

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท



ปริญญาโท เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ
AUTOMATIC PCB DRILLER

นักศึกษา 1. นายกนกพงศ์ ทองกร รหัสประจำตัว 40031401
2. นายณัฐวุฒิ ทิพย์กนก รหัสประจำตัว 40031412
3. นายธีรศักดิ์ ชีรเทิดกิตติ รหัสประจำตัว 40031416
4. นายเอกรัตน์ คล้ายสำหรัย รหัสประจำตัว 40031442

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

1. อาจารย์โกศล ตราชู
2. อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์โกศล ตราชู	
2. อาจารย์อำพล ทองระอา	
3. อาจารย์ไพบุลย์ พวงวงศ์ตระกูล	
4. อาจารย์สุระชัย พิมพ์สำลี	
5. อาจารย์อมรรชัย ชัยชนะ	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันที่ 22 พฤศจิกายน 2541 เวลา 23.00 น. ถึงเวลา 01.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม



ภาควิชารับรองแล้ว

(ผศ.ดร. จีรพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 12 เดือน 11 พ.ศ. 42

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 32812

วัน, เดือน, ปี 10 ส.ย. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
มีการแก้ไขปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ AUTOMATIC PCB DRILLER



นายกนกพงศ์ ทองกร
นายณัฐวุฒิ ทิพย์กนก
นายธีรศักดิ์ ธีรเทิดกิตติ
นายเอกรัตน์ กล้ายสาหร่าย

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ภายในเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2541

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ


AUTOMATIC PCB DRILLER

ผู้จัดทำ

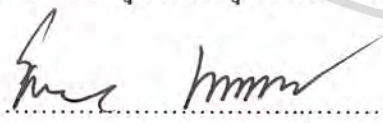
1. นายกนกพงศ์ ทองกร
2. นายณัฐวุฒิ ทิพย์กนก
3. นายธีรศักดิ์ ธีรเทิดกิตติ
4. นายเอกรัตน์ คล้ายสาหร่าย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม 
(อาจารย์โกศล ตราชู)

ลงนาม 
(อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ลงนาม 
(ผศ.ดร. ธีรพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องเจาะวงจรมีอัตโนมัติ

AUTOMATIC PCB DRILLER

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทางกล
2. เพื่อออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทางกล
3. เพื่อสร้างอุปกรณ์ชุดเครื่องเจาะแผ่นวงจรมีอัตโนมัติ
4. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นวงจรมีอัตโนมัติ
5. เพื่อสามารถนำไปใช้ในการเจาะแผ่นวงจรมีได้โดยอัตโนมัติ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. รู้หลักการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทางกล
2. สามารถสร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องเจาะแผ่นวงจรมีอัตโนมัติ โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSC-51
3. รู้หลักการใช้และควบคุมเซอร์โวมอเตอร์และสเต็ปมอเตอร์
4. รู้หลักการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมเครื่องเจาะแผ่นวงจรมีอัตโนมัติ
5. รู้หลักการและวิธีออกแบบวงจรและขั้นตอนการทำงานของวงจรรวมเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
6. สามารถนำเครื่องเจาะวงจรมีอัตโนมัติโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ

นายกนกพงศ์	ทองกร
นายณัฐวุฒิ	ทิพย์กนก
นายธีรศักดิ์	ธีรเทือกคิตติ
นายเอกรัตน์	คล้ายสาหร่าย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์โกศล	ตราชู
อาจารย์สุรพงษ์	สิริพงษ์ดี

ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติที่มีการทำงานโดยอาศัยการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นหลักโดยมีการทำงานที่เชื่อมโยงกันกับไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมที่ส่งไฟล์โปรเทค ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232C ซึ่งเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ จะทำงานภายใต้ซอฟต์แวร์ที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยเฉพาะ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีคุณสมบัติการทำงานที่สามารถใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยใช้พัลส์ จากเอนโคเดอร์มาควบคุมระยะทางในการหมุนของเกลิยว หลักการทำงานจะใช้การควบคุม การเคลื่อนที่ของแกน X และ แกน Y ด้วย ดีซี เซอร์โวมอเตอร์ทั้งสองแกน ในขณะเดียวกัน และใช้การควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวเจาะส่วนทางแกน Z ด้วยสตีปปีงมอเตอร์ จึงทำให้เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์เครื่องนี้มีการเจาะที่มีความเที่ยงตรง และรวดเร็ว ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม ต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC PCB DRILLER

MR.KANOKPHONG TONGKORN
MR.NUTTAVUT TIPKANOK
MR.TEERASAK TEERATHERDKITTI
MR.EKKARAT KLAYSARAI

ADVISOR

MR.KOSON TRACHU
MR.SURAPONG SIRIPONGDEE

1998

ABSTRACT

This thesis is present an AUTOMATIC PCB DRILLER. It had control by MCS-51 microcontroller. AUTOMATIC PCB DRILLER will work with data that send to serial port RS-232C from microcomputer. Data from microcomputer is pulse value that. The properties of MCS-51 microcontroller be able read pulse data from encode and compare with data from microcomputer. It can be controls. X-axis and Y-axis by DC-Servomotors in sametime. And Z-axis was controlled by stepping motor. So that an AUTOMATIC PCB DRILLER has validity and rapidly. This project can apply for many industries.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากการได้รับความอนุเคราะห์และช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน และคำปรึกษาทางด้านเทคนิคจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ทุกท่าน ที่คอยชี้แนะ และแนะนำรวมทั้งอาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์ วิศวกรรมทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจอยู่ตลอดเวลา

ขอขอบพระคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนภายในกลุ่มที่ร่วมแรงร่วมใจ ประสานความสามัคคีจนทำให้โครงการนี้ประสบผลสำเร็จ และเพื่อนๆ ร่วมชั้นเรียน ที่คอยให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ และที่สำคัญที่สุด ความสำเร็จครั้งนี้ขอมอบให้กับบุคคลที่ทำให้ได้รับการศึกษาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน คือคุณพ่อ คุณแม่ ครู อาจารย์ ญาติพี่น้อง และผู้มีพระคุณทุกท่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ชีตความสามารถของโครงการ	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขปของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 สเต็ปป์มอเตอร์	3
2.2.1 ชนิดของสเต็ปป์มอเตอร์	3
2.2.2 ประโยชน์ของสเต็ปป์มอเตอร์	4
2.2.3 โครงสร้าง และการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์	5
2.2.4 หลักการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์ทั่วไป	6
2.2.5 สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	7
2.2.6 สเต็ปป์มอเตอร์แบบคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ที่มีสแต็คเดียว	8
2.2.7 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสเต็ปป์มอเตอร์	11
2.2.8 สเต็ปป์มอเตอร์แบบรีลิกแดนซ์แปรค่าได้หลายสแต็ค	13
2.2.9 การทำงานของ VR สเต็ปป์มอเตอร์ที่มี 3 สแต็ค	14
2.2.10 ลักษณะ โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์	15
2.2.11 สเต็ปป์มอเตอร์แบบไฮบริดจ์	17
2.2.12 การพันขดลวดบนสเต็ปป์มอเตอร์	20
2.2.13 การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเต็ปป์มอเตอร์	21
2.2.14 การเชื่อมต่อ MCS-51 กับสเต็ปป์มอเตอร์	23

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.3 เซอร์โวมอเตอร์	25
2.3.1 เซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Servomotor)	25
2.3.2 เซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Servomotor)	26
2.3.3 ทาโคเจนเนอร์เรเตอร์และเอนโคดเดอร์	26
2.3.4 ลิเนียร์เซอร์โวแอมพลิไฟ (Linear servo amplify)	29
2.4 หลักการออกแบบเพาเวอร์แอมพลิไฟ	35
2.4.1 การเลือกอุปกรณ์เอาต์พุต	35
2.4.2 การออกแบบภาคเอาต์พุต	36
2.4.3 การพิจารณาถึงอัตราการขยายแบนด์วิด	37
2.4.4 การผิดเพี้ยนในเพาเวอร์แอมพลิไฟล์	38
2.5 การอินเตอร์เฟส RS-232C	40
2.5.1 แบบจำลองของวงจรการสื่อสารแบบ RS-232C	40
2.5.2 ข้อกำหนดทางไฟฟ้าของ RS-232C	41
2.5.3 ขาขั้วต่อ RS-232 C และหน้าที่การทำงาน	43
2.5.4 การควบคุมคลื่นพาห์และการส่งข้อมูล	45
2.5.5 ช่องสัญญาณรอง	48
2.5.6 การตอบรับอย่างอัตโนมัติ	49
2.5.7 การให้จังหวะเวลาแก่วงจรเชิงโครนัส	50
2.5.8 ข้อจำกัดของ RS-232C	52
2.6 การสื่อสารข้อมูลอนุกรม	53
2.6.1 จังหวะเวลาและความเร็วของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม	54
2.6.2 รูปแบบของการส่งข้อมูลอนุกรม	54
2.7 การส่งข้อมูลอนุกรมของ 8051	55
2.8 การเชื่อมต่อกับมาตรฐาน RS-232C	60
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	62

เอกสารนี้เป็น 3.1 แผนผังการทำงานของโครงการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 62 การค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด 3.2 การออกแบบส่วนเครื่องกล เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ 64 ใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3 รายละเอียดในการออกแบบส่วนของเครื่องกล	65
3.3.1 การออกแบบส่วนของโครงเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์	65
3.3.2 การออกแบบส่วนของแนวแกน X	66
3.3.3 การออกแบบส่วนของแนวแกน Y	67
3.3.4 การออกแบบส่วนของแนวแกน Z	68
3.4 วงจรควบคุมเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ	69
3.4.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	70
3.4.2 วงจรชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	72
3.4.3 วงจรภาคขับเคลื่อน เซอร์โวมอเตอร์	73
3.4.4 วงจรควบคุมเบรก	74
3.4.5 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	75
3.4.6 วงจรขับสเตปป์มอเตอร์	75
3.4.7 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ	76
3.5 การออกแบบส่วนควบคุมการเจาะ	78
3.5.1 การออกแบบพอร์ตอนุกรม (Serial port)	78
3.5.2 การออกแบบหน่วยประมวลผลกลาง	80
3.5.3 การออกแบบหน่วยความจำ (Memory)	82
3.5.4 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับ (Micro switch)	83
3.5.5 การออกแบบวงจรรีเลย์	83
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	85
4.1 การทดลองการทำงานของวงจร	85
4.2 การทดลองระยะของการเคลื่อนที่ทางแกน X	85
4.3 การทดลองระยะของการเคลื่อนที่ทางแกน Y	87
4.4 การทดลองหาความเร็วของการเคลื่อนที่ทางแกน Z	88
4.5 การทดลองหาความเร็วในการเคลื่อนที่ทางแกน X, Y และ Z	89
4.6 การทดลองเจาะแผ่นวงจรพิมพ์จริงเพื่อทดสอบความเร็ว	90

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 บทวิจารณ์ สรุป และแนวทางในการพัฒนา	93
5.1 บทสรุป	93
5.2 ปัญหา และแนวทางในการแก้ไข	94
5.3 แนวทางในการพัฒนา	94
ภาคผนวก ก รูปต้นแบบของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ	95
ภาคผนวก ข วงจรของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ	
ภาคผนวก ค โปรแกรมควบคุมเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ	
ภาคผนวก ง รายละเอียดอุปกรณ์	
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	
บรรณานุกรม	
ประวัติผู้แต่ง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIII

สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 สเต็ปป์มอเตอร์แบบ 4 เฟสแบบยูนิโพลาร์เพอร์มาเนนท์แม็กเนต	4
รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมสเต็ปป์มอเตอร์	5
รูปที่ 2.3 สนามแม่เหล็ก ที่เกิดขึ้น ในลักษณะต่าง ๆ	6
รูปที่ 2.4 แรงดึงดูดทำให้เกิดทอร์กที่หมุนอาร์เมเจอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุล	6
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟส และแต่ละเฟส พันด้วยขดลวดบน 2 ขั้วของสเตเตอร์ มุมสเต็ปเท่ากับ 45°	7
รูปที่ 2.6 VR สเต็ปป์มอเตอร์แบบมีสเต็ปเดียว	8
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 เฟส	13
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของไฮบริดส์เต็ปป์มอเตอร์ $N_r = 30, N_s = 24$ ขั้วฟัน ของสเตเตอร์ทั้งสองตอนจะอยู่ในแนวเดียวกัน	16
รูปที่ 2.9 ส่วนขั้วฟันของโรเตอร์ทั้งสองตัวจะมีตำแหน่งต่างกัน $\frac{1}{2} P_r = 6^\circ, \theta_s = 3^\circ$	16
รูปที่ 2.10 วงจรแม่เหล็กของ HMS	17
รูปที่ 2.11 การพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์	19
รูปที่ 2.12 (ก) การพันขดลวดบนสเต็ปป์มอเตอร์แบบไบโพลาร์ (ข) การพันขดลวดบนสเต็ปป์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์	20
รูปที่ 2.13 การจ่ายกระแสแบบเวฟให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปป์มอเตอร์	21
รูปที่ 2.14 การจ่ายกระแสแบบ 2 เฟสให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปป์มอเตอร์	22
รูปที่ 2.15 การจ่ายกระแสแบบครึ่งสเต็ปให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปป์มอเตอร์	23
รูปที่ 2.16 ผังการทำงานของการทำงานที่เชื่อมต่อกับสเต็ปป์มอเตอร์	24
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างวงจรขับมอเตอร์ (Motor Driver) แบบไบโพลาร์	24
รูปที่ 2.18 การขับมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์โดยใช้ไอซีเบอร์ ULN 2003 A เป็นตัวขับกระแส	25
รูปที่ 2.19 ไดอะแกรมทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบสองเฟส	26
รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมของระบบการบังคับความเร็ว	27
รูปที่ 2.21 ลักษณะของอปติคัลเอนโคเดอร์แบบสมบูรณ์ในตัวเอง	28
รูปที่ 2.22 ยูไทร์กิ้งบนแอมพลิไฟเออร์กำลังได้เพียงควอเตอร์เดียว	30

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.23 ยูนิโคเร็กซ์ชั้นเนลแอมพลิไฟที่มีไดนามิกเบรก บังคับได้สองควอแดรนต์	31
รูปที่ 2.24 ลักษณะการลดความเร็วลงของระบบยูนิโคเร็กซ์ชั้นเนลที่มี และไม่มีไดนามิกเบรก	31
รูปที่ 2.25 ยูนิโคเร็กซ์ชั้นเนลแอมพลิไฟที่มีไดนามิกเบรก	32
รูปที่ 2.26 ไบโคเร็กซ์ชั้นเนลเซอร์โวแอมพลิไฟแสดงการบังคับได้เต็มทั้ง 4 ควอแดรนต์	33
รูปที่ 2.27 ภาคเอาต์พุตของลิเนียร์ไบโพลาร์	33
รูปที่ 2.28 การผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์	34
รูปที่ 2.29 การออกแบบภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์	35
รูปที่ 2.30 การออกแบบภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนเพียงกึ่งเดียว	36
รูปที่ 2.31 โครงสร้างภาคเอาต์พุตที่มีการบังคับอัตราขยาย	37
รูปที่ 2.32 (ก) ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ (ข) การผิดเพี้ยนของเอาต์พุตเมื่อสัญญาณอินพุตเป็นลูกคลื่นซายน์	39
รูปที่ 2.33 แบบจำลองวงจรการสื่อสารที่ใช้ RS-232C	40
รูปที่ 2.34 ขั้วต่อตัวเมียของ RS-232C	40
รูปที่ 2.35 ระดับโวลต์เตจของสัญญาณ RS-232C กำหนดไว้	42
รูปที่ 2.36 วงจรอินเตอร์เฟส RS-232C	43
รูปที่ 2.37 การควบคุมคลื่นพาห์ในระบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์	46
รูปที่ 2.38 การควบคุมคลื่นพาห์ของระบบฟูลดูเพล็กซ์	47
รูปที่ 2.39 การสลับสถานะ แบบที่มีช่องย้อนกลับ	48
รูปที่ 2.40 DTE ควบคุมการตอบรับและหยุดการติดต่อการเรียกทางโทรศัพท์	49
รูปที่ 2.41 รูปแบบข้อมูลเนื้อความแอสกีแบบซิงโครนัส	50
รูปที่ 2.42 บล็อกไดอะแกรมของการส่งระบบซิงโครนัส	51
รูปที่ 2.43 การเลือกขา Transmit clock ของซิงโครนัสโมเด็ม	51
รูปที่ 2.44 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม จำนวน 8 บิต จะส่งทีละบิตจนครบ 1 ไบต์	53
รูปที่ 2.45 การส่งข้อมูลแบบขนาน จำนวน 8 บิต จะส่งทีละ 8 บิตหรือ 1 ไบต์	53
รูปที่ 2.46 ฝั่งเวลาการส่งข้อมูลแบบอนุกรมจำนวน 8 บิต	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.47 บล็อกไดอะแกรมของพอร์ตอนุกรม	56
รูปที่ 2.48 ผังเวลาของการส่งและรับข้อมูลในโหมด 0	56
รูปที่ 2.49 การใช้งานพอร์ตอนุกรมในโหมด 0 เพื่อขยายเอาต์พุตของ 8051	57
รูปที่ 2.50 รูปแบบการรับ และส่งข้อมูลในโหมด 1	58
รูปที่ 2.51 การรับส่งข้อมูลในโหมด 2	59
รูปที่ 2.52 การเชื่อมต่อระดับสัญญาณแบบ TTL จาก 8051 กับระดับสัญญาณของ RS-232C	60
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ	62
รูปที่ 3.2 ส่วนของเครื่องกลของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ	64
รูปที่ 3.3 โครงเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ	65
รูปที่ 3.4 แกนเพลลาเกลียวตัวหนอนแนวแกน X	66
รูปที่ 3.5 การออกแบบส่วนของแนวแกน X	67
รูปที่ 3.6 แกนเพลลาเกลียวตัวหนอนแนวแกน Y	67
รูปที่ 3.7 การออกแบบส่วนของแนวแกน Y	68
รูปที่ 3.8 การออกแบบส่วนของแนวแกน Z	69
รูปที่ 3.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 35 โวลต์	70
รูปที่ 3.10 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์	71
รูปที่ 3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์	71
รูปที่ 3.12 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์	72
รูปที่ 3.13 วงจรภาคขับเคลื่อนซี เซอร์โวมอเตอร์	73
รูปที่ 3.14 วงจรควบคุมเบรก	74
รูปที่ 3.15 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	75
รูปที่ 3.16 วงจรขับสตีปี่งมอเตอร์	76
รูปที่ 3.17 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับในแกน X, Y และ Z	77
รูปที่ 3.18 การออกแบบพอร์ตอนุกรมโดยใช้ไอซีเบอร์ 8251	78
รูปที่ 3.19 โครงสร้างของขาต่อใช้งานของไอซี MAX-232	78
รูปที่ 3.20 สัญญาณที่ใช้ติดต่อกับ PC	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่มีใครคนใด ๆ ทั้งสิ้น ออกกฎหมายให้เด็ดขาดเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.21 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	80
รูปที่ 3.22 การถอดรหัสโดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS138	80
รูปที่ 3.23 วงจรถอดรหัสอุปกรณ์ภายนอก	82
รูปที่ 3.24 แผนผังของหน่วยความจำรวม	82
รูปที่ 3.25 แผนผังของหน่วยความจำแรม	82
รูปที่ 3.26 วงจรตรวจจับไมโครสวิทช์	83
รูปที่ 3.27 วงจรของคีย์บอร์ด	84
รูปที่ 4.1 แผ่นวงจรพิมพ์เอนกประสงค์	91
รูปที่ 4.2 วงจรไอซี 20 ขาเบอร์ 74LS373	91
รูปที่ 4.3 วงจรแผ่นวงจรพิมพ์ทดสอบ	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลำดับของการสวิตช์ 3 สเต็ปของ VR สเต็ปปึงมอเตอร์แบบสแต็คเดียว และตำแหน่งของโรเตอร์	10
ตารางที่ 2.1(ต่อ) ลำดับของการสวิตช์ 3 สเต็ปของ VR สเต็ปปึงมอเตอร์แบบสแต็คเดียว และตำแหน่งของโรเตอร์	11
ตารางที่ 2.2 การเลือกพารามิเตอร์ของสเต็ปปึงมอเตอร์	12
ตารางที่ 2.3 ลำดับการสเต็ปของ VRSM แบบ 3 เฟส	15
ตารางที่ 2.4 ลำดับ 4 สเต็ปของ HSM แบบ 2 เฟส	18
ตารางที่ 2.5 การจ่ายกระแสแบบเวฟให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปปึงมอเตอร์	21
ตารางที่ 2.6 การจ่ายกระแสแบบ 2 เฟสให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปปึงมอเตอร์	22
ตารางที่ 2.7 การจ่ายกระแสแบบครึ่งสเต็ป ให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปปึงมอเตอร์	23
ตารางที่ 2.8 หน้าที่ของสาย และความหมายของโวลต์เตจที่กำหนดให้	42
ตารางที่ 2.9 การกำหนดขาขั้วต่อ RS-232C	44
ตารางที่ 3.1 การเลือกใช้อัตราบอดและค่ากำหนดเริ่มต้น	79
ตารางที่ 3.2 หมายเลขพอร์ตของไอซีเบอร์ 8255	81
ตารางที่ 3.3 การถอดรหัสอุปกรณ์หน่วยความจำภายนอก	81
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน X	86
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน Y	87
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองหาค่าความเร็วในการเคลื่อนแกน Z	88
ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ผลการทดลองหาค่าความเร็วในการเคลื่อนแกน Z	89
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน Y	90
ตารางที่ 4.5 การทดลองเจาะแผ่นวงจรพิมพ์จริงเพื่อทดสอบความเร็ว	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันในวงการอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีกำลังในการผลิตสูง ประกอบกับการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุม และสั่งงานของเครื่องจักรกล โดยจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยเฉพาะ กับงานแต่ละอย่างซึ่งแตกต่างกันออกไป แต่อย่างไรก็ตาม ไมโครคอมพิวเตอร์ไม่สามารถทำการสั่งงานเครื่องจักรกลได้โดยตรง เพราะจะต้องเชื่อมโยงการทำงานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลกลางที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลให้ปฏิบัติงานตามคำสั่งที่ได้รับมาจากไมโครคอมพิวเตอร์อีกทีหนึ่ง ซึ่งจะเห็นว่าหัวใจสำคัญในการควบคุมในส่วน of เครื่องจักรกลก็จะอยู่ที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหลัก ปัจจุบันจะเห็นว่าได้มีการผลิต และพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผลให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการทางอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง

จากคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่กล่าวมา สามารถนำมาที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ เพื่อควบคุมตำแหน่งในการเจาะของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ ซึ่งสามารถทำงานได้อย่างสะดวก และรวดเร็วกว่าการเจาะโดยใช้มือ ประกอบกับมีความแม่นยำในการเจาะ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งในการปฏิบัติงาน หากการใช้งานสะดวก และมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง สามารถย่นระยะเวลาในการทำงาน และได้ปริมาณงานที่มากขึ้น ย่อมเป็นเครื่องมือที่มีความเหมาะสมในการพัฒนาสำหรับงานอุตสาหกรรมในอนาคตเป็นอย่างยิ่ง

1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. เครื่องเจาะสามารถเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ได้อย่างแม่นยำ และนำอุปกรณ์มาวางได้จริง
2. เครื่องเจาะสามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ และสามารถสั่งเจาะจากคอมพิวเตอร์ได้
3. เครื่องเจาะสามารถควบคุมการเจาะได้โดยการควบคุมที่เป็นสั่งงานของเครื่องเจาะได้
4. เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์มีความเร็วในการเจาะ โดยเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 30 รูต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้จะแบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษา และทำความเข้าใจในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาหลักๆ ที่สำคัญดังต่อไปนี้

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการเกี่ยวกับคุณสมบัติ และการทำงานของดีซี เซอร์โวมอเตอร์ คุณสมบัติ และการทำงานของสตีปิ้งมอเตอร์ การควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โครงสร้าง และคุณสมบัติของพอร์ตอนุกรม RS-232C การส่งผ่านข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

บทที่ 3 การออกแบบการสร้าง และการทำงานจะกล่าวรายละเอียดถึงการออกแบบ และการสร้างฮาร์ดแวร์ โดยแบ่งเป็นส่วนของการออกแบบเครื่องกล หรือโครงสร้างของเครื่องเจาะ ส่วนของการออกแบบภาคจ่ายไฟของวงจรทั้งหมด และวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ และวงจรขั้วมอเตอร์ วงจรถอดรหัส วงจรควบคุมเบรก วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก และส่วนของชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องเจาะ

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง จะทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเจาะผ่านทาง การสั่งงานทางโปรแกรม ทดสอบความเร็ว ความแม่นยำ และความเที่ยงตรงในการเจาะ การทดสอบการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ตัวอย่างในรูปแบบของวงจรต่างๆ และตรวจสอบว่าโครงงานนี้สามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

บทที่ 5 บทสรุปปัญหาแนวทางแก้ไข และพัฒนาเป็นการสรุปผลการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ ในบทสุดท้ายจะเป็นปัญหา และแนวทางในการแก้ไข รวมถึงแนวทางในการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพ และการใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

ในภาคผนวกแสดงรายละเอียดของโปรแกรม วงจรชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ และรายการอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้จัดทำโครงงานดังนี้

- ภาคผนวก ก รูปต้นแบบของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ
- ภาคผนวก ข วงจรของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ
- ภาคผนวก ค โปรแกรมการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ
- ภาคผนวก ง รายละเอียดอุปกรณ์
- ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน
- ภาคผนวก ฉ รายละเอียดของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นทฤษฎีและหลักการ ที่นำมาใช้ประกอบการสร้างโครงการนี้ขึ้นมา โดยประกอบด้วยทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับคุณสมบัติ และการทำงานของดีซีเซอร์โวมอเตอร์ คุณสมบัติ และการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์ การควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โครงสร้าง และคุณสมบัติของพอร์ตอนุกรม RS-232C การส่งผ่านข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51ซึ่งจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

2.2 สเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor)

จากการศึกษาถึงอุปกรณ์จำพวกมอเตอร์ชนิดต่างๆ ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันจะเห็นว่ามอเตอร์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการให้แรงขับที่มีกำลังขับสูง โดยสามารถใช้การควบคุมการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสะดวก และมีความเป็นเชิงเส้นในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์สูง จะเห็นว่า สเต็ปปีงมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมกับคุณสมบัติดังกล่าวเป็นอย่างมาก ซึ่งก่อนที่จะนำสเต็ปปีงมอเตอร์มาใช้งาน ควรทำการศึกษาถึงคุณสมบัติเฉพาะของสเต็ปปีงมอเตอร์แต่ละชนิดรวมถึงโครงสร้าง และหลักการทำงาน

2.2.1 ชนิดของสเต็ปปีงมอเตอร์

เราสามารถแบ่งสเต็ปปีงมอเตอร์ตามพื้นฐานได้ 3 ชนิดคือ

1. ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable reluctance หรือ VR) สเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดนี้มีข้อเสียคือ เมื่อมีสเต็ปปีงในการหมุนสูง จึงทำให้ความถูกต้องของตำแหน่ง และทำงานได้ดี เราสามารถทดสอบเพื่อให้เห็นว่าเป็นสเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดนี้ได้ง่ายมาก โดยใช้มือหมุนที่เพลลาของมอเตอร์ ซึ่งจะไม่เกิดปรากฏการณ์ทางแม่เหล็ก (Magnetism) จะทำให้หมุนได้โดยไม่ติดขัด แตกต่างจากชนิดอื่น คือเมื่อทำการหมุนจะรู้สึกขัด ๆ เหมือนเป็นฟันเฟือง

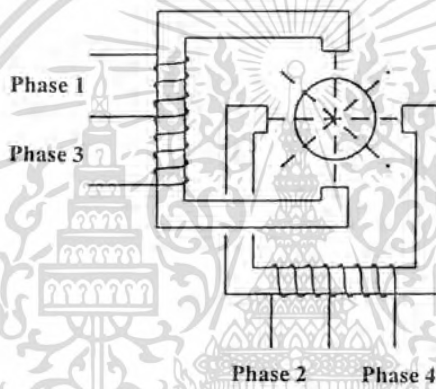
2. ชนิดเพอร์มาเนนต์แม็กเน็ต (Permanent magnet หรือ PM) สเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดนี้มีข้อดีคือ มีความถูกต้องของตำแหน่งเมื่อเปรียบเทียบกับสเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดอื่น

3. ชนิดไฮบริดจ์ (Hybrid) เป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด ในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจะใช้ในส่วนของการขับเคลื่อนหัวอ่านดิสก์ไดรว์ สเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดนี้มีข้อดีคือ มีโครงสร้างภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกันเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เนื้อหาและข้อมูลไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

คือเป็นสเตเตอร์ซึ่งเป็นชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ ส่วนโรเตอร์ที่เป็นชนิดเพอร์มาเนนต์แม็กเน็ตนำมาประกอบเข้าด้วยกัน ทำให้เป็นมอเตอร์ชนิดนี้มีแรงยึดหยุ่นสูง มีแรงบิดดี และผลัดดี และยังคงทำงานได้ดีแม้ว่าจะมีจำนวนสเต็ปต่อรอบในการหมุนสูงก็ตาม

4. ชนิดแรเอิร์ธเพอร์มาเนนต์แม็กเน็ต (Rare earth permanent magnet) หรือที่เรียกกันว่า ชนิดดิสก์แม็กเน็ต สเต็ปป์มอเตอร์ (Disk magnet stepper) การทำงานจะเป็นแบบเดิมแต่โครงสร้างเป็นแบบใหม่จะทำให้เกิดความเสียด้านมาก มีอัตราเร่งสูง มอเตอร์ชนิดนี้จึงจัดเป็นมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงทั้งในด้านแรงบิดดี, กำลังทางกลที่ได้ของมอเตอร์, ความถูกต้องของตำแหน่งสูงมาก และความเร็วในการเริ่มหมุน และหยุดสูง อีกทั้งมีการสูญเสียของกำลังงานต่ำ



รูปที่ 2.1 สเต็ปป์มอเตอร์แบบ 4 เฟส (Phase) แบบยูนิโพลาร์เพอร์มาเนนต์แม็กเน็ต

2.2.2 ประโยชน์ของสเต็ปป์มอเตอร์

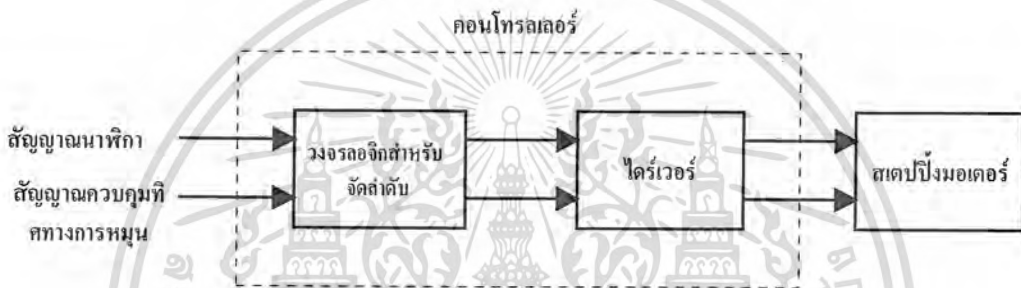
ในระบบควบคุมตำแหน่งที่ใช้สเต็ปป์มอเตอร์นั้นมีข้อดีอยู่หลายประการคือ

1. ในลักษณะการควบคุมแบบไม่ต้องการการป้อนกลับ ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมตำแหน่งหรือความเร็ว
2. ความผิดพลาดที่เกี่ยวกับตำแหน่งแทบไม่มีเลย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของสเต็ปป์มอเตอร์นั้นเคลื่อนที่เป็นสเต็ปด้วยจำนวนองศาที่มีค่าแน่นอน
3. สเต็ปป์มอเตอร์จะถูกนำมาใช้กับเครื่องมือที่ต้องการความละเอียดแม่นยำและใช้อยู่ในเครื่องมือประเภทดิจิทัล เช่น เครื่องวาดรูป เครื่องคอมพิวเตอร์ นิวเมอริกคัลคอนโทรล (Computer Numerical Control) หรือ CNC

4. ไม่จำเป็นต้องใช้วงจรแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อก เมื่ออินเตอร์เฟสกับไมโครคอนโทรลเลอร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คอมพิวเตอร์
ไมวารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 โครงสร้าง และการทำงานของสแต็ปป์มอเตอร์

สแต็ปป์มอเตอร์เป็นอุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้า ที่มีอินพุตเป็นกลุ่มไบนารีโวลต์เตจ และเอาต์พุตเป็นลักษณะการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม หรือหมุนไปเป็นสแต็ป (แต่ละสแต็ปอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 30 องศา ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสแต็ปป์มอเตอร์) ตามสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้กับขดลวดสเตเตอร์ซึ่งเกิดแรงผลักดันต่อโรเตอร์หมุนไป แต่ลักษณะของสแต็ปป์มอเตอร์จะมีขดลวดสเตเตอร์อยู่หลายขดซึ่งเรียกว่า “เฟส” ฉะนั้นเมื่อป้อนสัญญาณที่เป็นพัลส์ในลักษณะเป็นลำดับของเลขฐานสองผ่าน วงจรขับ (Driver) จะทำให้โรเตอร์หมุนได้อย่างต่อเนื่องดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.2



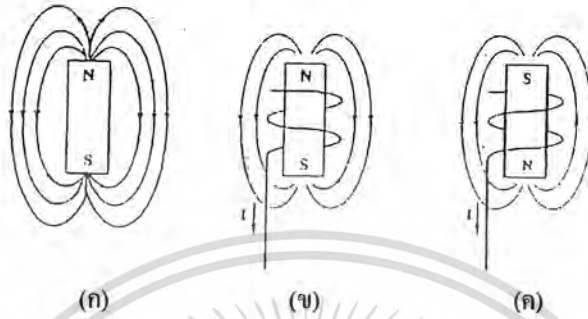
รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมสแต็ปป์มอเตอร์

จากบล็อกไดอะแกรมสแต็ปป์มอเตอร์ในรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าในการควบคุมสแต็ปป์มอเตอร์ให้สามารถเคลื่อนที่ได้ตามที่ต้องการนั้น จะต้องทำการส่งสัญญาณทางด้านอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณนาฬิกา (Clock Pulse) และส่งสัญญาณอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้สำหรับควบคุมทิศทางหมุนของสแต็ปป์มอเตอร์เสียก่อนจึงจะสามารถทำการควบคุมสแต็ปป์มอเตอร์ได้

สัญญาณที่ได้นั้นจะต้องผ่านวงจรถอดจิกเพื่อทำการจัดลำดับเสียก่อน แล้วส่งเข้าไปขยายสัญญาณที่วงจรถับมอเตอร์เพื่อให้มีแรงดันเพียงพอในการขับสแต็ปป์มอเตอร์ได้

2.2.4 หลักการทำงานของสเต็ปิ่งมอเตอร์ทั่ว ๆ ไป

ในรูปที่ 2.3 แสดงหลักการพื้นฐานของเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 2.3 สนามแม่เหล็ก ที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ

- (ก) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวร
- (ข) สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแส I
- (ค) ขั้วแม่เหล็กกลับทิศทางเมื่อขดลวดถูกพันกลับทิศทางและทิศทางการไหลของกระแสไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2.4 แรงดึงดูดทำให้เกิดทอร์กที่หมุนอาร์เมเจอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุล

ในรูปที่ 2.3 (ก) แสดงแท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่กับเพลลา และหมุนได้อิสระเหมือนอาร์เมเจอร์มีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ขั้วซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะที่เป็นสเตเตอร์ (Stator) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.3 (ข) แสดงตำแหน่งแกนของอาร์มาเจอร์แม่เหล็กคือ $a-a'$ ซึ่งต่างไปจากตำแหน่งแกนขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กน้อยเป็นมุม θ แรงแม่เหล็กที่เกิดจากการดึงดูดของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกันทำให้เกิดส่วนของแรงปกติ

$$F_n = F \cos \theta \quad (\text{แรงนี้ตั้งฉากกับแกน } a-a') \quad (2.1)$$

ทอร์กผลรวม $T = F \cdot \cos \theta$ (ทำให้อาร์มาเจอร์หมุนไปทิศทาง CW จนกว่าแกนของอาร์มาเจอร์ $a-a'$ จะอยู่ในแนวเดียวกับแกนขั้วของสเตเตอร์)

ถ้าหากมีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลายๆ คู่ขั้วรอบๆ สเตเตอร์ และถ้าหากขั้วเหล่านั้นถูกกระตุ้นด้วยกระแสพัลส์ในรูปแบบที่เรียงลำดับกัน ไปอาร์มาเจอร์จะหมุนในรูปของลักษณะเป็นสเต็ปที่เป็นไปตามการหมุนของสนามแม่เหล็ก ที่เกิดจากสวิตซ์ที่เรียงลำดับของขดลวดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์

2.2.5 สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟส และแต่ละเฟสพันด้วยขดลวดบน 2 ขั้วของสเตเตอร์ มุมสเต็ปเท่ากับ 45°

