอกจากสายพานเสริมหนังจะมีการเสริมหนึ่งชั้น ยังมีการเสริม 2 ชั้น และ 3 ชั้น อีกด้วย ความหนาแน่นของสายพานเสริมหนัง จะมีค่าประมาณ $970 kg/m^3$ ส่วนสายพานยางอาจมีการเสริมเส้นฝ้ายเป็นชั้น ๆ และความหนาแน่นของสายพานนี้มีประมาณ $1{,}250 kg/m^3$

เมื่อเราทราบความกว้าง และความหนาของสายพาน เราสามารถหาค่า T_2 ของทั้งสายพานแบนราบ และรูปตัววี ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{T_1 - mv^2}{T_2 - mv^2} = e^{f\alpha / \sin\frac{1}{2}\theta} \text{ เมื่อ } m = btp$$

เมื่อ m = มวลของสายพานที่ยาว $1m$

v = ความเร็วของสายพาน, หน่วยเป็น m/s

b = ความกว้างของสายพาน, หน่วยเป็น m

t = ความหนาของสายพาน, หน่วยเป็น m

p = ความสามารถของสายพาน, หน่วยเป็น kg/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f = สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างสายพานกับรอก,

α = ค่ามุมสัมผัส, หน่วยเป็น rad

θ = ค่ามุมของร่องรอกตัววี ($\theta = 180$ องศา สำหรับสายพานแบนราบ)

ปริมาณของค่า เป็นไปตามแรงเหวี่ยง ที่เกิดเนื่องจากสายพานเคลื่อนออกจากรอก ซึ่งจะมีผลทำให้กำลังที่ส่งผ่านมีค่าลดลง

การเลือกสายพาน

ควรเลือกบนพื้นฐานของการใช้งานในสมการที่เหมาะสม หรือโดยใช้ตาราง หรือ แคดตาล็อกของผู้ผลิตในที่นี้จะแสดงการใช้สมการในการออกแบบ

มุมสัมผัส สำหรับสายพานเปิด หาได้ดังนี้

$$\sin\beta = \frac{R-r}{C}$$

$$\alpha_1 = 180^o - 2\beta = 180^o - 2\sin^{-1}\frac{R-r}{C}$$

$$\alpha_2 = 180^o + 2\beta = 180^o + 2\sin^{-1}\frac{R-r}{C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่1 ทดสอบการหมุนของมอเตอร์จากการป้อนสัญญาณโดย Function Generator

อุปกรณ์การทดลอง

1.Function Generator 1 เครื่อง

2.สาย Prop สำหรับวัดสัญญาณ 2 เส้น

2.มอเตอร์ที่ประกอบเป็นแขนกล

3.Oscilloscope 1 เครื่อง

ขั้นตอนการทดลอง

1.ประกอบอุปกรณ์ตามรูป

2.เปิดสวิทช์แหล่งจ่ายไฟ

ทำการป้อนความถี่จาก Function Generator ให้มอเตอร์ทีละตัวโดยให้แรงดันคงที่

4.ปรับความถี่จากค่าน้อยไปเรื่อยๆ

5.บันทึกการเปลี่ยนแปลงการหมุนของมอเตอร์ลงตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ความถี่ (Hz)	การทำงานของมอเตอร์				หมายเหตุ
	M1	M2	M3	M4	
0	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	
100	หมุน	หมุน	หมุน	หมุนช้า	
200	หมุน	หมุน	หมุน	หมุน	
300	หมุน	หมุน	หมุน	หมุน	
400	หมุน	หมุน	หมุน	หมุน	
500	หมุน	หมุน	หมุน	หมุน	
600	หมุนเร็ว	หมุนเร็ว	หมุนเร็ว	หมุนเร็ว	
700	หมุนเร็ว	หมุนเร็ว	หมุนเร็ว	หมุนเร็ว	
800	หมุนเร็ว	หมุนเร็ว	หมุนเร็ว	เร็วหมุน	
1K	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	
2K	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่นำมาใช้ตาม Data sheet จะทำงานในช่วงความถี่เป็น Hz ถึง 10 KHz แต่จากการทดลองใช้ Function Generator ในการป้อนสัญญาณ ปรากฏว่าในช่วงความถี่ 50-700Hz มอเตอร์หมุนปกตินอกจากนั้นปรากฏว่ามอเตอร์ไม่หมุนเนื่องจากจะต้องมีการควบคุมสัญญาณ Pulse และมีการกำหนดค่า Duty Cycle ที่เหมาะสมมอเตอร์จึงจะหมุนปกติ (การทดลองนี้ยังไม่มีการควบคุมทิศทาง)

หมายเหตุ

เนื่องจากการทดลองไม่สามารถจัดหาเครื่องวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ได้จึงบันทึกค่าเป็นการหมุนและไม่หมุน

4.2 การทดลองที่ 2 เปลี่ยนแปลงค่า Duty Cycle บันทึกผลสัญญาณที่ได้จากออสซิโลสโคป

อุปกรณ์การทดลอง

1.คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	1 เครื่อง
2.ชุดแขนกล	
3.Oscilloscope	1 เครื่อง
4.สายวัดสัญญาณ	1 ชุด

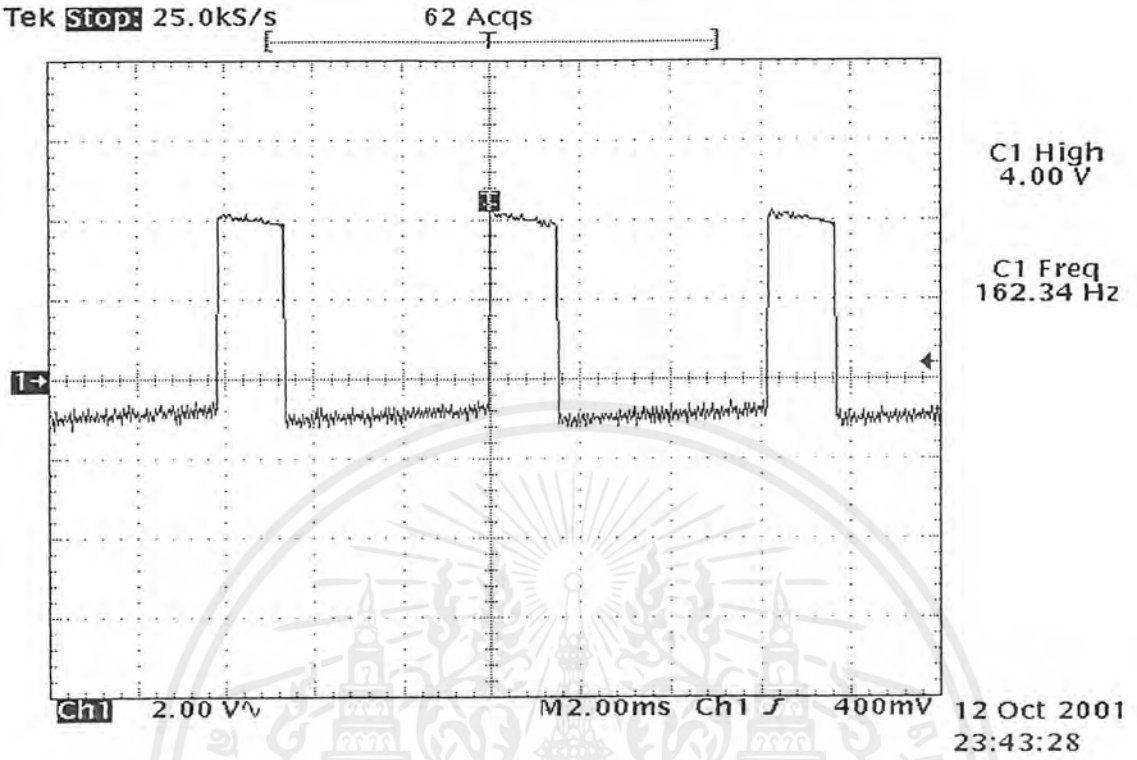
ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดสวิทช์แหล่งจ่ายไฟ
2. ป้อน (Bern) โปรแกรมเข้าชุดทดลอง MCS 8252
3. ทำการเปลี่ยนแปลงค่าDuty Cycle ของโปรแกรมไปเรื่อยๆบันทึกรูปสัญญาณที่ได้จาก Oscilloscope ลงตารางบันทึกผล
4. นำสัญญาณที่ได้แต่ละค่าจากข้อที่ 4 ไปควบคุมแขนกล สรุปค่าที่มอเตอร์หมุนได้ตามต้องการ

ผลการทดลองที่ 2

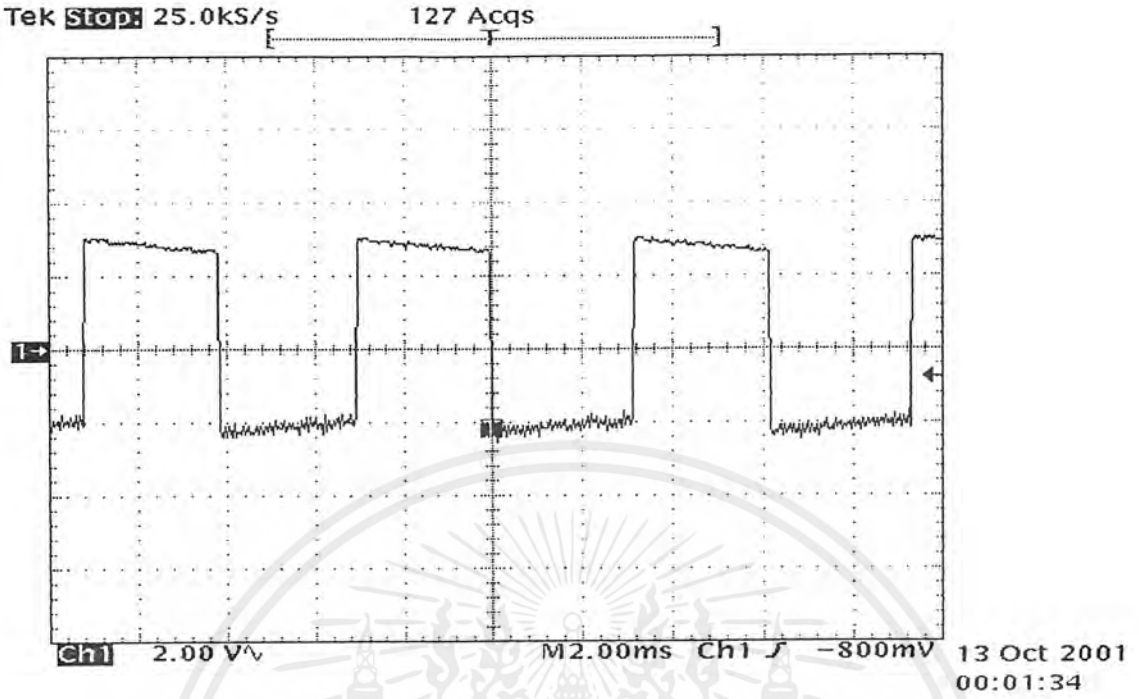
ผลการทดลองที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่า Duty Cycle เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