ในรูปที่ 2.5 เป็นสเต็ปป์มอเตอร์แบบ 4 เฟส แต่ละเฟสเป็นขดลวดพันอยู่บน 2 ขั้วของสเตเตอร์ ดังนั้นการออกแบบนี้สเตเตอร์จะต้องมี 8 ขั้ว อย่างไรก็ตาม ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดของเฟส ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 และ ϕ_4 (1-4-3-2 ตามลำดับ) จะได้รับพลังงานด้วยกระแสพัลส์ที่สอดคล้องกับ I_1 , I_2 , I_3 และ I_4 (กระแสแต่ละเฟสจะไหลในทิศทางที่แสดงในไดอะแกรม) แต่ละสเต็ปโรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางตามเข็มนาฬิกา 45° ($360^\circ/8$)

เมื่อขั้วเหนือของโรเตอร์ (แม่เหล็กถาวร) หมุนไปถึงขั้วของสเตเตอร์หมายเลข 2 ลำดับการจับขดลวดเฟสของสเต็ปโรเตอร์คือ 1-4-3-2 จะต้องกระทำเหมือนเดิม (เพื่อให้มอเตอร์หมุนไปตามเข็มนาฬิกาอีก 180°) ยกเว้นเราต้องการให้หมุนกลับทิศทางใน CW ที่เหลือด้วยการป้อนกระแสกลับทิศทาง เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นขั้วใต้ที่ขั้วสเตเตอร์ 1', 4', 3' และ 2' ตามลำดับทิศทางของกระแสแสดงในรูปที่ 2.5

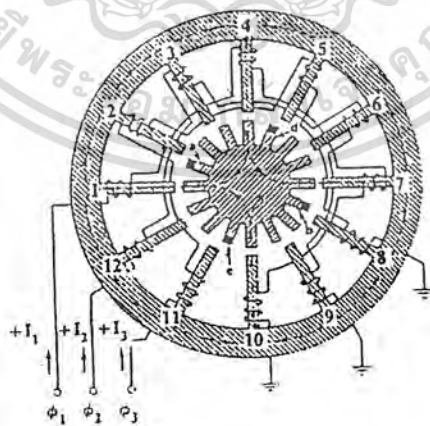
2.2.6 สเต็ปโรเตอร์แบบคาร์ริกแทนซ์แปรค่าได้ที่มีสแต็คเดียว

ตัวอย่างโครงสร้างของสเต็ปโรเตอร์แบบคาร์ริกแทนซ์แปรค่าสแต็คเดียว หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า VR สเต็ปโรเตอร์ที่มีสแต็คเดียวแสดงได้ในรูปที่ 2.6

VR สเต็ปโรเตอร์ที่มีสแต็คเดียวจะมีโรเตอร์เดี่ยวเมื่อเทียบกับ VR สเต็ปโรเตอร์แบบมีหลายสแต็ค หมายถึงมีหลายโรเตอร์ โรเตอร์และสเตเตอร์ทำจากสารแม่เหล็ก

สเต็ปโรเตอร์ในรูปที่ 2.5 มี 3 เฟส แต่ละเฟสใช้ขดลวดพันบน 4 ขั้วหรือขั้วพันของสเตเตอร์

ขั้วของสเตเตอร์ที่อยู่ตรงกันข้ามจะพันด้วยขดลวดลักษณะที่ต่างกัน เพื่อให้มีความสมดุลระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กเข้า และออกจากโรเตอร์



รูปที่ 2.6 VR สเต็ปโรเตอร์แบบมีสแต็คเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 ซึ่งมีรายละเอียดโครงสร้าง $N_r = 16$, $N_s = 12$, $X = 4$ โพล/เฟส, $\theta_s = 7.5^\circ$,

$R_s = 48$ สเต็ป/รอบ

สมมุติว่ากระแส I_1 ป้อนให้กับเฟสที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และโรเตอร์ทั้ง 4 ชีพินซึ่งจะอยู่ในแนวชีพินที่ 1, 4, 7 และ 10 ของสเตเตอร์เส้นแรงแม่เหล็กจะเข้าสู่โรเตอร์จากสเตเตอร์ชีพินที่ 4 และ 10 และออกจากโรเตอร์ไปยังชีพินที่ 1 และ 7 ซึ่งเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่ครบวงจร โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ จะสังเกตได้ว่าปลายชีพินของสเตเตอร์ที่ 4 จะถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ(เนื่องจากเส้นแรงออกจากชีพินที่ 4) และปลายชีพินของโรเตอร์ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกับชีพินที่ 4 ของสเตเตอร์จะเป็นเส้นทางผ่านเข้าไปยังโรเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็ก และเหนี่ยวนำให้ปลายของชีพินของโรเตอร์นั้นเป็นขั้วใต้ การทำให้เกิดลักษณะเป็นแม่เหล็กนี้จะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กอย่างต่อเนื่องผ่านช่องว่าง (gap) ระหว่างชีพินทั้งสองที่อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนชีพินของสเตเตอร์ และโรเตอร์ที่เหลืออยู่อีก 3 คู่ก็เกิดลักษณะของแม่เหล็กในทำนองเดียวกัน

ในสภาวะต่อไปเราจะให้โรเตอร์หมุนไปหนึ่งสเต็ปในทิศทาง CW เราจะต้องจ่ายพลังงานให้กับเฟส 3 ที่มีขดลวดพันอยู่บนชีพินที่ 2, 5, 8 และ 11 ของสเตเตอร์ด้วยกระแส T_3 หลังจากหยุดจ่ายกระแส I_1 แล้ว ในตอนนี้เส้นแรงแม่เหล็กจะหาทางเดินที่ต่างไปจากทางเดิมเพื่อทำให้วงจรแม่เหล็กครบวงจร (เหมือนกับกระแสในวงจรไฟฟ้าจะหาเส้นทางไหลในส่วนที่มีความต้านทานต่ำสุด) ในทำนองเดียวกันเส้นแรงแม่เหล็ก ในวงจรแม่เหล็กก็จะหาเส้นทางที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่ำที่สุด (ช่องว่างอากาศ ระหว่างชีพินจะทำให้เกิดค่ารีลักแตนซ์ ต่อเส้นแรงแม่เหล็ก ช่องว่างกว้างมากค่ารีลักแตนซ์ก็จะมีค่ามาก) ด้วยเหตุผลดังกล่าวเส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากขั้วที่ 2 และ 8 ของสเตเตอร์ ซึ่งถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วเหนือ และเส้นแรงแม่เหล็กก็จะกระโดดผ่านช่องว่างไปยังชีพินของโรเตอร์ที่ใกล้ที่สุด ชีพิน a และ b ของโรเตอร์เป็นโรเตอร์ที่อยู่ใกล้ที่สุด และจะถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วใต้เส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากชีพิน d และ e ของโรเตอร์ผ่านช่องว่างอากาศเข้าสู่ชีพินที่ 5 และ 11 ของ สเตเตอร์ ดังนั้นส่วนที่เหลือของวงจรแม่เหล็กจะสมบูรณ์โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ ในระหว่างเวลานั้นแรงของแม่เหล็ก หรือแรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างชีพินที่ 2 ของสเตเตอร์(ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ) และชีพิน a ของโรเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วใต้) แรงดึงดูดจะเกิดระหว่างขั้ว (11,e), (8,b) และ (5,d) ด้วย ดังที่ได้อธิบายในรูปที่ 2.6 ผลที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดทอร์กกระทำต่อโรเตอร์หมุนไปจนกระทั่งชีพิน a, d, b และ e ของโรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกับชีพิน 2, 5, 8 และ 11 ของสเตเตอร์ตามลำดับขณะเวลาดังกล่าวข้างต้นช่องว่างระหว่างชีพินจะมีค่าน้อยที่สุด ผลลัพธ์ของค่ารีลักแตนซ์จะมีค่าต่ำที่สุดและเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าสูงสุดผ่านวงจรแม่เหล็ก ที่ตำแหน่งนี้เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่สมดุลของการขับเฟส 3 ในกระบวนการที่กล่าวมาแล้วโรเตอร์จะเคลื่อนที่ในทิศทาง CW หนึ่งสเต็ปเป็นมุม 7.5°

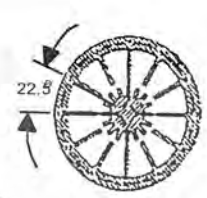
ลำดับการทำงานที่สมบูรณ์แสดงในตารางที่ 2.1 เมื่อตำแหน่งเริ่มต้นของซี่ฟันของโรเตอร์จะเป็นสีดำเพื่อให้เราทำความเข้าใจได้ชัดเจนถึงการหมุนของโรเตอร์ในทิศทาง CW เมื่อเฟสถูกขับในลักษณะเรียงลำดับ 1-3-2-1 ซี่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสีดำจะเคลื่อนที่ไป 3 สเต็ปคิดเป็นมุมได้เท่ากับ 22.5° จะขับเฟสในลักษณะเรียงลำดับซ้ำใหม่อีก เมื่อต้องการให้โรเตอร์หมุนต่อเนื่องในทิศทาง CW ต้องการกลับให้โรเตอร์หมุนในทิศทาง CCW ต้องการเรียงลำดับเฟสเป็น 1-2-3-1

ตารางที่ 2.1 ลำดับของการสวิตช์ 3 สเต็ปของ VR สเต็ปปึงมอเตอร์แบบสเต็ปเดียว และตำแหน่งของโรเตอร์

การเรียงลำดับเฟส	ตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นแรงแม่เหล็ก
ตำแหน่งโรเตอร์เริ่มต้น: 1. เฟส ϕ_1 ได้รับพลังงาน 2. ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 1, 4, 7, 10 ของสเตเตอร์	
สเต็ปที่ 1 : เฟส ϕ_3 ได้รับพลังงาน 1. ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 2, 5, 8, 11 ของสเตเตอร์ 2. โรเตอร์จะเคลื่อนไปในทิศทาง CW เป็นมุม 7.5° (1/3 ช่วงระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์)	
สเต็ปที่ 2 : เฟส ϕ_2 ได้รับพลังงาน 1. ซี่ฟันของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 3, 6, 9, 12 ของสเตเตอร์ 2. โรเตอร์จะเคลื่อนไปในทิศทาง CW รวมเป็นมุม 15°	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ลำดับของการสวิตช์ 3 สเต็ปของ VR สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบสแต็คเดียว และตำแหน่งของโรเตอร์

การเรียงลำดับเฟส	ตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นแรงแม่เหล็ก
สเต็ปที่ 3 : เฟส ϕ_1 ได้รับพลังงาน 1. ชีพินของโรเตอร์จะอยู่ในแนวชีพินที่ 1, 4, 7, 10 ของสเตเตอร์ 2. โรเตอร์จะเคลื่อนไปในทิศทาง CW เป็นมุม 7.5° (เคลื่อนไปได้ 1 ช่วงระหว่างชีพินของโรเตอร์)	

สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของ VR สเต็ปปิ้งมอเตอร์

N_R = จำนวนชีพินของ โรเตอร์

N_S = จำนวนชีพินของสเต็ปมอเตอร์

N_p = จำนวนเฟส

P_r = ความห่างระหว่างปลายชีพินของโรเตอร์ (องศา)

P_s = ความห่างระหว่างปลายชีพินของสเตเตอร์ (องศา)

θ_s = มุมสเต็ป (องศา)

R_s = อัตราหารสเต็ปหรือความเร็วในการสเต็ป (สเต็ป/รอบ)

$X = N_s / N_p =$ จำนวนชีพินของสเตเตอร์ต่อเฟส

2.2.7 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

1. ความห่างระหว่างปลายชีพินของโรเตอร์และสเตเตอร์ (Tooth pitch)

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

2. มุมสเต็ป (Step angle)

ในรูปที่ 2.6 โรเตอร์จะเคลื่อนที่ในขนาดมุม P_r ได้เท่ากับ N_p ดังนั้นเราจะหามุมสเต็ปได้

$$\theta_s = P_r / N_p = 360^\circ / (N_p N_s) \quad \text{องศา/สเต็ป} \quad (2.2)$$

มุมสเต็ปจะเท่ากับความแตกต่างระหว่าง P_r และ P_s ดังนั้นเราหามุมสเต็ปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกข้อมูลและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_s = |P_r - P_s| \quad \text{องศา/สเต็ป} \quad (2.3)$$

3. อัตราการสแต็ป (Stepping rate)

ความเร็วในการสแต็ปต่อรอบ (360 องศา) หาได้เป็น

$$R_s = 360^\circ / \theta_s = N_r N_p \text{ (สแต็ป/รอบ)} \quad (2.4)$$

4. ความเร็วของสแต็ปปีงมอเตอร์ (Speed of stepping motor)

เมื่อเราป้อนอินพุตพัลส์ที่มีความถี่ (f) สแต็ปต่อพัลส์ให้กับมอเตอร์ มอเตอร์จะสแต็ปไปด้วยความเร็ว [สแต็ป/พัลส์] $\times f$ (พัลส์/วินาที)

$$\text{ความเร็วมอเตอร์ (W)} = 60f / R_s = 60f / N_p N_r = \theta_s f / 6 \text{ (rpm)} \quad (2.5)$$

5. จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (Number of poles per phase)

$$\text{จำนวน โพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (X)} = N_s / N_p \quad (2.6)$$

$$X = \frac{R_s}{N_p (N_p \pm 1)} = N_r (N_p \pm 1) \quad (2.7)$$

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (X) จะสัมพันธ์กับอัตราการสแต็ป หรือจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์ สแต็ปปีงมอเตอร์ในรูปที่ 2.6 เราสามารถสรุปการเลือกพารามิเตอร์บางตัวของสแต็ปปีงมอเตอร์ได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเลือกพารามิเตอร์ของสแต็ปปีงมอเตอร์

N_p	R_s	N_r	X	N_s
3	48	16	4	12
			8	24
4	48	12	4	16
4	64	16	7	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การหาพารามิเตอร์ของสเต็ปป์มอเตอร์

ขั้นแรกกำหนดอัตราการใช้สเต็ป = $360^\circ/9 = 40$ สเต็ปต่อรอบ

ในเงื่อนไขเหล่านี้เราอาจต้องใช้สเต็ปป์มอเตอร์ที่มี 4 หรือ 5 เฟสที่มีสเตเตอร์ 2 โพล

ต่อเฟส

$$\text{ถ้า } N_p = 4$$

$$N_R = R_S/N_p = 40/4 = 10$$

$$N_S = N_p S = 4 \times 2 = 8$$

$$\text{ถ้า } N_p = 5$$

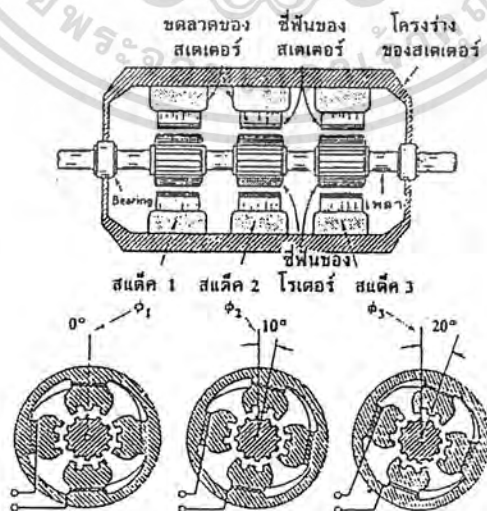
$$N_R = R_S/N_p = 40/5 = 8$$

$$N_S = N_p S = 5 \times 2 = 10$$

2.2.8 สเต็ปป์มอเตอร์แบบรีลักแตนซ์แปรค่าได้หลายสเต็ป

สเต็ปป์มอเตอร์แบบรีลักแตนซ์แปรค่าได้ (VR) และมีกลายสเต็ปหรือมากกว่า 1 สเต็ป สเต็ปในที่นี่หมายถึงเฟสซึ่งประกอบด้วยโรเตอร์ที่เป็นซี่ฟัน และโครงร่างของสเตเตอร์อยู่รอบ สเต็ปป์มอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 สเต็ป (หมายถึง 3 เฟส) มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.7

สเต็ปป์มอเตอร์ในรูปที่ 2.7 ได้ถูกออกแบบให้สเตเตอร์ของแต่ละสเต็ปประกอบด้วย 4 โพล และแต่ละโพลจะมีซี่ฟัน 3 ซี่ ซึ่งต่างจาก VR สเต็ปป์มอเตอร์แบบมีสเต็ปเดียว (แต่ละโพล จะมีซี่ฟันเดียว) ข้อสังเกตในแต่ละสเต็ปจำนวนซี่ฟันของ โรเตอร์ และสเตเตอร์แล้วสเต็ปจะเท่ากัน ไม่ได้ ถ้าหากมีจำนวนซี่ฟันเท่ากันมันจะไม่ทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 เฟส

โรเตอร์ของแต่ละเฟส (สแต็ค) จะมี 12 ชีฟฟันและมุมสเต็ป (θ_s) = 10° แต่ละเฟสของสเตเตอร์ที่เรียงลำดับต่อเนื่องกันจะถูกจัดตำแหน่ง ให้ห่างกันเท่ากับ $1/3$ ของช่องห่างระหว่างชีฟฟันของโรเตอร์ (10°)

2.2.9 การทำงานของ VR สเต็ปมอเตอร์ที่มี 3 สแต็ค

โคอะแกรมส่วนล่างของรูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของโรเตอร์ และสเตเตอร์ของ VR สเต็ปมอเตอร์ที่มี 3 สแต็ค แต่ละสแต็คจะมี $N_R = N_S$ แต่ละสแต็คจะตำแหน่งของสเตเตอร์แตกต่างจากตำแหน่งของสเตเตอร์ถัดไปเท่ากับ 10°

ส่วนชีฟฟันของโรเตอร์ทั้ง 3 อัน ประกอบอยู่บนแกนเดียวกัน และได้รับการปรับแต่งให้อยู่แนวเดียวกันอย่างสมบูรณ์

ในที่นี้จะหา θ_1 (index angle) ได้จากสมการที่ 2.8

$$\theta_1 = \frac{P_R}{N_S} = \theta_s \quad (2.8)$$

ในที่นี้ $N_r = N_s = 12$ ดังนั้นเราหา $P_r = 360^\circ / 12 = 30^\circ$

$$\theta_1 = \frac{30^\circ}{3} = 10^\circ \quad (2.9)$$

สเต็ปมอเตอร์แบบ 3 สแต็ค ถึงแม้ว่าโรเตอร์ทั้ง 3 อันจะติดอยู่บนเพลอันเดียวกัน สแต็คทั้ง 3 สแต็คจะมีวงจรมแม่เหล็กที่แยกกันดังนี้

ถ้าเฟสที่ 1 ถูกขับด้วยกระแสเป็นเฟสเริ่มต้นให้ชีฟฟันของโรเตอร์ - สเตเตอร์อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนชีฟฟันของโรเตอร์ และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 20° ต่อจากนั้นเราหยุดจ่ายกระแส (กระแสลวดสเตเตอร์) ในสแต็คที่ 1 และป้อนกระแสให้กับสแต็คที่ 2 อยู่ในแนวเดียวกัน ในขณะที่ชีฟฟันของโรเตอร์ และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 3 จะมีตำแหน่งเดียวกัน 10° ต่อจากนั้นหยุดจ่ายกระแสในสแต็คที่ 2 และป้อนกระแสให้กับสแต็คที่ 3 อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนชีฟฟันของโรเตอร์ และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 1 จะมีตำแหน่งเดียวกัน 10°

ลำดับการสวิตช์กระแสให้กับแต่ละสแต็คแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพลของสเต็ปมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปเท่ากับหนึ่งช่องของระยะห่างระหว่างชีฟฟันของโรเตอร์ (30°)

เอกสารนี้เป็น 3 สเต็ป ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ลำดับการสลับของ VRSM แบบ 3 เฟส

	สแต็คที่ 1	สแต็คที่ 2	สแต็คที่ 3
ตำแหน่งเริ่มต้นของโรเตอร์			
โรเตอร์ :			
1. เฟส ϕ_1 ได้รับพลังงาน			
สแต็คที่ 1 :			
2. เฟส ϕ_2 ได้รับพลังงานโรเตอร์เคลื่อนไป 10°			
สแต็คที่ 2 :			
3. เฟส ϕ_3 ได้รับพลังงานโรเตอร์เคลื่อนไป 10°			
สแต็คที่ 3 :			
4. เฟส ϕ_4 ได้รับพลังงานโรเตอร์เคลื่อนไป 10° หรือเท่ากับหนึ่งช่องของระยะห่างระหว่างซี่ฟัน ของโรเตอร์			

$N_r = N_s = 12$, $P_r = 30^\circ$ และ $\theta_s = 10^\circ$ ซี่ฟันของโรเตอร์สีดำจะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW 10° ในแต่ละสแต็ครวมทั้งหมด 30° เมื่อสแต็คไปครบ 3 สแต็คสำหรับการหมุนในทิศทาง CW ตามลำดับการขับเฟส 1-2-3-1 และเมื่อต้องการให้หมุนในทิศทาง CCW ลำดับการขับเฟสก็ต้องกลับเป็น 1-3-2-1

ตามปกติเฟลาของมอเตอร์เคลื่อนที่ไปหนึ่งช่องของระยะห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (Rotor tooth pitch) ด้วยการสแต็คไป N_r สแต็คเมื่อ N_r คือจำนวนสแต็คที่ใช้ (เท่ากับจำนวนเฟส)

2.2.10 ลักษณะโครงสร้างของสแต็คปิ้งมอเตอร์

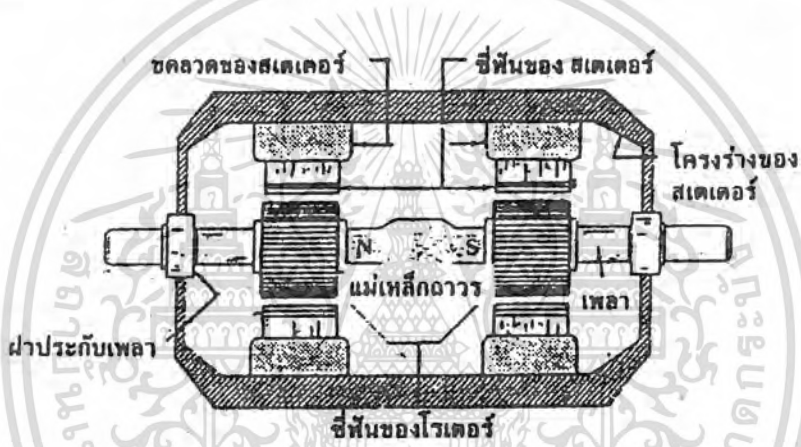
1. จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และของสเตเตอร์ไม่เท่ากัน
2. ตอน A และตอน B มีโครงสร้างเหมือนกัน
3. ซี่ฟันของสเตเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะอยู่ในแนวเดียวกันอย่างถูกต้อง
4. ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ทั้งสองตอนจะมีตำแหน่งที่แตกต่างกัน $\frac{1}{2} P_r$

ในรูปที่ 2.9 กำหนดให้ $P_r = 360/30 = 12^\circ$ ดังนั้นตำแหน่งซี่ฟันของโรเตอร์ทั้งสองตอนจะแตกต่างกัน 6°

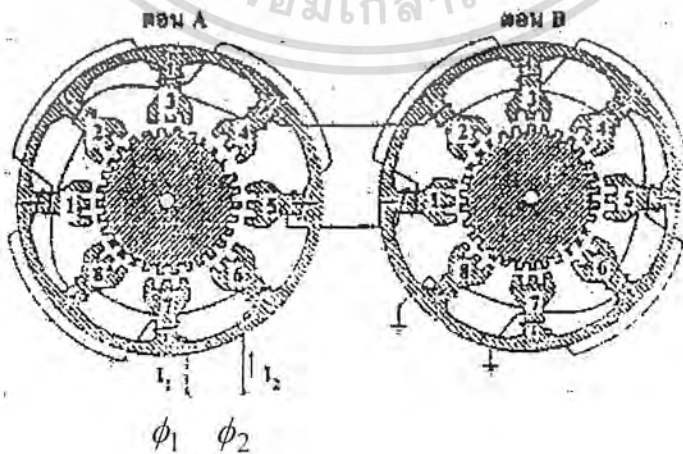
5. สเตเตอร์ของแต่ละตอนมี 8 โพลแบ่งออกเป็น 2 สเตเตอร์เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานวิจัยในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เฟสที่ 1 จะพันขดลวดบนสเตเตอร์โพลหมายเลข 1, 3, 5 และ 7 ของทั้งใน ตอน A และ ตอน B
7. เฟสที่ 2 จะพัน ขดลวดบนสเตเตอร์โพลหมายเลข 2, 4, 6 และ 8 ของทั้งใน ตอน A และ ตอน B
8. แกนแม่เหล็กถาวรจะเหนี่ยวนำโรเตอร์ใน ตอน A ให้เป็นแม่เหล็กขั้วเหนือ และโรเตอร์ใน ตอน B ให้เป็นแม่เหล็กขั้วใต้ ความซับซ้อนจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการแบ่งส่วนของขดลวดเฟสใน 2 ตอนทำให้ได้วงจรแม่เหล็กที่ซับซ้อน และได้เส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่แตกต่างกันเป็นวงกลมทิศทางเดินของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์โพลจะขึ้นอยู่กับทิศทางกระแสเฟส



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของไฮบริดจ์สเต็ปปีงมอเตอร์ $N_p = 30, N_r = 24$ ขั้วขั้วของสเตเตอร์ทั้งสองตอนจะอยู่ในแนวเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.9 ส่วนขั้วขั้วของโรเตอร์ทั้งสองตัวจะมีตำแหน่งต่างกัน $\frac{1}{2} P_p = 6^\circ, \theta_r = 3^\circ$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

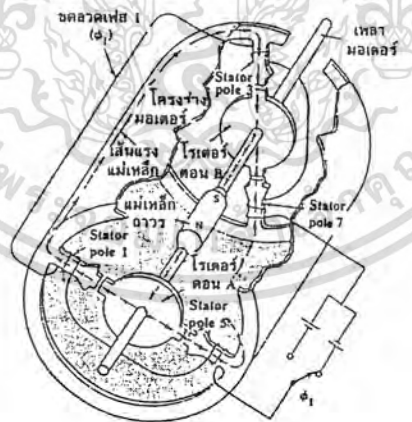
2.2.11 สเต็ปป์มอเตอร์แบบไฮบริดจ์

ไฮบริดจ์สเต็ปป์มอเตอร์ (HSM) มีคุณลักษณะผสมของ PM และ VR สเต็ปป์มอเตอร์ในรูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของ HSM ประกอบด้วย 2 ตอนกับแกนแม่เหล็กอยู่ระหว่าง 2 ตอนแต่ละตอนประกอบด้วยซี่ฟันของโรเตอร์ และโพลของสเตเตอร์ที่มีซี่ฟันเช่นกัน และพันด้วยขดลวดรายละเอียดโครงสร้างของสเตเตอร์ และโรเตอร์ของแต่ละตอนแสดงในไดอะแกรมของรูปที่ 2.8

การทำงานของไฮบริดจ์สเต็ปป์มอเตอร์

ขณะที่เฟสที่ 1 (ϕ_1) ได้รับพลังงานโดยการป้อนกระแส I_1 ในทิศทางดังแสดงด้วยลูกศรซี่ฟันของโรเตอร์ในตอน A จะอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันของสเตเตอร์ของโพลที่ 1 และโพลที่ 3 ส่วนของตอน B จะอยู่ในแนวเดียวกันกับซี่ฟันของโพลที่ 3 และโพลที่ 7 ดังแสดงในรูปที่ 2.11

เพื่อให้เพลลาของมอเตอร์หมุนไปหนึ่งสเต็ปในทิศทาง CW เราจะต้องหยุดป้อนกระแส I_1 และป้อนกระแส I_2 ให้กับเฟสที่ 2 (ϕ_2) ในรูปที่ 2.11 ซี่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสีดำใช้สำหรับอ้างอิงซี่ฟันสีดำจะอยู่ใกล้แนวซี่ฟันของสเตเตอร์โพลที่ 4 และโพลที่ 8 ในตอน A และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ในตอน B มากที่สุด (ซี่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสีดำอยู่ห่างจากแนวซี่ฟันของสเตเตอร์เท่ากับ 1 สเต็ปพอดี) จะต้องป้อนกระแส I_2 ในทิศทางที่ถูกต้องคือจะต้องทำให้โพลที่ 4 และโพลที่ 8 และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ถูกเหนี่ยวนำเป็นแม่เหล็กในทิศทางที่ต้องการ



รูปที่ 2.10 วงจรแม่เหล็กของ HSM

จากรูปที่ 2.10 แสดงถึงเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อเฟสที่ 1 ได้รับพลังงาน และเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นในตอน B ผ่านโพลที่ 3 และโพลที่ 7 เข้าสู่ขั้วได้ (S) ของแม่เหล็กถาวร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้











ในตารางที่ 2.4 แสดงถึงลำดับการสวิตช์ (ให้กระแสไหล) ให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทาง CW 4 สเต็ปซึ่งแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์ และทิศทางการเป็นแม่เหล็กของสเตเตอร์โพลในแต่ละตอนด้วยการกำหนดทิศทางของการไหลของกระแสไฟ สำหรับการหมุนในทิศทาง CW ดังแสดงในตารางที่ 2.4 จะต้องกำหนดลำดับของกระแสไฟดังนี้ $1^+, 2^-, 1^-, 2^+$ และ 1^+ ตามลำดับ ถ้าต้องการหมุนในทิศทาง CCW ลำดับเหล่านี้ก็กลับเป็น $1^+, 2^+, 1^-, 2^-$ และ 1^+

เพลของมอเตอร์หมุนไปได้หนึ่งช่องห่างระหว่างฟันภายใน 4 สเต็ป ดังนั้นมุมสเต็ปจะต้องเท่ากับ $\frac{1}{4} P_r$ หรือ มีค่าเท่ากับ $|P_s - P_r|$ ดังนั้น

$$\theta_s = P_r/4 = 360/(N_r) = 90/N_r \quad (2.10)$$

$$\theta_s = |P_s - P_r| \quad (2.11)$$

ตารางที่ 2.4 ลำดับ 4 สเต็ปของ HSM แบบ 2 เฟส

สเต็ป	ϕ_1 I_1	ϕ_2 I_2	เส้นแรง ออกจาก ตอน A	เส้นแรง เข้าสู่ ตอน B	ตอน A	ตอน B
1	+		1,5	3,7		
2		-	4,8	2,6		
3	-		3,7	1,5		
4		+	2,6	4,8		
1	+		1,5	3,7		

จากตารางที่ 2.4 ซึ่งในแต่ละสเต็ปจะแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์ และทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก $N = 30, N_s = 24, \theta_s = 3^\circ$ ในแต่ละสเต็ปได้เป็น 12° เมื่อลรอบตามจำนวนลำดับ (หนึ่งช่องใช้

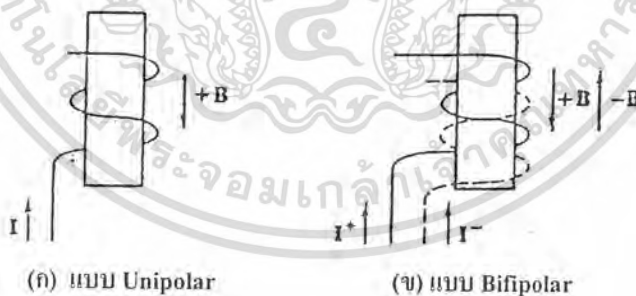
ห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์) สำหรับการหมุนในทิศทาง CW จะต้องจัดลำดับการจับเป็น $1^+, 2^-, 1^-, 2^+, 1^+$ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 $N_r = 30$ และ $N_s = 24$ ดังนั้น

$$\theta_s = 90/30 = 3^\circ \quad (2.12)$$

$$\theta_s = (360/24) - (360/30) = 3^\circ \quad (2.13)$$

ไฮบริดส์เต็ปปีงมอเตอร์ (HSM) จะทำงานด้วยกระแสเฟสที่มีการไหลได้สองทิศทาง ดังนั้นเราจำเป็นต้องใช้เพาเวอร์ซัพพลาย 2 ตัว (Bipolar drive) การแก้ปัญหาเพื่อจะขับไฮบริดส์เต็ปปีงมอเตอร์ ให้ทำงานด้วยเพาเวอร์ซัพพลายเพียงตัวเดียว (Unipolar drive) ได้โดยดัดแปลงโครงสร้างการพันขดลวดเฟสสเตเตอร์ การพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์แบบ Bifilar (การพันแบบสองแถวสลับกัน) สามารถขับได้ด้วยยูนิโพลาร์ (Unipolar drive)

ขดลวดแบบ Unipolar แสดงดังในรูปที่ 2.11 (ก) จะต้องกลับทิศทางของกระแสเพื่อกลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก B ขดลวดแบบ Unipolar แสดงดังในรูปที่ 2.11 (ข) ถ้าเราต้องการจะกลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเป็น B สามารถทำได้โดยการป้อนกระแสขนาดเดิมจากเพาเวอร์ซัพพลายตัวเดิมเข้าที่เป็นเส้นประในรูปที่ 2.11 (ข) ก็จะทำให้ทิศทางกระแสเหนี่ยวนำแม่เหล็กและทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก (-B) กลับทิศทางได้



รูปที่ 2.11 การพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์

ถ้าหาก HSM รูปที่ 2.12 มีขดลวดเฟสของสเตเตอร์เป็นแบบ Bifilar ขดลวดเฟส ϕ_1 เดิมจะถูกแบ่งตัวออกเป็นสองขดลวดเฟส ϕ_1^+ และเฟส ϕ_1^- ขดลวดเฟส ϕ_2 เดิมจะถูกแบ่งตัวออกเป็นขดลวดเฟส ϕ_2^+ และเฟส ϕ_2^-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตอนนี้จะทำให้ได้ขดลวดเฟสถึง 4 เฟสและแต่ละเฟสสามารถขับได้ด้วยกระแสที่ไหลในทิศทางเดียวส่วนเครื่องหมาย + และ - ใช้สำหรับแสดงถึงทิศทางของการเกิดสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์โพล

2.2.12 การพันขดลวดบนสเตเตอร์

การพันขดลวดบนสเตเตอร์ มีอยู่ 2 วิธีคือ

1. แบบไบโพลาร์ (Bipolar)

สเตเตอร์แบบไบโพลาร์จะมีการพันขดลวด 1 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ จะถูกกำหนดโดยทิศทางของกระแสไฟฟ้า และทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามได้โดยการไขว้จรสวิตซ์ซึ่งกลับขั้วไฟฟ้าดังในรูปที่ 2.12 (ก)

2. แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar)

จะมีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กเปลี่ยนไปมาได้ โดยการใช้สวิตซ์ซึ่งกระแสไฟฟ้าจากขดลวดขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งเท่านั้น โดยปกติขดลวดทั้งสอง จะมีจุดร่วมเพื่อลดจำนวนของสายไฟที่ต่อจากมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ข)



รูปที่ 2.12 (ก) การพันขดลวดบนสเตเตอร์แบบไบโพลาร์

(ข) การพันขดลวดบนสเตเตอร์แบบยูนิโพลาร์

การพันขดลวดแบบยูนิโพลาร์จะมีข้อเสีย ที่การพันแบบนี้จะทำให้เกิดแรงบิดน้อยกว่าแบบไบโพลาร์ เพราะในระยะเวลาหนึ่งจะมีเพียงครึ่งหนึ่งของขดลวดเท่านั้นที่ถูกกระตุ้นให้ทำงาน การพิจารณาว่าสเตเตอร์ตัวใดมีการพันขดลวดแบบใดจะสังเกตได้โดย ถ้าเป็นแบบไบโพลาร์จะมีสายไฟต่อออกมาจากมอเตอร์เพียง 4 สาย และถ้าเป็นแบบยูนิโพลาร์จะมี 5 หรือ 6 สาย หรืออาจอ่านได้จากป้าย (Name plate) ที่ติดอยู่กับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

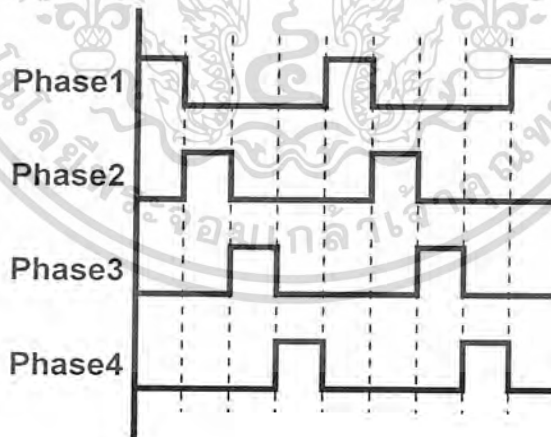
2.2.13 การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเต็ปป์มอเตอร์

การทำให้สเต็ปป์มอเตอร์เคลื่อนไปที่ละสเต็ป ทำได้โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งจะต้องป้อนแบบซีเควนเซียลในรูปแบบที่ถูกต้อง การป้อนพัลส์กระตุ้นสเต็ปป์มอเตอร์สามารถทำได้ 3 รูปแบบคือ

1. แบบเวฟ (Wave) เป็นการป้อนกระแสให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปป์มอเตอร์ทีละขดเรียงลำดับกันได้ ลักษณะการขับแบบนี้จะทำให้แรงบิดน้อย

ตารางที่ 2.5 การจ่ายกระแสแบบเวฟให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปป์มอเตอร์

Step	Phase			
	1	2	3	4
1	1	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1



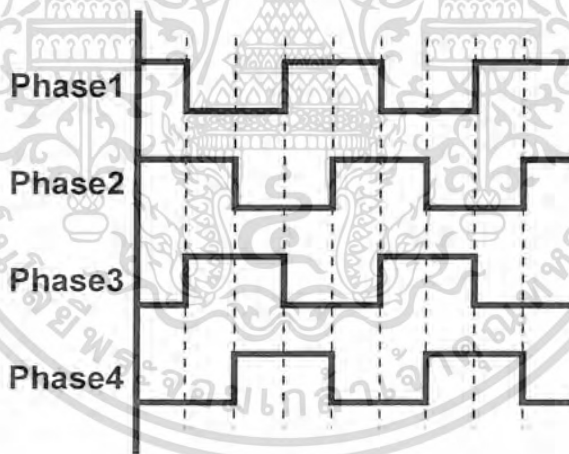
รูปที่ 2.13 การจ่ายกระแสแบบเวฟให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปป์มอเตอร์

2. แบบ 2 เฟส (Two Phase) มีลักษณะคล้ายกับแบบเวฟ แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน เรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบเวฟขึ้นอยู่กับทิศทางของการหมุน การเพิ่มจำนวนขดลวดของขดลวดที่ถูกกระตุ้นจะทำให้เพิ่ม

แรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงเต็มทีด้วยแรงดึงจากสองขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ข้อเสียของการกระตุ้นแบบนี้คือ การกระตุ้นแบบนี้ต้องจ่ายกำลังไฟฟ้ามกขึ้น การทำงานต่าง ๆ จะแสดงในรูปที่ 2.14

ตารางที่ 2.6 การจ่ายกระแสแบบ 2 เฟสให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปิ่งมอเตอร์

Step	Phase			
	1	2	3	4
1	1	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

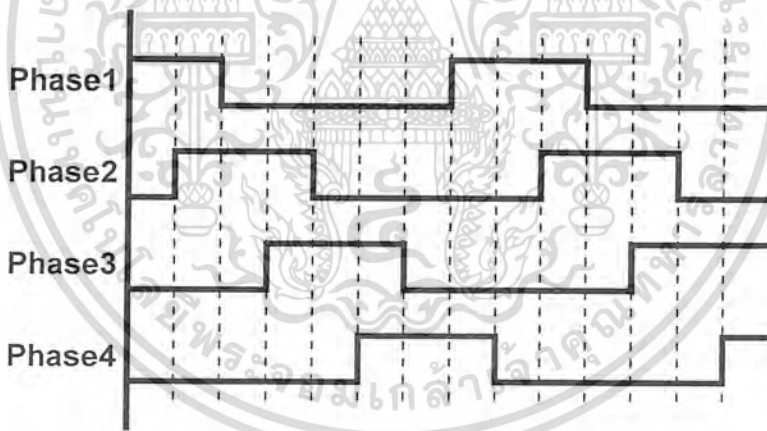


รูปที่ 2.14 การจ่ายกระแสแบบ 2 เฟสให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปิ่งมอเตอร์

3. แบบครึ่งสเต็ป (Half Step) เป็นแบบที่ได้จากการผสมระหว่างการกระตุ้นแบบเวฟและแบบ 2 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.15 เพื่อเพิ่มจำนวนสเต็ปต่อรอบอีกหนึ่งเท่าตัว แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีกเพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง และแต่ละสเต็ปเกิดจากแรงดึงของขดลวด 2 ขดที่กระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งจึงมีเพิ่มขึ้น ที่สำคัญการกระตุ้นแบบนี้จะต้องทำการหมุน 2 สเต็ปจึงเท่ากับ 1 สเต็ปของ 2 แบบแรก ส่วนแหล่งจ่ายกำลังต้องใช้เหมือนกับแบบ 2 เฟส

ตารางที่ 2.7 การจ่ายกระแสแบบครึ่งสเต็ป ให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

STEP	PHASE			
	1	2	3	4
1	1	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	0
5	0	0	1	1
6	0	0	0	1
7	1	0	0	1
8	1	0	0	0

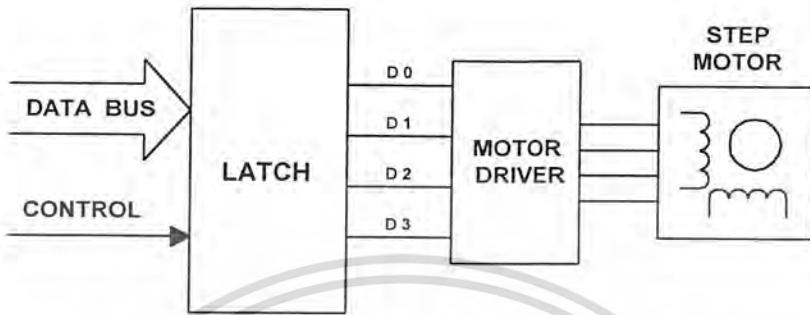


รูปที่ 2.15 การจ่ายกระแสแบบครึ่งสเต็ป ให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

2.2.14 การเชื่อมต่อ MCS-51 กับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

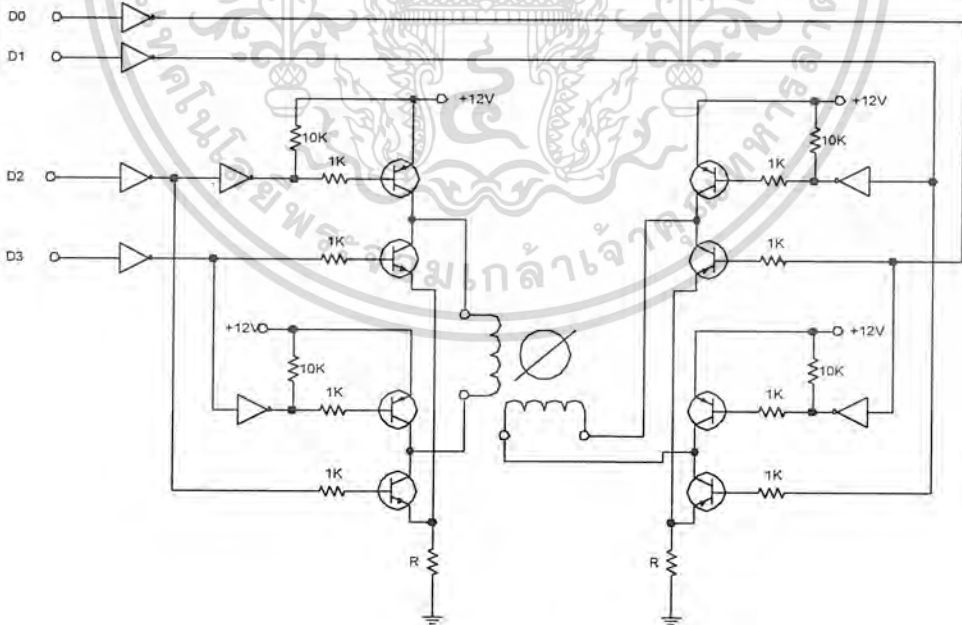
โดยทั่วไปรูปแบบของการเชื่อมต่อกับสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะมีรูปแบบดังผังการทำงานดังในรูปที่ 2.16 ซึ่งสามารถที่จะควบคุมได้ทั้งทิศทาง และตำแหน่ง จากรูปจะเห็นได้ว่าการเชื่อมต่อกับสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะเหมือนกับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เอาต์พุตของ MCS-51 ทั่วไป โดยสัญญาณที่ใช้จะประกอบด้วยข้อมูล และสัญญาณควบคุม ซึ่งสัญญาณควบคุมนี้ก็คือสัญญาณที่ใช้ในการเลือกการเคลื่อนที่ของมอเตอร์นั่นเอง ส่วนขดขั้วมอเตอร์นั้นจะใช้สำหรับจ่ายกระแสให้กับตัวสเต็ปปิ้งมอเตอร์

ซึ่งชุดขับมอเตอร์ (Motor Driver) จะขึ้นอยู่กับชนิดของการพันขดลวด (แบบไบโพลาร์หรือยูนิโพลาร์นั่นเอง)



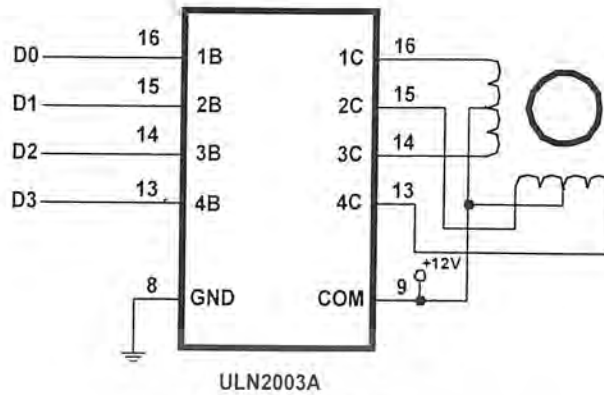
รูปที่ 2.16 ผังการทำงานของการทำงานของการเชื่อมต่อกับสเต็ปมอเตอร์

ชุดสำหรับขับมอเตอร์สามารถต่อวงจรได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้ออกแบบ สำหรับในรูปที่ 2.17 จะเป็นตัวอย่างของการขับมอเตอร์แบบไบโพลาร์ ส่วนในรูปที่ 2.18 จะเป็นตัวอย่างของการขับมอเตอร์ แบบยูนิโพลาร์



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างวงจรขับมอเตอร์ (Motor Driver) แบบไบโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การขับมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์โดยใช้ไอซีเบอร์ ULN 2003 A เป็นตัวขับกระแส

2.3 เซอร์โวมอเตอร์ (Servomotor)

ในระบบการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ โดยทั่วไปเราจะพบว่าวิธีในการทำการควบคุมอยู่หลายแบบ และหลายลักษณะด้วยกันเช่นควบคุมความเร็ว ควบคุมแรงบิด และควบคุมตำแหน่งที่เพลลาของมอเตอร์ ซึ่งโครงการนี้เป็นการควบคุมทั้งความเร็ว และการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ที่เพลลาของเซอร์โวมอเตอร์ต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญหลายส่วน เช่น ตัวดีซีมอเตอร์ ชุดเซนเซอร์ต่างๆ ชุดลิเนียร์เพลลาแอมพลิไฟต์เป็นต้น เซอร์โวมอเตอร์จะพบได้มากในงานเกี่ยวกับเครื่องจักรกลที่ทำงานอัตโนมัติ เช่น หุ่นยนต์ คอมพิวเตอร์ เครื่องมือวัดคุมต่างๆ เนื่องจากเซอร์โวมอเตอร์มีทรานสดิวเซอร์ป้อนกลับ ทำให้สามารถควบคุมตำแหน่งได้แม่นยำ

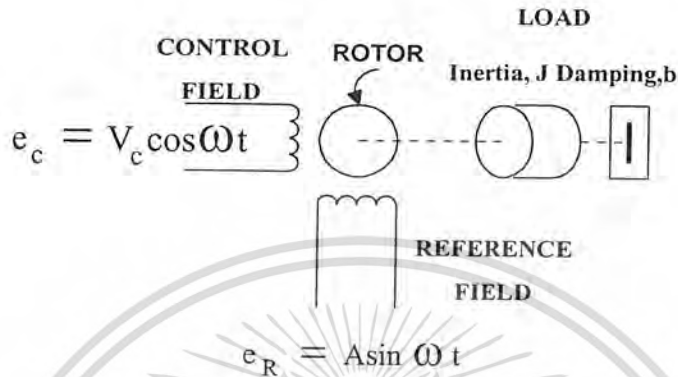
เซอร์โวมอเตอร์สามารถแบ่งตามโครงสร้างออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Servomotor) และเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Servomotor)

2.3.1 เซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Servomotor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบสองเฟส มักจะใช้กันทั่วไปในระบบคอนโทรลที่ต้องการเพียงกำลังต่ำๆ และสามารถจะปรับความเร็วได้ ข้อได้เปรียบเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่เหนือกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือสามารถใช้ร่วมกับซิงโครส (Synchros) ได้ดีโดยไม่ต้องมีการกดคีย์โมดูลเซ็นสัญญาณเออร์เรอร์

โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบสองเฟส ประกอบด้วยอินดักชันโรเตอร์และขดลวดฟิลด์จำนวน 2 ขดวางอยู่ในตำแหน่งทำมุมกัน 90 องศาทางไฟฟ้า ฟิลด์ขดหนึ่งทำหน้าที่เป็นฟิลด์อ้างอิงที่มีค่าคงที่ ส่วนอีกฟิลด์หนึ่งจะเป็นฟิลด์คอนโทรล สัญญาณเออร์เรอร์ AC ที่ได้รับการขยายแล้วจะป้อนให้กับฟิลด์คอนโทรล สัญญาณนี้จะมีขนาดของแอมกนิจูดที่แปรค่าได้ และเฟสไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็จะแปรค่าอยู่ที่ศูนย์หรือ 180 องศา ฟิวด์อ้างอิงจะได้รับการป้อนกลับด้วยโวลต์เตจที่มีค่าคงตัวที่ผ่านวงจรเลื่อนเฟสไป 90 องศา สัญญาณนี้จะมีแมกนิจูดคงที่และมุมของเฟสเป็น -90 องศา



รูปที่ 2.19 ไคอะแกรมทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบสองเฟส

2.3.2 เซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Servomotor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์ และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาร์เมเจอร์ การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

และยังแบ่งประเภทตามลักษณะการออกแบบโครงสร้างอาร์เมเจอร์ได้เป็น 3 แบบคือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาร์เมเจอร์เป็นแกนเหล็ก
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาร์มาเจอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดหมุน

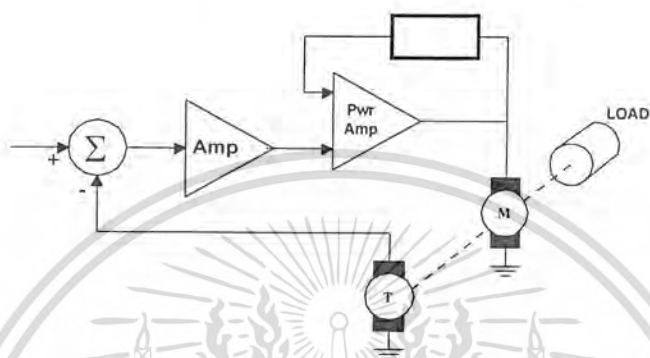
2.3.3 ทาโคเจนเนอเรเตอร์และเอนโคดเดอร์

เซนเซอร์และเอนโคดเดอร์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับในรูปแบบปิดลูป เอนโคดเดอร์มักจะใช้สำหรับตรวจสอบคุณสมบัติการทำงานจากระบบ ส่วนในระบบควบคุมแบบเปิดลูป เซนเซอร์และเอนโคดเดอร์ ใช้เป็นตัวป้อนกลับสัญญาณกลับเพื่อควบคุม เซนเซอร์แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ แบบแอนะล็อกเซนเซอร์และแบบดิจิตอลเซนเซอร์ แบบแอนะล็อกได้แก่ โปเทนซิโอมิเตอร์ ทาโคเจนเนอเรเตอร์ และซิงโครนัส ส่วนเซนเซอร์แบบดิจิตอล

ไม่ได้แก่ เอนโคดเดอร์ ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ทาโคเจนเนอเรเตอร์ (Tacho Generator)

ทาโคเจนเนอเรเตอร์เป็นเครื่องมือที่สามารถแปลงพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และให้กำเนิดเอาต์พุตโวลต์ที่คง เป็นสัดส่วนกับแมกนิจูดของความเร็วเชิงมุม ซึ่งลักษณะการทำงานของดีซีทาโคเจนเนอเรเตอร์คล้ายดีซีเจนเนอเรเตอร์



รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมของระบบการบังคับความเร็ว

2. เอนโคเดอร์ (Encoder)

ในระบบการบังคับตำแหน่งของเพลามอเตอร์ ใช้เอนโคเดอร์สำหรับรักษาตำแหน่งและสร้างสัญญาณป้อนกลับ โดยที่ตัวเอนโคเดอร์จะสร้างสัญญาณพัลส์ที่แปรผันตรงกับการหมุนของเพล ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการรับรู้ความเร็วของมอเตอร์ และตำแหน่งของเพลมอเตอร์ในรูปพัลส์ได้ เอนโคเดอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 ชนิด แบบสมบูรณ์ในตัวเอง (Absolute Encoders) และแบบไม่สมบูรณ์ในตัวเอง (Increment Encoder)

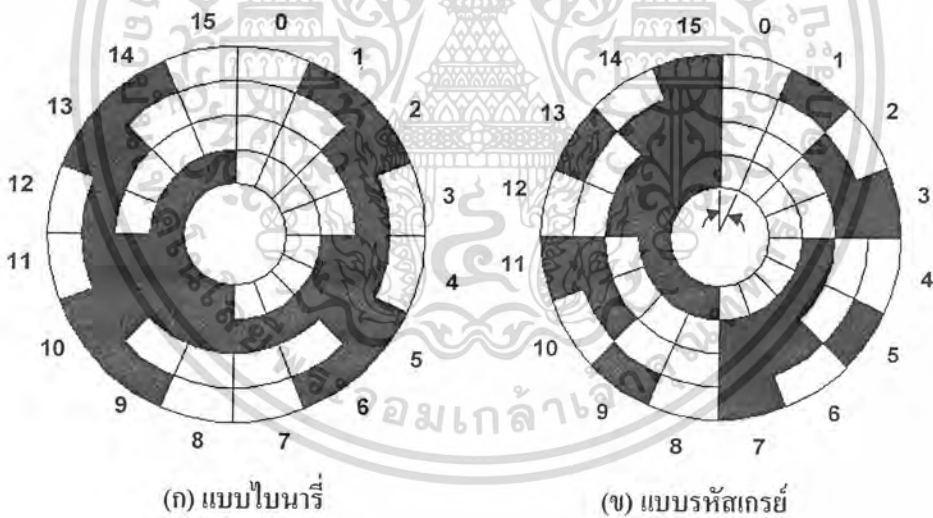
เอนโคเดอร์แบบสมบูรณ์ในตัวเอง จะใช้แสงเป็นตัวกระทบกับแผ่นจานหมุน ซึ่งยังแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ ถอดรหัสเป็นแบบไบนารี (Binary) และรหัสเกรย์ (Gray code) โดยรูปร่างภายนอกประกอบด้วย แผ่นจานกลมใสติดแถบแสงเป็นรหัสไบนารีรอบๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 เป็นเลข ไบนารีจำนวน 4 บิตหรือ 4 ช่อง ดังนั้นจำนวนคู่ของ LED และโฟโตไดโอดที่ใช้จะเป็น 4 คู่ด้วยกัน โดยติดตั้งแต่ละคู่ในแต่ละช่อง ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณจะแทนตำแหน่งมุมของแกนมอเตอร์ ซึ่งความละเอียดของตำแหน่งมุม (Angular resolution) นี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิต หรือช่องตัวเอนโคเดอร์ด้วย ดังสมการที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ ความละเอียดของตำแหน่ง $= \frac{360}{2^C}$ (2.13) การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ตัวอย่าง ถ้าต้องการออกแบบให้ความละเอียดของตำแหน่งมุมมีค่าน้อยกว่า 5 องศา จะต้องใช้จาน
 เอนโคเดอร์ที่มีจำนวนช่องอย่างน้อย 7 ช่อง ($360/2^7 = 2.81$)

ในกรณีที่ใช้รหัสไบนารีจะมีอยู่บางช่วงระหว่างการเปลี่ยนของเลข 2 จำนวน ซึ่งมีการ
 เปลี่ยนแปลงของบิตมากกว่าหนึ่งบิต เช่น การเปลี่ยนจาก 7 (0111₂) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลง
 เลขทุกบิต นั่นคือในช่วงนี้ระบบจะเกิดสถานะไม่เสถียรสามารถทำให้คอมพิวเตอร์อ่านข้อมูลผิด
 พลาดได้ เรียกเหตุการณ์นี้ว่า Race condition แต่สามารถแก้ปัญหานี้ได้ โดยออกแบบวงจรให้
 สัญญาณนาฬิกาและการอ่านข้อมูลของคอมพิวเตอร์ทำงานพร้อม ๆ กันในช่วงสถานะเสถียรเท่านั้น
 แต่การเพิ่มขึ้นของวงจรถ้าทำให้สิ้นเปลือง เอนโคเดอร์แบบไบนารีจึงไม่เป็นที่นิยมเท่าไร

ลักษณะพิเศษของการใช้รหัสเกรย์คือ ในระหว่างเลข 2 จำนวนที่ติดกันจะมีเพียงบิตเดียว
 เท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้รหัสเกรย์นี้สามารถลดความผิดพลาดเนื่องจากการอ่านของ
 คอมพิวเตอร์จากเอนโคเดอร์ได้



รูปที่ 2.21 ลักษณะของออปติคัลเอนโคเดอร์แบบสมบูรณ์ในตัวเอง

เอนโคเดอร์แบบไม่สมบูรณ์ในตัวเอง (Incremental encodes) ออปติคัลเอนโคเดอร์
 แบบนี้จะมีรูปร่างเหมือนแบบแรก แต่จะมีช่องเพียงแถวเดียวเท่านั้น ความกว้างของช่อง และระยะ
 ห่างระหว่างช่องจะเท่ากันหมด โดยจะมีช่องพิเศษเพิ่มขึ้นมาอีก 1 ช่องสำหรับอ้างอิง ซึ่งจะอยู่กั
 ้นละแถวกัน ความละเอียดของตำแหน่งมุม (ϕ) จะขึ้นอยู่กับจำนวนช่อง (n) บนแผ่นจาน สำหรับ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกว้างของโฟโตไดโอด (W_p) ที่ใช้ก็ขึ้นอยู่กับค่าความละเอียดของตำแหน่งมุม และระยะห่างจากจุดศูนย์กลางถึงโฟโตไดโอด (r) ซึ่งเป็นไปตามดังสมการที่ 2.14 และ สมการที่ 2.15

$$\phi = 360/n \quad (2.14)$$

$$W_p = r \sin (\phi / 2) = r \sin (360 / 2n) \quad (2.15)$$

ตัวอย่าง งานเอนโคเดอร์ขนาด 120 ช่อง มี $\phi = 3$ องศา ดังนั้นความกว้างของโฟโตไดโอดที่ใช้จะต้องไม่เป็น 0.26 มิลลิเมตร $r = 10$ มิลลิเมตร

จำนวน LED และโฟโตไดโอดที่ใช้จะมีทั้งหมด 3 คู่เสมอ ไม่ว่าจำนวนช่องจะมีมากหรือน้อยก็ตาม โดย 2 คู่แรกจะวางที่ตำแหน่งของช่อง และวางห่างกันเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างของช่องดังรูปที่ 2.24 เมื่อแผ่นจานหมุนสัญญาณจาก V_1 และ V_2 จะต่างเฟสกัน 90 องศาเสมอ ถ้าเป็นการหมุนตามเข็มนาฬิกาสัญญาณจาก V_1 จะนำหน้าสัญญาณ V_2 อยู่ 90 องศา เมื่อมอเตอร์หมุนแบบทวนเข็มนาฬิกาสัญญาณจาก V_1 ก็จะเปลี่ยนกลับมาเป็นล่าหลังสัญญาณ V_2 อยู่ 90 องศา ความแตกต่างนี้จะเป็นตัวชี้ถึงทิศทางการหมุนได้สำหรับ LED โฟโตไดโอดคู่ที่เหลือก็จะถูกจัดวางให้ตรงตำแหน่งของสล๊อตอ้างอิง (Reference slot) เพื่อกำหนดตำแหน่งมุมโดยการนับพัลส์ที่เกิดขึ้นเริ่มจากสล๊อตอ้างอิง

2.3.4 ลิเนียร์เซอร์โวแอมพลิไฟ (Linear servo amplify)

ในวงจรขยายกำลัง (Power amplify) ซึ่งเป็นวงจรแบบเชิงเส้นหรือที่เรียกกันว่าลิเนียร์เซอร์โวแอมพลิไฟ โดยปกติจะสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ขยายแบบลิเนียร์เช่นเดียวกับออป-แอมป์ หรือ คัพเฟอร์เคนเซียมแอมพลิไฟที่ใช้กระตุ้นภาคขยายกำลังให้ขับมอเตอร์ ภาคขยายกำลังที่มีการป้อนกลับแบบปิดลูป (close loop) เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ทั้งสองมีความเป็นลิเนียร์ ซึ่งถ้าเกิดความไม่ลิเนียร์เกิดขึ้น เนื่องจากอณูภูมิในภาคเพาเวอร์ลดลง โดยอัตราขยายรูปของระบบซึ่งจะใช้ออป-แอมป์ ซึ่งจะใช้ซัมมิง (Summing amplifier) ทำหน้าที่เป็นการชดเชยหรือสัญญาณป้อนกลับของระบบ เช่น ทาโคเจนเนอเรเตอร์ และสร้างสัญญาณเออร์เรอร์ ซึ่งจะถูกขยายโดยภาคขยายกำลัง เพื่อแก้พารามิเตอร์ให้มีค่าถูกต้อง

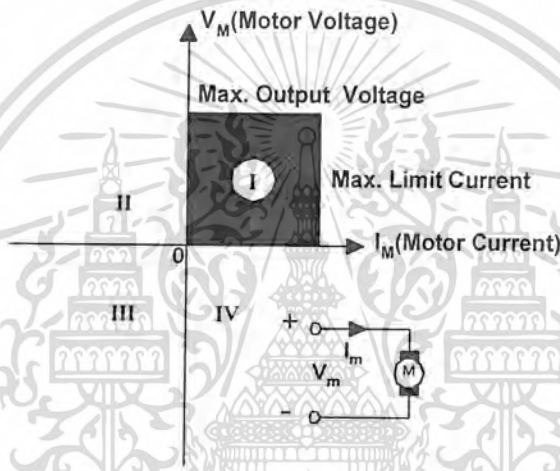
ลิเนียร์เซอร์โวแอมพลิไฟตามปกตินิยมใช้ในระบบที่มีแบนด์วิดท์ที่กว้าง และกำลังต่ำ (น้อยกว่า 200 – 300 วัตต์) และมักจะใช้สำหรับขับเคลื่อนขดลวดมอเตอร์ที่ความถี่ต่ำให้เพิ่มกระแสด้วยอัตราเร่งสูงในเวลาอันสั้น (2-3 มิลลิวินาที) ซึ่งกระแสไฟที่กำหนดไว้ของเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์อาจจะยังแบ่งได้ในทางตรงข้ามสวิตช์ซึ่งแอมพลิไฟโดยทั่ว ๆ ไป ลิเนียร์แอมพลิไฟ อาจแบ่งได้ดังนี้

1. ยูโคเร็กซ์ชั้นเนลเซอร์โวแอมพลิไฟ

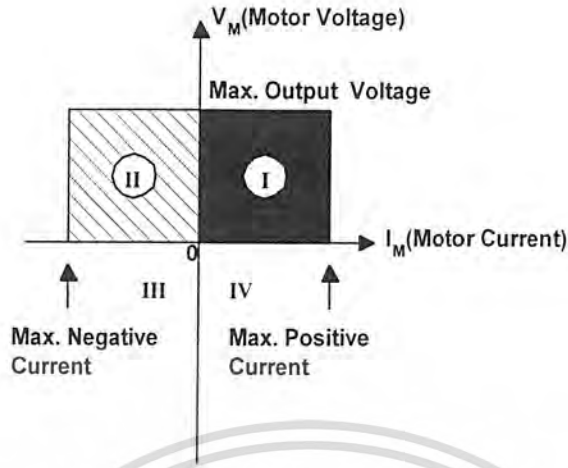
ยูโคเร็กซ์ชั้นเนลเซอร์โวแอมพลิไฟเป็นเครื่องขยายแบบง่ายที่สุดของลิเนียร์แอมพลิไฟและใช้ระบบมอเตอร์ขับให้หมุนได้ในทิศทาง นั่นคือ ลิเนียร์ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของแอมพลิไฟแบบนี้ จะทำงานอยู่ในควอดเรนต์แรกเท่านั้น และไม่สามารถให้โวลต์เตจหรือกระแสไหลกลับทิศทางได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.22



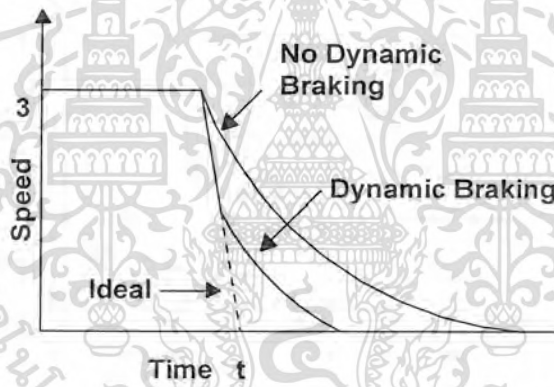
รูปที่ 2.22 ยูโคเร็กซ์ชั้นเนลแอมพลิไฟบังคับได้เพียงควอดเรนต์เดียว

เมื่อเราเพิ่มไดนามิกเบรกเข้าไปในระบบ สามารถทำยูโคเร็กซ์ชั้นเนลแอมพลิไฟทำได้สองควอดเรนต์ และการหมุนของมอเตอร์เป็นทิศทางเดียวกันแต่สามารถกลับทิศทางการไหลของกระแสของมอเตอร์ โดยตัดกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ออก และให้ทางเดินของกระแสซึ่งเกิดจากแรงดันย้อนกลับของมอเตอร์ (Motor back EMF) ในทิศทางตรงกันข้ามกระแสที่ใช้สำหรับลดความเร็วลงเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับแรงดันย้อนกลับ ดังนั้นจึงแปรผันตรงกับความเร็วของมอเตอร์ และให้คุณสมบัติสามารถลดความเร็วได้อย่างมาก เมื่อมอเตอร์หมุนอยู่ด้วยความเร็วสูงและความสามารถในการหน่วงความเร็วลงนี้จะลดลงเป็นศูนย์เมื่อมอเตอร์มีความเร็วเข้าใกล้ศูนย์ดังแสดงในรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



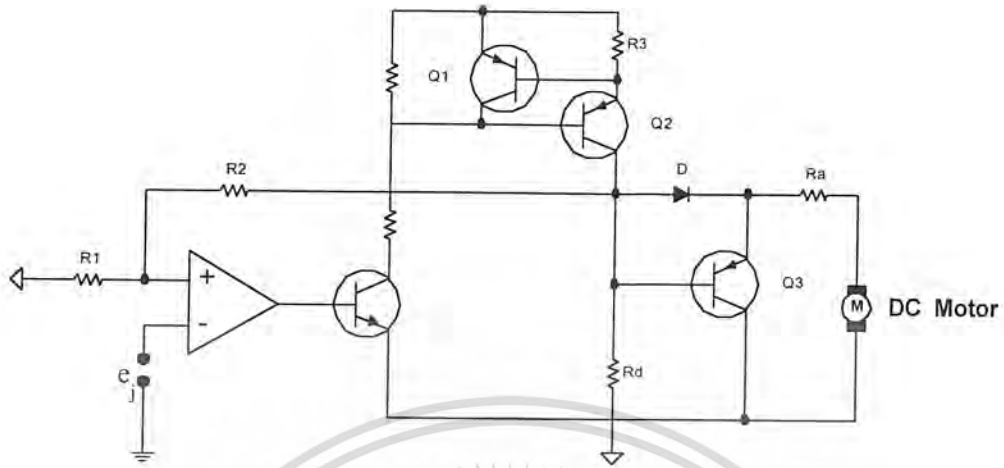
รูปที่ 2.23 ยูนิโคเร็กซ์ชั้นเนลแอมพลิไฟที่มีไดนามิกเบรก บังคับได้สองควอดเรนต์



รูปที่ 2.24 ลักษณะการลดความเร็วลงของระบบยูนิโคเร็กซ์ชั้นเนลที่มี และไม่มีไดนามิกเบรก

จากรูปที่ 2.24 จะแสดงถึงรูปลักษณะของระบบการลดความเร็วของระบบยูนิโคเร็กซ์ชั้นเนลที่มีและไม่มีไดนามิกเบรก ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของไดนามิกเบรกที่ความเร็วต่ำ ๆ จะมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



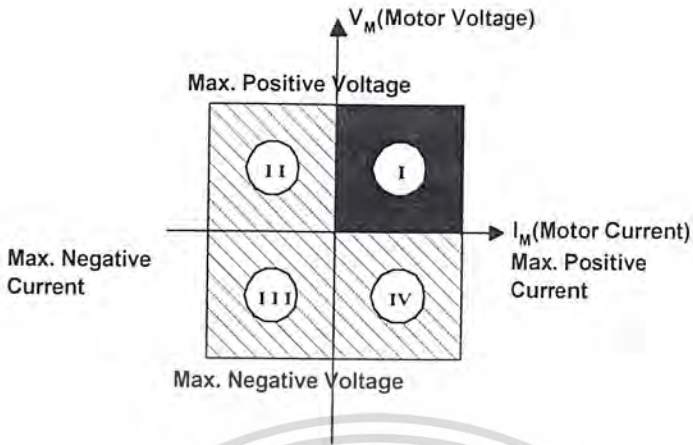
รูปที่ 2.25 ยูนิโคเร็กซ์ชั้นแอมพลิไฟที่มีไดนามิกเบรก

การออกแบบวงจรอย่างง่าย ๆ ของยูนิโคเร็กซ์ชั้นแอมพลิไฟที่มีไดนามิกเบรก เมื่อมอเตอร์ได้รับการขับเคลื่อน Q_2 จะนำกระแสไหลผ่านไดโอดเข้าไปยังมอเตอร์ Q_3 จะไม่นำกระแส เนื่องจากขาของทรานซิสเตอร์ตัวนี้เป็นบวกมากกว่าอิมิตเตอร์ เมื่อ Q_2 หยุดนำกระแสความต้านทาน R_d จะสร้างกระแสเบสให้กับ Q_3 ทำให้มันเริ่มนำกระแสในทิศทางกลับกันกับกระแสของมอเตอร์ Q_3 ในกรณีนี้กระแสเบรกจะถูกจำกัดโดยโวลต์เดจย้อนกลับและความต้านทานอาร์เมเจอร์ R_a เพื่อที่จะจำกัดกระแสของการเบรกให้มีค่าต่ำลงไปอีกก็อาจทำได้โดยใส่ตัวต้านทานระหว่างคอลเลกเตอร์ของ Q_3 และกราวด์ Q_1 เป็นเสมือนตัวจำกัดกระแสที่จะต้องเพิ่มอัตราความเร็วโคแอกกระแสเบสจาก Q_2 เมื่อโวลต์เดจจกร้อม R_3 มีค่าเข้าใกล้ $0.7/R_3$ แอมป์ และจะสังเกตได้ว่าโครงสร้างของระบบ ประกอบไปด้วย วงจรอนอินเวอร์เตอร์ออป-แอมป์ที่มีอัตราขยายโวลต์เดจเท่ากับ $(R_1/R_2)+1$ อนอินเวอร์เตอร์ออป-แอมป์ทำงานด้วยขั้วหลายขั้วเดียวจึงมีขนาดเล็ก

2. ไบโคเร็กซ์ชั้นแอมพลิไฟ

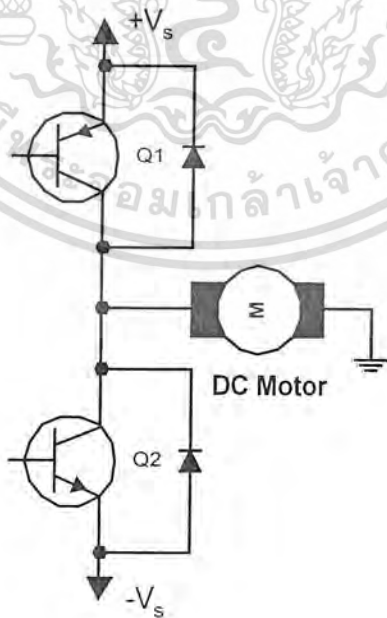
ไบโคเร็กซ์ชั้นแอมพลิไฟ สามารถทำให้มอเตอร์ทำงานได้ทั้งสองทิศทาง และมีลิเนียร์ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันตลอดถึงช่วงความเร็วเป็นศูนย์ ภาคขยายกำลังแบบนี้สามารถบังคับได้เต็ม 4 ควอดแรนต์ และสามารถป้อนโวลต์เดจ และกระแสทั้งขั้วบวก และขั้วลบให้กับมอเตอร์ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 ไบไดเรกชันแนลเซอร์โวแอมป์ลิไฟแสดงการบังคับได้เต็มทั้ง 4 ควอดรันท์