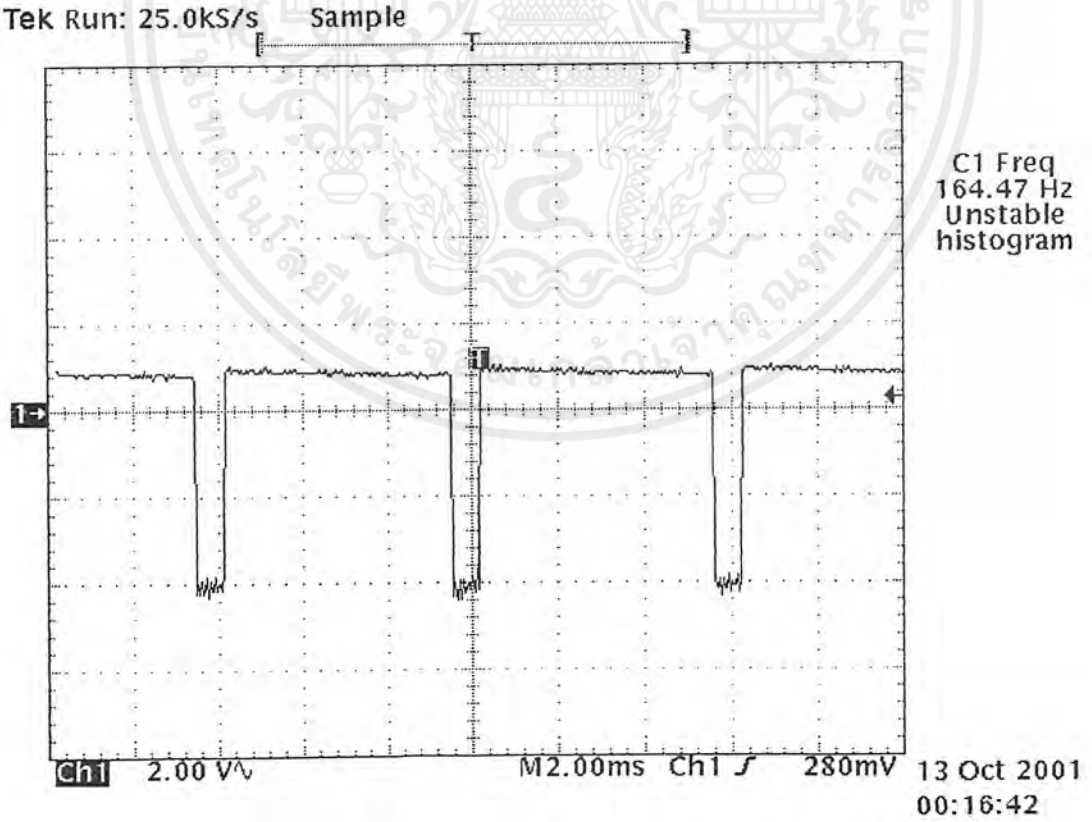


รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ได้เมื่อปรับค่า ดิวตี้ไซเกิลเป็น 25 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ได้เมื่อปรับค่า ดิวตี้ไซเกิลเป็น 50 %



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ได้เมื่อปรับค่า ดิวตี้ไซเกิลเป็น 90 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปโครงงาน

แขนกลอาบน้ำที่สร้างขึ้นในโครงงานนี้ มี 4 ข้อต่อ ในการหมุนของข้อต่อแต่และข้อ จะใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นตัวหมุน โดยใช้สายพานเป็นตัวส่งผ่านกำลัง ซึ่งแขนกลทั้งชุดใช้มอเตอร์ทั้งหมด 4 ตัว โดย การทำงานของมอเตอร์จะถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8252 และวงจรขับสเต็ปมอเตอร์ใช้ ไอซีเบอร์ L298N ร่วมกับ L297 ซึ่งสามารถขับกระแส ได้ 2 แอมป์ ซึ่งการออกแบบได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3

5.2 ปัญหาในการทำโครงงาน

5.2.1 ปัญหาในการสร้างแขนกล

- ผู้จัดทำขาดความรู้ทางด้านเครื่องกลจึงไม่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้โดยง่าย
- ขบวนการเลือกและจัดหาวัสดุที่นำมาสร้างแขนกลอาบน้ำใช้เวลานานเกินควร
- วัสดุ และ อุปกรณ์บางอย่างที่ตรงกับความต้องการหายาก เช่น มอเตอร์

5.2.2 ปัญหาในการควบคุม

- ในการควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ให้มีเสถียรภาพ เป็นไปได้ค่อนข้างยาก เช่น การกำหนดค่ามุมแต่ละสเต็ป และ ความร้อนที่เกิดที่เกิดขึ้นกับสเต็ปมอเตอร์ จะทำให้เกิดผลกับเสถียรภาพโดยตรง
- การควบคุมตำแหน่งของแขนกลอาบน้ำอาจมีข้อผิดพลาดบ้างเพราะ เซนเซอร์อาจทำงานผิดพลาด

5.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา แขนกลอาบน้ำให้มีความสามารถในการทำงานได้ดีขึ้น โดยจะนำเสนอเป็นข้อ ๆ

- ติดตั้ง เซนเซอร์ ที่มีคุณภาพดีกว่าเดิม เพื่อให้ควบคุมได้แม่นยำ
- ควรออกแบบแขนกลอาบน้ำให้มีน้ำหนักเบา และ คงทน
- พัฒนาโปรแกรมให้ใช้งานได้หลายอย่าง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- ควรเปลี่ยนมอเตอร์จากสเต็ปปิงมอเตอร์มาเป็นดีซีมอเตอร์ แต่อาจจะมีราคาแพงกว่าเดิมนิดหน่อย
- ในการคำนวณแรงบิดควรเผื่อค่าไว้ให้มากขึ้นเพื่อที่ว่ามอเตอร์จะสามารถรับโหลดหนัก ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. อุดมจีนประดับ. “ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
2. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51” บริษัท อินโนเวตีฟเอ็กเพอริเมนต์ จำกัด
3. โยธินเปรมปราณีรัชต์. “ ระบบเซอร์โวและอิเล็คทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. ร.ศ. สัมพันธ์ หาญชเล. “เครื่องกลไฟฟ้า 1” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ก

Source Code ของโปรแกรมที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;;=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=
;                                                                    :=
;               Project Report          BATH ARMS ROBOT              :=
;                                                                    :=
;           By...     Mr. Piya Pantukup         ID.No 42015697      :=
;                     Mr. Autsavapon Horsung  ID.No 42015699        :=
;                                                                    :=
;          Project Report Advisor   Arjan  Noppin Anantarasirichai   :=
;                                   Assist Dr.Pitikhate  Sooraksa    :=
;                   Department            Industrial Technology      :=
;                        Academic Year         2001                  :=
;                                                                    :=
;;=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=
DIR_2          BIT    P3.0      ;DIRECTION MOTOR2
DIR_1          BIT    P3.1      ;DIRECTION MOTOR1
DIR_3          BIT    P3.2      ;DIRECTION MOTOR3
DIR_4          BIT    P3.3      ;DIRECTION MOTOR4
SW_1           BIT    P0.6      ;SWITCH_YELLOW
SW_2           BIT    P0.5      ;LIMIT_SWITCH_LEFT
SW_3           BIT    P0.4      ;SWITCH_ORANGE_UP_LOW
SW_4           BIT    P0.7      ;SWITCH_ORANGE_DOWN_BACK
SW_5           BIT    P0.0      ;SWITCH_CHECK_BODY_FRONT
SW_6           BIT    P0.1      ;SWITCH_BLACK_DOWN_FRONT
SW_7           BIT    P0.2      ;LIMIT_SWITCH_CENTER
SW_8           BIT    P0.3      ;LIMIT_SWITCH_RIGHT
STEP_1          BIT    P1.0
STEP_2          BIT    P1.1
STEP_3          BIT    P1.2
STEP_4          BIT    P1.3

CHECK           EQU    20H
CHECK_STOP          BIT    CHECK.0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CHECK_B_T_RIGHT      BIT    CHECK.1
NUMBER_TURN_LEFT      EQU    30H
NUMBER_TURN_RIGHT     EQU    31H

            ORG    0000H
            LJMP   INIT

            ORG    000BH
            LCALL  TIMER_0

INIT:       MOV    TMOD,#021H
            MOV    TH0,#0D7H          ; TIMER0 150Hz
            MOV    TL0,#0FFH
            CLR    CHECK_STOP
            MOV    R7,#00H
            MOV    SP,#128-32    ; Stack = 32 Byte Internal RAM
            SJMP   MAIN

;:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:
;                 MAIN PROGRAM                  =:
;:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:=:

MAIN:          MOV    P1,#00H

;********************************
;       Check Motor Position         *
;********************************

            CLR    DIR_1
CHK_M1:          LCALL  PAL_A
            SETB   SW_1
            MOV    A,P0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        JB    ACC.6,CHK_M1
        LCALL  SET_M1

        CLR    DIR_2
CHK_M2:       LCALL  PAL_B
        SETB   SW_2
        MOV    A,P0
        JB    ACC.5,CHK_M2
        SETB   DIR_2
CHK_CENTER:       LCALL  PAL_B
        SETB   SW_7
        MOV    A,P0
        JB    ACC.2,CHK_CENTER

        SETB   DIR_3
CHK_M3:       LCALL  PAL_C
        SETB   SW_3
        MOV    A,P0
        JB    ACC.4,CHK_M3
        LCALL  SET_M3

        CLR    DIR_4      ;MOTOR4 TURN BACK
CHK_M4:       LCALL  PAL_D
        SETB   SW_4
        MOV    A,P0
        JB    ACC.7,CHK_M4
        CLR    TR0
        LCALL  CHECK_SENSOR_FRONT
        JNB    CHECK_STOP,NEXT_OP
        LJMP   EXIT_END
NEXT_OP:      LCALL  CHECK_S_LEFT
        JNB    CHECK_STOP,NEXT_OP1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            LJMP   EXIT_END
NEXT_OP1:       LCALL  DELAY_50MS
            LCALL  CHECK_CENTER
            JNB    CHECK_STOP,NEXT_OP2
            LJMP   EXIT_END
NEXT_OP2:       LCALL  CLEAN_RIGHT
            LCALL  CLEAN_LEFT


MOVE_DOWN:        SJMP   EXIT_END
            SETB   DIR_1
            MOV    R0,#027H
MOVE_DOWN2:       LCALL  PAL_1
            DJNZ   R0,MOVE_DOWN2
            LCALL  CLEAN_RIGHT
            LCALL  CLEAN_RIGHT
            LCALL  CLEAN_LEFT
            LJMP   EXIT_END
EXIT_END:       MOV    R1,#02H
            DJNZ   R1,EXIT_END

;*********************************************************************
;                        Subrutine For CHECK SENSOR                   *
;*********************************************************************
CHECK_SENSOR_FRONT:   PUSH   ACC
            SETB   DIR_4       ;MOTOR4 TURN FRONT
LOOP_FRONT:       LCALL  PAL_D
            SETB   SW_5
            SETB   SW_6
            MOV    A,P0
            JNB    ACC.1,SETBSTOP
            JB     ACC.0,LOOP_FRONT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            SJMP   EXIT_SUB_FRONT
SETBSTOP:          SETB   CHECK_STOP
EXIT_SUB_FRONT:    POP    ACC
            RET

;*********************************************************************
;                  Subrutine For DRIVER MOTOR3 BACK                  *
;*********************************************************************
MOTOR3_T_BACK:     PUSH   ACC
            PUSH   02H
            PUSH   03H
            CLR    DIR_4
            MOV    R3,#0AH
LOOP_M3_BACK1:     MOV    R2,#07FH
LOOP_M3_BACK:      SETB   SW_4
            MOV    A,P0
            JNB    ACC.7,EXIT_M3_BACK
            LCALL  PAL_D
            DJNZ   R2,LOOP_M3_BACK
            DJNZ   R3,LOOP_M3_BACK1
EXIT_M3_BACK:      POP    03H
            POP    02H
            POP    ACC
            RET

;*********************************************************************
;                  Subrutine For CHECK SENSOR LEFT                   *
;*********************************************************************