ไบโพลาร์แอมป์ลิไฟจะใช้เพาเวอร์ซัพพลายถึงสองลักษณะ สำหรับการทำงานแบบฟอร์เวิร์ด และรีเวิร์ด โวลต์เตจที่ป้อนมอเตอร์เท่ากับผลต่างระหว่างซัพพลายโวลต์เตจ ตกร่วมคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ Q_1 หรือ Q_2 ในขณะที่ตัวไดคัทหนึ่งนำกระแส ลิเนียร์แอมป์ลิไฟ โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพไม่ค่อยดีนัก โดยเฉพาะในสภาวะความเร็วต่ำและแรงบิดสูง ซึ่งในสภาวะนี้กระแสจะไหลสูง และโวลต์เตจตกร่วมเอาต์พุตทรานซิสเตอร์จะสูงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.27 ภาคเอาต์พุตของลิเนียร์ ไบ โพลาร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการพิจารณาถึงการออกแบบไบโพลาร์ก็สามารถนำไฟพิจารณาในลิเนียร์ไบโพลาร์ได้เหมือนกัน ในการคิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ที่เกิดขึ้นที่เพาเวอร์ซัพพลายลดลงเหลือครึ่งเดียวเมื่อโวลต์เตจของมอเตอร์ลดลงเป็นศูนย์ ปกติในวงจรไครเวอร์ จะเปลี่ยนการรับสัญญาณเพื่อสอดคล้องกับสัญญาณอินพุตโวลต์เตจเป็นศูนย์



รูปที่ 2.28 การคิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์

ถ้าไม่ทำให้ความผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์มีค่าต่ำสุด จะทำให้เกิดปัญหาต่างๆ หลากอย่าง ระบบควรจะได้รับ การชดเชยอย่างถูกต้อง (Critically damper) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเพียงเล็กน้อยใกล้ศูนย์ซึ่งจะทำให้ระบบมีแนวโน้มจะเกิดโอเวอร์ชูท หรือออสซิลเลทได้ในช่วงที่ความเร็วเพิ่มมากขึ้นด้วยการเพิ่มอัตราขยายของระบบไปจากศูนย์ การผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์เป็นปัญหาวิกฤตในระบบการบังคับตำแหน่ง ซึ่งระบบจะต้องให้แรงบิดที่ยืดคงที่เพื่อให้อัตราการหมุนอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์คือมอเตอร์หยุดหมุน ดังนั้นอัตราขยายของภาคขยายกำลังจะมีค่าต่ำ เนื่องจากผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ ส่วนอัตราขยายที่ตำแหน่งอื่นในระบบต้องมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อให้อัตราขยายดูปที่ตำแหน่งนั้นๆ มีค่าเหมาะสม ผลที่เกิดขึ้นนี้เป็นปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบคือ ทันทึที่สัญญาณความแตกต่างของตำแหน่งมีค่าสูงอย่างเพียงพอ เพื่อลดการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ อัตราขยายของระบบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้เกิดภาวะของโอเวอร์ชูทนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

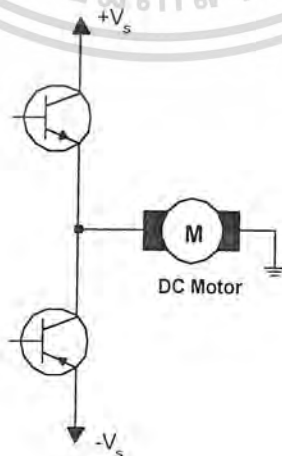
2.4 หลักการออกแบบภาคขยายกำลัง

การเลือกเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ และโครงสร้างที่ใช้ในการออกแบบภาคขยายกำลังควรจะได้ทำการพิจารณาถึงส่วนที่สำคัญดังต่อไปนี้คือ

2.4.1 การเลือกอุปกรณ์เอาต์พุต

ก่อนที่จะเลือกอุปกรณ์เอาต์พุตทรานซิสเตอร์ควรพิจารณาจุดสำคัญต่อไปนี้

1. ความต้องการกระแสและโวลต์เตจสูงสุดของมอเตอร์ โวลต์เตจเพาเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) ที่ยังไม่ได้เรกูเลต (Regulate) ควรจะทนสภาพการแปรไปของโวลต์เตจในสายส่งได้มากกว่า ± 10 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่า V_{CE0} ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เลือกใช้ควรมีค่าสูง
2. กระแสยอดสูงสุดของการเพิ่มอัตราความเร็ว หรือการลดอัตราความเร็วลงต้องการช่วงเวลาานเท่าไร ต้องใช้อุปกรณ์ที่ทำงานในช่วงการทำงานที่ปลอดภัย การเบรกควาน์ครั้งที่สองจะเป็นโวลต์เตจผลึกดันในช่วงเวลาการลดอัตราความเร็วจะเป็นการบังคับให้ใช้เอาต์พุตทรานซิสเตอร์ที่มีเพาเวอร์สูงขึ้นมากกว่ากระแสยอดสูงสุดของธรรมดาที่ต้องการ
3. แบนด์วิดท์ที่ภาคขยายกำลังต้องการ แบนด์วิดท์อาจกำหนดโดยตัวลิมิตกระแสในช่วงความเร็วที่ต้องการ ปกติมักจะใช้ทรานซิสเตอร์ที่ต่ำที่สุด ซึ่งให้แบนด์วิดท์ตามความต้องการมากกว่า ส่วนที่จะให้ได้ตามคุณสมบัติของการเบรกควาน์ครั้งที่สองด้วย แล้วเป็นการยากลำบาก
4. การออกแบบจะเป็นแบบไบโพลาร์ หรือแบบบริดจ์ซัพพลาย ที่ใช้เป็นแบบลักษณะสองขั้วหรือเปล่า การพิจารณาถึงฟอร์เวอร์สเบรกควาน์ครั้งที่สอง ในช่วงเวลาลดอัตราความเร็วทำให้บริดจ์แอมพลิไฟมีจุดที่น่าสนใจ บริดจ์ต้องการ $V_{CE0}/2$ สำหรับเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ต่ำกว่าแบบไบโพลาร์ครึ่งหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.29 การออกแบบภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์

2.4.2. การออกแบบภาคเอาต์พุต

โดยทั่วไปผู้ออกแบบมีโอกาสเลือกการออกแบบภาคขยายกำลังเอาต์พุตได้ 2 ลักษณะคือแบบโครงสร้างมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์ดังแสดงในรูปที่ 2.30 ใช้ NPN และ PNP เอาต์พุตทรานซิสเตอร์ในการจัดวงจรที่สมมาตรกัน



รูปที่ 2.30 การออกแบบภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนเพียงกิ่งเดียว

ภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์เพียงกิ่งเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.30 มีลักษณะเป็นอินเวอร์ตาร์ลิงตัน (Inverse Darlington) ประกอบด้วยเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ NPN และ ไครเวอร์ PNP เลียนแบบการทำงานของเอาต์พุตทรานซิสเตอร์

ภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์ มีความสะดวกในการออกแบบ และมีคุณสมบัติที่สมมาตรกัน โดยเฉพาะอัตราขยาย และแบนด์วิดท์ส่วนภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์เพียงกิ่งเดียวจะสามารถใช้ทรานซิสเตอร์ทั้งหมดเป็น NPN ได้ในภาคเอาต์พุตซึ่งตามปกติมีราคาถูกกว่า PNP และอาจทำงานได้ไม่ค้อยดีนัก

การต่อเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ขนานกันกระทำได้ง่ายในการออกแบบภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบที่เต็มบริบูรณ์ ซึ่งต้องการเพียงตัวความต้านทานที่ทรานซิสเตอร์ขาอิมิตเตอร์ ซึ่งมีค่าของความต้านทานให้โวลต์เตจตกคร่อมประมาณ 0.7 โวลต์ที่กระแสคอลเล็กเตอร์ไหลสูงสุด เอาต์พุตทรานซิสเตอร์ มีลักษณะเป็นคู่ (Complementary Pair) สามารถเพิ่มการประกอบที่เต็มบริบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การพิจารณาถึงอัตราขยายแบนด์วิดท์

ในภาคขยายกำลังที่มีโพล (Pole) เพียงตัวเดียวอัตราขยายก็จะลดลงตามความถี่ด้วย สโลป 6db/octave ผลคูณของอัตราขยายและแบนด์วิดท์ที่มีค่าคงที่ ถ้าหากแบนด์วิดท์มีการบังคับได้ทำให้มีผลกระทบตามมาคือ อัตราขยายก็จะสามารถบังคับได้ด้วย เนื่องจากภาคขยายกำลังโดยทั่วไปจะออกแบบให้มีรูปการป้อนกลับภายในรูปหนึ่งเพื่อรักษาสภาพของอัตราขยายแรงดันหรืออัตราขยายกระแสให้คงที่



รูปที่ 2.31 โครงสร้างภาคเอาต์พุตที่มีการบังคับอัตราขยาย

เทคนิคต่อไปดังแสดงในรูปที่ 2.31 มีการบังคับอัตราขยายโวลต์เตจแบบบิตูลูป และมีการบังคับอัตราขยายกระแสโครงสร้างแบบ Current mirror ภาคของการไดรเวอร์ และภาคเอาต์พุตช่วยกำจัดระลอก (Ripple) ในเพาเวอร์ซัพพลาย

ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ประกอบกันเป็น Current mirror เช่นเดียวกันกับ Q_3 และ Q_4 ถ้าได้กระแสขับจาก Q_1 ที่เหมาะสม กระแส I_o จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ I_1

$$I_o = \frac{I_1 R_b}{R_s} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยายโวลต์เตจของระบบ $\frac{V_m}{V_i}$ บังคับโดย R_1 และ R_2 (ไม่มีค่า V_{bm} ตกคร่อม Q_1 และ Q_2) ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 จะมีค่าเท่ากับตัวต้านทานป้อนกลับในวงจรมอนอินเวอร์เตอร์ ออป - แอมป์ ดังนั้น

$$\frac{V_m}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (2.17)$$

ดังนั้น โวลต์เตจเปิดลู่อัตราขยายของภาคเอาต์พุตบังคับ ได้อย่างดีด้วยตัวเองทำให้ระบบไม่อยู่ในอิทธิพล ของการเปลี่ยนแปลงของทรานซิสเตอร์ พารามิเตอร์ และซัพพลายโวลต์เตจ เนื่องจาก Current mirror ทำให้แน่ใจว่ากระแสเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันกับกระแสของภาคบังคับเท่านั้น ระบบจริงไม่ขึ้นอยู่กับการแปรซัพพลายและ B ดังนั้นแอมพลิไฟร์แบบนี้จึงสามารถทำงานได้ในย่านที่มีการแปรค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ในช่วงกว้างโดยการทำงานของเพาเวอร์ซัพพลาย และ ไดรเวอร์ทรานซิสเตอร์

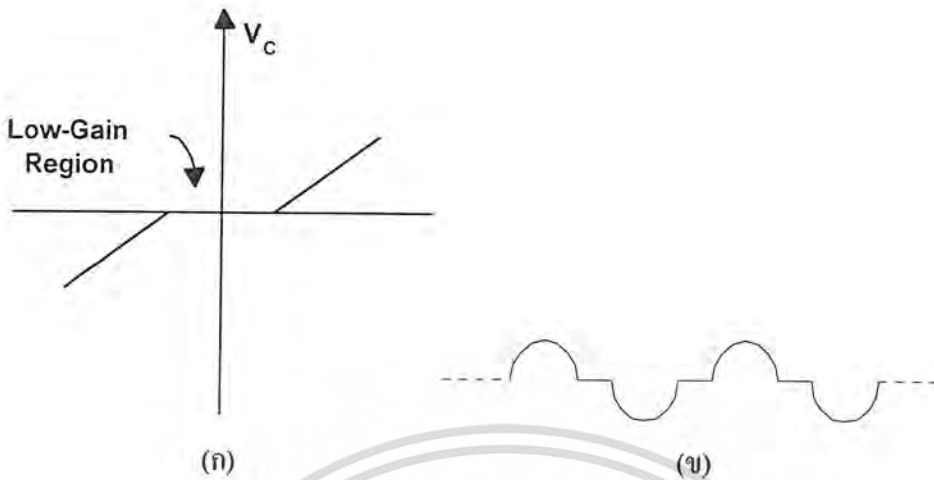
2.4.4 การผิดเพี้ยนในภาคขยายกำลัง

การผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ หรือเรดเบนดมักจะถูกเรียกกันทั่วไปว่าเป็นบริเวณที่มีอัตราขยายต่ำ (อัตราขยายเป็นศูนย์) อยู่ที่จุดเอาต์พุตโวลต์เตจเป็นศูนย์สาเหตุจากเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ นำกระแสได้ต่ำหรือสูญเสียการนำกระแส ปกติปัญหานี้จะเกิดขึ้นเนื่องจากโวลต์เตจซึ่งถูกขับโดยสัญญาณขับอินพุตให้โวลต์เตจตกคร่อมอิมิตเตอร์ - เบสมีค่ามากกว่าจึงสามารถเริ่มนำกระแสได้

ขณะที่ V_i มีการเปลี่ยนแปลง Q_1 และ Q_2 จะไม่นำกระแสจนเท่าที่ $-V_{bi} < V_i < V_{bm}$ ดังนั้นเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ Q_2 และ Q_1 ก็จะไม่นำกระแสขณะที่ V_i จะมากกว่าค่าโวลต์เตจตกคร่อม V_{bm} ของ Q_1 หรือ Q_2 ทรานซิสเตอร์เอาต์พุตดังกล่าวยังไม่นำกระแสจนกว่ากระแสของไดรเวอร์มีเพียงพอที่จะทำให้ $I_1 R_1$ มีค่ามากกว่า V_{bm} (0.7 V) ของเอาต์พุตทรานซิสเตอร์

แม้ว่าการพิจารณาที่กล่าวมาจะมุ่งไปที่การออกแบบไบโพลาร์เป็นสัญญาณ แต่สามารถนำไปพิจารณาในลิเนียร์บริดจ์ได้เช่นกัน การผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ในบริดจ์เกิดที่เพาเวอร์ซัพพลายจะลดค่าลงเหลือเพียงครึ่งเดียว เมื่อเอาต์พุตโวลต์เตจของบริดจ์เท่ากัน และโวลต์เตจของมอเตอร์ให้เป็นศูนย์ วงจรไดรเวอร์เปลี่ยนการขับสัญญาณให้สอดคล้องกับสัญญาณอินพุตโวลต์เตจเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 (ก) ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของการคิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์

(ข) การคิดเพี้ยนของเอาต์พุตเมื่อสัญญาณอินพุตเป็นลูกคลื่นซายน์

จากรูปที่ 2.32 (ก) และ (ข) แสดงถึงผลของการคิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ที่มีการคิดเพี้ยนของเอาต์พุตเมื่ออินพุตเป็นคลื่นซายน์ สังเกตได้ว่าอัตราการขยายของระบบจะลดลงเกือบจุดศูนย์

ถ้าไม่ได้ทำคิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ค่าต่ำสุดจะทำให้เกิดปัญหาต่างๆ หลายอย่าง ระบบควรจะได้รับ การชดเชยอย่างถูกต้อง (Critically damped) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเพียงเล็กน้อยใกล้ศูนย์ซึ่งจะทำให้ระบบมีแนวโน้มจะเกิด โอเวอร์ชูท หรือออสซิลเลตได้ในขณะที่ความเร็วเพิ่มมากขึ้นด้วยการเพิ่มอัตราการขยายของระบบไปจากศูนย์

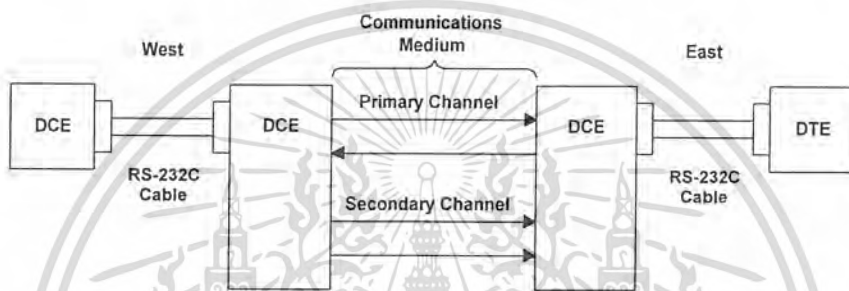
การคิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์เป็นปัญหาวิกฤต ในระบบบังคับตำแหน่งซึ่งระบบจะต้องใช้แรงบิดที่ยืดคงที่เพื่อให้ออเตอร์อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ (ความเร็วเป็นศูนย์) ดังนั้นอัตราการขยายของแอมพลีไฟด์จะมีค่าต่ำที่สุดนี้ เนื่องจากการคิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ส่วนอัตราการขยายที่ตำแหน่งอื่นในระบบต้องมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้อัตราขยายที่ตำแหน่งนั้นๆ มีค่าที่เหมาะสมผลที่เกิดขึ้นนี้เป็นปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบคือ ทันทีที่สัญญาณความแตกต่างของตำแหน่งมีค่าสูงอย่างเพียงพอเพื่อลดการคิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ อัตราขยายของระบบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้เกิดภาวะของ โอเวอร์ชูทหรือออสซิลเลชั่นขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

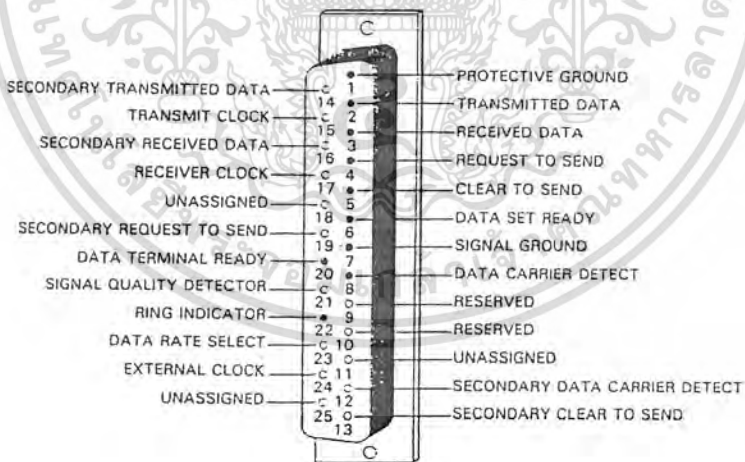
2.5 การอินเทอร์เฟซ RS-232C

2.5.1 แบบจำลองของวงจรการสื่อสารแบบ RS-232C

ตามข้อกำหนด RS-232C บอกรหัสการเดินสายในเคเบิลที่ต่อระหว่าง DTE (Data Terminal Equipment) กับ DCE (Data Communication Equipment) ดังแสดงในรูปที่ 2.33 เป็นสายเคเบิลที่ต่อกับปลั๊ก 25 ขา ที่เสียบเข้ากับคอนเนคเตอร์ Serial port ที่หลัง PC หรืออุปกรณ์ปลายทางต่างๆ ปลั๊กนี้มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.33 แบบจำลองวงจรการสื่อสารที่ใช้ RS-232C



รูปที่ 2.34 ขั้วต่อตัวเมียของ RS-232C

ประการแรกกำหนดระดับโวลต์เตจ และคุณสมบัติทางไฟฟ้าอย่างอื่นของสายในเคเบิล พร้อมทั้งอธิบายหน้าที่ของมันซึ่งจะได้กล่าวถึงหัวข้อต่อไป และเพื่อที่จะให้เข้าใจ DTE จำเป็นต้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขประโยชน์ด้านการค้า เข้าใจแบบจำลอง หรือรูปแสดงแนวความคิดของตัวเองกลางการสื่อสารที่ใช้ในข้อกำหนด RS-232C ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบจำลองนี้แสดงในรูปที่ 2.34 ต่อไปเมื่อก้าวถึงอุปกรณ์ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือ และขวามือของตัวกลางการสื่อสารจะอ้างว่าเป็นอุปกรณ์ด้านตะวันตก และด้านตะวันออกตามลำดับ

ตัวกลางการสื่อสารประกอบด้วย ช่องสัญญาณหลัก (Primary Channel) และช่องสัญญาณรอง (Secondary Channel) ช่องสัญญาณนั้นเป็นช่องทาง (Pipeline) ที่สัญญาณไหลผ่านเท่านั้น ดังนั้นช่องสัญญาณหลักและช่องสัญญาณรองนั้นอาจจะมิอยู่ในคู่สายเดียวกัน หรือคนละคู่ก็ได้

เกี่ยวเนื่องกับช่องสัญญาณก็คือแนวความคิดเรื่อง คลื่นพาห์ (Carrier) คลื่นพาห์คือสัญญาณแอนะล็อก (ปกติเป็นคลื่นรูปไซน์) ที่มีความถี่ที่เหมาะสมที่จะเคลื่อนผ่านตัวกลางการสื่อสารไปสู่ตัวพาห์เป็นตัวบรรทุกข้อมูลที่เรียกว่า มอดูเลทข้อมูล เพื่อนำข้อมูลผ่านตัวกลางการสื่อสารไปสู่จุดหมายวิธีการมอดูเลทหลายวิธี

ในแต่ละช่องสัญญาณ มีสัญญาณคลื่นพาห์ 2 สัญญาณ แต่ละสัญญาณจะใช้สำหรับการส่งแต่ละทิศทาง ถ้าคลื่นพาห์ทั้งสองสามารถใช้พร้อมกันได้ ช่องสัญญาณก็จะเป็นชนิดฟูลดูเพล็กซ์ แต่ถ้าต้องใช้สลับเลากัน ช่องสัญญาณนั้นจะเป็นชนิดฮาล์ฟดูเพล็กซ์

ช่องสัญญาณมีค่าความจุ ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนบิตต่อวินาทีที่มากที่สุดที่ช่องสัญญาณยอมให้ตัวมันผ่านตัวมันไปได้ ช่องสัญญาณรองไม่จำเป็นต้องมีใช้ แต่ถ้ามีอยู่แล้วค่าความจุ (ความเร็ว) ของมันน้อยกว่าค่าความจุของช่องสัญญาณหลัก เพราะไม่เช่นนั้นก็จะไม่มีความแตกต่างระหว่างช่องสัญญาณหลักกับช่องสัญญาณรอง ข้อกำหนด RS-232C กำหนดว่ามันไม่สามารถจะประยุกต์ใช้ได้กับตัวกลางการสื่อสารที่ค่าสูงกว่า 20,000 บิตต่อวินาที

RS-232C ปล่อยให้เลือกรูปแบบอย่างไรให้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ เป็นต้นว่า

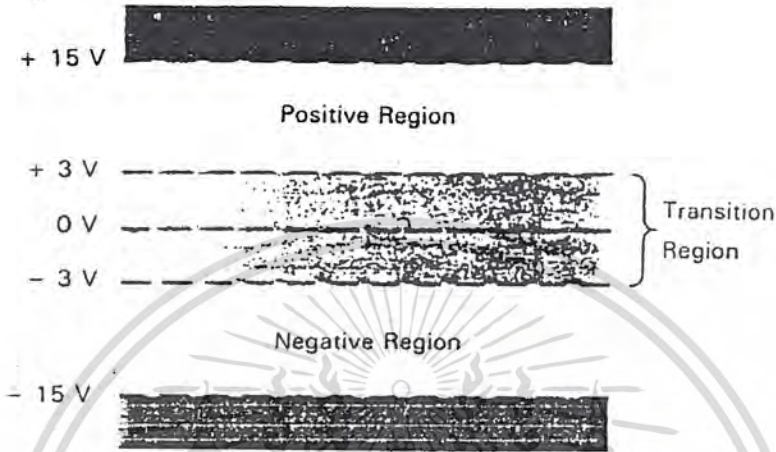
- ช่องสัญญาณจะเป็น ฮาล์ฟ หรือ ฟูลดูเพล็กซ์
- ตัวกลางการสื่อสารจะเป็นแบบสวิตซ์หรือแบบเช่าเฉพาะ
- ช่องสัญญาณเป็นแบบซิงโครนัสหรืออะซิงโครนัส
- ช่องสัญญาณรองจะมีหรือไม่

เหล่านี้ล้วนแล้วแต่ผู้ออกแบบจะต้องการอย่างไรก็ได้ ผลคือจำนวนสายเคเบิล RS-232C ที่ใช้ควบคุม DCE จะถูกใช้ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบ บางทีอาจจะไม่มีแบบหนึ่งแบบใดเลยก็ได้ที่ใช้สายครบหมดทุกสายตาม RS-232C

2.5.2 ข้อกำหนดทางไฟฟ้าของ RS-232C

มีรายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติของสัญญาณไฟฟ้าบนสายแต่ละสายในเคเบิล RS-232C มากมายแต่เพราะใช้เกี่ยวกับสัญญาณไบนารี ข้อจำกัดเกี่ยวกับโวลต์เตจจึงถูกกำหนดลงในสองบริเวณ ดังแสดงในรูปที่ 2.35 บริเวณบวก (Positive Region) อยู่ระหว่าง +3 โวลต์ ถึง +15 โวลต์ และบริเวณลบ (Negative Region) -3 โวลต์ ถึง -15 โวลต์ บริเวณระหว่าง -3 ถึง 3 โวลต์ ถือเป็น

บริเวณเปลี่ยนสถานะ (Transition Region) มีข้อกำหนดให้สัญญาณจะมีสถานะบริเวณนี้ได้ไม่เกิน 1 มิลลิวินาที ในบริเวณเปลี่ยนสถานะนี้จะไม่มีการกำหนดสถานะภาพให้กับสัญญาณแต่อย่างใด



รูปที่ 2.35 ระดับ โวลต์เตจของสัญญาณ RS-232C กำหนดใช้

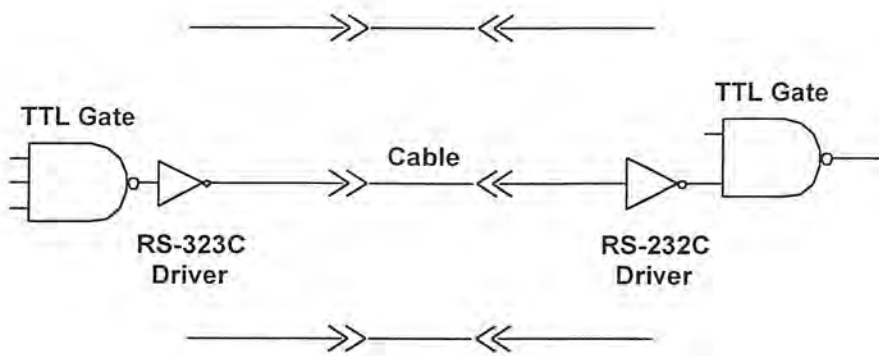
บริเวณเหล่านี้ใช้เกี่ยวข้องกับสถานะไบนารีของสัญญาณที่เป็นเอกเทศ การแปลความหมายของระดับ โวลต์เตจขึ้นอยู่กับหน้าที่ของสาย ซึ่งกำหนดแบ่งไปตามตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 หน้าที่ของสายและความหมายของโวลต์เตจที่กำหนดให้

WIRE FUNCTION	VOLTAGE LEVEL	
	Positive	Negative
Delta	SPACE(0)	MARK(1)
Modem Control & Timing	On (asserted)	Off (negated)

เนื่องจากระดับ โวลต์เตจดังกล่าวไม่พอเหมาะจะใช้กับTTL ดังนั้นอินเทอร์เฟซคู่สายเคเบิล RS-232C จึงต้องการวงจรภาคขับ และภาครับเป็นพิเศษดังแสดงในรูปที่ 2.36 ภาคขับ และภาครับนี้สามารถหาได้ในรูป IC ตามท้องตลาดทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 วงจรอินเทอร์เฟซ RS-232C

RS-232C นั้นจำกัดค่าความจุไฟฟ้าของสายสัญญาณ (วัดเทียบกราวด์) อย่างมากที่สุดคือ 2,500 pF สำหรับสายเคเบิลที่มีฉนวน และช่องว่างระหว่างสายอย่างสม่ำเสมอทั่วไป สายยาวประมาณ 50 ฟุต จะมีค่าความจุไฟฟ้าประมาณนั้น ดังนั้นถ้าไม่ใช่สายชนิดพิเศษแล้ว ระยะห่างมากที่สุดระหว่าง DTE และ DCE คือ 50 ฟุต หรือประมาณ 15 เมตร

2.5.3 ขาขั้วต่อ RS-232 C และหน้าที่การทำงาน

ตารางที่ 2.9 แสดงรายการขาขั้วต่อของ RS-232C และชื่อสัญญาณที่ใช้ร่วมกับขาขั้วต่อนั้น คอลัมน์ขวามือสุดเป็นชื่อที่ใช้เรียกขานนั้นๆ (ชื่อย่ออย่างไม่มีการกำหนดมาตรฐานใช้เรียกโดยสากล) ในหัวข้อนี้จะขอให้ข้อมูลเกี่ยวกับขาต่างๆ โดยจัดอธิบายเป็นกลุ่มตามประเภทของสัญญาณ และหน้าที่ต่างๆ ของขาสัญญาณ

ขาที่ 1 และขาที่ 7 เป็นขากราวด์ โดยขาที่ 1 เป็นขากราวด์ของเครื่องเพื่อวัตถุประสงค์หลักในการป้องกันสัญญาณรบกวน โดยรอบ และลดการสอดแทรกของสัญญาณอื่นจะเกิดขึ้นได้ ขาที่ 7 เป็นขากราวด์ซึ่งใช้เพื่อต่อให้เกิดเส้นทางหรือจุดอ้างอิงร่วมของสัญญาณทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นข้อมูล, สัญญาณนาฬิกา หรือสัญญาณควบคุมต่างๆ ขาที่ 7 จำเป็นต้องต่อระหว่าง DTE และ DCE เพื่อเครื่องทำงานร่วมกันได้อย่างถูกต้อง การต่อกราวด์ขาที่ 7 นี้ ควรระมัดระวังเรื่องความต่างศักย์อันเนื่องมาจากความต้านทานของสายด้วย ถ้ากราวด์ไม่ดีมักจะเป็นสาเหตุทำให้การรับข้อมูลมาตีความหมายไม่ถูกต้องได้ ขาที่ 2 และขาที่ 3 เป็นขาสำหรับส่ง และรับข้อมูลตามลำดับ คำว่าส่งหรือรับในที่นี้ให้ยึดเอาตัว CPU และ DTE เป็นหลักกว่าเป็นผู้ส่งหรือผู้รับ ตามเกณฑ์ของ RS-232C DTE จะส่งข้อมูลออกมาที่ขา 2 และรับข้อมูลจากขาที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 การกำหนดขาขั้วต่อ RS-232C

Pin	Signal Name	Direction		
		DTE	DCE	
1	PROTECTION (FRAME) GROUND			
2	TRANSMIT DATA	→		XMT
3	RECEIVE DATA	←		RCV
4	REQUEST TO SEND	→		RTS
5	CLEAR TO SEND	←		CTS
6	DATA SET READY	←		DSR
7	SIGNAL GROUND (COMMON RETURN)			GRD
8	CARRIER DETECT	←		CAR_DET
9	-			
10	-			
11	-			
12	SECONDARY CARRIER DETECT	←		SEC_CAR_DET
13	SECONDARY CLEAR TO SEND	←		SEC_CTS
14	SECONDARY TRANSMIT DATA	→		SEC_XMT
15	TRANSMIT CLOCK (DCE SOURCE)	←		XMT_CLK
16	RECONDARY RECEIVE DATA	←		SEC_RCV
17	RECEIVE CLOCK	←		RCV_CLK
18	-			
19	SECONDARY REQUEST TO SEND	→		SEC_RTS
20	DATA TERMINAL READY	→		DTR
21	SIGNAL QUALITY DETECTOR	←		SQD
22	RING INDICATOR	←		RI
23	DATA RATE SELECTOR	→		DR_SEL
24	TRANSMIT CLOCK (DTE SOURCE)	→		XMT_CLK
25	-			

ขาที่ 4 และขาที่ 5 คือ ขา RTS และ CTS สัญญาณแบบขา 4 นั้น DTE ใช้แสดงต่อ DCE เมื่อต้องการจะส่งข้อมูล สัญญาณ RTS นี้อาจใช้เพื่อเปิดเครื่อง DTE จะไม่ส่งข้อมูลจนกระทั่งได้รับสัญญาณ CTS บนขา 5 จาก DCE ซึ่ง CTS เป็นสัญญาณตอบรับจาก DCE ว่าตัว DCE นั้นพร้อมรับการสื่อสารแล้ว ในกรณีที่ DCE มีความพร้อม และเตรียมคลื่นพาห์ที่จะใช้ในการส่งข้อมูลอยู่แล้ว ก็ไม่มีความจำเป็นจะต้องหน่วงเวลาระหว่าง RTS และ CTS

ขาที่ 6 และขาที่ 20 เป็นขา DSR และ DTR สัญญาณ DSR นั้น DCE ใช้แจ้ง DTE ให้รู้ว่าได้เปิดเครื่องรอกอยู่แล้ว และไม่ได้อยู่ในโหมดทดลอง(Test Mode) คือ ชุดสื่อสาร(Communication Set) นั้นเตรียมพร้อมอยู่แล้ว สัญญาณ DTR นั้นใช้เพื่อ DTE แจ้ง DCE ในการพร้อมเปิดเครื่องที่จะตอบรับการสื่อสารที่จะผ่านเข้ามาแล้ว

ขาที่ 8 เป็นขาที่ใช้ในการตรวจจับการรับสัญญาณจากสาย บางครั้งอาจจะเรียกว่า Data Carrier Detect แทนคำว่า Carrier Detect ที่ใช้ในตารางที่ 2.9 การส่งข้อมูลโดยตรงระหว่าง DTE ต่อ DTE ขาที่ 8 นั้นปกติจะถูกต่อโดยตรงกับขาที่ 20

ขาที่ 22 เป็นขา RI (Ring Indicator) สัญญาณนี้เป็นสัญญาณที่ DCE บอก DTE ว่ามีการเรียกโทรศัพท์เข้ามา ตามปกติโมเด็มจะถูกออกแบบให้เสมือนต่อโดยตรงอยู่กับสายโทรศัพท์ การค้าไม่มีการใช้โมเด็มเป็นแบบตอบรับอัตโนมัติโมเด็มจะมีความสามารถในการตรวจรับสัญญาณเรียกใช้

เข้ามาทางโทรศัพท์ได้ และจะส่งสัญญาณ RI สู่ DTE ในขณะที่มีสัญญาณเรียก (Ringing tone) เข้ามา และโมเด็มจะทำการตอบรับโดยจัดวางวงจรเสมือนมีการยกหูโทรศัพท์รับ เมื่อได้รับคำสั่งจาก DTE ซึ่งปกติ DTE จะให้โมเด็มตอบรับการสื่อสารนั้นโดยใช้สัญญาณ DTE ส่งผ่านขาที่ 20

ตามปกติสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์เล็กๆ ตามท้องตลาด มักจะเกี่ยวข้องกับขาขั้วต่อ 10 ขา ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นสำคัญ ขาอื่นๆ นั้นมีความสำคัญรองลงไป

ขาที่ 15, 17, 21, 22 และ 24 นั้นจะใช้เมื่อทำงานแบบซิงโครนัส เพราะทางด้านส่งจะต้องส่งข้อมูลบางอย่าง (0 หรือ 1) ที่แต่ละช่องเวลาบิต (Bit Time) โมเด็มจะควบคุมจังหวะสัญญาณนาฬิกาจาก DTE และในทำนองเดียวกันโมเด็มที่ทำหน้าที่รับก็จะต้องส่งบิตข้อมูล และจังหวะสัญญาณนาฬิกาเข้ามาด้วยกันออกมาด้วย ขาที่ 15 และ ขาที่ 17 จะใช้สนองความต้องการเหล่านี้ และในกรณีที่สัญญาณควบคุม ไม่ได้เกิดจากโมเด็มทางด้านเครื่องส่ง เช่น ในกรณีที่มีการมัลติเพล็กซ์ร่วมกับสถานีอื่น จะใช้การควบคุมผ่านทางขาที่ 24 และสำหรับขาที่ 21 นั้น จะใช้เพื่อแสดงว่าคลื่นพาห์ที่รับเข้ามานั้นมีคุณสมบัติเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ก่อนแล้ว

ขาที่ 23 ใช้เพื่อส่งสัญญาณเลือกอัตราการส่งสัญญาณข้อมูล ในกรณีที่บางชนิดสามารถเปลี่ยนอัตราส่งข้อมูลได้จะใช้ขาที่ 23 นี้เป็นตัวคอยควบคุมอัตราการส่งข้อมูลที่ใช้ขึ้นเป็นปกติทางด้านส่งจะเป็นตัวเลือกอัตราการส่งข้อมูลนี้ จะแจ้งให้ทั้ง DTE ด้านส่ง และด้านรับให้บอก DTE ด้านรับอีกต่อหนึ่ง

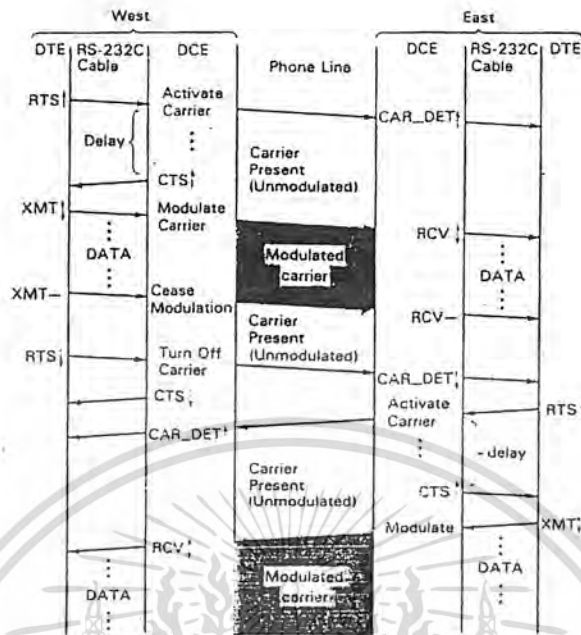
ขาที่ 12, 13, 14, 16 และ 19 เป็นขาสัญญาณที่ใช้กับช่องสัญญาณรอง โมเด็มบางเครื่องจะมีช่องสัญญาณใช้สองช่องคือ ช่องสัญญาณหลัก และช่องสัญญาณรอง ขาทั้ง 5 ขาของช่องสัญญาณรองนั้นมีหน้าที่เหมือนกับที่ทางช่องสัญญาณหลัก ต่างกันแต่ว่าอัตราการส่งสัญญาณทางช่องสัญญาณรองนั้น ปกติมักจะช้ากว่าอัตราการส่งสัญญาณหลัก และช่องสัญญาณรองนั้นจะมีทิศทางการส่งสัญญาณสวนทิศทางของช่องสัญญาณหลัก

ลักษณะของข้อมูลที่ส่งผ่านอินเทอร์เฟซ RS-232C นั้นเป็นการส่งแบบลำดับอาจจะเป็นแบบอะซิงโครนัส หรือแบบซิงโครนัสก็ได้ ขึ้นอยู่กับ DTE

2.5.4 การควบคุมคลื่นพาห์และการส่งข้อมูล

กระบวนการควบคุมคลื่นพาห์ และการส่งข้อมูลสามารถอธิบายให้เข้าใจได้ง่าย โดยใช้รูปที่ 2.38 ในรูปนี้ใช้เครื่องหมายลูกศรที่พุ่งลงแสดงการปิดการเลือกสัญญาณ เครื่องหมายอักษรสองหัวชี้ขึ้น และลงแสดงถึงการเริ่มรับส่งข้อมูลการส่งข่าวสาร และการตอบรับได้แสดงโดยลูกศรที่พุ่งผ่านข้ามช่องการสื่อสาร โดยเวลาที่ผ่านไปนั้น แสดงโดยการเลื่อนลงในแนวตั้งของรูปบล็อกไดอะแกรมนั้น เครื่องหมายขีด (-) แสดงสถานะสงบ (Quiescent)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 การควบคุมคลื่นพาห้ในระบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์

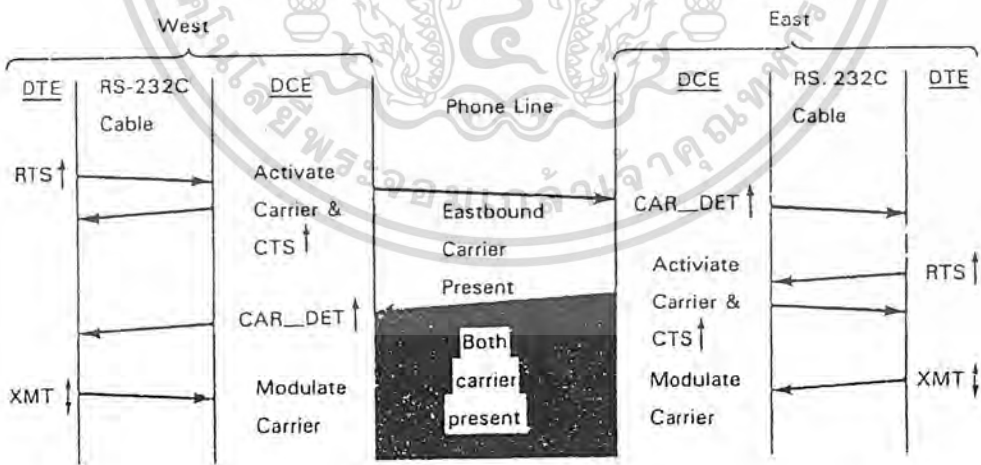
เริ่มต้นด้วย DTE ด้านตะวันตกกระตุ้น DCE ด้วยสัญญาณ RTS ทำให้ DCE ส่งคลื่นพาห้ไปกระตุ้น CAR-DET ด้านตะวันออกให้แจ้ง DTE ด้านตะวันออกไว้ หลังจากช่วงเวลาประมาณ 150 มิลลิวินาที DCE ด้านตะวันตกจะส่ง CTS ไปแจ้ง DTE ว่าพร้อมแล้วจึงได้มีการส่งข้อมูลเกิดขึ้น ข้อมูลจะถูกมอดูเลตกับคลื่นพาห้ส่งไปยังสถานีตะวันออก เมื่อสถานีตะวันตกส่งข้อมูลหมดก็จะปิดลด RTS ลง คลื่นพาห้ก็จะถูกปิดพร้อมกับ DCE ก็จะปิดลด CAR-DET ลงด้วย ในตอนนี้ถ้า DTE ของสถานีตะวันออกต้องการจะส่งข้อมูลไปยังสถานีตะวันตกบ้างก็ต้องปฏิบัติตามกระบวนการเหมือนกันกับกระบวนการที่สถานีตะวันตกได้กระทำแล้วทุกประการ จะเห็นว่าการสื่อสารแบบที่อธิบายอยู่นี้ เป็นการสื่อสารที่เรียกว่า ฮาล์ฟดูเพล็กซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.37

ในระบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์นี้จะต้องมีการกลับทิศทาง การส่งสัญญาณ และในการกลับทิศทาง การสื่อสารนี้ คลื่นพาห้ในระบบจะต้องถูกจัดส่งใหม่ เพราะคลื่นพาห้จะต้องออกจากเครื่องส่งเสมอ ปรากฏการณ์สลับทิศทางของคลื่นพาห้ที่มีศัพท์เรียกว่า สายวกกลับ (Line turn around) ซึ่งจะเกิดขึ้นในระบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์เป็นปกติ ดังที่ได้อธิบายมาแล้วว่าการที่ DCE จะตอบรับสัญญาณ RTS จาก DTE ด้วย CTS นั้นต้องใช้เวลาไว้ก่อนประมาณ 150 มิลลิวินาที ดังนั้นการวกกลับสายแต่ละครั้งจะต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 150 มิลลิวินาที และในระบบสื่อสารข้อมูลระยะไกล (Long distance

data call) จะเกิดการสะท้อน (Echo) ของสัญญาณอยู่เป็นปกติ ในการที่จะวกกลับสายได้จะต้องรอ ไม่ให้คลื่นพาห้ที่เกิดจากการสะท้อนลดหายไปก่อนด้วย ซึ่งจะต้องรอเวลาประมาณ 150 มิลลิวินาที

ดังนั้นช่วงเวลาการรอกลับสายนี้ จะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้สายลดลงเป็นอย่างมาก ในเวลา 150 มิลลิวินาทีอาจสูญเสียเล็กน้อยแต่ลองพิจารณาถึงระบบที่ใช้อัตราการส่งข้อมูล 9,600 บิตต่อวินาทีที่ใช้รหัสตัวอักษรเชิงไครนัสที่มีความยาว 8 บิต แต่จะพบว่าจำนวนตัวอักษรที่ส่งต่อวินาทีคือ $9,600/8 = 1,200$ อักษรต่อวินาที ดังนั้นในเวลา 150 มิลลิวินาที จะเป็นเวลาที่ส่งตัวอักษรได้เท่ากับ $1,200 \times 0.15 = 180$ ตัวอักษรนี่จะเป็นขนาดของบล็อกตัวอักษรที่ใช้กันในการสื่อสารข้อมูลธรรมดา ดังนั้นจึงนับว่าการรอกลับสายจะลดประสิทธิภาพในการใช้สายลงมาก ด้วยเหตุดังกล่าวนี้ในการส่งข้อมูลที่มีความเร็วจึงนิยมทำการส่งในระบบฟูลดูเพล็กซ์

ในระบบฟูลดูเพล็กซ์ไม่มีการรอกลับสาย เพราะว่าการเคลื่อนพาที่ใช้กับสถานี และความถี่จึงสามารถที่จะรักษาคลื่นพาให้ได้อยู่บนสายของการสื่อสารได้ตลอดเวลาทำการสื่อสาร เมื่อไม่มีการเปลี่ยนส่งคลื่นพาห์ก็ไม่มีปัญหาในการสลับสาย สถานภาพการส่งข้อมูลระบบฟูลดูเพล็กซ์แบบหนึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.38 ตามรูปนี้ สถานีด้านตะวันตกได้เริ่มการสื่อสารโดยการส่ง RST ไปก่อน DCE ด้านตะวันตกเมื่อรับสัญญาณ RST ก็จะส่งคลื่นพาห์ไปสู่ DCE ด้านตะวันออกเมื่อได้รับ CAR-DET ก็จะส่ง RST กลับมายัง DCE ให้ส่งคลื่นพาห์รองไปสู่ DCE ด้านตะวันตก พร้อมกับส่ง CTR มายัง DTE ด้านตะวันออกด้วย เมื่อ DCE ด้านตะวันตกตรวจจับคลื่นพาห์รองได้ ก็จะส่ง CAR-DET ไปบอก DTE ด้านตะวันออกว่าได้มีการจัดระบบคลื่นพาห์บนสายการสื่อสารเรียบร้อยแล้วจากช่วงเวลานี้การสื่อสารข้อมูลก็จะเริ่มต้นได้พร้อมกันทั้งสองสถานี



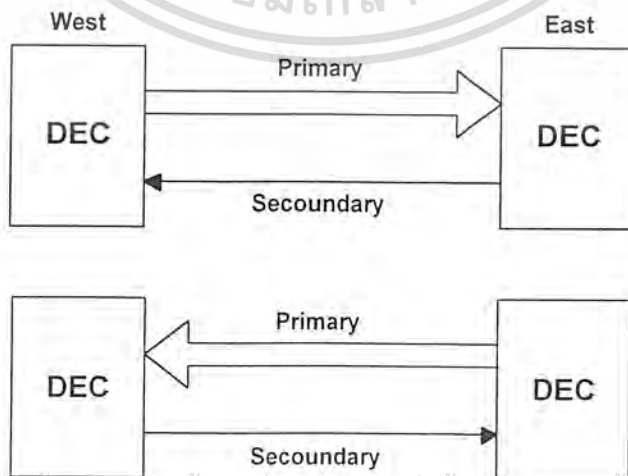
รูปที่ 2.38 การควบคุมคลื่นพาห์ของระบบฟูลดูเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นพาห้จะปรากฏมีอยู่บนสายตลอดเวลาที่ทำการสื่อสารจึงไม่มีการปรากฏการณ์สายวกกลับอันเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพในการใช้สายเสียไป จึงสามารถปรับปรุงเวลาการส่งผ่าน ข้อมูลเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก

2.5.5 ช่องสัญญาณรอง

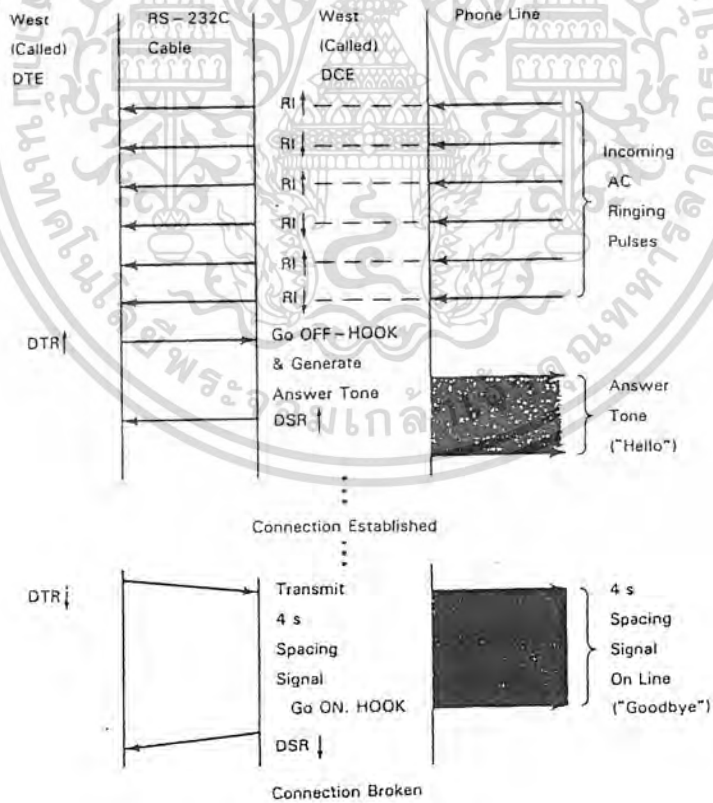
ดังได้กล่าวมาบ้างแล้วในหัวข้อ 2.5.3 ว่าหน้าที่ของช่องสัญญาณรองจะคล้ายกันกับหน้าที่ของช่องสัญญาณหลัก ช่องสัญญาณรองนี้ปกติจะมีบอดเรท (Baud rate) ต่ำกว่าบอดของช่องสัญญาณหลัก และใช้ในทิศทางสวนกันกับทิศทางของช่องสัญญาณหลัก ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าช่องสัญญาณย้อนกลับ (Reverse channel) อาจทำการสับเปลี่ยนการใช้ช่องสัญญาณได้สองแบบดังในรูปที่ 2.39 ช่องสัญญาณหลัก (แสดงโดยลูกศรใหญ่) เป็นฮาร์ฟดูเพล็กซ์ และถูกควบคุมด้วยวิธีการเหมือนกับที่ได้อธิบายมาแล้ว เครื่องส่งที่ใช้คลื่นพาห้รองจะถูกขัดสติก (Interlock) กับคลื่นพาห้หลักในลักษณะที่ว่า ถ้าคลื่นพาห้หลักของสถานีใดก็ตามกำลังถูกใช้งานอยู่คลื่นพาห้รองของสถานีนั้นจะไม่มีโอกาสทำปฏิบัติการขึ้นมาได้เลย (แม้ว่าสัญญาณ Request to sent ของช่องสัญญาณรองจะถูกยืนยันขึ้นมาก็ตาม) อันนี้เป็นผลให้เกิดคำเรียกการส่งสัญญาณในระบบดังแสดงในรูปที่ 2.40 นี้ว่า ระบบดูเพล็กซ์สามในสี่ (Three-quarter-duplex) กล่าวคือ ระบบนี้มีการติดต่อกันได้สองทิศทางพร้อมกันแต่ทิศทางหนึ่งจะมีความจุของการสื่อสารในช่องสัญญาณหลัก 1,200 บอดจะมีค่าความจุของการสื่อสารในช่องสัญญาณรองเพียง 5 บอดเท่านั้น ทั้งนี้เพราะวัตถุประสงค์ของการใช้ช่องสัญญาณรองก็เพียงเพื่อใช้ในการตอบรับการติดต่อเกี่ยวกับเรื่องการควบคุมการไหลของสัญญาณ (Flow control) การควบคุมความผิดพลาด (Error control) หรือการส่งสัญญาณควบคุมเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องแจ้งถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ 2.39 การสลับสถานะ แบบทิมช่องย้อนกลับ

2.5.6 การตอบรับอย่างอัตโนมัติ

ในการตอบรับการติดต่ออย่างอัตโนมัติ อาจจะใช้ระบบโดยการอาศัยสัญญาณบนขา DSR, DTR และ RI มาใช้ประโยชน์ โดยมีแผนภูมิเวลาการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.40 โดยในรูปสมมุติว่ามีการเรียกจากสถานีตะวันออกมายังสถานีตะวันตก สัญญาณกระดิ่งโทรศัพท์จะทำให้ DCE ด้านตะวันตกตรวจจับสัญญาณกระดิ่งได้ และส่งสัญญาณ RI ไปหา DTE ด้านตะวันตก เพื่อบอกว่ามีการติดต่อเข้ามาเมื่อสัญญาณ RI ได้รับการยืนยัน 3 ครั้ง ถ้า DTE ด้านตะวันตกพร้อมจะรับข้อมูล มันก็จะตอบรับด้วยการยืนยันสัญญาณ DTR มายัง DCE ด้านตะวันตก DCE ก็จะตัดต่อวงจรเพื่อเลียนแบบการยกหูโทรศัพท์ พร้อมกับส่งสัญญาณตอบรับ (Answer tone) ซึ่งปกติจะเป็นสัญญาณรูปไซน์ความถี่ประมาณ 2,000 Hz ติดต่อกันประมาณ 2 วินาที ไปยัง DCE ด้านตะวันออก และจากนั้นจะยืนยันด้วยสัญญาณ DSR กลับไปยัง DTE ด้านตะวันตก เพื่อบอกให้ DTE รู้ว่าข่าวยการสื่อสารได้ถูกต่อให้เรียบร้อยแล้ว จากนั้นจะเป็นกระบวนการติดต่อข้อมูลกันระหว่างสถานีด้านตะวันออกและด้านตะวันตก



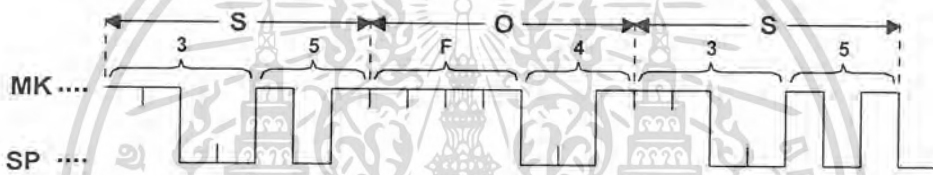
รูปที่ 2.40 DTE ควบคุมการตอบรับ และหยุดการติดต่อการเรียกทางโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบวนการที่จะยกเลิกการใช้สาย DTE จะตัดสัญญาณ DTR ออก DCE ก็จะส่งสัญญาณเป็นสเปซไป 4 วินาที เพื่อ “บอกลา” สถานีผู้สื่อสารว่าการติดต่อได้เสร็จสิ้นแล้ว และจะตัดสัญญาณ DSR ออกเพื่อเป็นการแจ้งให้ DTE ของตัวเองรู้ว่าได้ยกเลิกสายการติดต่อเรียบร้อยแล้ว

2.5.7 การให้จังหวะเวลาแก่วงจรซิงโครนัส

ได้กล่าวถึงรูปแบบข้อมูลซิงโครนัสมาบ้างแล้ว ข้อดีของระบบซิงโครนัสก็คือ ลดเวลาว่างระหว่างการส่งตัวอักษรลง ตัวอย่างส่วนหนึ่งของสัญญาณข้อมูลซึ่งตรงกับอักษร SOS ในระบบรหัสแอสกีมีดังแสดงในรูปที่ 2.41 จะเห็นได้ว่าเพราะไม่มีขีดแบ่งระหว่างรหัสตัวอักษรอย่างชัดเจน ดังนั้นถ้าหากข้อมูลติดต่อกันมายาวๆ เช่น 200 ตัวอักษร ก็จะมีปัญหาเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะไม่มีการใช้บิตเริ่มต้น เหมือนอย่างในระบบบอซิงโครนัส



รูปที่ 2.41 รูปแบบข้อมูลเนื้อความแอสกีแบบซิงโครนัส

ในระบบบอซิงโครนัส บิตเริ่มต้นจะมีหน้าที่ที่สำคัญ 2 ประการคือ

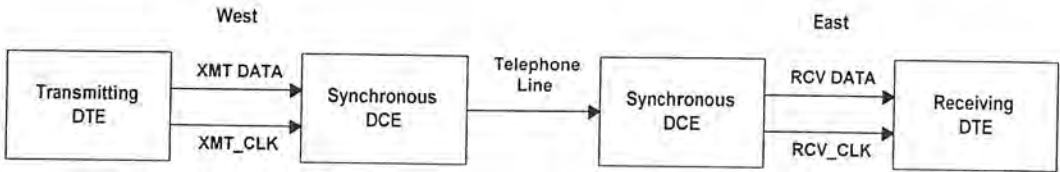
1. แยกตัวอักษรออกเป็นหน่วยที่บ่งชี้ชัดเจน

2. ทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในซีพรีจิสเตอร์ภาครับกับจุดกึ่งกลางบิตของข้อมูลที่เข้ามา เพื่อให้ระบบซิงโครนัสทำงานได้จะต้องมีการแก้ปัญหา 2 ประการที่เกิดจากการตัดบิตเริ่มต้นนั้นออกไปให้ได้ การแก้ปัญหาแรกเป็นเรื่องของการจัดระบบโปรโตคอลให้เหมาะสม ปัญหาที่สองจะปล่อยให้เป็นเรื่องของการซิงโครนัสและ RS-232C อินเทอร์เฟซ

ซิงโครนัส DTE จะมีอุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณแบบลำดับเป็นสัญญาณแบบขนาน คล้ายกับการ UART ในระบบซิงโครนัส เพราะฉะนั้นจะต้องมีการอาศัยซีพรีจิสเตอร์ และสัญญาณนาฬิกาสำหรับเลื่อนข้อมูล ในการส่งและรับข้อมูลนั้นจะมีสายสัญญาณนาฬิกาภาคส่งและภาครับอยู่ สัญญาณนาฬิกาภาคส่งจาก DTE จะใช้เลื่อนข้อมูลจากซิงโครนัส DCE ไปสู่สายการสื่อสารตามจังหวะนาฬิกานั้น และสัญญาณนาฬิกาภาครับจาก DCE จะต้องมีค่าเท่ากับสัญญาณนาฬิกาภาคส่งพอดีเพื่อเลื่อนข้อมูลเข้าสู่ DTE ภาครับได้อย่างถูกต้องที่จุดกึ่งกลางบิตพอดี ปัญหาที่เกิดขึ้นว่าจะมีการส่งสัญญาณนาฬิกาไปในสายการสื่อสารระหว่าง DCE อย่างไร เพราะสายการสื่อสารมีอยู่คู่

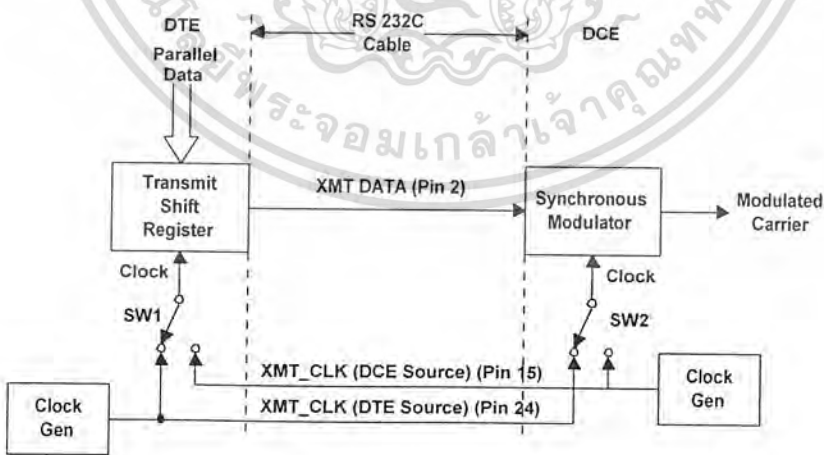
เอกลส... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียดังแสดงในรูปที่ 2.42 ปัญหานี้ได้แก้ไขโดยอาศัยเทคนิคการมอดูเลชันที่จะบรรจุทั้งสัญญาณข้อมูลและสัญญาณนาฬิกาบนคลื่นพาห้คลื่นเดียวกันจากเครื่องส่ง ไปยังเครื่องรับ



รูปที่ 2.42 บล็อกไดอะแกรมของการส่งระบบซิงโครนัส

เกี่ยวกับอินเทอร์เฟซดังกล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่ามีรูปแบบให้จัดการได้อย่างหลากหลาย สัญญาณนาฬิกาภาคส่งบนอินเทอร์เฟซ RS-232C ระหว่าง DTE และ DCE ด้านตะวันตก ต้องเป็นสัญญาณที่ใช้กับข้อมูลภาคส่งใน DTE ด้านตะวันตก ตามรูปที่ 2.43 ใช้สัญญาณนาฬิกาภายใต้ DTE ทำหน้าที่ดังกล่าว ดังนั้นมีการส่งสัญญาณนาฬิกาผ่านสายที่ต่อขาที่ 24 คือ Transmit clock (DTE source) ของ RS-232C แต่อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจใช้สัญญาณนาฬิกาจาก DCE ในการควบคุมการขับข้อมูลของ DTE ก็ได้ ดังนั้นในกรณีนี้อาจจะใช้ขา Transmit clock (DTE source) ซึ่งเป็นขาที่ 15 ของ RS-232C แทนขาที่ 24 ปกติแล้วจะมีการต่อสวิตช์ดังแสดงในรูปที่ 2.43 เพื่อให้ผู้ใช้เลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาได้



รูปที่ 2.43 การเลือกขา Transmit clock ของซิงโครนัสโมเด็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการนำมาใช้เท่านั้น ไม่สามารถนำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ทางการค้า การใช้สัญญาณนาฬิกาจาก DCE มีข้อได้เปรียบอยู่บ้างเล็กน้อยคือเราสามารถทำการเปลี่ยนสวิตช์ไปยังบอดเรทที่แตกต่างกันออกไปได้ โดยที่ DTE ไม่ต้องถูกจัดระบบใหม่

2.5.8 ข้อจำกัดของ RS-232C

ตัวประกอบหลัก 3 อย่าง ที่จำกัดการใช้งานของอินเทอร์เฟซ RS-232C ก็คือ ระยะทางอัตราส่งข้อมูล และสัญญาณรบกวน

1. ระยะทาง

ในเคเบิล RS-232C ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายสัญญาณต่างๆ กับสายกราวด์เป็นพารามิเตอร์หลักที่จำกัดระยะทางการใช้เคเบิลนั้น ตามข้อกำหนดมีว่าค่าความจุไฟฟ้าที่มองไปจากวงจรขับ (Driver) จะต้องไม่เกิน 2,500 pF การเพิ่มระยะทางของเคเบิลก็จะเพิ่มค่าความจุไฟฟ้าที่มาเป็นภาระของวงจรขับ ธรรมดาสายเคเบิลที่ใช้จะอยู่จะมีค่าความจุไฟฟ้า 2,500 pF ที่ความยาวประมาณ 50 ฟุต (15 เมตร)

2. อัตราการส่งข้อมูล

ข้อกำหนดที่ชัดเจนอีกอย่างหนึ่งก็คือ อัตราสัญญาณจะต้องไม่เกิน 20,000 บิต/วินาที ปัญหานี้ก็เกี่ยวข้องกับค่าความจุไฟฟ้าของสายเคเบิลอีกเช่น RS-232C นั้นกำหนดค่าความต้านทานอินพุตของวงจรถ่ายรับไว้ค่อนข้างสูง (3,000 – 7,000 โอห์ม) จะเห็นว่าค่าความต้านทานนี้จำกัดอัตราการประจุ และการคายประจุของเคเบิลคาปาซิเตอร์ ทำให้เกิดการมวน (Round) ที่ขอบของสัญญาณ และเกิดความผิดเพี้ยนที่อัตราข้อมูลสูง การมวนขอบหน้า (Leading Edge) จะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ค่าเวลาบิดผิดไป

ค่าจำกัดนี้ แตกต่างไปจากทางปฏิบัติเล็กน้อย เพราะที่เร็วที่สุดนั้นทำงานที่อัตรา 19,200 บิต/วินาที และส่วนใหญ่มีอัตราส่งสัญญาณต่ำกว่านี้เป็นไปได้ที่เป็นไปได้จะใช้สายที่มีแบนด์วิดท์กว้างเป็นพิเศษซึ่งทำให้สามารถส่งสัญญาณได้สูงกว่าอัตราดังกล่าวนั้น แต่วงจร RS-232C จะไม่สามารถใช้ได้ในกรณีนั้น

3. สัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนจะทำให้สัญญาณข้อมูลผิดพลาดได้ มีสาเหตุจากแหล่งกำเนิด 2 แบบคือ

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณเทียมนี้ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า สถานีส่งวิทยุ และหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น

2. แหล่งกำเนิดภายใน เช่นสายกราวด์สัญญาณรวม (Common Return Signal) เกิดไม่เป็นตัวนำที่สมบูรณ์คือ ความต้านทานไม่เป็นศูนย์ การกระจายของกระแสจากสายสัญญาณต่างๆ ที่ใช้สายกราวด์ร่วมกันนี้จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าในลักษณะต่างๆ ตกคร่อมสายกราวด์สัญญาณรวมนี้ และส่งผลไปที่ภากรับสัญญาณ ในลักษณะที่เป็นตัวก่อกสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่คัดลอกมาทั้งหมดทั้ง 2 ประการนี้ เมื่อสายเคเบิลยาวมากขึ้นก็จะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนการค่าน้อยมากขึ้นสายที่ยาวจะทำให้ตัวคล้ายสายอากาศที่ดีที่คอยจับสัญญาณรบกวนเข้ามา สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะมีความต้านทานสูงขึ้นอันเป็นเหตุให้เกิดสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น ข้อกำหนดใหม่ได้ รับการปรับปรุงทำให้ลดจุดอ่อนของ RS-232C ลงไม่มากนักน้อย เช่น การใช้วงจรอินเทอร์เฟส สมดุลย์ (Balanced interface circuit) เข้ามาแทนวงจรอินเทอร์เฟสไม่ สมดุลย์ (Unbalance interface circuit) วงจรสมดุลย์นั้นใช้สายคู่ตีเกลียวสำหรับสัญญาณแต่ละสัญญาณ และแนวการออกแบบ วงจรภาคส่ง และภาครับที่ต่างไปจากวงจรสมดุลย์วงจรที่ไม่สมดุลย์นั้นสายเพียงเส้นเดียวสำหรับ แต่ละสัญญาณ และใช้สายกราวด์ร่วมกัน

2.6 การสื่อสารข้อมูลอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลอนุกรมเป็นการรับ หรือส่งข้อมูลในลักษณะกลุ่มของบิตเรียงลำดับไป เรื่อยไปจนถึงสิ้นสุดการสื่อสารแบบนี้ จะมีข้อแตกต่างจากการสื่อสารแบบขนานเป็นอย่างมากเนื่อง จากข้อมูลมีการ โอนย้ายมาพร้อมกันจึงมีความจำเป็นต้องใช้ จำนวนเส้นสัญญาณมากขึ้นตามจำนวน บิตของข้อมูลด้วยในขณะที่การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นต้องการเส้นสัญญาณเพียงสองหรือสามเส้น เท่านั้น ดังนั้น การสื่อสารแบบขนาน จึงไม่เหมาะสมในการสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกเป็นระยะ ทางไกล ๆ เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงกว่าการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาก



รูปที่ 2.44 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม จำนวน 8 บิต จะส่งทีละบิตจนครบ 1 ไบต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.45 การส่งข้อมูลแบบขนาน จำนวน 8 บิต จะส่งทีละ 8 บิตหรือ 1 ไบต์

2.6.1 จังหวะเวลาและความเร็วของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม

เนื่องจากการสื่อสารแบบอนุกรมเป็นการรับส่งข้อมูลในลักษณะของบิตข้อมูล (Bit stream) ดังนั้นจึงต้องให้ความสนใจในการพิจารณาถึงเรื่องอัตราความเร็วในการรับส่งบิตเหล่านี้ เป็นลำดับแรก โดยทั่วไปมักจะระบุกันในหน่วยของจำนวนบิตข้อมูลภายในเวลาหนึ่งวินาทีเรียกว่า อัตราบอดตามค่ามาตรฐานเหล่านี้ได้แก่ 110, 150, 300, 1,200, 2,400, 4,800, 9,600, 19,200 บอด ข้อมูลทั้ง 8 บิตหากว่าถูกส่งออกมาด้วยอัตรา 2,400 บอดจะใช้เวลาในการส่งข้อมูลหนึ่งบิตมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2,400}$ หรือ 416 S และเวลาในการส่งข้อมูลทั้ง 8 บิตมีค่าเท่ากับ (8×416) หรือ 3328 S

2.6.2 รูปแบบของการส่งข้อมูลอนุกรม

การสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส จะใช้การแปลงข้อมูลขนาดให้เป็นฮนุกรมแล้วเพิ่มเติมบางอย่างร่วมไปกับการส่งข้อมูลจริงซึ่งได้แก่

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit).