CHECK_S_LEFT:      PUSH   ACC
            PUSH   02H
            PUSH   03H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CLR   NUMBER_TURN_LEFT
        CLR   NUMBER_TURN_RIGHT
        CLR   DIR_2            ;MOTOR2 TURN LEFT
LOOP_LEFT:      LCALL  PAL_B
        INC   NUMBER_TURN_LEFT
CHECK_SENSOR_L:     SETB  SW_2
        SETB  SW_5
        SETB  SW_6
        MOV   A,P0
        JNB   ACC.0,CHECK_LEFT     ;CHECK SENSOR FRONT
        JNB   ACC.1,CHECKBIT
        SJMP  NEXT_OP_L
CHECKBIT:       JNB   CHECK_B_T_RIGHT,SETBITSTOP_L
        MOV   R3,#0AH          ;NUMBER OF LOOP BACK
        SJMP  MOTOR_BACK_L
NEXT_OP_L:      SETB  DIR_4            ;MOTOR4 TURN FRONT
        LCALL  PAL_D
        SJMP  CHECK_SENSOR_L
CHECK_LEFT:     SETB  CHECK_B_T_RIGHT
        JNB   ACC.5,SETBITSTOP_L
        JB    ACC.1,LOOP_LEFT
MOTOR_BACK_L:       MOV   R2,#0FFH
        CLR   DIR_4            ;MOTOR4 TURN BACK
MOTOR_BACK_L1:      LCALL  PAL_D
        SETB  SW_4
        MOV   A,P0
        JNB   ACC.7,NEXT_LOOP_LEFT
        DJNZ  R2,MOTOR_BACK_L1
        DJNZ  R3,MOTOR_BACK_L
NEXT_LOOP_LEFT:     MOV   R2,#0AH
        SETB  DIR_2
MOTOR_T_R:      LCALL  PAL_B
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            DEC   NUMBER_TURN_LEFT
            INC   NUMBER_TURN_RIGHT
            DJNZ  R2,MOTOR_T_R
            SETB  DIR_4
MOTOR_FRONT_L:     LCALL  PAL_D
            SETB  SW_5
            SETB  SW_6
            MOV   A,P0
            JNB   ACC.0,EXIT_CHECK_LEFT
            JB    ACC.1,MOTOR_FRONT_L
            MOV   A,NUMBER_TURN_LEFT
            MOV   R3,#0AH          ;NUMBER OF LOOP BACK
            CJNE  A,NUMBER_TURN_RIGHT,MOTOR_BACK_L
SETBITSTOP_L:      SETB  CHECK_STOP
EXIT_CHECK_LEFT:   MOV   R4,NUMBER_TURN_LEFT
            POP   03H
            POP   02H
            POP   ACC
            RET

;*********************************************************************
;                        Subrutine For CLEAN LEFT                     *
;*********************************************************************

CLEAN_LEFT:        PUSH  ACC
            PUSH  02H
            PUSH  03H
            MOV   NUMBER_TURN_LEFT,R4
            MOV   NUMBER_TURN_RIGHT,#0H
            CLR   DIR_2            ;MOTOR2 TURN LEFT
T_LEFT:          LCALL  DRIVE_CLEAN
            LCALL  PAL_B
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            INC   NUMBER_TURN_RIGHT
            SETB  SW_2
            MOV   A,P0
            JNB   ACC.5,EXIT_T_LEFT
            MOV   A,NUMBER_TURN_RIGHT
            CJNE  A,NUMBER_TURN_LEFT,T_LEFT
EXIT_T_LEFT:      POP   03H
            POP   02H
            POP   ACC
            RET

;*********************************************************************
;                        Subrutine For CLEAN RIGHT                    *
;*********************************************************************
CLEAN_RIGHT:      PUSH  ACC
            PUSH  02H
            PUSH  03H
            MOV   NUMBER_TURN_LEFT,R4
            MOV   NUMBER_TURN_RIGHT,#0H
            SETB  DIR_2          ;MOTOR2 TURN RIGHT
T_RIGHT:          LCALL  DRIVE_CLEAN
            LCALL  PAL_B
            INC   NUMBER_TURN_RIGHT
            SETB  SW_8
            MOV   A,P0
            JNB   ACC.3,EXIT_RIGHT
            MOV   A,NUMBER_TURN_RIGHT
            CJNE  A,NUMBER_TURN_LEFT,T_RIGHT
EXIT_RIGHT:       POP   03H
            POP   02H
            POP   ACC
            RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DRIVE_CLEAN:        SETB   DIR_3
                    LCALL  DRIVE_MOTOR3
                    CLR    DIR_3
                    LCALL  DRIVE_MOTOR3
                    LCALL  DRIVE_MOTOR3
                    SETB   DIR_3
                    LCALL  DRIVE_MOTOR3
                    RET

DRIVE_MOTOR3:       PUSH   02H
                    MOV    R2,#020H
LOOP_SETM3:         LCALL  PAL_C
                    DJNZ   R2,LOOP_SETM3
                    POP    02H
                    RET

CHECK_CENTER:       PUSH   ACC
                    PUSH   02H
                    PUSH   03H
                    SETB   DIR_2
TURN_RIGHT:         MOV    R3,#0AH          ;NUMBER OF LOOP BACK
                    LCALL  PAL_B
                    SETB   SW_5
                    SETB   SW_7
                    MOV    A,P0
                    JNB    ACC.0,BACK_MOTOR
                    SJMP   CHK_SENSOR_CENTER
BACK_MOTOR:         MOV    R2,#0FFH
                    CLR    DIR_4
BACK_MOTOR_1:       LCALL  PAL_D
                    SETB   SW_4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            MOV    A,P0
            JNB    ACC.7,NEXT_LOOP_CENTER
            DJNZ   R2,BACK_MOTOR_1
            DJNZ   R3,BACK_MOTOR
NEXT_LOOP_CENTER:    SETB   DIR_2
CHK_SENSOR_CENTER:   JB     ACC.2,TURN_RIGHT
            POP    03H
            POP    02H
            POP    ACC
            RET

;*********************************************************************
;                          Subrutine Interupt Timer                   *
;*********************************************************************
TIMER_0:        PUSH   ACC          ;TIMER 150 Hz
            MOV    TH0,#0D7H
            MOV    TL0,#0FFH
            CPL    STEP_4
            CLR    TR0
            POP    ACC
            RETI

;****************************** *
;      Pluse For Check Position      *
;******************************

STEP1:          PUSH   02H
            MOV    R2,#0AH
LOOP_1:         LCALL  PAL_A
            DJNZ   R2,LOOP_1
            POP    02H
            RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
STEP2:          PUSH   02H
                MOV    R2,#0AH
LOOP_2:         LCALL  PAL_B
                DJNZ   R2,LOOP_2
                POP    02H
                RET

STEP3:          PUSH   02H
                MOV    R2,#0AH
LOOP_3:         LCALL  PAL_C
                DJNZ   R2,LOOP_3
                POP    02H
                RET

STEP4:          PUSH   05H
                PUSH   06H
                MOV    R5,#0FH
LOOP_5:         MOV    R6,#0FH
LOOP_4:         LCALL  PAL_D
                DJNZ   R6,LOOP_4
                DJNZ   R5,LOOP_5
                POP    06H
                POP    05H
                RET

;*****************************
;       Clock For Check Position      *
;*****************************
PAL_A:          SETB   STEP_1
                LCALL  DELAY_5mS
                CLR    STEP_1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            LCALL  DELAY_5mS
            RET

PAL_B:      SETB   STEP_2
            LCALL  DELAY_7mS
            CLR    STEP_2
            LCALL  DELAY_2mS
            RET

PAL_C:      SETB   STEP_3
            LCALL  DELAY_7mS
            CLR    STEP_3
            LCALL  DELAY_2mS
            RET

PAL_D:      SETB   STEP_4
            LCALL  DELAY_1mS
            CLR    STEP_4
            LCALL  DELAY_1mS
            RET

;************************************
;       Pluse Train For Set Position Motor    *
;************************************

SET_M1:     SETB   DIR_1
            MOV    R2,#0CCH
LOOP_6:     LCALL  PAL_A
            DJNZ   R2,LOOP_6
            RET

SET_M2:     SETB   DIR_2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            MOV   R2,#085H
LOOP_7:         LCALL  PAL_B
            DJNZ  R2,LOOP_7
            RET

SET_M3:         CLR   DIR_3
            MOV   R2,#05FH
LOOP_8:         LCALL  PAL_C
            DJNZ  R2,LOOP_8
            RET


;************************************
;       Delay For Step To Check Position     *
;************************************

;**** MOTOR 1,2,3 ****
TON_A:          MOV   R1,#0FH
DELAY_B:        MOV   R0,#25H
DELAY_A:        DJNZ  R0,DELAY_A
            DJNZ  R1,DELAY_B
            RET

TOFF_A:         MOV   R1,#4DH
DELAY_C:        DJNZ  R0,DELAY_C
            RET

;**** MOTOR Slide ****
TON_B:          MOV   R1,#0FH
DELAY_E:        MOV   R0,#25H
DELAY_D:        DJNZ  R0,DELAY_D
            DJNZ  R1,DELAY_E
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            RET

TOFF_B:         MOV   R2,#0D4H
DELAY_1F:       DJNZ  R2,DELAY_1F
            RET

;*********************SUBRUTINE TO FOR MAIN PROGRAM**************
;****************************************
;                  Pluse Train                  *
;****************************************

RO_M1:          MOV   R2,#0AH
LOOP_A:         LCALL  PAL_1
            DJNZ  R2,LOOP_A
            RET

RO_M2:          MOV   R3,#0AH
LOOP_B:         LCALL  PAL_2
            DJNZ  R3,LOOP_B
            RET

RO_M3:          MOV   R4,#0AH
LOOP_C:         LCALL  PAL_3
            DJNZ  R4,LOOP_C
            RET

RO_M4:          MOV   R5,#05H
LOOP_D:         MOV   R6,#0AH
LOOP_E:         LCALL  PAL_4
            DJNZ  R6,LOOP_E
            DJNZ  R5,LOOP_D
            RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*******************************
;       Gernerate PWM 1CYCLE    *
;*******************************
PAL_1:          SETB   STEP_1
                LCALL  DELAY_10mS
                CLR    STEP_1
                LCALL  DELAY_10mS
                RET

PAL_2:          SETB   STEP_2
                LCALL  DELAY_10mS
                CLR    STEP_2
                LCALL  DELAY_10mS
                RET

PAL_3:          SETB   STEP_3
                LCALL  DELAY_10mS
                CLR    STEP_3
                LCALL  DELAY_10mS
                RET

PAL_4:          SETB   STEP_4
                LCALL  DELAY_10mS
                CLR    STEP_4
                LCALL  DELAY_10mS
                RET
;*************************************************
;*                      Delay Time                *
;*************************************************
DELAY_1S:
                PUSH   05H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        PUSH    06H
        PUSH    07H
        MOV     R5,#100
DEL1:       MOV     R6,#010
DEL2:       MOV     R7,#0FFH
DEL3:       NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        DJNZ    R7,DEL3
        DJNZ    R6,DEL2
        DJNZ    R5,DEL1
        POP     07H
        POP     06H
        POP     05H
        RET

DELAY_500mS:
        PUSH    05H
        PUSH    06H
        PUSH    07H
        MOV     R5,#50
DEL4:       MOV     R6,#010
DEL5:       MOV     R7,#0FFH
DEL6:       NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        DJNZ    R7,DEL6
        DJNZ    R6,DEL5
        DJNZ    R5,DEL4
        POP     07H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        POP   06H
        POP   05H
        RET

DELAY_200mS:
        PUSH  05H
        PUSH  06H
        PUSH  07H
        MOV   R5,#20
DEL7:     MOV   R6,#010
DEL8:     MOV   R7,#0FFH
DEL9:     NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        DJNZ  R7,DEL9
        DJNZ  R6,DEL8
        DJNZ  R5,DEL7
        POP   07H
        POP   06H
        POP   05H
        RET

DELAY_100mS:
        PUSH  06H
        PUSH  07H
        MOV   R6,#100
DEL10:    MOV   R7,#0FFH
DEL11:    NOP
        NOP
        NOP
        NOP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DJNZ    R7,DEL11
        DJNZ    R6,DEL10
        POP     07H
        POP     06H
        RET

DELAY_50mS:
        PUSH    06H
        PUSH    07H
        MOV     R6,#050
DEL12:      MOV     R7,#0FFH
DEL13:      NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        DJNZ    R7,DEL13
        DJNZ    R6,DEL12
        POP     07H
        POP     06H
        RET