บิตเริ่มต้นมีหน้าที่สำหรับการบ่งบอกให้ทราบถึงตำแหน่งจุดเริ่มต้นก่อนบิตข้อมูล ตามปกติแล้วค่าของบิตเริ่มต้นจะเป็นระดับลอจิกต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.46

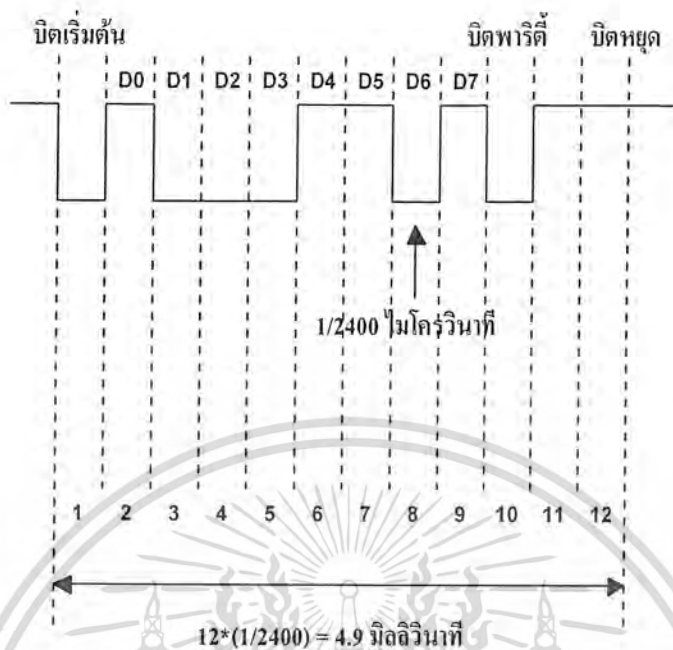
2. บิตแสดงภาวะความเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ (Parity Bit)

บิตนี้มีหน้าที่เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยทั่วไปมักเรียกว่า บิตพาริตี และจะนำไปต่อท้ายบิตข้อมูล ค่าของบิตนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนค่าของบิตที่เป็น 1 ซึ่งจะเป็นได้สองลักษณะคือ พาริตีคู่ (Even Parity) หรือพาริตีคี่ (Odd Parity) ตัวอย่างเช่นระบบที่ติดต่อกันโดยระบุว่าจะใช้พาริตี ทางด้านส่งจะนำค่าข้อมูลที่จะส่งมาพิจารณาหา จำนวนของบิตที่มีค่า 1 เป็นเลขจำนวนคู่อยู่แล้ว ค่าของบิต พาริตีจะมีค่าเป็น 0 แต่หากว่าจำนวนของบิตที่มีค่าเป็น 1 เป็นเลขจำนวนคี่ค่าของบิตพาริตีก็จะมีค่าเป็น 1 การพิจารณาทางด้านรับเป็นการตรวจสอบจำนวนบิตที่มีค่า 1 ของข้อมูลที่ได้รับมาทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี ถ้ามีค่าเป็นเลขจำนวนคู่ แสดงว่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามานี้ถูกต้องแต่หากไม่เป็นเลขจำนวนคู่แสดงว่าเกิดการผิดพลาดของข้อมูลขึ้นเป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.46

3. บิตสุดท้าย (Stop Bit)

บิตสุดท้ายเป็นบิตที่เพิ่มขึ้นเพื่อระบุถึงขอบเขตการสิ้นสุดของกลุ่มบิตข้อมูลบิตสุดท้ายนี้สามารถโปรแกรมได้คือ 1 บิต $\frac{1}{2}$ บิต และ 2 บิต ดังนั้นกรณีของการส่งข้อมูล 8 บิตหากข้อมูลถูกส่งออกไปด้วยอัตราเร็ว 2,400 บอดเวลาโดยรวมในการส่งข้อมูลหนึ่งไบต์มีค่าเป็น (12×416) S หรือ 4.99 S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



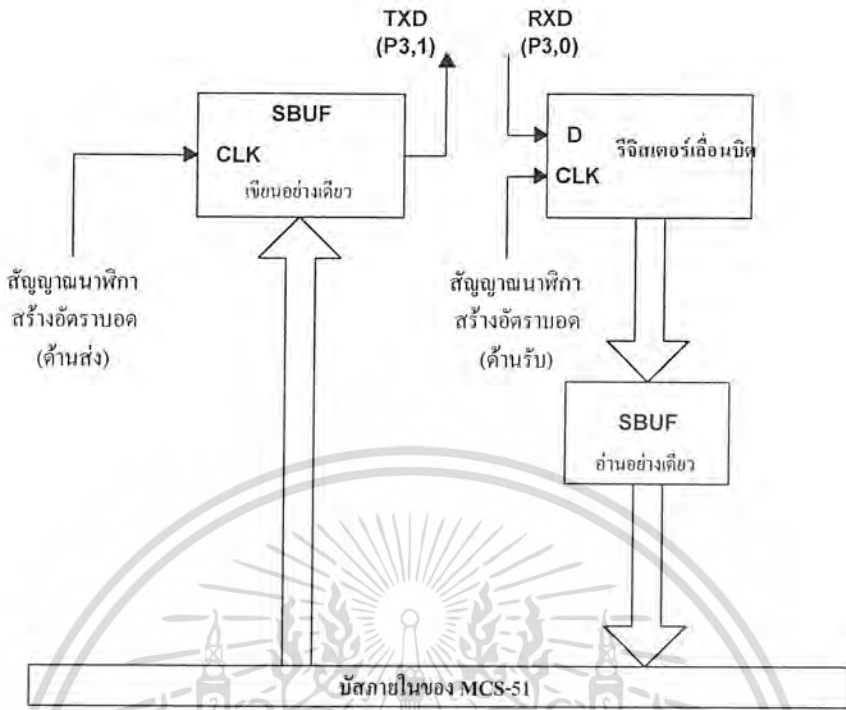
รูปที่ 2.46 ฝั่งเวลาการส่งข้อมูลแบบอนุกรมจำนวน 8 บิต

2.7 การส่งข้อมูลอนุกรมของ 8051

MCS – 51 มีพอร์ตอนุกรม (Serial Port) ที่สามารถสั่งให้ทำงานได้หลายโหมด (Mode) อยู่ในชิป (Chip) ซึ่งการทำงานเป็น แบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) หมายถึง สามารถรับ และส่งข้อมูลได้ในช่วงเวลาเดียวกัน ในการทำงานจะมีรีจิสเตอร์ (Register) ที่ทำหน้าที่ในการรับข้อมูลซึ่งจะนำตัวอักษรที่ได้รับมาเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ (Buffer) ในขณะที่กำลังรับตัวอักษรตัวที่สอง ด้วยเหตุถ้าให้ ซีพียู (Control Processing Unit) อ่านตัวอักษรตัวแรกออกไป ก่อนที่จะรับตัวอักษรตัวที่สองเสร็จ ข้อมูลก็จะไม่สูญหาย ส่วนบัฟเฟอร์อีกตัวหนึ่งจะใช้สำหรับเก็บข้อมูลก่อนที่จะส่งออกไป บัฟเฟอร์ทั้งทางด้านรับและด้านส่งจะใช้ชื่อเดียวกัน คือ รีจิสเตอร์ SBUF (Sbuf:Serial Port Buffer) ซึ่งจะอยู่ที่แอดเดรส (Address) 99H ในหน่วยความจำภายใน

รูปที่ 2.47 แสดงโครงสร้างทางกายภาพของรีจิสเตอร์ SBUF ซึ่งจะเห็นว่ารีจิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวจะอยู่ที่แอดเดรสเดียวกัน ซึ่งรีจิสเตอร์ตัวหนึ่งจะสามารถเขียนได้อย่างเดียว ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่จะส่งออกไปภายนอก ส่วนรีจิสเตอร์อีกตัวหนึ่งจะสามารถอ่านได้อย่างเดียว ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่รับได้ทางพอร์ตอนุกรม

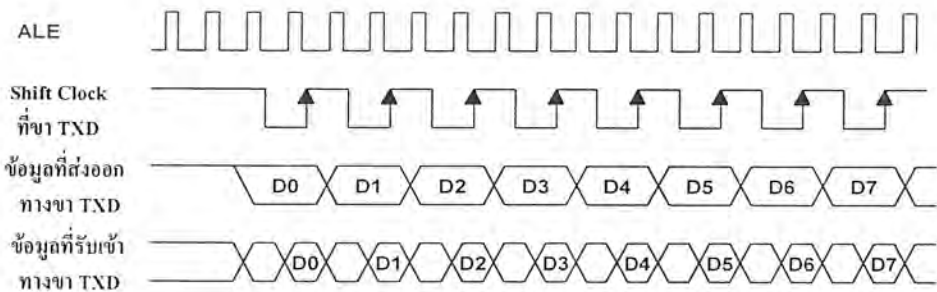
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.47 บล็อกไดอะแกรมของพอร์ตอนุกรม

การส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมของ 8051 แบ่งออกเป็น 4 โหมดคือ

1. การส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมในโหมด 0 จะต้องกำหนดให้บิต SM0 และ SM1 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON มีค่าเป็น 0 ทั้งคู่ ซึ่งจะทำให้รีจิสเตอร์ SBUF รับหรือส่งข้อมูลขนาด 8 บิต โดยจะใช้ขา RXD เพียงขาเดียวเท่านั้น ต่อกับสายสัญญาณที่จะใช้ส่งข้อมูลภายนอก ส่วนขา TXD จะถูกต่อกับส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock) ที่อยู่ใน 8051 โดยจะใช้ส่งสัญญาณนาฬิกาเพื่อกำหนดความถี่อ้างอิงในการส่งข้อมูลออกมาภายนอกดังแสดงด้วยผังเวลาในรูปที่ 2.48



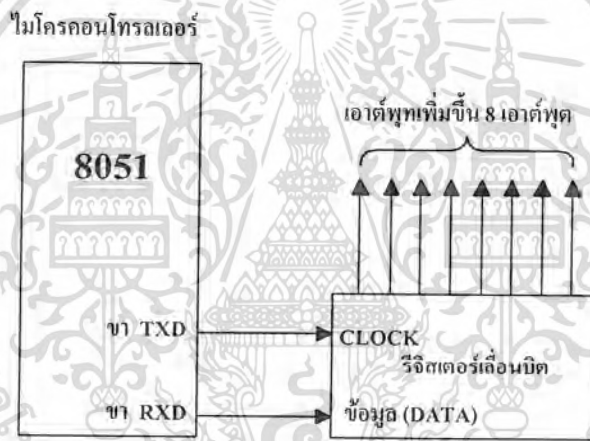
รูปที่ 2.48 ผังเวลาของการส่งและรับข้อมูลใน โหมด 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.48 จะเห็นว่าความถี่ของพัลส์ที่ส่งออกมาที่ขา TXD จะมีค่าเท่ากับ 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ เมื่อทำการส่งข้อมูลออก ข้อมูลจะถูกเลื่อนออกมาทีละบิตผ่านทางขา RXD และในเวลาเดียวกัน สัญญาณพัลส์อ้างอิงจะถูกส่งออกมาทางขา TXD ด้วย

เมื่อรับข้อมูลเข้า จะรับผ่านทางขา RXD เช่นเดียวกัน การรับข้อมูลจะเกิดขึ้นเมื่อเซตบิตให้ REN = 1 และให้บิต R1 = 0 เมื่อบิต R1 ถูกเคลียร์สัญญาณพัลส์จะถูกส่งออกมาที่ขา TXD เพื่อทำการซิงโครไนส์กับข้อมูลที่รับเข้ามาที่ขอบ้านบวกของพัลส์ ดังรูปที่ 2.48

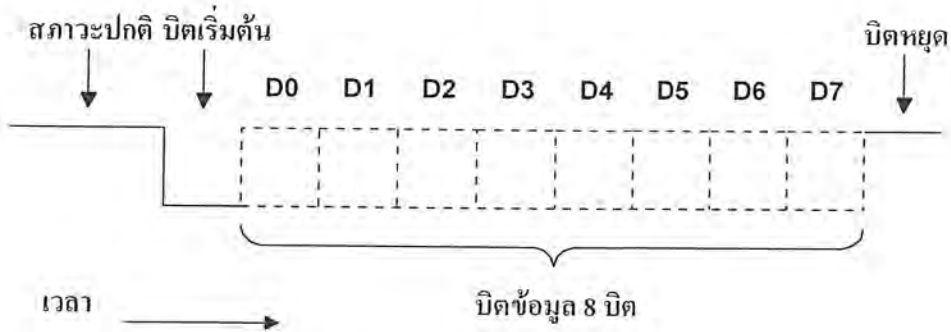
โดยทั่วไปแล้ว ไอโหมคนี้มักจะใช้ในการขยายความสามารถทางด้านเอาต์พุต 8051 โดยใช้ชิปช่วยในการเปลี่ยนข้อมูลอนุกรมเป็นขนาน (Serial – to – Parallel shift register) จะช่วยให้ทำการขยายเอาต์พุตเพิ่มได้อีก 8 เส้น ดังรูปที่ 2.49



รูปที่ 2.49 การใช้งานพอร์ตอนุกรมในโหมด 0 เพื่อขยายเอาต์พุตของ 8051

2. การส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมในโหมด 1 (Standard UART) ในโหมคนี้นี้จะต้องกำหนดให้ SM0 และ SM1 ในรีจิสเตอร์ SCON มีค่าเป็น 0 และ 1 ซึ่งจะเป็นการกำหนดให้รีจิสเตอร์ SBUF กลายเป็นตัวรับส่งข้อมูลขนาด 10 บิต แบบฟูลดูเพล็กซ์ ซึ่งจะสามารถรับส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน (ต่างกับโหมด 0 คือ จะสามารถรับหรือส่งในเวลาหนึ่ง ๆ ได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น) โดยจะใช้ขา RXD รับสัญญาณอนุกรมที่เข้ามา และ TXD ส่งข้อมูลแบบอนุกรมออกไปภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.50 รูปแบบการรับ และส่งข้อมูลในโหมด 1

การส่งข้อมูลจะเริ่มต้นด้วยการส่ง Start bit ออกไปก่อน แล้วตามด้วยบิตข้อมูลอีก 8 บิต จากนั้นจึงส่ง Stop bit ส่วนแฟล็ก T1 จะเซตเมื่อส่งข้อมูลครบทั้ง 10 บิต

การรับข้อมูลจะเริ่มจากขอบขาขึ้นของบิตเริ่มต้น เมื่อรับครบทั้ง 8 บิต แล้วจะเกิดสถานะดังต่อไปนี้

- บิตที่ 9 (Stop bit) จะถูกเก็บไว้ใน RB8 ของ SCON
- SBUF จะทำการโหลดข้อมูลทั้ง 8 บิต ไปเก็บไว้
- แฟล็ก R1 จะเซต

ซึ่งจากสิ่งทีกล่าวมาทั้งหมดนี้จะเป็นความจริงเมื่อ

- R1 = 0
- SM2 = 1 และ Stop bit ที่รับเข้ามาเป็น 1 หรืออีกกรณีหนึ่งก็คือ SM2 = 0

การคำนวณอัตราบอด (Baud Rate) ในโหมด 1 จะใช้ไทมเมอร์ 1 เป็นตัวสร้างอัตราบอด เมื่อกำหนดการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมในโหมด 1 แล้ว ไทมเมอร์ 1 จะถูกใช้งานในโหมด 2 ซึ่งจะเป็นโหมดการโหลดค่าอัตโนมัติซึ่งสามารถทำการคำนวณได้ดังนี้

$$f_{\text{baud}} = \frac{2^{\text{SMOD}}}{32} \times \frac{\text{Oscillator frequency}}{12 \times [256 - (\text{TH1})]} \quad (2.18)$$

เมื่อ SMOD จะเป็นบิตควบคุมอยู่ในรีจิสเตอร์ PCON ถ้าเป็น 0 จะเป็นความถี่ปกติ และถ้าเป็น 1 จะเพิ่มความถี่เป็น 2 เท่า

ถ้าไม่ใช้ไทมเมอร์ 1 ในโหมด 2 จะได้อัตราบอดเป็น

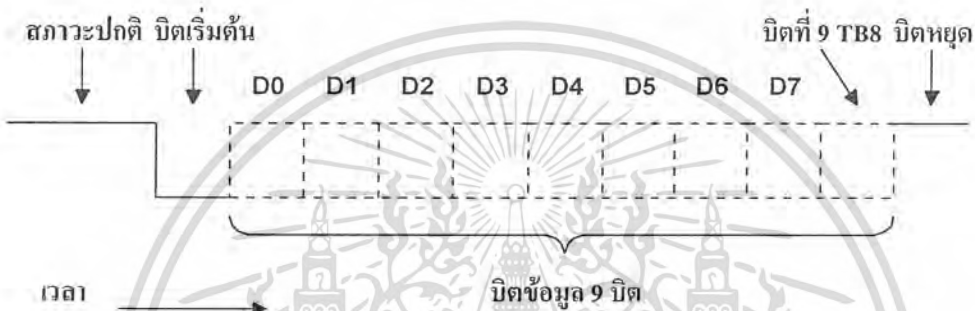
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลและตัวอย่างใดๆ ซึ่งอาจละเมิดเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

$$f_{\text{baud}} = \frac{2^{\text{SMOD}}}{32} \times (\text{Timer 1 Overflow Rate}) \quad (2.19)$$

โหมดที่ 1 จะทำงานโดยการใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายใน หรือทำงานเป็นเคาน์เตอร์ก็ได้ โดยการรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกผ่านทางขา T1

ถ้าเลือกใช้อัตราบอดมาตรฐานควรเลือกใช้ความถี่ของคริสตอลให้ถูกต้องคือ 11.059 MHz

3. การส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมในโหมด 2 (Multiprocessor mode) ในโหมดที่ 2 นี้จะคล้ายกันกับโหมดที่ 1 ต่างกันที่โหมดที่ 2 จะเป็นการรับส่งข้อมูลแบบ 11 บิตคือ Start bit 1 บิต, บิตข้อมูล 9 บิต และ Stop bit อีก 1 บิต ดังแสดงในรูปที่ 2.51



รูปที่ 2.51 การรับส่งข้อมูลใน โหมด 2

เมื่อทำการส่งข้อมูลบิตที่ 9 ข้อมูลจะได้จากบิต TB8 ในรีจิสเตอร์ SCON ส่วนเวลารับข้อมูลบิตที่ 9 จะถูกเก็บเข้าไปในบิต RB8

สามารถคำนวณอัตราบอดได้ดังนี้

$$f_{\text{baud}} = \frac{2^{\text{SMOD}}}{64} \times (\text{Oscillator frequency}) \quad (2.20)$$

เมื่อ Oscillator frequency = ความถี่ออสซิลเลเตอร์

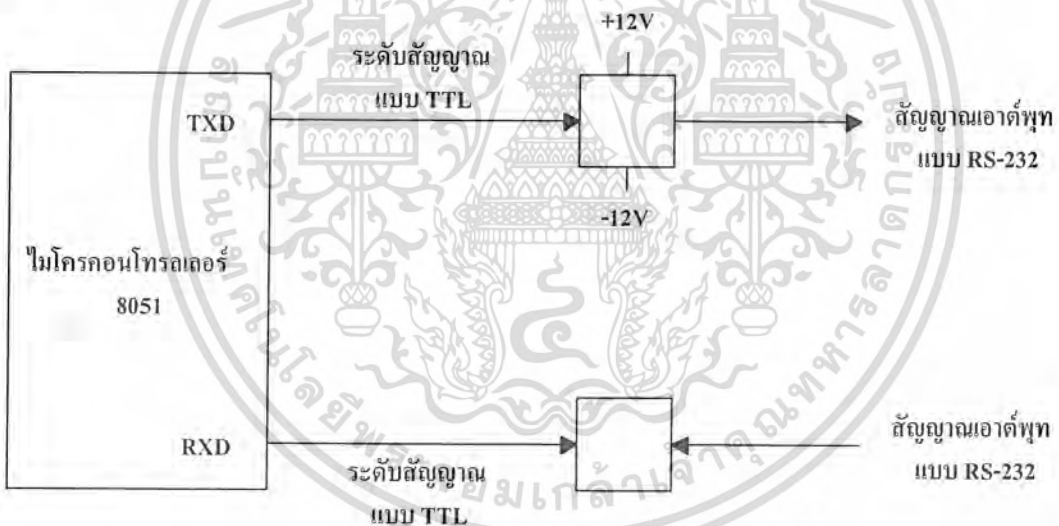
ข้อกำหนดในการเซตบิต R1 ในโหมด 2 จะเหมือนกับในโหมด 1 คือ R1 จะต้องเป็น 0 ก่อนบิตที่สุดท้ายจะรับเข้ามาใน 8051 และ SM2 จะต้องเป็น 0 หรือบิตที่ 9 ของข้อมูลจะต้องเป็น 1 การรับส่งข้อมูลในโหมดนี้มักจะใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยกัน ซึ่งจะต่อสายสัญญาณเข้าหากันโดยตรง เนื่องจากอัตรารับส่งข้อมูลจะสูงกว่าโหมด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การส่งข้อมูลแบบอนุกรมในโหมด 3 ในโหมดนี้ก็จะเหมือนกับโหมด 2 ทุกประการ ยกเว้นอัตราบอดเท่านั้นจะหาได้แน่นอนกว่าในโหมด 2 โดยใช้การคำนวณเหมือนในโหมด 1 และใช้ไทม์เออร์ 1 มาทำการสร้างความถี่สำหรับการส่งสัญญาณแทน

2.8 การเชื่อมต่อกับมาตรฐาน RS-232C

ในการเชื่อมต่อแบบอนุกรมเข้ากับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างๆ มักจะมีการเชื่อมต่อตามแบบมาตรฐาน RS-232C จะแตกต่างจากมาตรฐานของลอจิกทั่วๆ ไปคือ ระดับลอจิก 1 จะมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง -3 V ถึง -20 V และระดับลอจิก 0 จะมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง $+3\text{ V}$ ถึง $+20\text{ V}$ ดังนั้นการใช้งานจะต้องเพิ่มอุปกรณ์หรือวงจรพิเศษเข้าไป เพื่อเปลี่ยนระดับ 0 V ถึง $+5\text{ V}$ จากขาของ 8051 เป็นระดับแรงดันที่สูงกว่า $+3\text{ V}$ หรือต่ำกว่า -3 V ก่อนจะทำารต่อกับระดับสัญญาณของ RS-232C ดังแสดงในรูปที่ 2.52



รูปที่ 2.52 การเชื่อมต่อระดับสัญญาณแบบ TTL จาก 8051 กับระดับสัญญาณของ RS-232C

ปัจจุบันได้มีการผลิตไอซี วงจรรวมที่ประกอบด้วยวงจรการรับและส่งแบบ RS-232C อยู่ภายในตัว และต้องการไฟเลี้ยงขนาด $+5\text{ V}$ เท่านั้นเนื่องจากการเปลี่ยนระดับแรงดัน (DC to DC Converter) อยู่ภายในไอซีเรียบร้อยแล้ว ดังในรูปที่ 2.53 ซึ่งทำให้การสร้างวงจรรับและส่งข้อมูลตามมาตรฐาน RS-232C ทำได้ง่ายและสะดวกมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

เนื้อหาในบทนี้ จะกล่าวถึงการออกแบบ การสร้างและการทำงานของเครื่องเจาะแผ่น วงจรพิมพ์อัตโนมัติ โดยจะกล่าวถึงการออกแบบในส่วนต่างๆ ซึ่งจะแบ่งเป็นการออกแบบส่วน โครงสร้างของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ ในส่วนของเครื่องกล (Mechanic) หรือตัวเครื่อง การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน ในส่วนต่างๆ ของเครื่อง และหน่วยประมวลผลกลาง

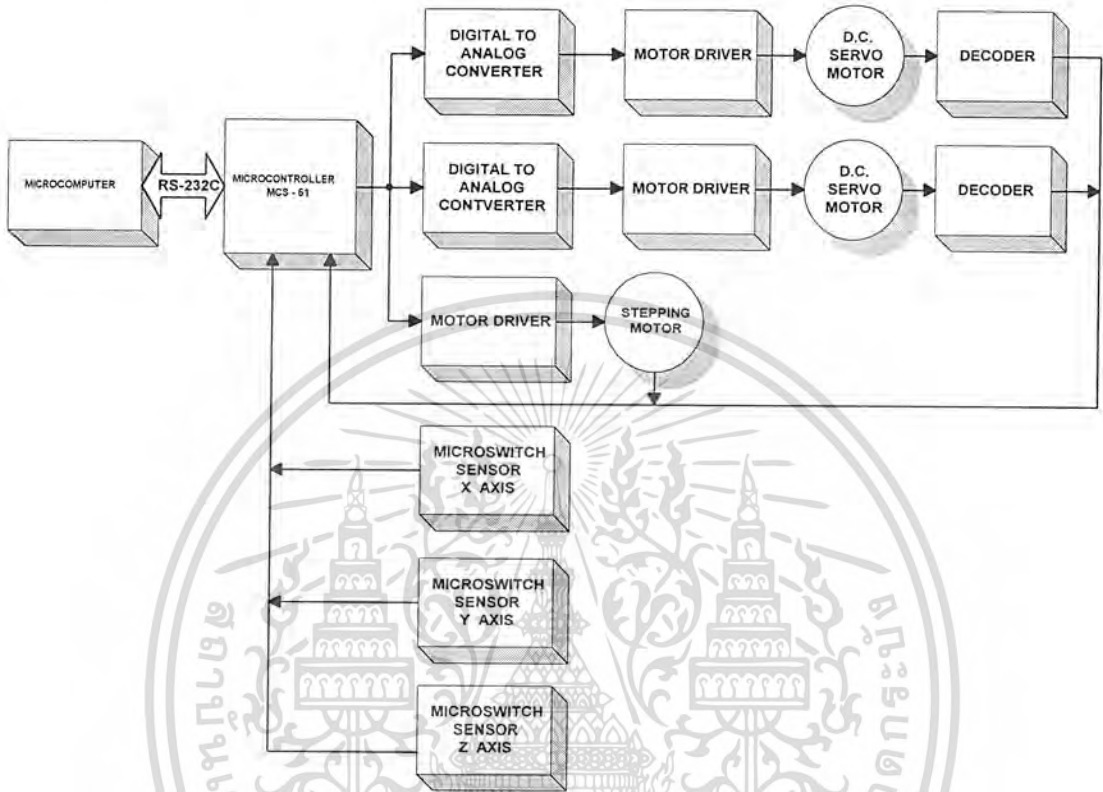
การสร้าง และการหลักทำงานของโครงการเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ จะอธิบาย ถึงแผนผังการทำงานหลักของเครื่อง และการสร้างวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง และหลักการทำงาน ของวงจรควบคุมส่วนต่างๆ ของเครื่อง และการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นหน่วยประมวลผลกลาง ซึ่งในการออกแบบทั้งหมดนี้ ได้นำ หลักการ และทฤษฎี ในบทที่ 2 มาใช้ในการอ้างอิง

เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญทั้งหมด 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. ส่วนเครื่องกลหรือตัวเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ (Mechanic) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ ในการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์
2. ส่วนควบคุม (Control) เป็นส่วนของวงจรที่ใช้ในการควบคุมเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ ในส่วนของเครื่องกลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ

จากรูปที่ 3.1 เป็นแผนผังการทำงานของโครงงานเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติทั้งหมดโดยการทำงานจะเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะทำการรับข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมสั่งงานผ่านทางพอร์ทอนุกรม RS-232C โดยข้อมูลที่รับไปเป็นข้อมูลในการสั่งให้ทำการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์โดย ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับ แล้วสร้างสัญญาณควบคุมมอเตอร์ทั้งสามตัว จากนั้นจะทำการส่งสัญญาณไปเข้าวงจรแปลงสัญญาณ จากสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก เพื่อทำการส่งแรงดันไฟฟ้าไปให้แก่วงจรขยายกำลังเพื่อใช้ในการขับมอเตอร์ สำหรับดีซี เซอร์โวมอเตอร์ทั้งสองตัว แล้วจากนั้นก็ส่งแรงดัน ที่แปลงจากวงจรแล้วไปเข้าวงจรขยายสัญญาณ หรือวงจรไดร์เพื่อขับมอเตอร์ให้ทำการเคลื่อนที่แกนทั้งสาม โดยในส่วนของดีซี เซอร์โวมอเตอร์จะมีวงจรถ่ายขยายของตัวเอง ส่วนตัวสเต็ปปีง

มอเตอร์อีก 1 ตัวจะไม่ต้องทำการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการส่งข้อมูลเพื่อไปขับ ได้โดยตรง เพียงแต่จะต้องมีวงจรถ่ายขยายสัญญาณ เพื่อให้มีแรงดันเพียง

พอที่จะใช้ขับสเต็ปปีงมอเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ในแกนแนวตั้ง ซึ่งจะมีสว่านติดอยู่เมื่อสเต็ปปีงมอเตอร์เคลื่อนที่ ก็จะทำให้สว่านเคลื่อนที่ลงไปเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ได้ ในขณะที่ทำการเจาะก็จะมีไมโครสวิทช์ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ เพื่อจะได้กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นได้ถูกต้อง แล้วทำการส่งสัญญาณกลับไปอินเตอร์พไมโครคอนโทรลเลอร์ตลอดเวลาในขณะที่ทำการเจาะ

ส่วนดิซี เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนในแนวแกน X และแกน Y นั้นเมื่อทำการเจาะแล้วในขณะเดียวกันก็จะส่งพัลส์ให้กับตัวดีโคเดอร์ เพื่อทำการคำนวณหาระยะทางในการเคลื่อนที่ของแกน X และแกน Y โดยตัวดีโคเดอร์จะส่งข้อมูลกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการตรวจเช็คความถูกต้องในการเคลื่อนที่ของแกนทั้งสอง เพื่อจะทำให้หัวสว่านเจาะได้ถูกต้อง

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณย้อนกลับมา ก็ทำการสร้างสัญญาณในการสั่งงานควบคุมให้มอเตอร์ทำการหยุดการทำงานเมื่อถึงตำแหน่งในการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ในตำแหน่งที่ถูกต้อง จากนั้นก็จะทำการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ เมื่อเจาะเสร็จสิ้น 1 ตำแหน่ง หรือ 1 รู ก็ทำการรับข้อมูลจากไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลในการเจาะตำแหน่งถัดไปตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้ว

จากบล็อกไดอะแกรมนั้นจะเห็นว่ามีส่วนควบคุมส่วนใหญ่ๆ อยู่ด้วยกัน 6 ส่วนคือ

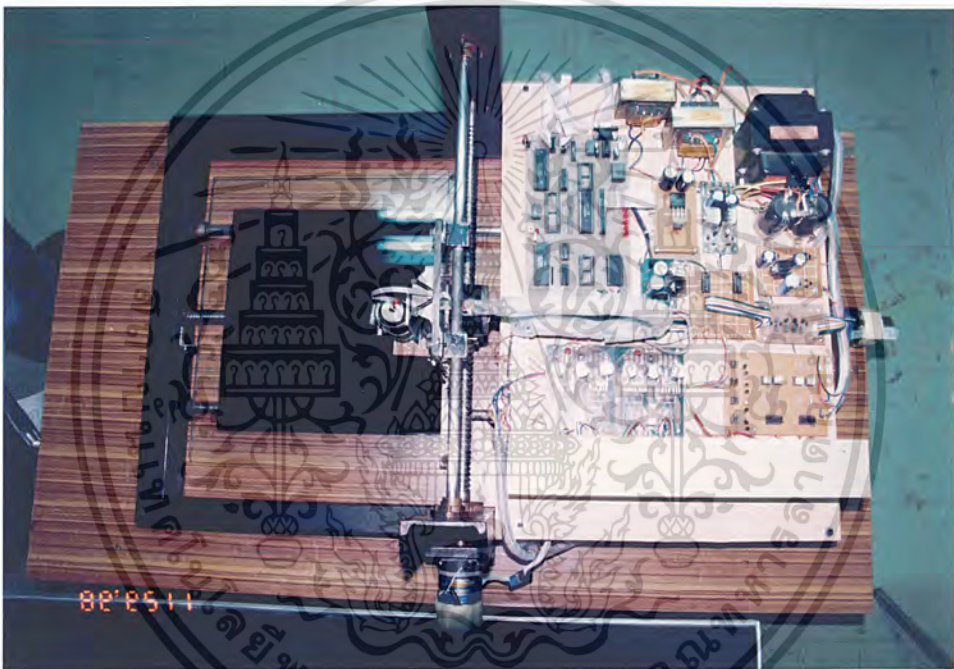
1. เครื่องคอมพิวเตอร์ (Micro computer) ใช้ในการรันโปรแกรมควบคุมเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ โดยใช้การส่งข้อมูลเชื่อมโยงการทำงานผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232
2. หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดเพราะเป็นหัวใจสำคัญของเครื่อง โดยการประมวลผลนี้เราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทั้งหมด
3. วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก (Digital to Analog Converter) โดยวงจรจะถูกแบ่งออกเป็นสองชุดด้วยกัน เพื่อใช้ในการแปลงสัญญาณดิจิทัลที่ถูกส่งออกมาจากหน่วยประมวลผลกลางแล้วทำการแปลงเป็นสัญญาณแอนะล็อก ที่เป็นแรงดันที่ใช้ในการควบคุมดิซี เซอร์โวมอเตอร์ ทั้งสองตัว
4. วงจรขยายสัญญาณ (Motor driver) เป็นวงจรภาคขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อขยายกำลังในภาคสุดท้ายในการขับเคลื่อนมอเตอร์ทั้งสามแกน ให้ขับเคลื่อนได้ตามที่หน่วยประมวลผลกลางกำหนด
5. วงจรชุดถอดรหัส (Decoder) เป็นวงจรที่ติดอยู่ในส่วนท้ายของดิซีเซอร์โวมอเตอร์ทั้งในส่วนของมอเตอร์แนวแกน X และแนวแกน Y เพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะทางในการเคลื่อนที่ของแกนทั้งสองให้เป็นไปในตำแหน่งที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ในส่วนในตำแหน่งของการเคลื่อนที่ทั้งในแนวแกน X แนวแกน Y และแนวแกน Z เพื่อตรวจสอบว่าเวลาใดที่แกนเคลื่อนที่ถึงจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของแนวการเคลื่อนที่ เพื่อทำการส่งสัญญาณไปอินเทอร์เฟซให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2 การออกแบบส่วนเครื่องกล

ส่วนของเครื่องกลหรือตัวเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ จะเป็นส่วนที่ใช้ในการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ส่วนของเครื่องกลของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ

ส่วนของเครื่องกลของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จะประกอบไปด้วยส่วนของการเคลื่อนที่ทั้งหมด 3 แกนคือ แกนเคลื่อนที่ตามยาวในแนวนอน (แกน X) แกนเคลื่อนที่ตามขวางในแนวนอน (แกน Y) และแกนเคลื่อนที่ตามแนวตั้ง (แกน Z) โดยแกนทั้ง 3 จะทำการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการด้วยการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ เพื่อทำการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติโดยหัวเจาะจะเป็นส่วนที่ติดตั้งอยู่บนแนวแกน Z จะใช้การขับเคลื่อนด้วยสเต็ปปีงมอเตอร์ส่วนในการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และแนวแกน Y จะถูกขับเคลื่อนด้วย ดีซี เซอร์โวมอเตอร์ที่มีความเร็วรอบในการขับเคลื่อนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

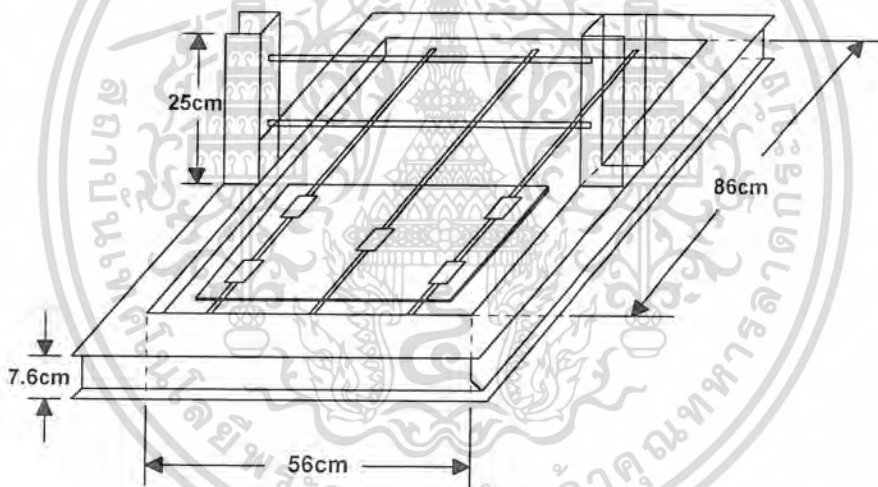
3.3 รายละเอียดในการออกแบบส่วนของเครื่องกล

ในส่วนของการออกแบบส่วนของเครื่องกลนั้นเราจะแบ่งการออกแบบออกเป็นส่วนใหญ่ๆ ด้วยกัน 4 ส่วนคือ

1. ส่วนของโครงเครื่องเจาะแผ่นวงจรมพิมพ์
2. ส่วนของการเคลื่อนที่ในแนวแกนอนตามยาว (แกน X)
3. ส่วนของการเคลื่อนที่ในแนวแกนอนตามขวาง (แกน Y)
4. ส่วนของการเคลื่อนที่ในแนวแกนตั้ง (แกน Z)

3.3.1 การออกแบบส่วนของโครงเครื่องเจาะแผ่นวงจรมพิมพ์

ในส่วนของโครงเครื่องเจาะแผ่นวงจรมพิมพ์นั้นจะแสดงดังรูปที่ 3.3



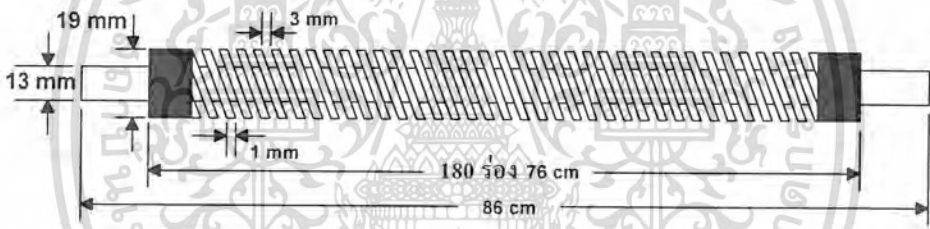
รูปที่ 3.3 โครงเครื่องเจาะแผ่นวงจรมพิมพ์อัตโนมัติ

จากรูปที่ 3.3 ในส่วนของการออกแบบโครงเครื่องเจาะนั้นจะใช้การออกแบบโครงเครื่องด้วยเหล็กรูปตัว C มีความกว้าง 7.6 เซนติเมตร โดยออกแบบเป็นโครงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีขนาดความยาว 86 เซนติเมตร ความกว้าง 56 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถเจาะแผ่นวงจรมพิมพ์ ที่มีขนาดใหญ่ได้ ตรงกลางของโครงในด้านยาวจะทำเป็นเสาทั้งสองข้าง เพื่อทำการติดตั้งแกน Y โดยมีความสูง 25 เซนติเมตร ด้วยเหล็กชนิดเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การออกแบบส่วนของแนวแกน X

ในส่วนของการออกแบบแนวแกนตามยาวหรือแนวแกน X จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่ามีแกนตามยาวทั้งหมด 3 แกน ซึ่งแบ่งออกเป็นแกนเพลากลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร สองแกน และแกนกลางเป็นเพลากะลิวต์วุ้นอนตี้เหลียมจัตุรัสความยาว 86 เซนติเมตร ความยาวเฉพาะส่วนที่เป็นเกลียวตัวหนอน ยาว 76 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวขนาด 19 มิลลิเมตร โดยแกนทั้งสองข้างที่ไม่มีเกลียวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร มีร่องเกลียวทั้งหมด 180 ร่อง หรือ 6 เกลียว/นิ้ว โดยปลายแกนทั้งสองด้านของเพล่า จะถูกต่อเข้ากับคลັบลูกปืนเพื่อช่วยให้การเคลื่อนที่คล่องตัวขึ้น ปลายข้างหนึ่งของแกนจะต่อกับคิซี เซอร์โวมอเตอร์ โดยต่อเข้าด้วยกันด้วยขอย เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนแกนให้เคลื่อนที่ โดยคิซี เซอร์โวมอเตอร์มีกำลังขับ 60 วัตต์ ทนแรงดันได้สูงสุด 36 โวลต์ คิซี ใช้กระแสไฟฟ้า 1.85 แอมแปร์ มีความเร็วรอบในการหมุน 3000 rpm

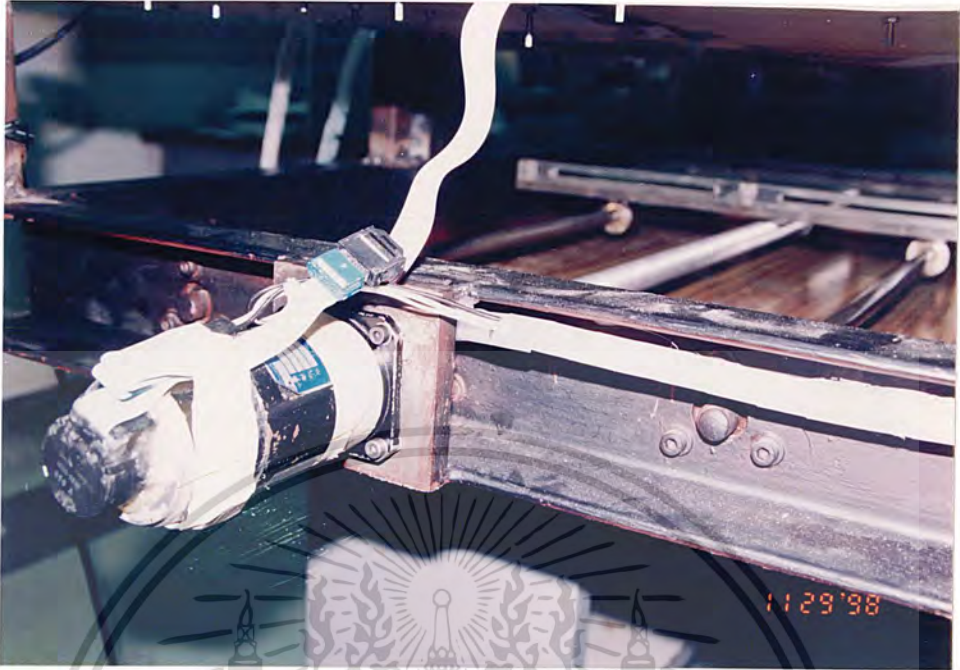


รูปที่ 3.4 แกนเพลากะลิวต์วุ้นอนตี้เหลียมแนวแกน X

จากรูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของแกนเพลากะลิวต์วุ้นอนตี้เหลียมแนวแกน X โดยมีแกนเพลากลมสองแกนขนานอยู่ทั้งสองด้านของเพลากะลิวต์ จะช่วยในการพาแทนร่องเจาะที่ถูกวางอยู่บนแกนเพล่าทั้ง 3 ซึ่งเป็นแผ่นอะลูมิเนียม ขนาดความกว้าง 40 เซนติเมตร ความยาว 50 เซนติเมตร และความหนา 0.5 เซนติเมตร ด้วยการใส่บูตในการติดตั้งเข้าด้วยกันให้เคลื่อนที่ไปทั้งแทนร่องตามที่กำหนด