DELAY_10mS:
        PUSH    06H
        PUSH    07H
        MOV     R6,#010
DEL14:      MOV     R7,#0FFH
DEL15:      NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        DJNZ    R7,DEL15
        DJNZ    R6,DEL14
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        POP   07H
        POP   06H
        RET

DELAY_9mS:      PUSH   06H
        PUSH   07H
        MOV    R6,#009
DEL16:      MOV    R7,#0FFH
DEL17:      NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        DJNZ   R7,DEL17
        DJNZ   R6,DEL16
        POP    07H
        POP    06H
        RET

DELAY_8mS:      PUSH   06H
        PUSH   07H
        MOV    R6,#008
DEL18:      MOV    R7,#0FFH
DEL19:      NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        DJNZ   R7,DEL19
        DJNZ   R6,DEL18
        POP    07H
        POP    06H
        RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DELAY_7mS:      PUSH    06H
                PUSH    07H
                MOV     R6,#007
DEL20:          MOV     R7,#0FFH
DEL21:          NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                DJNZ    R7,DEL21
                DJNZ    R6,DEL20
                POP     07H
                POP     06H
                RET

DELAY_6mS:      PUSH    06H
                PUSH    07H
                MOV     R6,#002
DEL22:          MOV     R7,#0FFH
DEL23:          NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                DJNZ    R7,DEL23
                DJNZ    R6,DEL22
                POP     07H
                POP     06H
                RET

DELAY_5mS:      PUSH    06H
                PUSH    07H
                MOV     R6,#005
DEL24:          MOV     R7,#0FFH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DEL25:      NOP
            NOP
            NOP
            NOP
            DJNZ    R7,DEL25
            DJNZ    R6,DEL24
            POP     07H
            POP     06H
            RET

DELAY_4mS:      PUSH    06H
            PUSH    07H
            MOV     R6,#002
DEL26:      MOV     R7,#0FFH
DEL27:      NOP
            NOP
            NOP
            NOP
            DJNZ    R7,DEL27
            DJNZ    R6,DEL26
            POP     07H
            POP     06H
            RET

DELAY_3mS:      PUSH    06H
            PUSH    07H
            MOV     R6,#003
DEL28:      MOV     R7,#0FFH
DEL29:      NOP
            NOP
            NOP
            NOP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DJNZ    R7,DEL29
        DJNZ    R6,DEL28
        POP     07H
        POP     06H
        RET

DELAY_2mS:      PUSH    06H
        PUSH    07H
        MOV     R6,#002
DEL30:      MOV     R7,#0FFH
DEL31:      NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        DJNZ    R7,DEL31
        DJNZ    R6,DEL30
        POP     07H
        POP     06H
        RET

DELAY_1mS:      PUSH    06H
        PUSH    07H
        MOV     R6,#001
DEL32:      MOV     R7,#0FFH
DEL33:      NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        DJNZ    R7,DEL33
        DJNZ    R6,DEL32
        POP     07H
        POP     06H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        RET

PW_DELAY:   PUSH  DPH
        PUSH  DPL
        PUSH  ACC
        MOV   DPTR,#8000H
PW_DEL:     INC   DPTR
        MOV   A,DPL
        ORL   A,DPH
        JNZ   PW_DEL
        POP   ACC
        POP   DPL
        POP   DPH
        RET
        END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

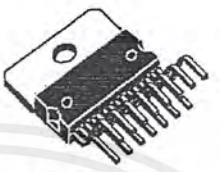
คู่มือไอซี L298N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)



Multiwatt15

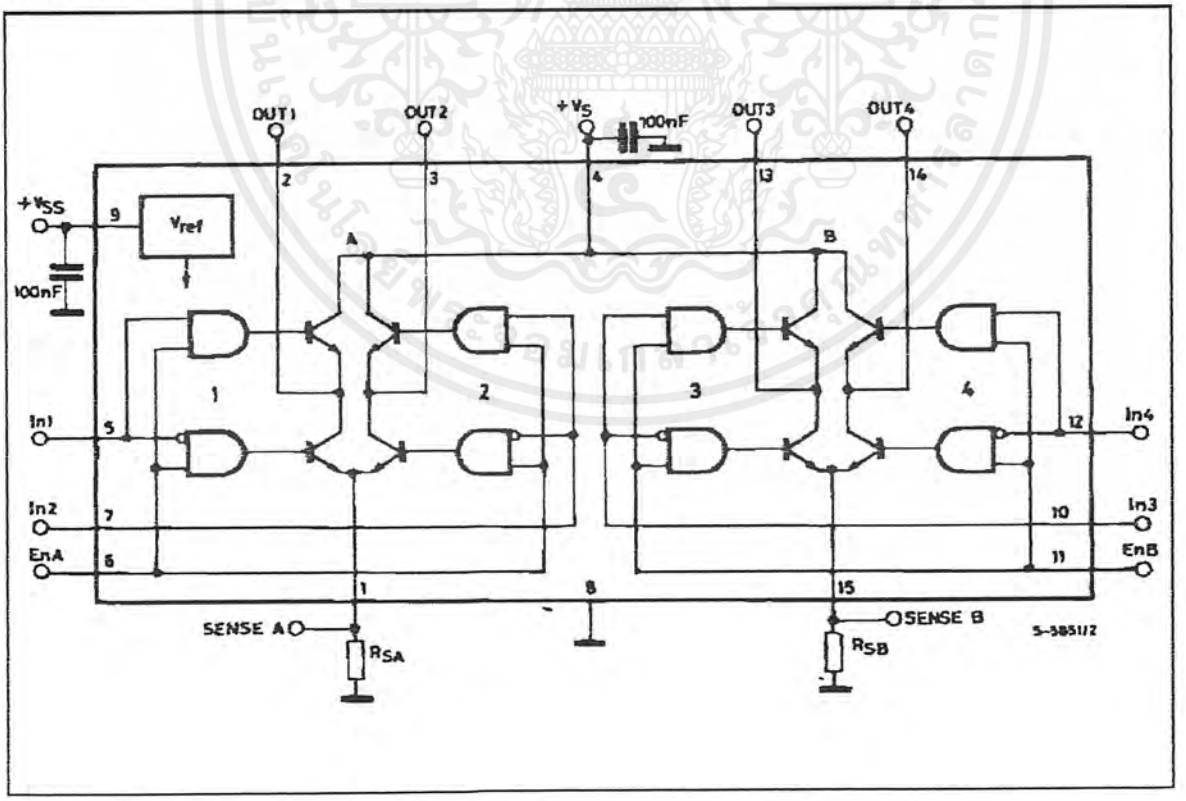
PowerSO20

ORDERING NUMBERS : L298N (Multiwatt Vert.)
L298HN (Multiwatt Horiz.)
L298P (PowerSO20)

DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the connection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM

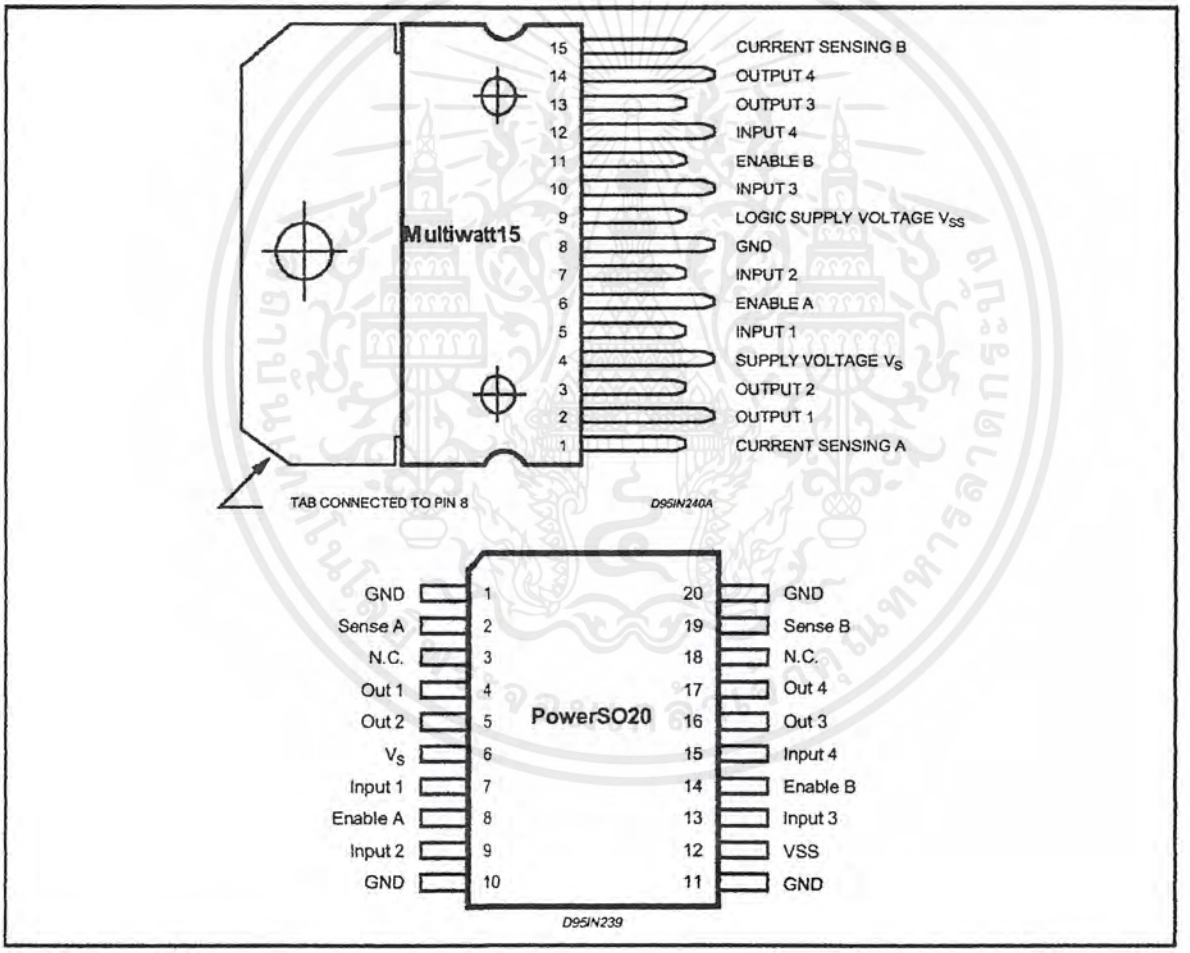


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	–0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel) – Non Repetitive (t = 100µs) –Repetitive (80% on –20% off; t_{on} = 10ms) –DC Operation	 3 2.5 2	 A A A
V_{sens}	Sensing Voltage	–1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation (T_{case} = 75°C)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	–25 to 130	°C
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	–40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th\ j\text{-}case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	–	3	°C/W
$R_{th\ j\text{-}amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	°C/W

(*) Mounted on aluminum substrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V_S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_j = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition		V_{IH} +2.5		46	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)			4.5	5	7	V
I_S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V_{en} = H; I_L = 0	V_i = L		13	22	mA
			V_i = H		50	70	mA
		V_{en} = L	V_i = X			4	mA
I_{SS}	Quiescent Current from V_{SS} (pin 9)	V_{en} = H; I_L = 0	V_i = L		24	36	mA
			V_i = H		7	12	mA
		V_{en} = L	V_i = X			6	mA
V_{iL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)			–0.3		1.5	V
V_{iH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)			2.3		VSS	V
I_{iL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V_i = L				–10	µA
I_{iH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	Vi = H ≤ V_{SS} –0.6V			30	100	µA
V_{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)			–0.3		1.5	V
V_{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)			2.3		V_{SS}	V
I_{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = L				–10	µA
I_{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = H ≤ V_{SS} –0.6V			30	100	µA
$V_{CEsat(H)}$	Source Saturation Voltage	I_L = 1A		0.95	1.35	1.7	V
		I_L = 2A			2	2.7	V
$V_{CEsat(L)}$	Sink Saturation Voltage	I_L = 1A (5)		0.85	1.2	1.6	V
		I_L = 2A (5)			1.7	2.3	V
V_{CEsat}	Total Drop	I_L = 1A (5)		1.80		3.2	V
		I_L = 2A (5)				4.9	V
V_{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)			–1 (1)		2	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T_1 (V_i)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (2); (4)		1.5		µs
T_2 (V_i)	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		0.2		µs
T_3 (V_i)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.1 I_L (2); (4)		2		µs
T_4 (V_i)	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.7		µs
T_5 (V_i)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		0.7		µs
T_6 (V_i)	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.25		µs
T_7 (V_i)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		1.6		µs
T_8 (V_i)	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.2		µs
fc (V_i)	Commutation Frequency	I_L = 2A		25	40	KHz
T_1 (V_{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (2); (4)		3		µs
T_2 (V_{en})	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		1		µs
T_3 (V_{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_{en} to 0.1 I_L (2); (4)		0.3		µs
T_4 (V_{en})	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.4		µs
T_5 (V_{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (3); (4)		2.2		µs
T_6 (V_{en})	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.35		µs
T_7 (V_{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (3); (4)		0.25		µs
T_8 (V_{en})	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.1		µs

1) 1)Sensing voltage can be –1 V for t ≤ 50 µsec; in steady state V_{sens} min ≥ –0.5 V.
2) See fig. 2.
3) See fig. 4.
4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

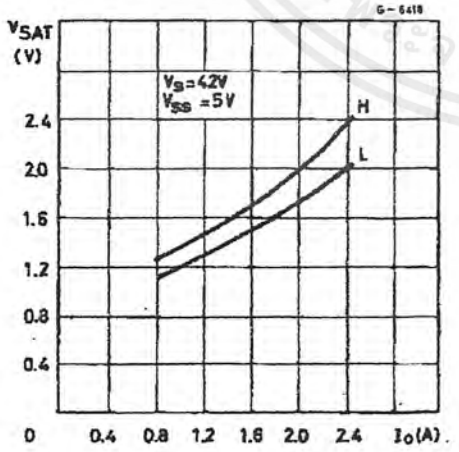
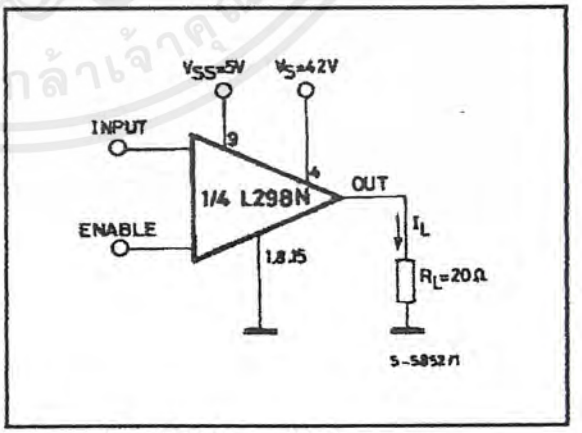


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

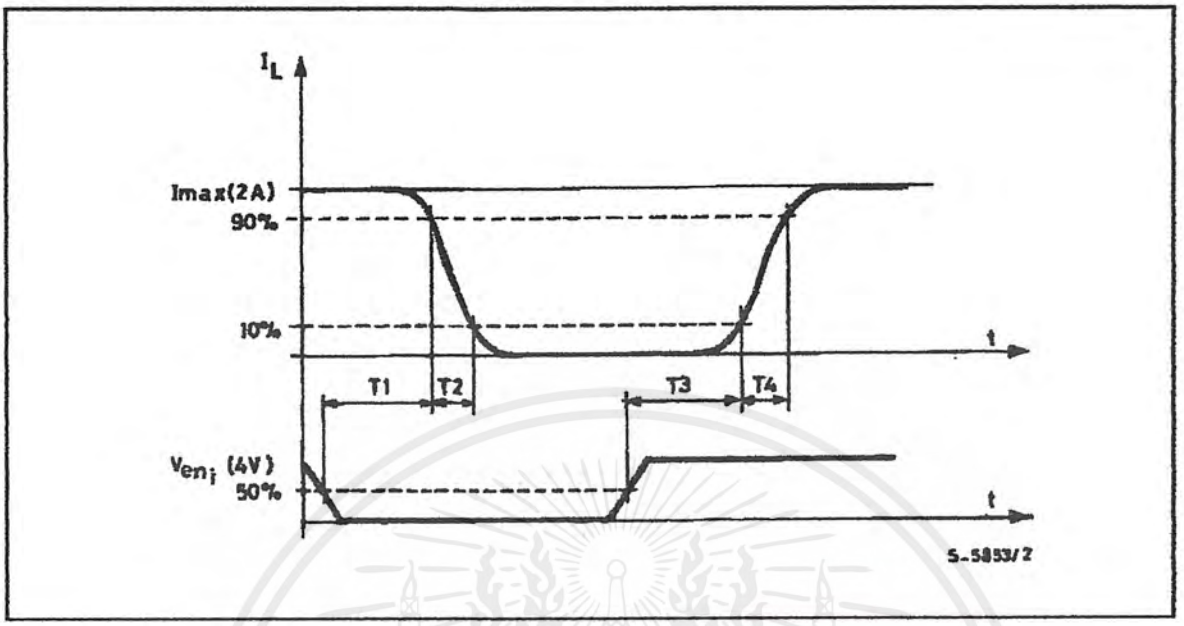
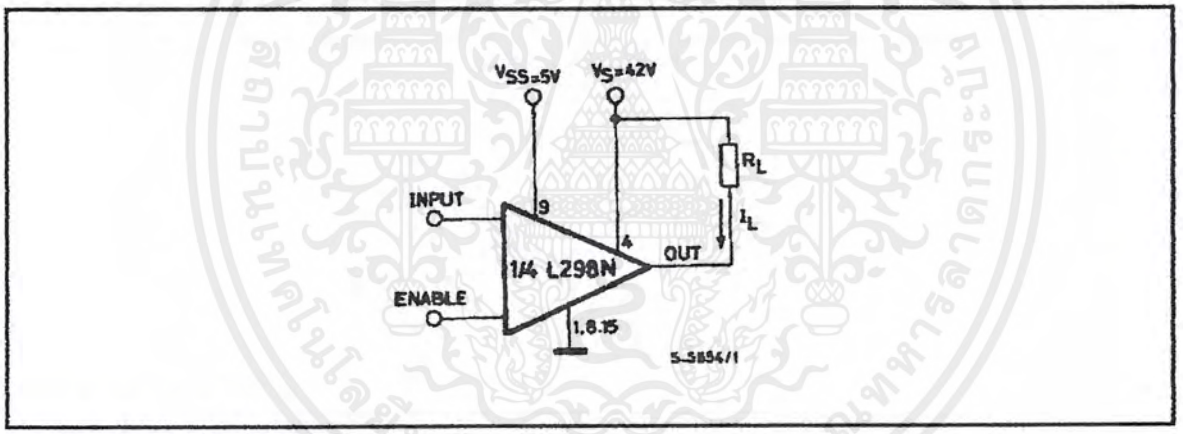


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

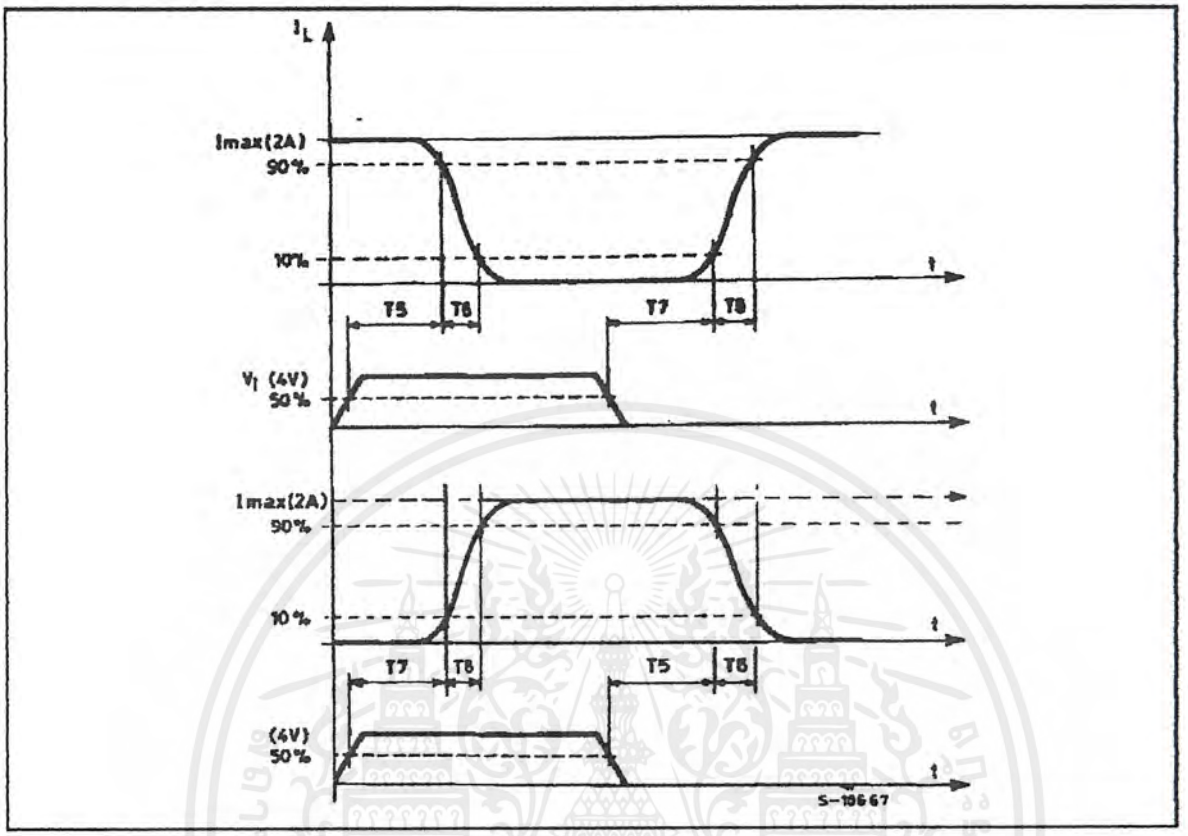
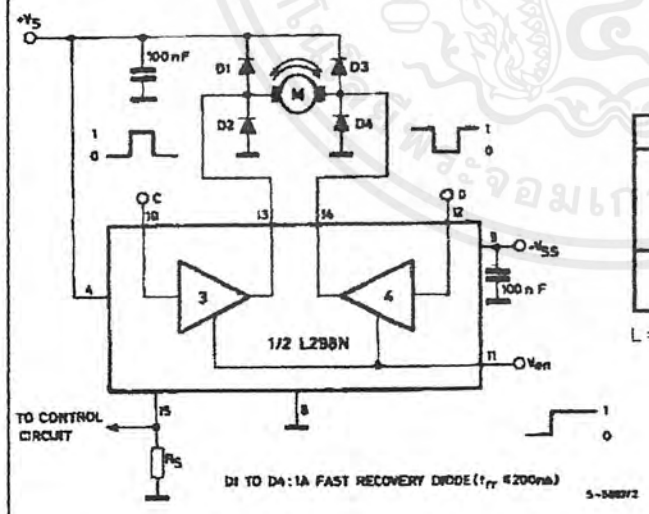