ในการควบคุมตำแหน่งของจุดเริ่มต้นการทำงาน หรือจุด Origin นั้นเราจะทำการติดตั้งไมโครสวิตช์ เอาไว้ที่ด้านหนึ่งของโครงเครื่องในแนวเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของแกน เมื่อเริ่มทำงานมอเตอร์ก็จะหมุนเพล่าให้เคลื่อนที่จนแทนร่องเจาะ ไปอยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น จึงทำการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ตามคำสั่งต่อไปดังแสดงในรูปที่ 3.5

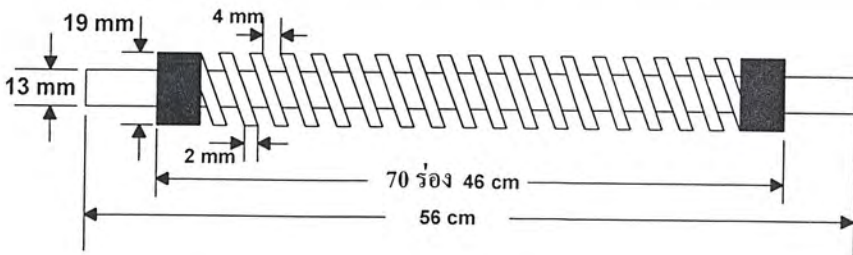
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การออกแบบส่วนของแนวแกน X

3.3.3 การออกแบบส่วนของแนวแกน Y

ในส่วนของการออกแบบแนวแกนตามขวาง หรือแนวแกน Y จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่า มีแกนตามขวางทั้งหมด 2 แกน ซึ่งแบ่งออกเป็นแกนเพลากลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร หนึ่งแกน และอีกหนึ่งแกนด้านล่างจะเป็นเพลากะลี่ยตัวหนอนสี่เหลี่ยมจัตุรัสความยาว 56 เซนติเมตร ความยาวเฉพาะส่วนที่เป็นเกลียวตัวหนอน ยาว 46 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวขนาด 19 มิลลิเมตร โดยแกนทั้งสองข้างที่ไม่มีเกลียว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร มีร่องเกลียวทั้งหมด 70 ร่อง หรือขนาด 4 เกลียว/นิ้ว

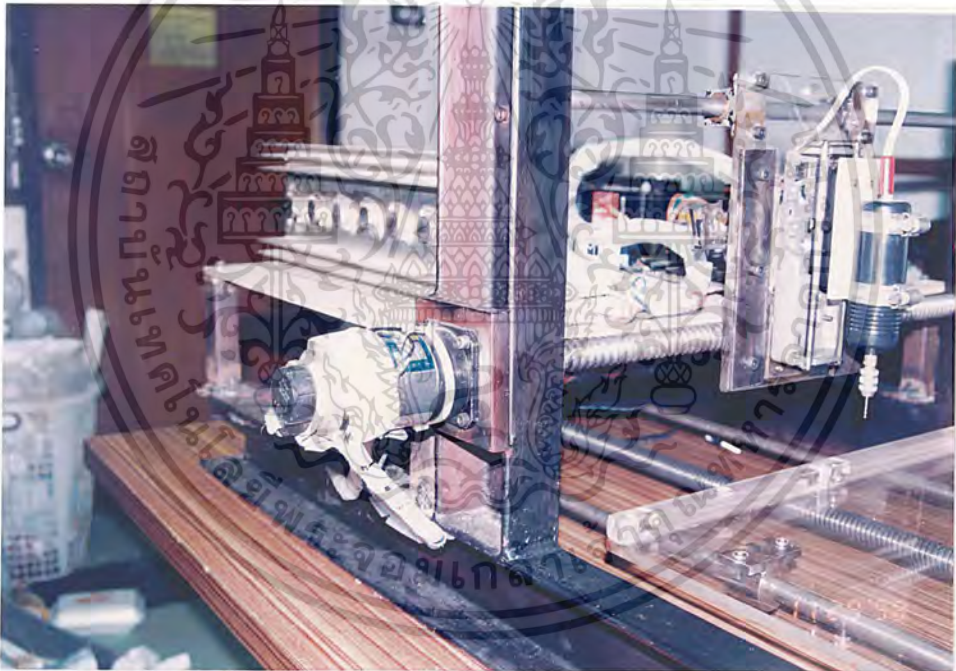


รูปที่ 3.6 แกนเพลากะลี่ยตัวหนอนแนวแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของแกนเพลากลียวตัวหนอนแนวแกน Y โดยปลายแกนทั้งสองด้านของเพลางจะถูกต่อเข้ากับตลับลูกปืน เพื่อช่วยให้การเคลื่อนที่คล่องตัวขึ้น ปลายข้างหนึ่งของแกนจะต่อกับดีซี เซอร์โวมอเตอร์ โดยต่อเข้าด้วยกันด้วยขอย เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนแกนให้เคลื่อนที่ โดยดีซี เซอร์โวมอเตอร์มีกำลังขับ 40 วัตต์ ทนแรงดันได้สูงสุด 36 โวลต์ ดีซี ใช้กระแสไฟฟ้า 1.85 แอมป์ มีความเร็วรอบในการหมุน 3000 rpm โดยแกนทั้งสองจะมีการติดตั้งแกนแนวตั้งที่ใช้ในการเจาะเอาไว้ด้วยกันเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่หัวเจาะไปในตำแหน่งที่ต้องการ

ในการควบคุมตำแหน่งของจุดเริ่มต้นการทำงาน หรือจุด Origin นั้นเราจะทำการติดตั้งไมโครสวิตซ์ เอาไว้ที่ด้านหนึ่งของโครงเครื่องในแนวเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของแกน เมื่อเริ่มทำงานมอเตอร์ก็จะหมุนเพลากลียวให้เคลื่อนที่จนหัวเจาะไปอยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นจึงทำการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ตามคำสั่งต่อไปดังแสดงในรูปที่ 3.7

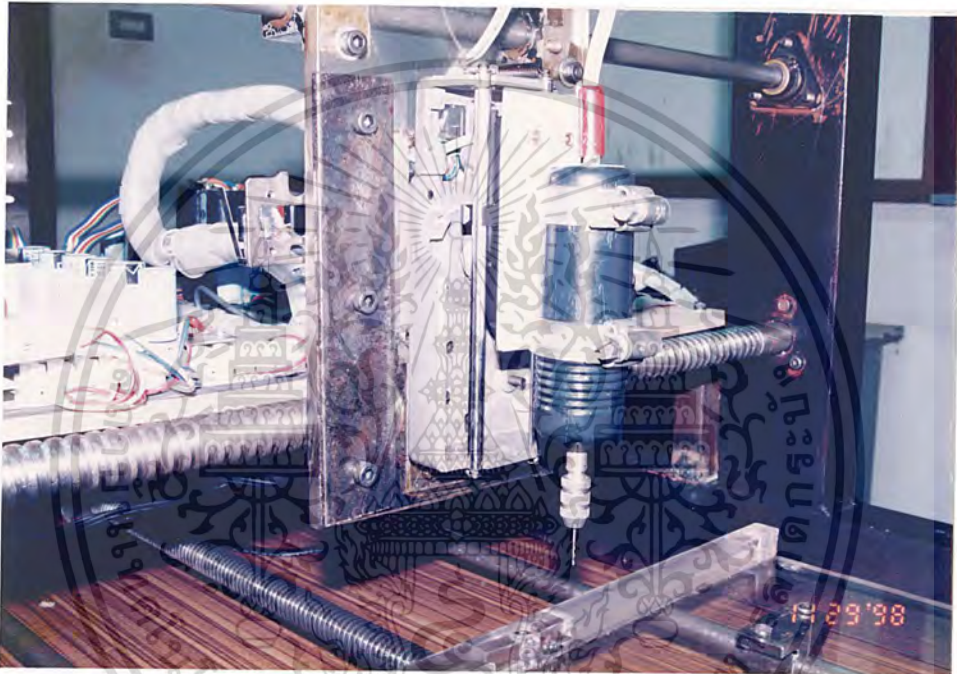


รูปที่ 3.7 การออกแบบส่วนของแนวแกน Y

3.3.4 การออกแบบส่วนของแนวแกน Z

ในส่วนของการออกแบบแนวแกนตั้งหรือแนวแกน Z จะใช้หัวเจาะที่ออกแบบมาด้วยการใช้สเตปปีงมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ส่วนขึ้นลงในกาเจาะ โดยจะใช้สเตปปีงมอเตอร์ 4 เฟส แรงดัน 6 โวลต์/เฟส ใช้กระแส 0.6 แอมแปร์/เฟส หมุน 1.8 องศา/สเตป ซึ่งเมื่อสเตปปีงมอเตอร์เคลื่อนที่จะพาส่วนที่ติดตั้งอยู่ที่แกน เคลื่อนที่ขึ้นลงเพื่อทำการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ต่อไป

ในการควบคุมตำแหน่งของจุดเริ่มต้นการทำงาน หรือจุด Origin นั้นเราจะทำการติดตั้งไมโครสวิตช์ เอาไว้ที่ด้านบนของหัวเจาะเมื่อหัวเจาะเคลื่อนที่พาส่วนขึ้นมาด้านบนจะทำให้ไมโครสวิตช์ทำงาน ทำให้ส่งอินเทอร์รัพไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อบอกให้รู้ว่าหัวเจาะได้พร้อมที่จะปฏิบัติการ หรืออีกนัยหนึ่งคือหัวเจาะอยู่ในสภาวะรอ แต่หากว่าในขณะที่เริ่มต้นทำการเจาะไปแล้วหน้าที่ไมโครสวิตช์ก็จะหมายถึงการที่หัวเจาะ ได้ทำการเจาะเสร็จสิ้นแล้ว และรอการเจาะในรูต่อไป ตามคำสั่งดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การออกแบบส่วนของแนวแกน Z

3.4 วงจรควบคุมเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ

ในส่วนของวงจรควบคุมเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ จะแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ ด้วยกัน 4 ส่วนคือ

1. วงจรชุดเพาเวอร์ซัพพลาย
2. วงจรชุดไมโครคอนโทรลเลอร์
3. วงจรชุดภาคขับเคลื่อน เซอร์โวมอเตอร์
4. วงจรชุดควบคุมเบรก
5. วงจรชุดแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

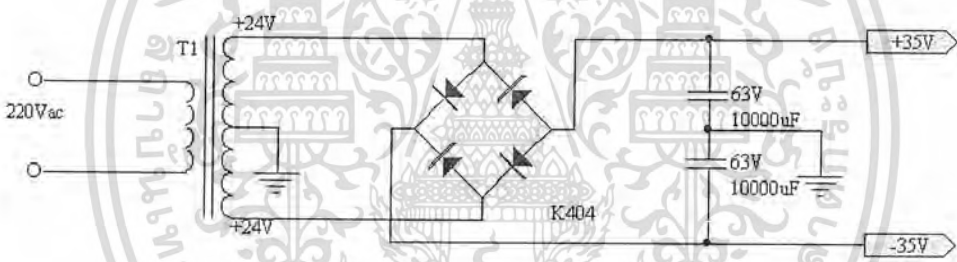
3.4.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟจะแบ่งออกเป็น 5 ชุดด้วยกันดังนี้

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 35 โวลต์ ใช้จ่ายไฟให้กับชุดขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์
2. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์ ใช้จ่ายไฟให้กับชุดคอนโทรลเบรก
3. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ใช้จ่ายไฟให้กับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์
4. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ใช้จ่ายไฟให้กับชุดขับสเตปป์มอเตอร์

1. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 35 โวลต์

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 35 โวลต์ดังแสดงในรูปที่ 3.9 จะเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งในวงจรนี้ต้องการกระแสที่สูงมาก จึงต้องใช้บริดจ์ไดโอดที่มีการทนกระแสถึง 4 แอมแปร์ และต้องใช้กระแสที่เรียบมาก จึงใช้ตัวเก็บประจุค่า 10000 μF 63 โวลต์ใน การกรองกระแสทั้งทางด้านบวก และทางด้านลบ

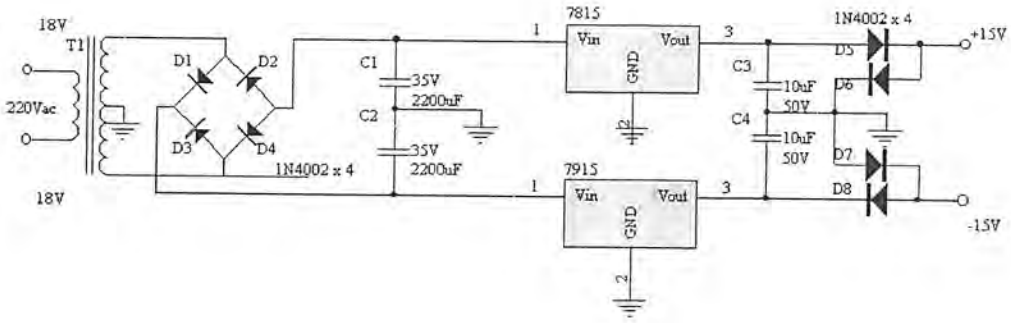


รูปที่ 3.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 35 โวลต์

2. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ใช้ในการจ่ายแรงดันให้กับวงจร DAC(Digital to Analog Converter) ซึ่งใช้ออปแอมป์ในการทำงาน การออกแบบวงจรจะใช้วงจร R-2R Radder โดยแรงดันที่ได้ทางเอาต์พุตของวงจรออปแอมป์แบบ R-2R Radder จะใช้ในการควบคุมการทำงานของดีซี เซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งการควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุตจะใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์ 7815 และ 7915 ในการจำกัดแรงดันให้คงที่ทั้งทางด้านบวก และทางด้านลบตลอดการทำงาน

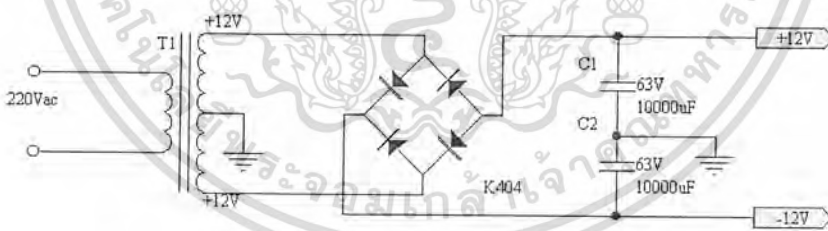
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์

3. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์

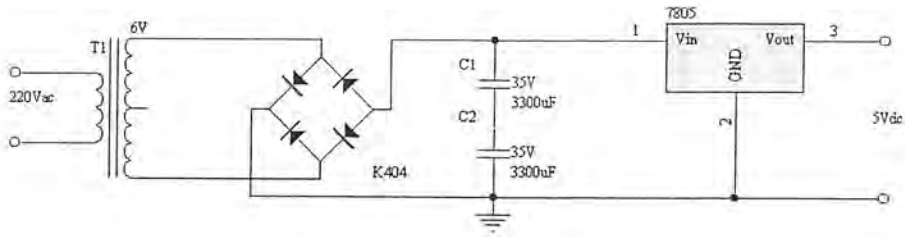
ในวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์ดังแสดงในรูปที่ 3.11 วงจรชุดนี้จะจ่ายไฟให้กับชุดวงจรคอนโทรลเบรก ซึ่งใช้ในการหยุดการทำงานของดีซี เซอร์โวมอเตอร์ โดยจะต้องใช้กระแสที่มีความเรียบมาก จึงต้องออกแบบให้มีค่าความจุของตัวเก็บประจุ 10000 μF จึงจะได้กระแสที่เรียบสนิท ซึ่งการทำงานจะถูกสั่งงานในการควบคุมการเบรกผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งสัญญาณในการควบคุมการจ่ายไฟเบรกให้กับวงจรอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์

4. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

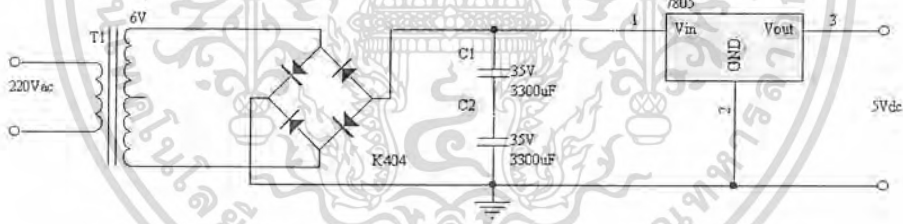
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ใช้ในการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะต้องใช้แรงดันที่คงที่ และกระแสที่ได้จะต้องเรียบมาก จึงต้องใช้ตัวเก็บประจุในการกรองกระแส 3300 μF และใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์ 7805 ในการจำกัดแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้คงที่ กษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

5. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งจะใช้ในการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ วงจรควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์ ซึ่งจะต้องใช้แรงดันที่คงที่ และกระแสที่ได้จะต้องเรียบมาก จึงต้องใช้ตัวเก็บประจุในการกรองกระแส 3300 µF และใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์ 7805 ในการจำกัดแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้คงที่



รูปที่ 3.12 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

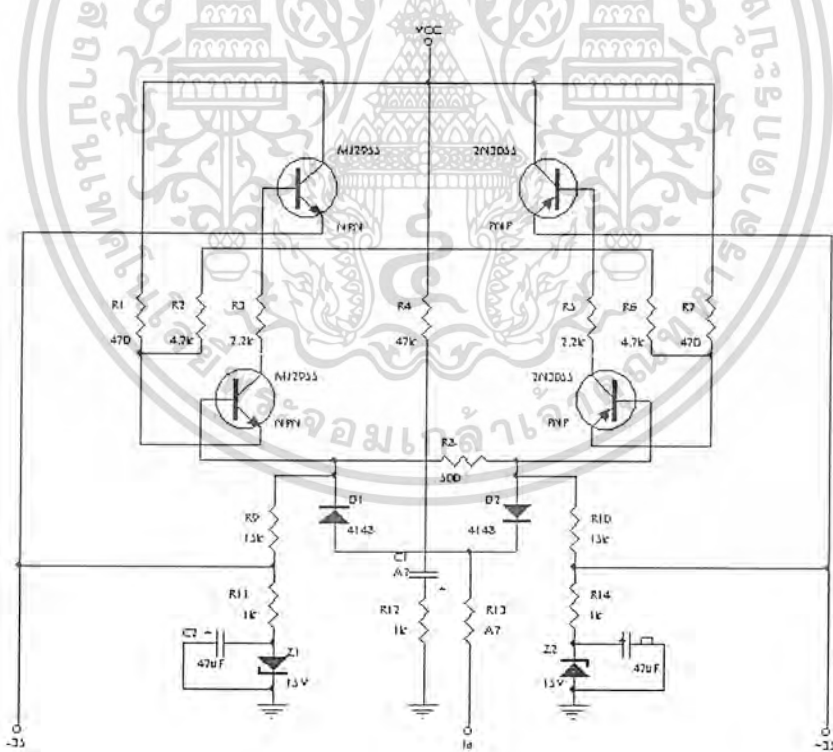
3.4.2 วงจรชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ทั้ง 3 แกน ซึ่งจะแบ่งออกเป็นสองชุดคือ ชุดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 จะทำการควบคุมการทำงานของแกน Y และแกน Z ในส่วนของการควบคุมแกน Y จะใช้การถอดรหัสจากเอนโคเดอร์ที่ติดอยู่กับ ดีซี เซอร์โวมอเตอร์โดยจะทำการส่งพัลส์ ซึ่งเป็นพัลส์ที่ใช้ในการควบคุมทิศทาง และพัลส์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบในการหมุน เพื่อทำการกำหนดตำแหน่งในการเจาะ ส่วนแกน Z จะใช้การส่งพัลส์ไปควบคุมการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์โดยตรง เพื่อให้หัวเจาะเลื่อนขึ้น เลื่อนลงในตำแหน่งที่กำหนดไว้ห่างจากแกน X และแกน Y

ส่วนชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 จะทำงานในการควบคุมการทำงานของดีซี เซอร์โวมอเตอร์ ที่ใช้ในการขับเคลื่อนแกน X โดยจะทำการถอดรหัสจากเอนโคเดอร์ที่ติดอยู่กับตัวมอเตอร์จะส่งพัลส์ ซึ่งเป็นพัลส์ที่ใช้ในการควบคุมทิศทาง และพัลส์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบในการหมุน ส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลในการกำหนดตำแหน่งในการเจาะที่แน่นอน ซึ่งรูปวงจรถัดไปแสดงไว้ในภาคผนวก ข รูปที่ ข.1 และรูปที่ ข.2

3.4.3 วงจรภาคขับดีซี เซอร์โวมอเตอร์

ในวงจรขับดีซี เซอร์โวมอเตอร์นั้นเราจะใช้ทรานซิสเตอร์ในการทำงานแบบพหุขั้ว โดยจะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3055 และ MJ2955 ในการขยายสัญญาณภาคสุดท้าย ซึ่งสามารถขยายสัญญาณทั้งทางด้านบวกและลบ โดยรับสัญญาณอินพุตมาจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก แล้วทำการขยายแรงดันเพื่อไปขับดีซี เซอร์โวมอเตอร์ โดยจะแบ่งออกเป็นสองชุดด้วยกันเพื่อทำการขับมอเตอร์แต่ละตัวดังแสดงในรูปที่ 3.13

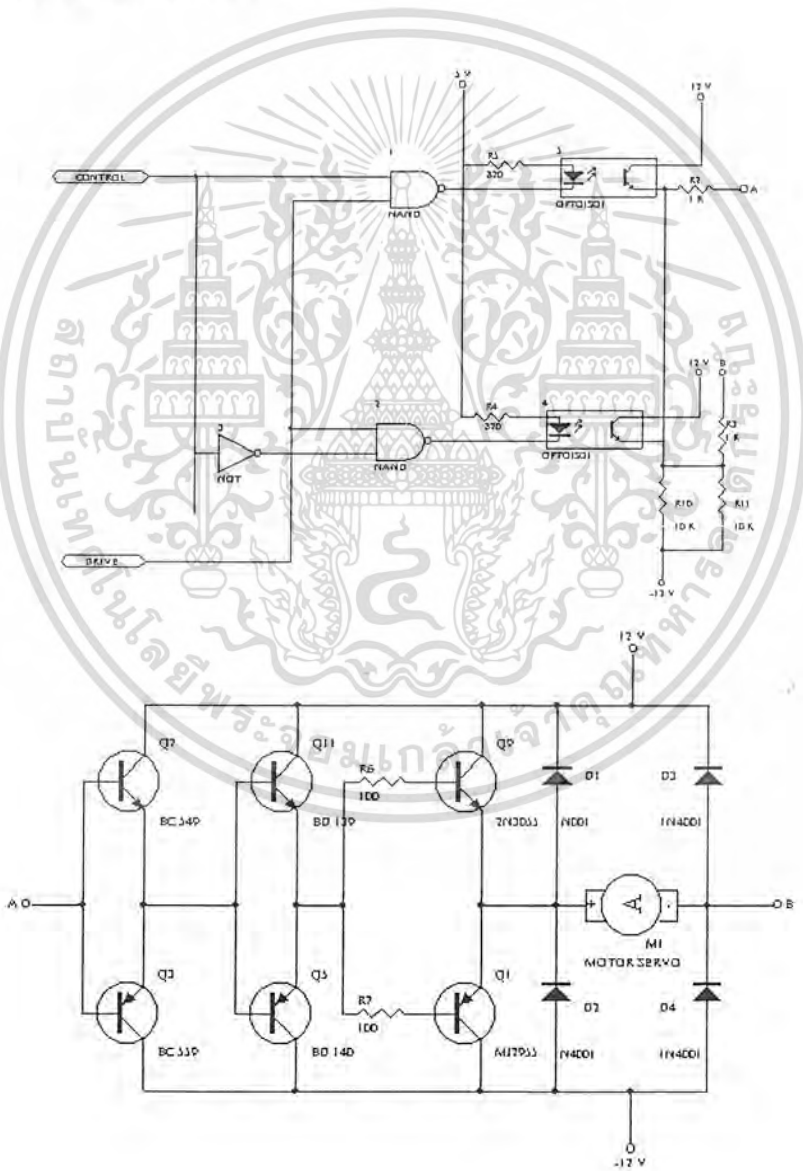


รูปที่ 3.13 วงจรภาคขับดีซี เซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 วงจรควบคุมเบรก

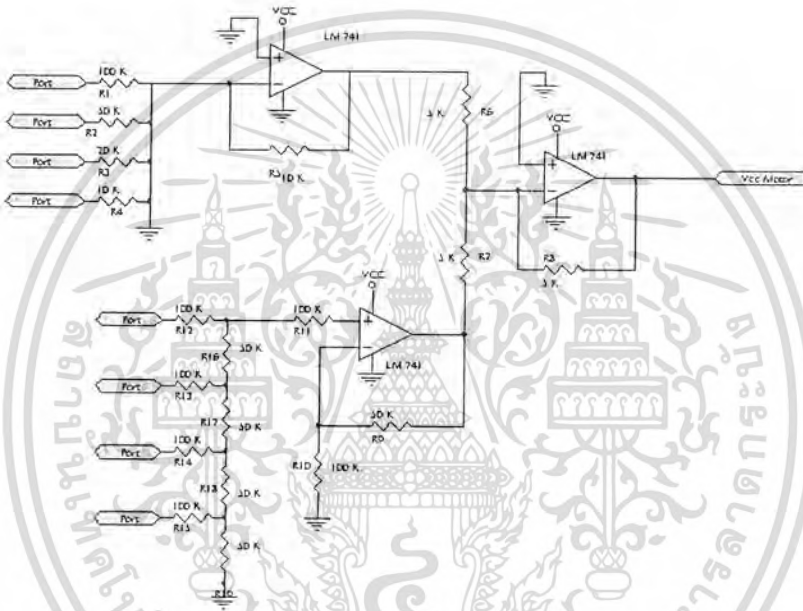
วงจรควบคุมเบรกดังแสดงในรูปที่ 3.14 จะมีการทำงานโดยเมื่อทำการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์นั้น ดิซี เซอร์โวมอเตอร์ในส่วนของชุดเซอร์โวจะต้องมีการปลดเบรกหรือการส่งพัลส์ 1 จากไมโครคอนโทรลเลอร์มาให้กับวงจร เพื่อให้ดิซี เซอร์โวมอเตอร์จะสามารถทำการหมุนเพื่อเคลื่อนที่แกน X และแกน Y โดยถ้าหากต้องการจะเบรกการทำงานของมอเตอร์ก็ทำการจ่ายพัลส์ 0 ให้กับวงจรจึงจะสามารถที่จะหยุดการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองได้ โดยสภาวะนี้ก็คือสภาวะปกติของดิซี เซอร์โวมอเตอร์นั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.14 วงจรควบคุมเบรก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

จากรูปที่ 3.15 จะเป็นวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก โดยการทำงานจะเริ่มจากการรับสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้ามาทางอินพุต แล้วทำการแปลงเป็นสัญญาณแอนะล็อกซึ่งแบ่งออกเป็น 16 ระดับทั้งทางด้านบวก และทางด้านลบ เพื่อทำการส่งแรงดันที่ได้ไปเข้าวงจรขับภาคสุดท้าย เพื่อใช้ในการควบคุมดิซี เซอร์โวมอเตอร์ โดยจะมีทั้งหมด 2 วงจรด้วยกัน เพื่อแยกการควบคุมมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวในการขับเคลื่อนแกน X และแกน Y

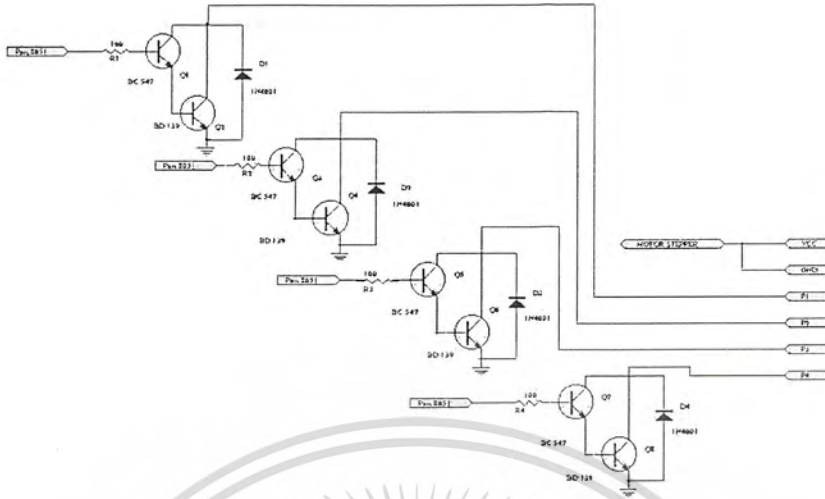


รูปที่ 3.15 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

3.4.6 วงจรขับสเตปป์มอเตอร์

วงจรขับสเตปป์มอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยการทำงานจะเริ่มจากการรับสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วส่งต่อมายังวงจร เพื่อทำการควบคุมการเคลื่อนที่ของสเตปป์มอเตอร์ทางด้านแกน Z โดยจะทำการป้อนพัลส์ออกมาควบคุมการทำงานของสเตปป์มอเตอร์โดยตรง จากนั้นก็นำพัลส์ที่ได้ไปทำการขยายสัญญาณ โดยผ่านวงจรขับสเตปป์มอเตอร์ เพื่อทำการควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ในการควบคุมหัวส่วนขึ้น-ลง เพื่อทำการเจาะให้ตรงตามตำแหน่งที่กำหนด

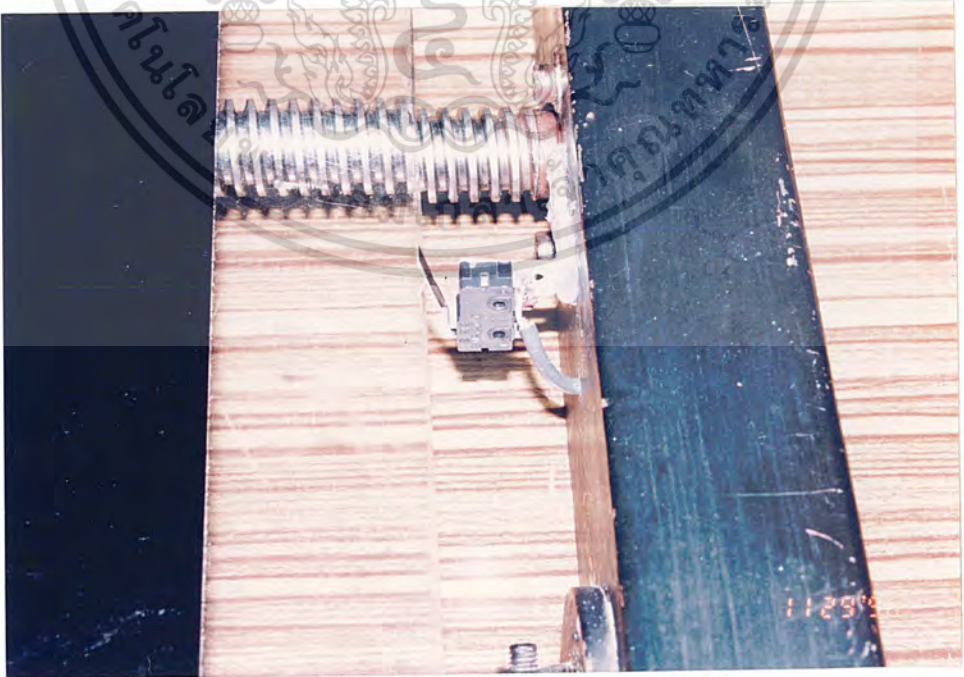
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



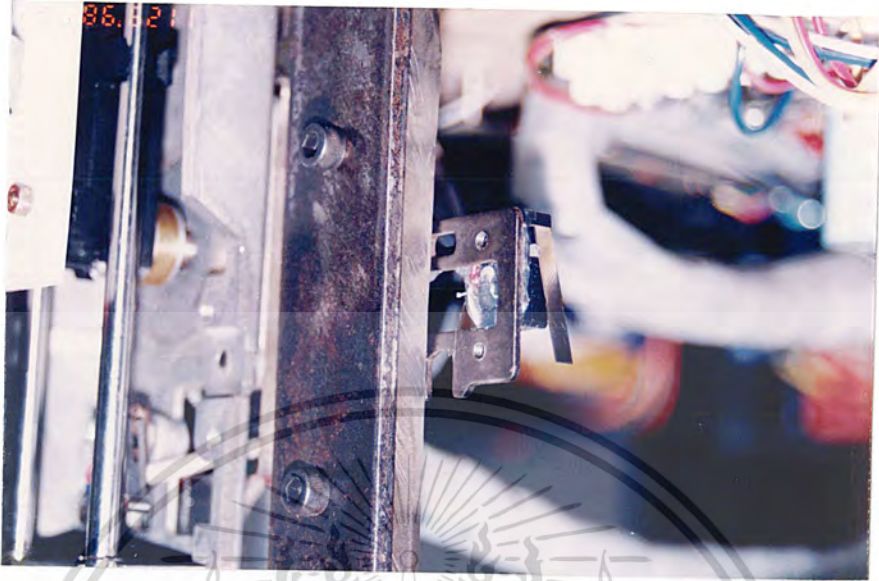
รูปที่ 3.16 วงจรจับสแต๊ปมอเตอร์

3.4.7 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ

ในแต่ละแกนมีอุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เจาะไม่ถูกต้องตามระยะที่กำหนด โดยในแต่ละแกนจะใช้อุปกรณ์ตรวจจับแกนละ 1 ตำแหน่ง คือ ไมโครสวิตช์ (Micro switch) ดังแสดงในรูปที่ 3.17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับในแกน Y



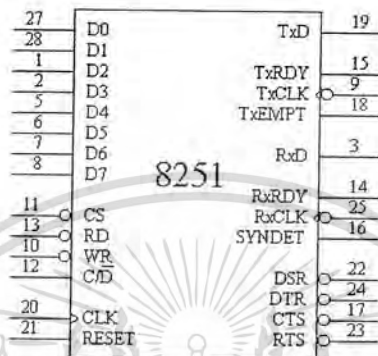
รูปที่ 3.17 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับในแกน X, Y และ Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบส่วนควบคุมการเจาะ

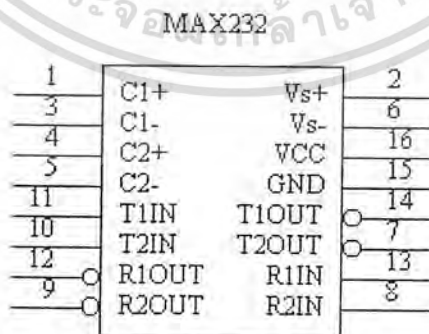
3.5.1 การออกแบบพอร์ตอนุกรม (Serial port)

ในการออกแบบพอร์ตอนุกรมใช้ไอซี พอร์ตอนุกรม เบอร์ 8251 ทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การออกแบบพอร์ตอนุกรมโดยใช้ไอซีเบอร์ 8251

พอร์ตอนุกรม 8251 นี้กำหนดบอดเรท (Baud rate) เป็น 9600 ซึ่งเป็นคล็อก (clock) ของอัตราการรับส่งข้อมูลซึ่งไม่เกี่ยวกับระบบคล็อกภายนอก และกำหนดค่าให้ภายใน 8251 ใช้บอดเรท X1 ดังนั้นต้องใช้สัญญาณนาฬิกาภายนอกให้ 8251 ทางขา TxC และ RxD ซึ่งเป็น CLK ของการรับส่งข้อมูลตามลำดับ เท่ากับ 9,600 บอดเรท โดยสัญญาณนาฬิกาที่ได้มาจากไอซีกำเนิดบอดเรท MAX-232 ซึ่งมีโครงสร้างของขาต่อใช้งานดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 โครงสร้าง ของขาต่อใช้งานของไอซี MAX-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเซตบอดเรทของพอร์ต กำหนดโดยใช้ไทมเมอร์ (Timer) ที่นับจาก MSC-51 โดยแสดง
ดังในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเลือกใช้อัตราบอดเรท และค่ากำหนดเริ่มต้น