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

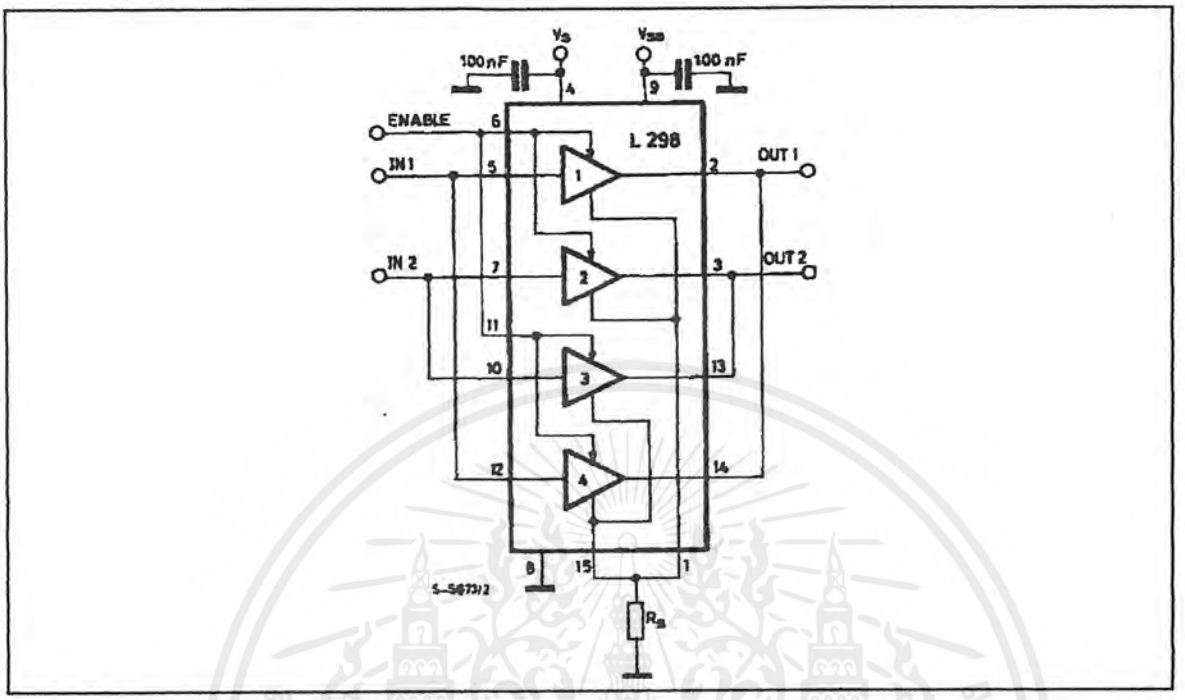


Inputs		Function
V_{en} = H	C = H ; D = L	Forward
	C = L ; D = H	Reverse
	C = D	Fast Motor Stop
V_{en} = L	C = X ; D = X	Free Running Motor Stop

L = Low H = High X = Don't care

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A ; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differenzial mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output : an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}.) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In1 ; In2 ; EnA and In3 ; In4 ; EnB. The In inputs set the bridge state when The En input is high ; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both Vs and Vss, to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of Vs that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($t_{rr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a VF as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped ; Shottky diodes would be preferred.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

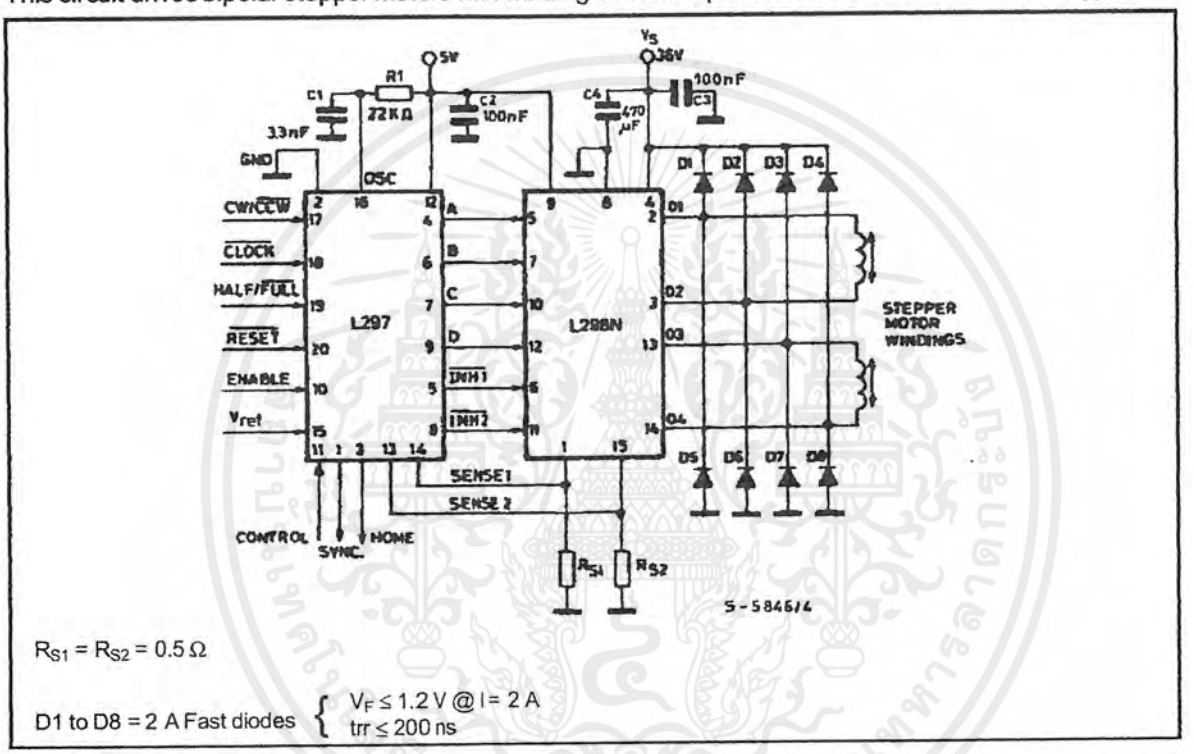
On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.



$R_{S1} = R_{S2} = 0.5\,\Omega$

D1 to D8 = 2 A Fast diodes { $V_F \leq 1.2$ V @ I = 2 A
trr ≤ 200 ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

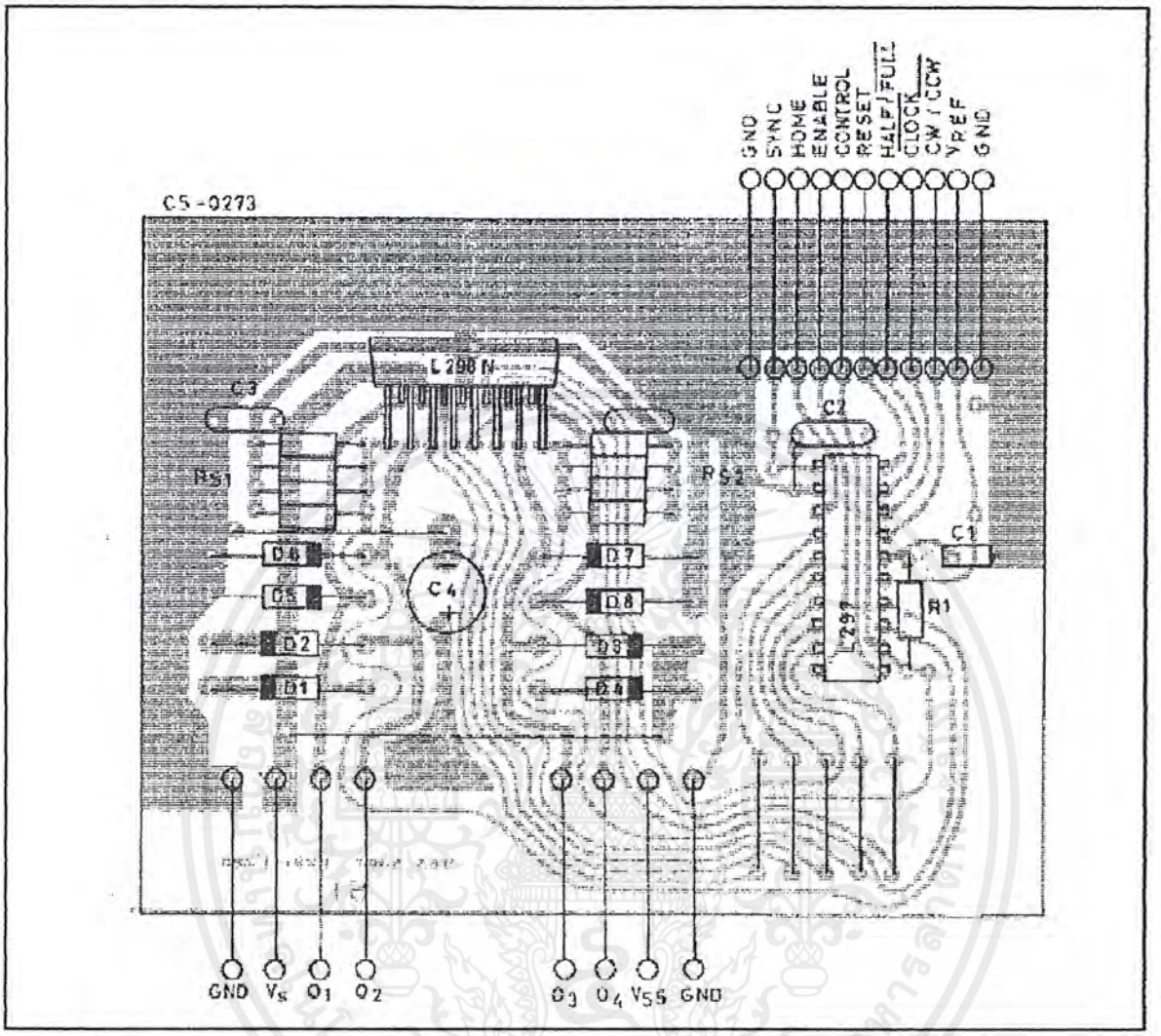
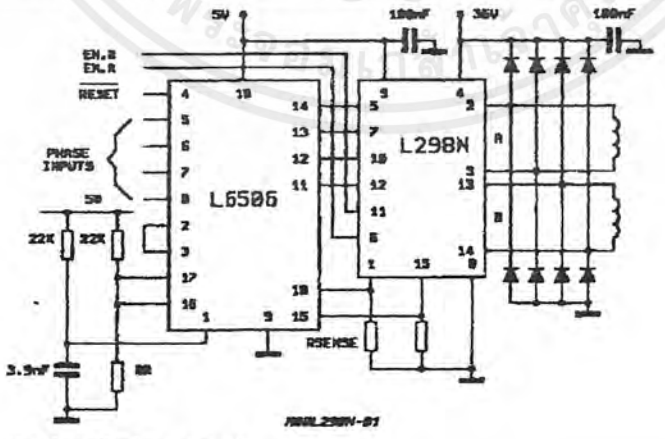


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.

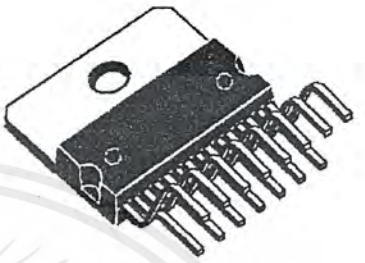


R_R and R_{sense} depend from the load current

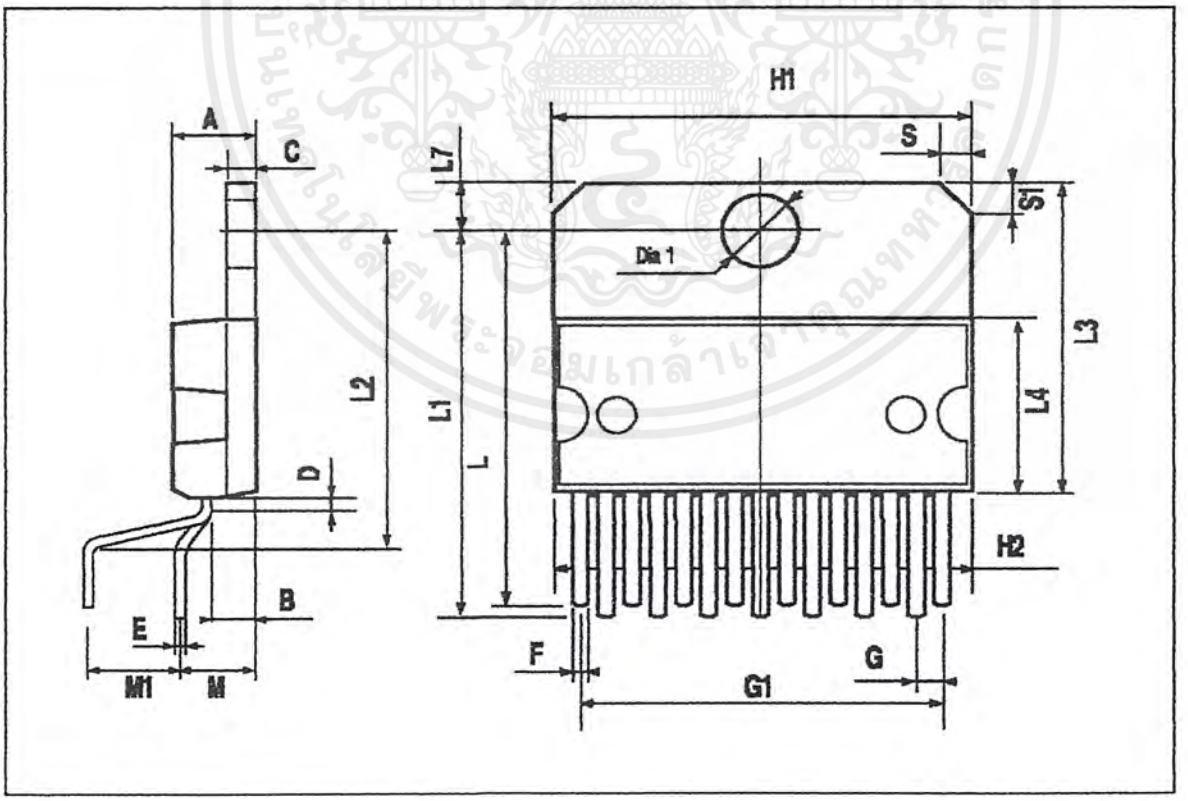
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



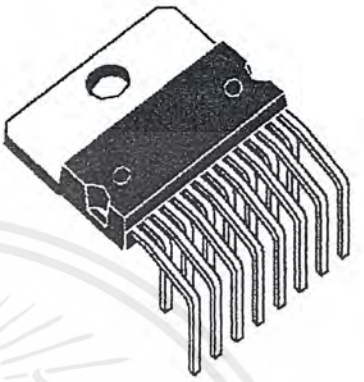
Multiwatt15 V



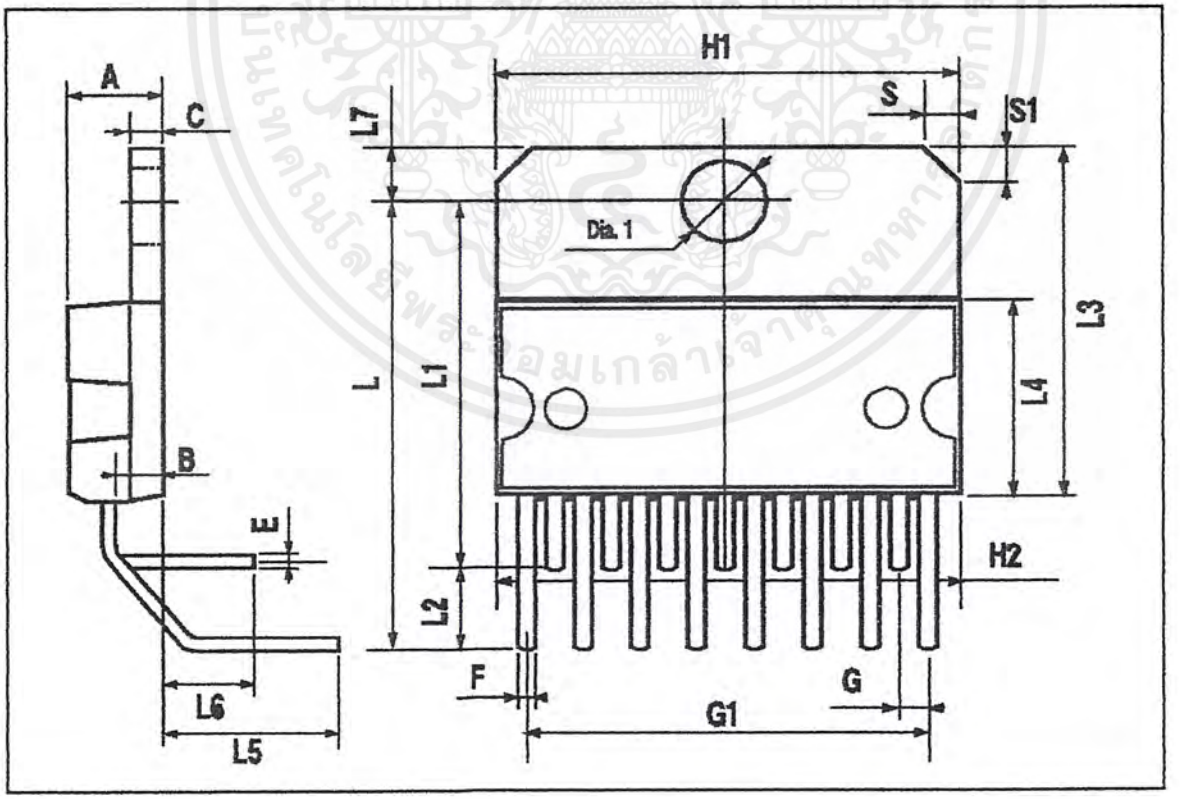
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



Multiwatt15 H



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

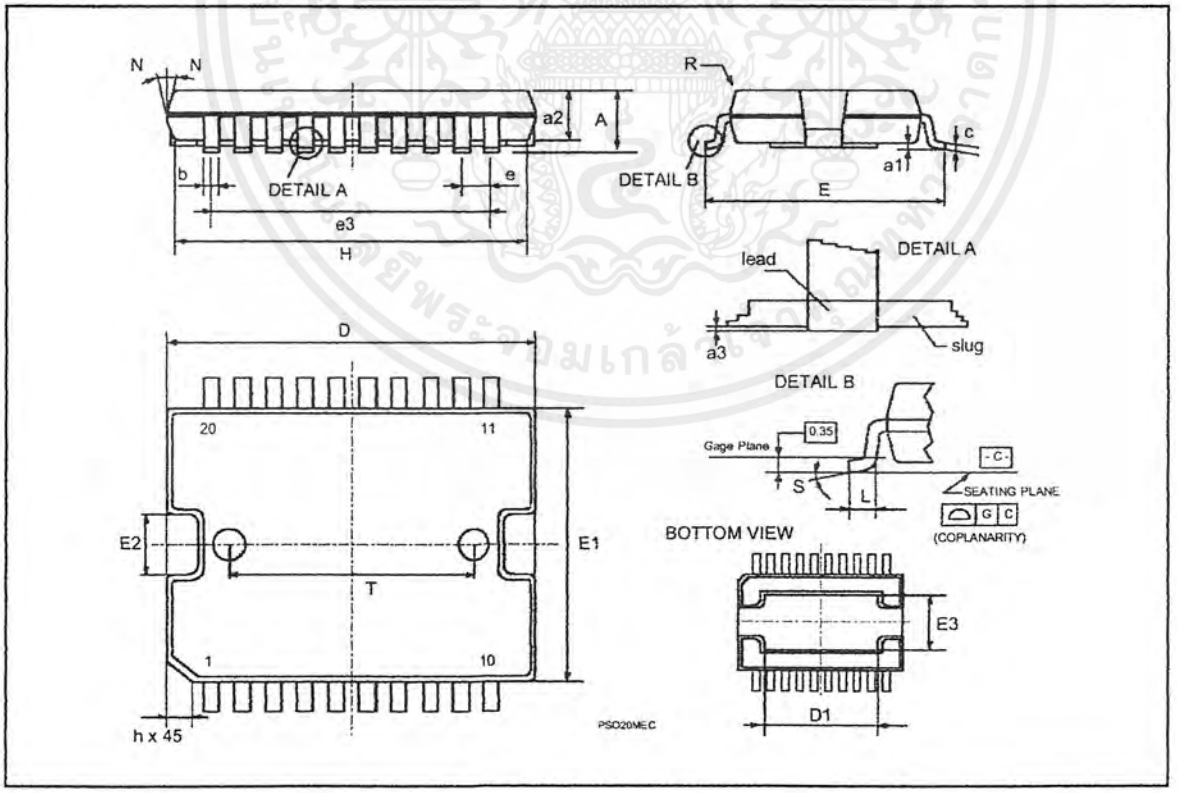
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.
- Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
- Critical dimensions: "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

JEDEC MO-166

PowerSO20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

http://www.st.com

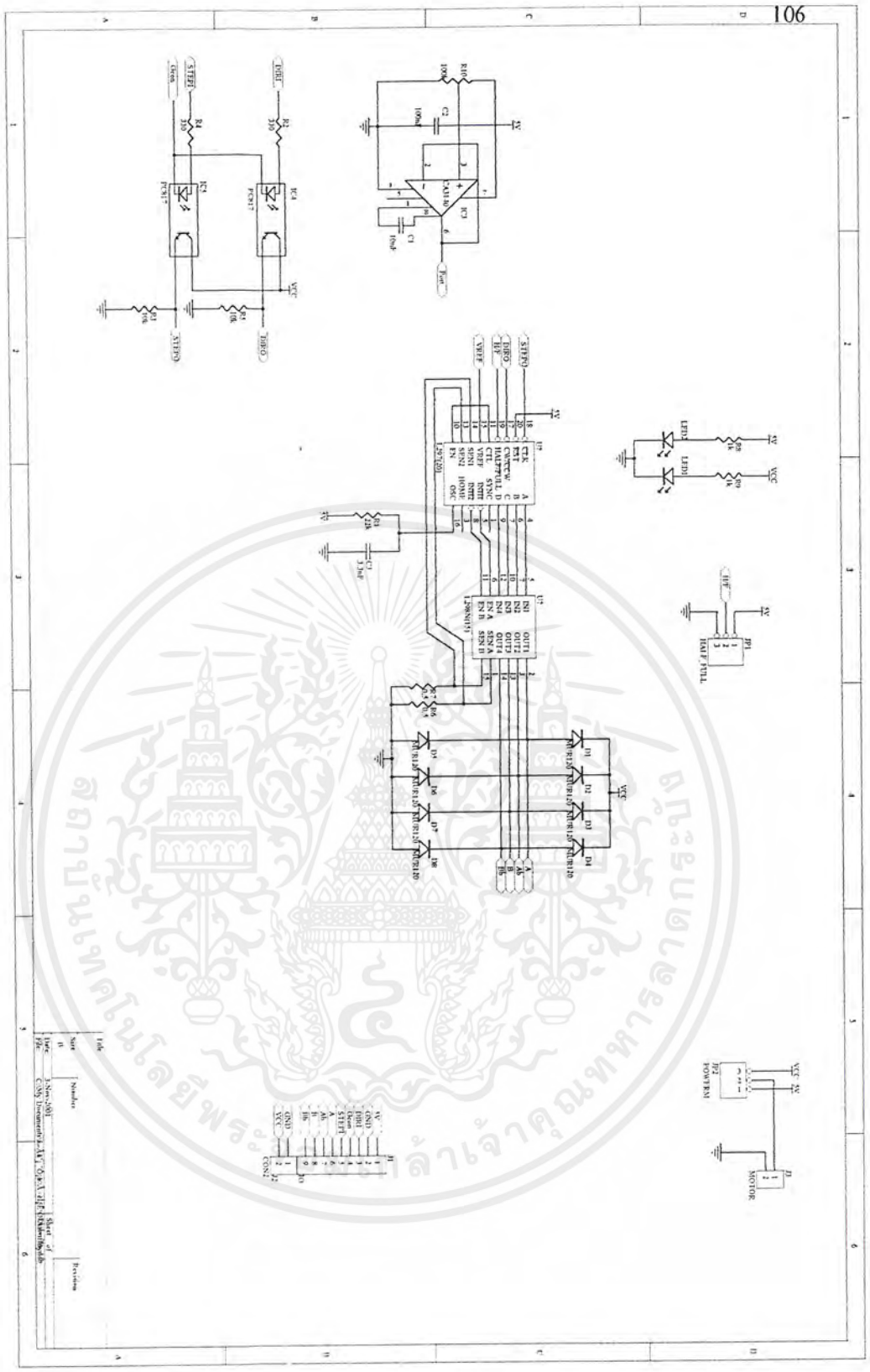
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ค

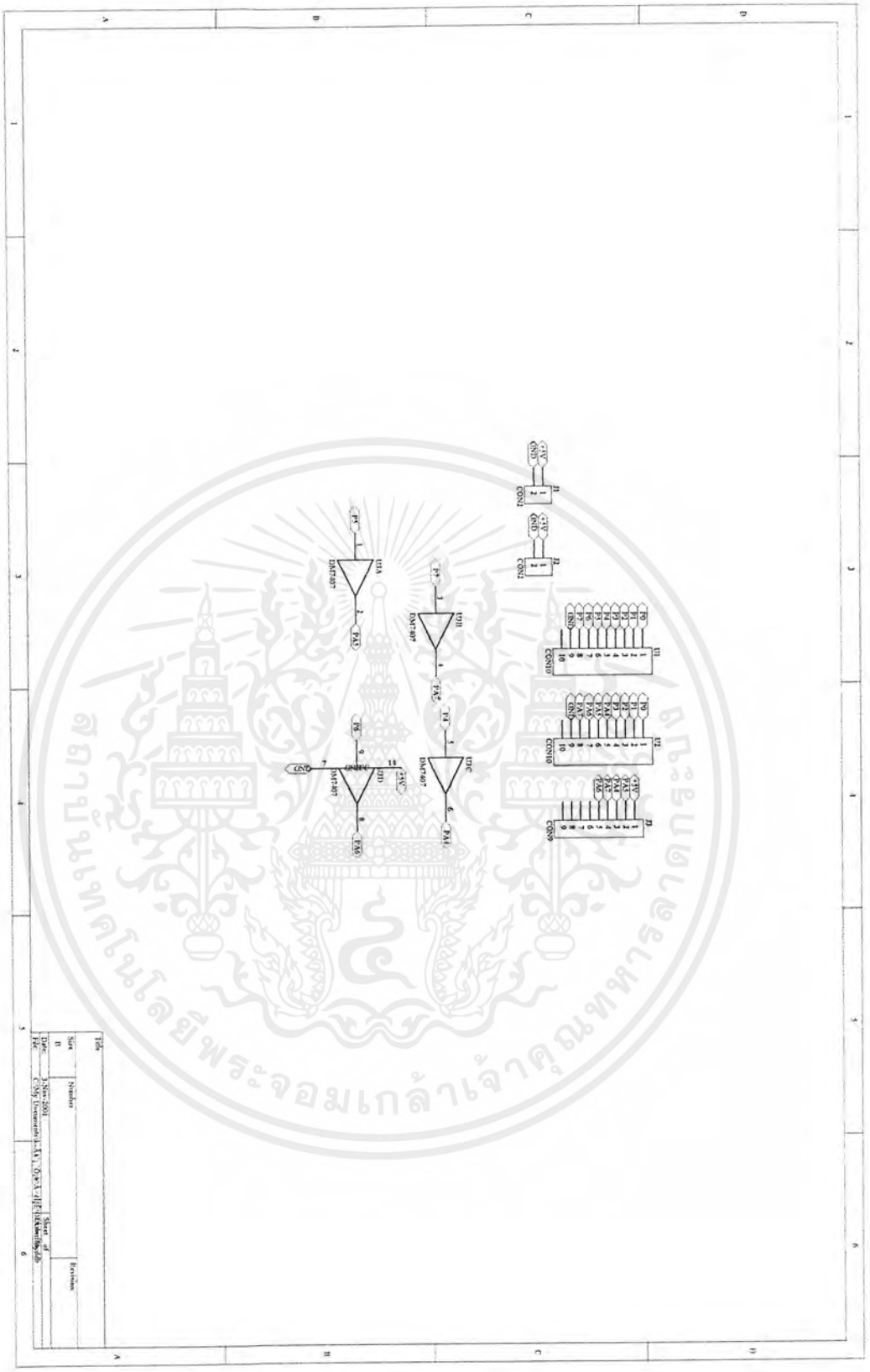
วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



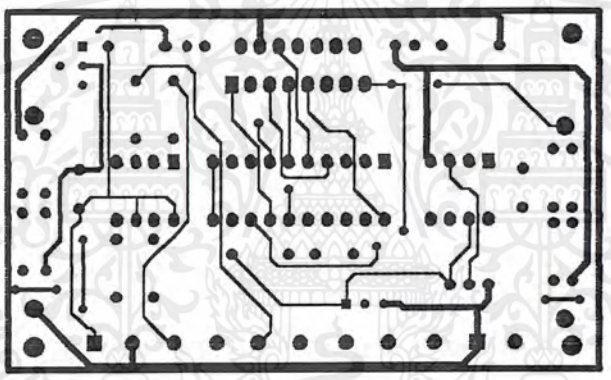
วงจรขับสเต็ปปิ้งค์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



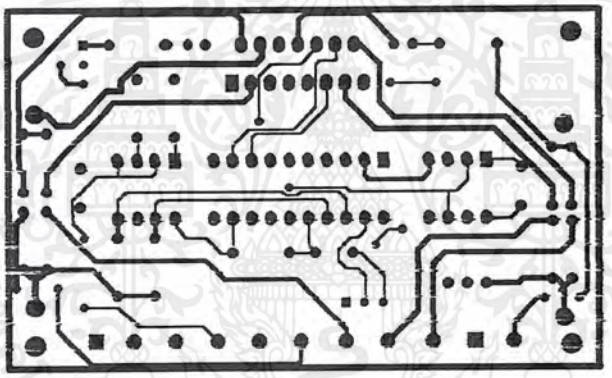
วงจรขับกระแสสัญญาณพัลส์ ให้ชุดขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



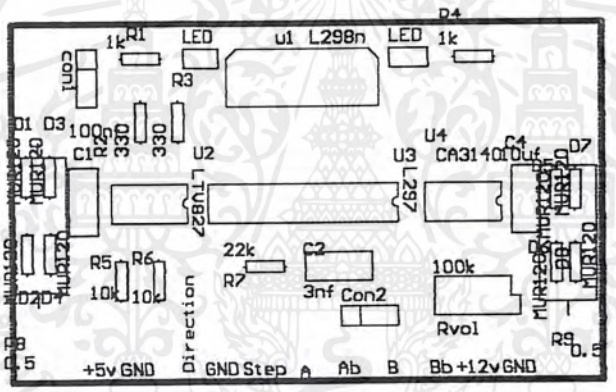
ลายวงจรชุดขับสเต็ปปิ้งค์มอเตอร์ (ด้านบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



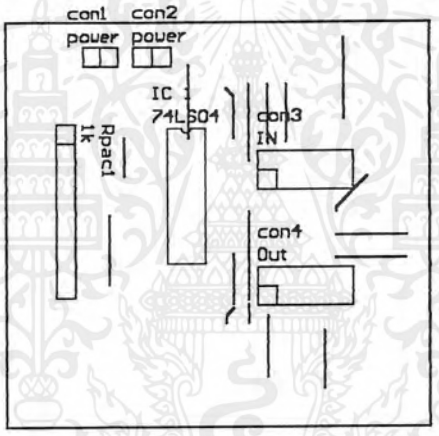
ลายวงจรชุดขับสเต็ปปิ้งค์มอเตอร์ (ด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



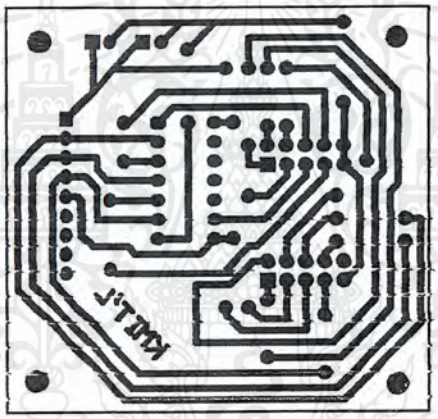
รายละเอียดการวางอุปกรณ์ ชุดขับสเต็ปปิ้งค์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



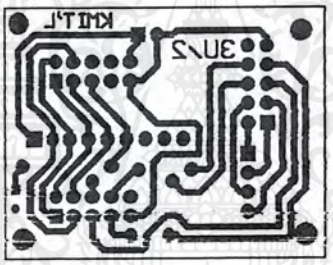
ลายละเอียดการวางอุปกรณ์ ชุดขับสัญญาณพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



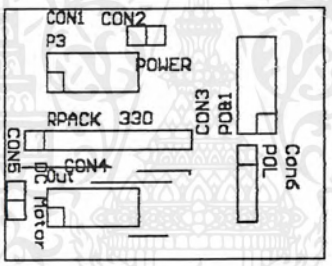
ลายวงจร ขับกระแสสัญญาณพัลส์ให้ชุดขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



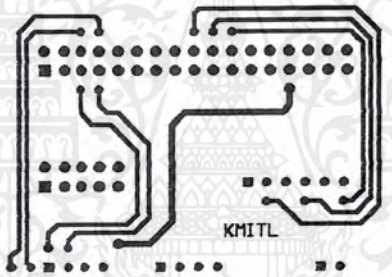
ลายวงจร ชุด ฟูลอัฟ สัญญาณไดเร็คชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



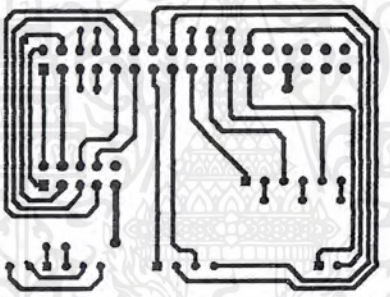
รายละเอียดการวางอุปกรณ์ ชุด ฟูลอัปสัญญาณไดเร็คชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



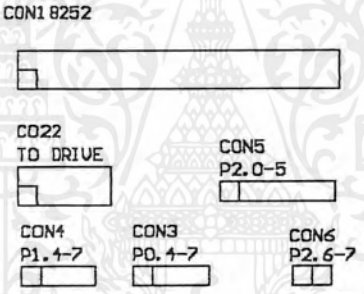
ลายวงจร การรวม คอนเนคเตอร์ของพอร์ตที่ต่อใช้งาน (ด้านบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



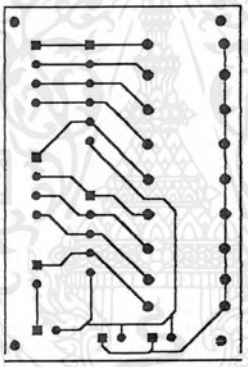
ลายวงจร การรวม คอนเนคเตอร์ของพอร์ตที่ต่อใช้งาน (ด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



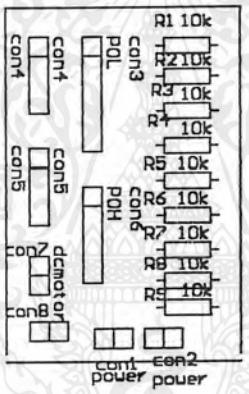
รายละเอียดการวางอุปกรณ์ ชุด การรวม คอนเนคเตอร์ของพอร์ตที่ต่อใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลายวงจร ชุด เซ็นเซอร์ ลิมิตสวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายละเอียดการวางอุปกรณ์ชุด เซนเซอร์ ลิมิตสวิทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้