BUAD RATE	CRYSTAL FREQUENCY (MHz)	SMOD	TH1 RELOAD VALUE	ACTUAL BUAD RATE	ERROR (%)
9600	12.000	1	-7 (0F9H)	8923	7
2400	12.000	0	-13 (0F3H)	1202	0.16
1200	12.000	0	-26 (0E6H)	1202	0.16
19200	11.059	1	-3 (0FDH)	19200	0
9600	11.059	0	-3 (0FDH)	9600	0
2400	11.059	0	-12 (0F4H)	2400	0
1200	11.059	0	-24 (0E8H)	1200	0



BUAD RATE = 9,600

DATA = 8 BIT

STOP BIT = 1 BIT

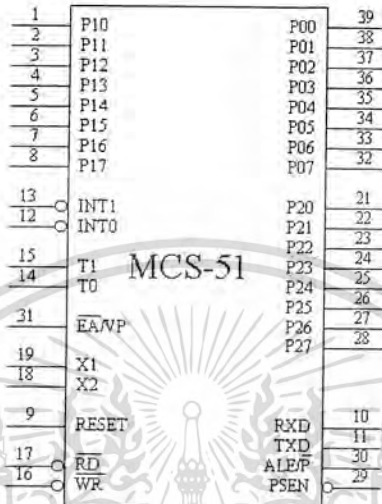
PARITY BIT = NONE

รูปที่ 3.20 สัญญาณที่ใช้ติดต่อกับ PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การออกแบบหน่วยประมวลผลกลาง

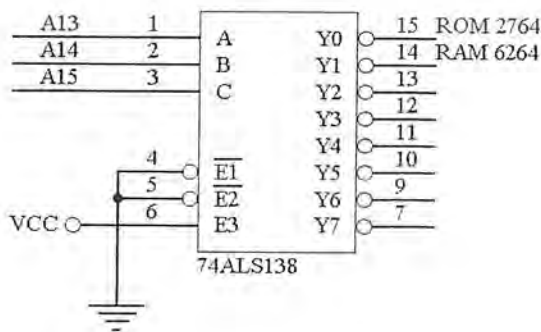
ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

การใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 การจะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงนั้น จะต้องมี การติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ เช่น หน่วยความจำ อุปกรณ์อินพุต เอาต์พุตต่างๆ จึงจำเป็นต้องมีการถอดรหัส (Decode) เพื่อเป็นการเลือกการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ ที่มีว่า ต้องการจะทำการติดต่อกับอุปกรณ์ใด ก็เลือกอุปกรณ์นั้นทำงาน ตัวเลือกนี้คือดีโคเดอร์

การถอดรหัสเป็นการแบ่งส่วนของตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำ ซึ่งในการถอดรหัสเพื่อเลือกใช้พอร์ต จะใช้ไอซี 74LS138 ในการถอดรหัส ดังแสดงในรูปที่ 3.22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่แบ่งปันเนื้อหาและข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.22 การถอดรหัสโดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS138

การถอดรหัสนั้นจะแบ่งหน่วยความจำที่ใช้ออกเป็นตำแหน่งต่างๆ โดยหน่วยความจำรวมเบอร์ 2764 จะทำงานที่ตำแหน่งแอดเดรส 0000-1FFFFH และหน่วยความจำรวมเบอร์ 6264 จะทำงานที่ตำแหน่งแอดเดรส 2000-3FFFFH ส่วนการถอดรหัสพอร์ตจะใช้อินพุต/เอาต์พุตพอร์ตเบอร์ 8255 จะใช้หมายเลขพอร์ต ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 หมายเลขพอร์ตของไอซีเบอร์ 8255

อุปกรณ์	หมายเลขพอร์ต
8255 พอร์ต A	E000H
8255 พอร์ต B	E001H
8255 พอร์ต C	E002H
8255 พอร์ต Control	E003H

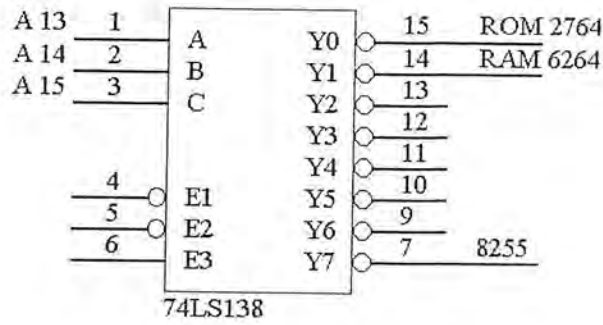
การถอดรหัสหน่วยความจำ (Decode memory) ที่รวมเบอร์ 2764 และรวมเบอร์ 6264 จะมี การถอดรหัสดังแสดงในตารางที่ 3.3

จะเห็นว่า ค่าตำแหน่งที่ถอดรหัสได้คือ 0000-1FFFFH โดยจะได้เอาต์พุตออกทางขา Y0 ของ ไอซีเบอร์ 74LS138 ซึ่งเป็นการเลือกให้รวมทำงาน และตำแหน่ง 2000-3FFFFH จะได้เอาต์พุตออก ทางขา Y1 ซึ่งเป็นการเลือกให้รวมทำงาน โดยตำแหน่งอื่นๆ นั้นรวม และรวมจะไม่ทำงาน

ตารางที่ 3.3 การถอดรหัสอุปกรณ์หน่วยความจำภายนอก

ขาแอดเดรส			หมายเลขพอร์ต	เอาต์พุต
A13	A14	A15		
0	0	0	0000-1FFFFH	Y0
1	0	0	2000-3FFFFH	Y1
0	1	0	4000-5FFFFH	Y2
1	1	0	6000-7FFFFH	Y3
0	0	1	8000-9FFFFH	Y4
1	0	1	A000-BFFFFH	Y5
0	1	1	C000-DFFFFH	Y6
1	1	1	E000-FFFFFH	Y7

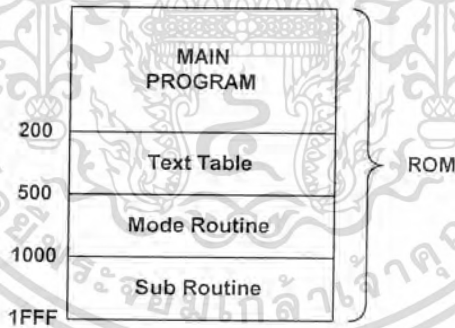
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



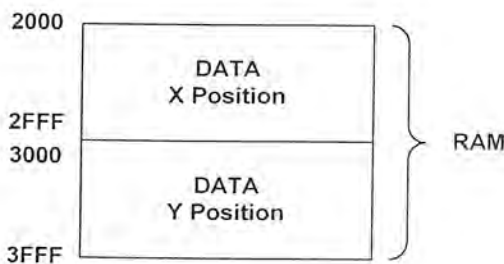
รูปที่ 3.23 วงจรถอดรหัสสัญญาณภายนอก

3.5.3 การออกแบบหน่วยความจำ (Memory)

หน่วยความจำสำหรับใช้ในงานไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ มีวงจรใช้งานดังรูปที่ ก.1 และรูปที่ ก.2 โดยวงจรดังกล่าวจะใช้รอมเบอร์ 2764 และแรมเบอร์ 6264 ในการเก็บข้อมูลควบคุมระบบและข้อมูลที่ใช้ในการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติตามลำดับ โดยการจัดแผนผังของหน่วยความจำสำหรับรอม และแรมแสดงรูปที่ 3.24 และรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.24 แผนผังของหน่วยความจำรอม

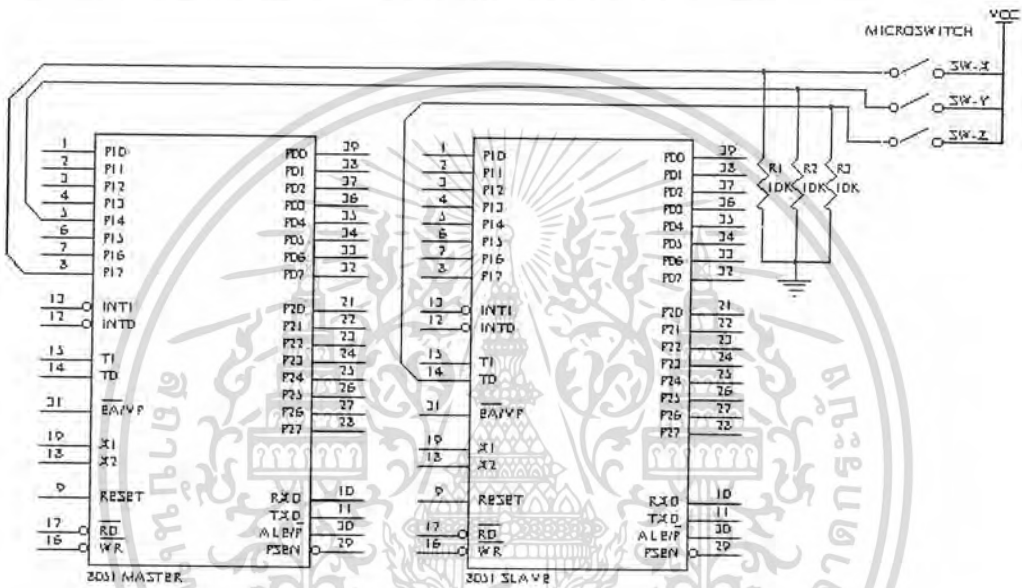


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูปที่ 3.25 แผนผังของหน่วยความจำแรมของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับ (Micro switch)

อุปกรณ์ตรวจจับนี้ใช้สำหรับตรวจจับค่าความผิดพลาด และใช้ในการตั้งค่าเริ่มต้นในการเจาะที่ตำแหน่งเริ่มต้นที่จุด Origin อุปกรณ์ตรวจจับนี้จะใช้ไมโครสวิตช์ในการตรวจจับดังแสดง ในรูปที่ 3.26

จากวงจรจะเห็นว่าจะใช้ไมโครสวิตช์ต่อระหว่างขั้ว NO (ปกติเปิด) ถ้าหากมีการชนทางด้านใด ก็จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งสองตัวทราบถึงการอินเตอร์รัพ

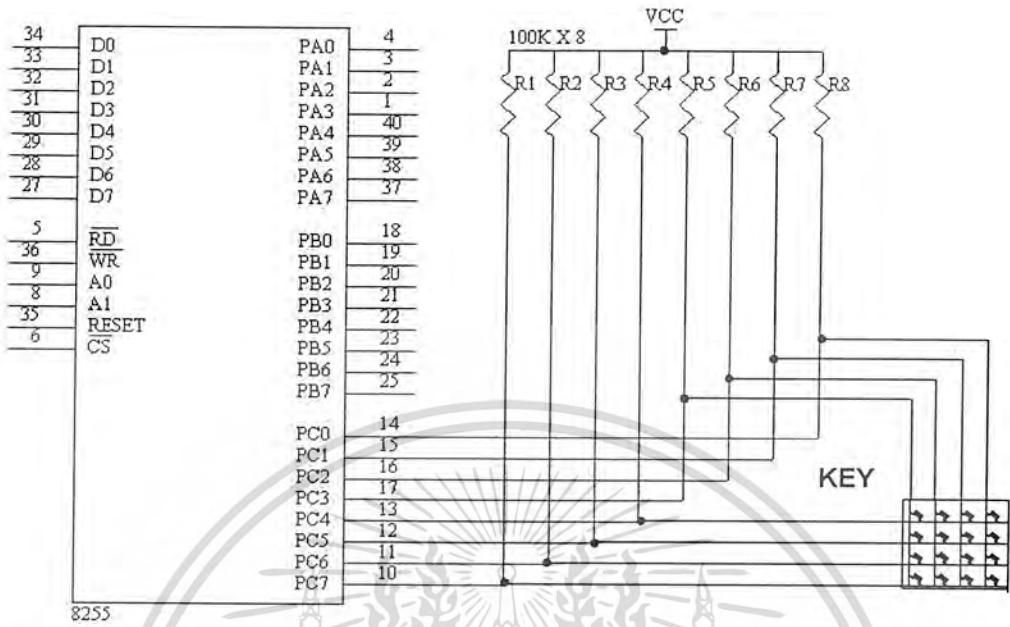


รูปที่ 3.26 วงจรตรวจจับไมโครสวิตช์

3.5.5 การออกแบบวงจรคีย์บอร์ด

การออกแบบวงจรคีย์บอร์ดดังแสดงในรูปที่ 3.27 นั้นใช้หลักการของสวิตช์เมตริกซ์ (Matrix switch) เพื่อเป็นการประหยัดพอร์ต เพราะสามารถใช้พอร์ต C ของ 8255 เพียง 1 พอร์ตก็สามารถต่อสวิตช์ข้อมูลออกมาทางพอร์ต C 4 บิตสูง เพื่อใช้ในการสแกน โดยที่ถ้าหากไม่มีการกดคีย์ข้อมูลเข้ามาทางพอร์ต C 4 บิตต่ำ จะเป็น 1111 ถ้าหากมีการกดคีย์จะทำให้ได้ค่าเป็นไปได้ 4 ค่า คือ 1110, 1101, 1011, 0111 จะนำค่าที่ส่งมาจากพอร์ต C 4 บิตสูง มาต่อกันจะทำให้ได้ 1110, 1101, 1011, 0111 วนไปเรื่อย ๆ เมื่อมีการกดคีย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะทำการรับข้อมูลได้โดยผ่าน 8255 และทำการตีเทค โดยโปรแกรมว่าสวิตช์ที่กดนั้นใช้ทำหน้าที่อะไร จากนั้นก็จะดำเนินการทำงานตามที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 วงจรของคีย์บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติสร้างโดยมีส่วนประกอบทั้งส่วนของเครื่องกลและส่วนควบคุมที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นบทนี้จะกล่าวถึงการทดลอง และการทดสอบการทำงานของเครื่อง และการทดสอบการทำงานของวงจรซึ่งแบ่งได้ 4 การทดลองคือ

- 4.1 การทดลองการทำงานของวงจร
- 4.2 การทดลองระยะของการเคลื่อนที่ทางแกน X
- 4.3 การทดลองระยะของการเคลื่อนที่ทางแกน Y
- 4.4 การทดลองหาความเร็วของการเคลื่อนที่ทางแกน Z
- 4.5 การทดลองหาความเร็วในการเคลื่อนที่ทางแกน X, Y และ Z
- 4.6 การทดลองเจาะแผ่นวงจรพิมพ์จริงเพื่อทดสอบความเร็ว

4.1 การทดลองการทำงานของวงจร

ในการทดลองวงจรแหล่งจ่ายไฟในส่วนต่างๆ ผลการทดลองสามารถให้เอาต์พุตได้ตรงตามที่ได้ทำการออกแบบคือ 5 โวลต์, ± 12 โวลต์, ± 15 โวลต์, ± 35 โวลต์

ในการทดลองการทำงานของวงจรต่างๆ สามารถทำงานได้ผลตามที่ได้ออกแบบไว้

4.2 การทดลองระยะของการเคลื่อนที่ทางแกน X

ลำดับขั้นการปฏิบัติการทดลอง

1. เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายของเครื่อง
2. ทดสอบใช้ตัวเข้ารหัสคำนวณระยะการเคลื่อนที่ทางแกน X จากการทดสอบหมุนแกน X จำนวน 1 รอบ ตัวเข้ารหัส จะให้พัลส์จำนวน 25 พัลส์
3. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม ทดสอบการเคลื่อนที่ของแกน X โดยกำหนดให้เคลื่อนที่ในระยะ 1 นิ้ว จากจุดทดสอบ
4. ทดลองทำการเจาะ บันทึกระยะการเคลื่อนที่จริง โดยวัดเทียบกับจุดที่อยู่ใกล้เคียงจุดต่อไปตามแนวแกน X แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ในการเคลื่อนที่ทางแกน X บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.1
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน X

ช่วงที่	ระยะทางการเคลื่อนที่ (วัดเทียบกับจุดก่อนหน้า 1 จุด)	ค่าความคลาดเคลื่อน
1	2.54	0.00
2	2.54	0.00
3	2.55	0.01
4	2.55	0.01
5	2.55	0.01
6	2.54	0.00
7	2.53	0.01
8	2.54	0.01
9	2.55	0.01
10	2.55	0.01
ค่าเฉลี่ย	2.544	0.07

ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{0.07 \times 100}{2.54} = 2.76 \%$$

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้นั้น เป็นการเคลื่อนที่หนึ่งจุดสามารถเคลื่อนที่ตามระยะที่ต้องการได้ตามการคำนวณ จากตัวเข้ารหัสเท่ากับ 2.76 % ฉะนั้นถ้าหากมีการคลาดเคลื่อนในแนวนั้นหลายจุด จะเกิดค่าความคลาดสะสมขึ้น ทั้งนี้ข้อมูลต้องมีรายละเอียดข้อมูลไม่ต่ำกว่า 10 ไมโครเมตร ดังนั้นถ้าหากมีการเคลื่อนที่ 1 จุดในระยะทาง 2.54 เซนติเมตร จะคลาดเคลื่อนไป 2.76 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองระยะของการเคลื่อนที่ทางแกน Y

ลำดับขั้นปฏิบัติการทดลอง

1. เปิดสวิตซ์แหล่งจ่ายของเครื่อง
2. ทดสอบใช้ตัวเข้ารหัสคำนวณระยะการเคลื่อนที่ทางแกน Y จากการทดสอบหมุนแกน Y จำนวน 1 รอบ ตัวเข้ารหัส จะให้พัลส์จำนวน 25 พัลส์
3. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม ทดสอบการเคลื่อนที่ของแกน Y โดยกำหนดให้เคลื่อนที่ในระยะ 1 นิ้ว จากจุดทดสอบ
4. ทดลองทำการเจาะ บันทึกระยะการเคลื่อนที่จริงโดยวัดเทียบกับจุดที่อยู่ใกล้เคียงจุดต่อไปตามแนวแกน Y แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการเคลื่อนที่ทางแกน Y บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน Y

ช่วงที่	ระยะทางการเคลื่อนที่ (วัดเทียบกับจุดก่อนหน้า 1 จุด)	ค่าความคลาดเคลื่อน
1	2.54	0.00
2	2.54	0.00
3	2.53	0.01
4	2.54	0.00
5	2.55	0.01
6	2.54	0.00
7	2.54	0.00
8	2.53	0.01
9	2.54	0.00
10	2.55	0.01
ค่าเฉลี่ย	2.54	0.04

ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน = $\frac{0.04 \times 100}{2.54} = 1.57\%$ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้นั้นเป็นการเคลื่อนที่หนึ่งจุดสามารถเคลื่อนที่ตามระยะที่ต้องการได้ตามการคำนวณ จากตัวเข้ารหัสเท่ากับ 1.57 % ฉะนั้นถ้าหากมีการคลาดเคลื่อนในแนวนั้นหลายจุด จะเกิดค่าความคลาดสะสมขึ้น ทั้งนี้ข้อมูลต้องมีรายละเอียดข้อมูลไม่ต่ำกว่า 10 ไมโครเมตร ดังนั้นถ้าหากมีการเคลื่อนที่ 1 จุดในระยะทาง 2.54 เซนติเมตร จะคลาดเคลื่อนไป 1.57 ไมโครเมตร

4.4 การทดลองหาความเร็วของการเคลื่อนที่ทางแกน Z

ในการทดสอบความเร็วทางแกน Z นั้นจะเป็นการทดสอบความสามารถของการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z ในส่วนของอัตราความเร็วในการเคลื่อนที่

ลำดับขั้นปฏิบัติการทดลอง

1. เปิดสวิตซ์แหล่งจ่ายของเครื่อง
2. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม การทดสอบการเคลื่อนที่ของแกน Y โดยกำหนดให้เคลื่อนที่ในระยะ 1 นิ้ว จากจุดทดสอบ
3. ทดลองทำการเจาะ บันทึกระยะเวลาในการเคลื่อนที่จริงโดยวัดเทียบกับจุดที่อยู่ใกล้เคียง จุดต่อไปตามแนวแกน Y แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความความเร็วในการเคลื่อนที่ และเปอร์เซ็นต์ความเร็วในการเคลื่อนที่ทางแกน Z บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองหาค่าความเร็วในการเคลื่อนที่แกน Z

ช่วงที่	เวลาในการเคลื่อนที่ (วินาที) (วัดเทียบกับจุดก่อนหน้า 1 จุด)
1	2.59
2	3.00
3	3.10
4	2.58
5	3.15
6	3.00
7	3.15
8	3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ผลการทดลองหาค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกน Z

ช่วงที่	เวลาในการเคลื่อนที่ (วินาที) (วัดเทียบกับจุดก่อนหน้า 1 จุด)
9	3.10
10	2.59
ค่าเฉลี่ย	2.64

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าค่าความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ในการเจาะแต่ละครั้ง จะมีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 2.64 วินาที ในการเจาะระยะทาง 2.54 เซนติเมตร ถ้าในการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์จริงแล้ว หากจำนวนของรูเจาะมีมาก จะทำให้เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเจาะมากขึ้น

4.5 การทดลองหาค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ทางแกน X, Y และ Z

ลำดับขั้นปฏิบัติการทดลอง

1. เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายของเครื่อง
2. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม ทดสอบการเคลื่อนที่ของแกน X, Y และ Z โดยกำหนดให้เคลื่อนที่ในระยะ 1 นิ้ว จากจุดทดสอบ
3. ทดลองทำการเจาะ บันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จริง โดยจับเวลาในการเคลื่อนที่ในแต่ละแนวแกนตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุดของแกนทีละหนึ่งครั้งจนครบ 10 ครั้ง เริ่มตั้งแต่แกน X, Y และ Z ตามลำดับ แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน Y

ช่วงที่	ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ (วินาที)		
	แกน X	แกน Y	แกน Z
1	7.5	2.0	2.5
2	8.6	2.2	2.8
3	8.2	1.9	3.2
4	7.8	1.8	3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ผลการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ของแกน Y

ช่วงที่	ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ (วินาที)		
	แกน X	แกน Y	แกน Z
5	8.5	2.5	2.5
6	8.0	1.5	2.7
7	7.5	2.0	3.0
8	7.5	1.9	3.2
9	8.2	2.7	2.8
10	7.0	2.2	3.0
ค่าเฉลี่ย	7.88	2.06	2.9

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จะใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนที่น้อยที่สุด เพราะใช้การขับเคลื่อนแกนเพลลาโดยตรงจากคิซี เซอร์โวมอเตอร์ และเก็ลยตัวหอนอนที่ใช้มีร่องเก็ลยวห่างกัน จึงทำให้เคลื่อนที่ได้รวดเร็ว ประกอบกับแกนมีความยาวไม่มากจึงสามารถเคลื่อนที่ได้ตลอดแนวแกนอย่างรวดเร็ว ส่วนในแนวแกน X จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ตลอดแนวแกนมากที่สุด เพราะใช้เก็ลยตัวหอนอนที่มีความละเอียดมาก แม้ว่าจะใช้การขับตรงจากคิซี เซอร์โวมอเตอร์ก็ตาม และแกนมีความยาวมากกว่าแกน Y จึงทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำกว่ามาก ส่วนในแนวแกน Z นั้นจะใช้เวลามากกว่าแนวแกน Y แม้ว่าจะระยะการเคลื่อนที่สั้นกว่าและใช้การขับเคลื่อนโดยตรงจากสเต็ปมอเตอร์ แต่ในการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์นั้นในระหว่างทำการเจาะ จะไม่สามารถเคลื่อนที่ส่วนลงมาด้วยความเร็วได้คอกลส่วนจะหัก และเสียหาย ดังนั้นจึงใช้เวลาในการเจาะที่เหมาะสมจึงทำให้การเจาะมีประสิทธิภาพ

4.6 การทดลองเจาะแผ่นวงจรพิมพ์จริงเพื่อทดสอบความเร็ว

ลำดับขั้นการปฏิบัติการทดลอง

1. ออกแบบลายวงจรพิมพ์ด้วยโปรแกรมโปรเทล 3 วงจรดังนี้

1.1 แผ่นวงจรพิมพ์เอนกประสงค์

1.2 วงจร ไอซี 20 ขาเบอร์ 74LS373

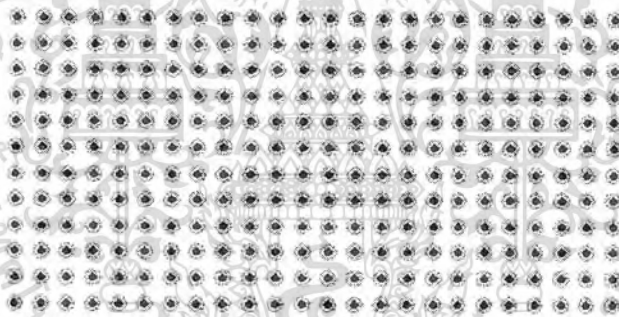
1.3 วงจรแผ่นวงจรพิมพ์ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ซึ่งเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

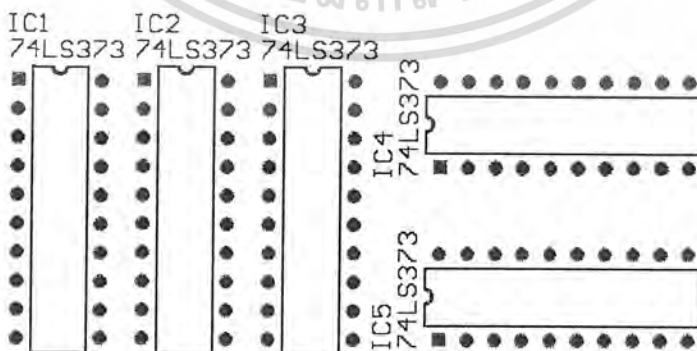
2. ทำการส่งข้อมูลด้วยโปรแกรมให้กับเครื่องเจาะแล้วทำการเจาะด้วยระบบอัตโนมัติ
3. ทำการจับเวลาที่ใช้ในการเจาะแต่ละวงจร
4. บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การทดลองเจาะแผ่นวงจรพิมพ์จริงเพื่อทดสอบความเร็ว

จำนวนรู	เวลาที่ใช้ในการเจาะ	ขนาดของแผ่นวงจรพิมพ์		หมายเหตุ
		กว้าง(ซ.ม.)	ยาว(ซ.ม.)	
288	12 นาที	6	10	แผ่นวงจรพิมพ์เอนกประสงค์
100	6 นาที	8	12	วงจรไอซี 20 ขาเบอร์ 74LS373
94	5 นาที	10	12	วงจรแผ่นวงจรพิมพ์ทดสอบ

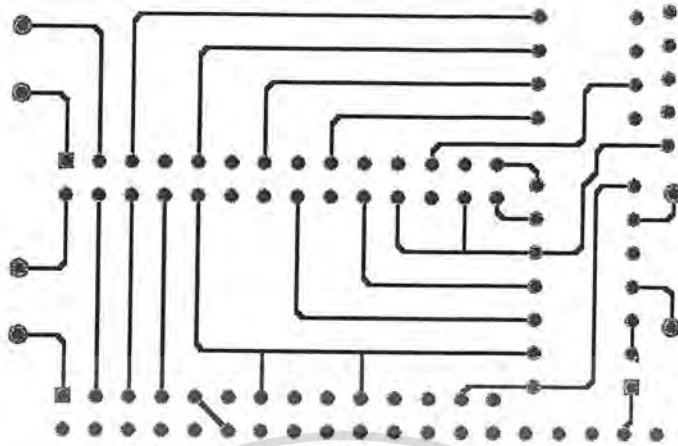


รูปที่ 4.1 แผ่นวงจรพิมพ์เอนกประสงค์



รูปที่ 4.2 วงจร ไอซี 20 ขา เบอร์ 74LS373

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 วงจรแผ่นพิมพ์ทดสอบ

สรุปผลการทดลองในบทที่ 4

ในการทดลองจะพบว่าในการทำงานของเครื่องแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ นั้น สามารถทำการเจาะได้ตามที่กำหนด แต่การเจาะนั้นจะมีความผิดพลาดในการเจาะ เนื่องจากการทำงานของเพลตจะมีความฝืดของเพลตค่อนข้างสูง และการกลิ้งเพลตเกลียวยังไม่เรียบร้อย ในส่วนของเพลตจะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนในการเจาะในแนวแกน X จะมีสูงมากเพราะในการคำนวณรอบในการเคลื่อนที่ของแกนนั้น เกลียวของแกนจะหารได้ไม่ลงตัวกับจำนวนพัลส์ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสะสมในแนวแกนสูง

ส่วนในการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่นั้น ยังใช้เวลาในการเคลื่อนที่ตลอดแนวแกนสูงเนื่องจาก วงจรที่ใช้ในการขับเคลื่อนนั้น ไม่สามารถทำการจ่ายแรงดัน เพื่อขับเคลื่อนได้เต็มประสิทธิภาพ และข้อจำกัดทางฮาร์ดแวร์ ซึ่งเป็นเพลตเกลียว จะมีแรงเฉื่อยในตัวเองสูงจึงไม่สามารถเร่งความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ตามต้องการ

จากการทดสอบนั้น หากเราทำการเพิ่มความเร็วมากขึ้น วงจรที่ใช้ในการควบคุมเบรก จะไม่สามารถเบรกให้ดีซี เซอร์โวมอเตอร์หยุดหมุนได้ในตำแหน่งที่ต้องการ เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถประมวลผลการสั่งงาน และการควบคุมได้ทัน ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงในส่วนของวงจรที่ใช้ในการควบคุมให้ดียิ่งขึ้น จึงจะสามารถทำให้เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์ สรุปและแนวทางในการพัฒนา

5.1 บทสรุป

ระบบการเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติในปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้น เป็นแนวคิดที่จะศึกษา และพัฒนาเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์โดยอัตโนมัติ ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น สะดวกต่อการใช้งาน มีความปลอดภัย รวดเร็ว และประหยัด การจัดสร้างโครงการนี้ต้องศึกษารายละเอียดต่างๆ เป็นอย่างมาก ซึ่งจะศึกษาถึงความเป็นไปได้ของโครงการ และศึกษาจากการสอบถามจากผู้ชำนาญในเรื่องที่เกี่ยวกับโครงการที่จัดทำ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้วางขอบเขตคุณสมบัติของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติที่ได้ทำการจัดสร้างขึ้นดังต่อไปนี้

- จะต้องเป็นเครื่องที่มีราคาถูกกว่าในท้องตลาดทั่วไป แต่คุณภาพและประสิทธิภาพจะต้องใกล้เคียงกับที่มีอยู่ในท้องตลาด
- จะต้องสามารถใช้งานได้ง่าย และมีหลายระบบในการควบคุม เพื่อความรวดเร็วแม่นยำ และความถูกต้อง
- จะต้องสามารถทำงานได้มาก
- จะต้องสามารถขยายระบบ และสามารถพัฒนาให้มีฟังก์ชัน และรูปแบบการใช้งานที่กว้างขวางมากยิ่งขึ้น

ส่วนของการศึกษาการโปรแกรม จะศึกษาในเรื่องหลักการทำงาน และการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยละเอียด เพื่อสามารถนำมาควบคุมการทำงานของวงจรฮาร์ดแวร์ได้

จากการศึกษา และจัดสร้างโครงการนี้สำเร็จ ทำให้สามารถเข้าใจหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 และเข้าใจหลักการเขียนโปรแกรมควบคุมให้มอเตอร์ทำงานตามต้องการ กาจจัดสร้างโครงการนี้ได้เครื่องต้นแบบที่ตรงตามวัตถุประสงค์ความสามารถของโครงการแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหา และแนวทางการแก้ไข

ในระหว่างการทำปฏิญานิพนธ์ เกิดปัญหา และอุปสรรคขึ้นซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้ทำการรวบรวมปัญหา และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเอาไว้พอสังเขปดังต่อไปนี้

ปัญหา

1. ปัญหาที่เกิดจากอุปกรณ์ทางกลที่ไม่สามารถหาได้ตามการคำนวณ

แนวทางการแก้ไข

ปัญหาที่เกิดจากอุปกรณ์ทางกลนี้จะทำให้เกิดการผิดพลาดในการเจาะได้ แนวทางในการแก้ไขจึงต้องใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดใกล้เคียงกับที่ได้คำนวณไว้

2. ปัญหาที่เกิดจากอุปกรณ์ และการต่อวงจร

แนวทางการแก้ไข

ปัญหาที่เกิดจากตัวอุปกรณ์เองและการต่อวงจร พยายามตรวจสอบวงจรทุกจุดก่อนการใส่อุปกรณ์เพื่อใช้งานจริง

3. ปัญหาที่เกิดจากการสร้างเครื่องที่สมบูรณ์ต้องประกอบด้วยชุดกลไก ซึ่งกลุ่มทางผู้จัดทำมีความรู้เรื่องนี้น้อยมาก

แนวทางในการแก้ไข

ต้องทำการศึกษาในเรื่องของกลไกการสร้างส่วนประกอบโดยละเอียด โดยปรึกษาผู้รู้ การดูงานจากของจริง และศึกษาจากตำราที่เกี่ยวข้อง

4. ปัญหาโครงสร้างของตัวเครื่องต้นแบบมีความทนทานน้อย อาจจะทำให้การใช้งานไม่ดีเท่าที่ควร

แนวทางในการแก้ไข

ต้องทำการหาวัสดุที่จะใช้ในการสร้างตัวเครื่องแบบ ที่มีความทนทาน และแข็งแรงโดยอาจจะงบประมาณในการซื้อเพิ่มขึ้นอีก แต่ต้องพยายามหาวัสดุที่มีราคา และคุณภาพที่ดีพอสมควร

5.3 แนวทางในการพัฒนา

ทางคณะผู้จัดทำพยายามที่จะจัดทำปฏิญานิพนธ์นี้ ให้เป็นระบบการเจาะ โดยอัตโนมัติ ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในระยะเวลา และงบประมาณที่จำกัด แต่ก็ยังมีสิ่งที่ยังมีข้อจำกัดบางจุดที่ควรได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้นดังต่อไปนี้

1. เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ นี้มีขนาดใหญ่ลำบากต่อการเคลื่อนย้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ อุปกรณ์บางส่วนตามที่ออกแบบไว้ยังมีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร เช่น เกสลิยวที่ใช้ทั้งแกน X และ แกน Y มีขนาดใหญ่ไป ควรเปลี่ยนให้มีขนาดเล็กลงและเท่ากัน

3. เครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ ยังเจาะผิดพลาดอยู่บ้างเนื่องจากอุปกรณ์ทางกลและโปรแกรมไม่สามารถที่จะคำนวณให้เกิดค่าที่ลงตัวได้จึงทำให้เกิดค่าความผิดพลาดหากสามารถพัฒนาให้อุปกรณ์ทางเครื่องกล และโปรแกรมการเคลื่อนที่มีค่าพอดี ก็จะทำให้เจาะได้แม่นยำและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

4. พัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานให้มอเตอร์ทำงานได้สัมพันธ์กันยิ่งขึ้น โดยการทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้พร้อมกัน และมีความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด และทำการเพิ่มฟังก์ชันการใช้งานให้สะดวกและง่ายขึ้น



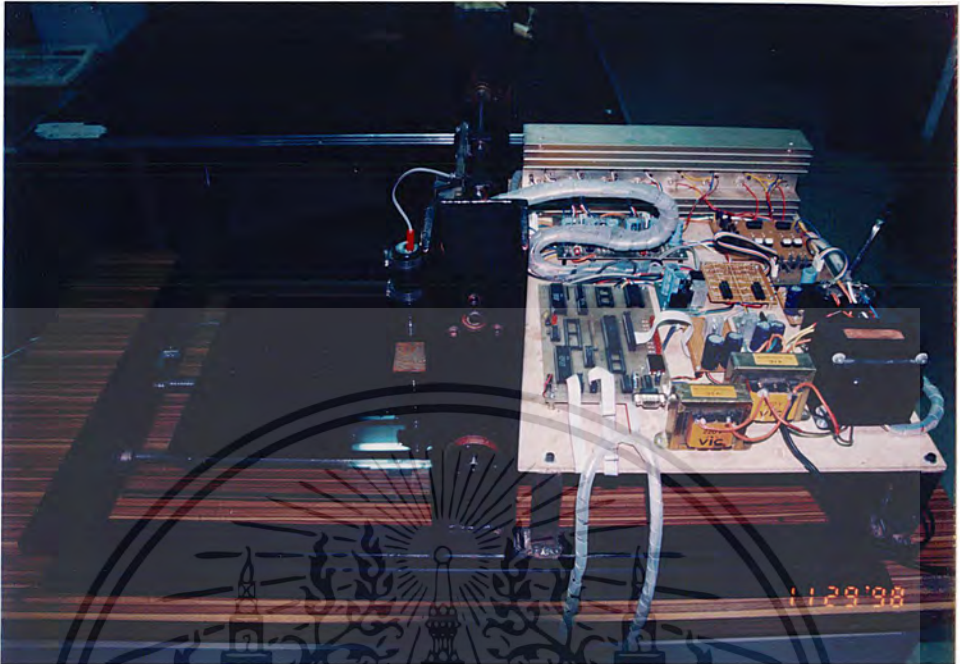
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



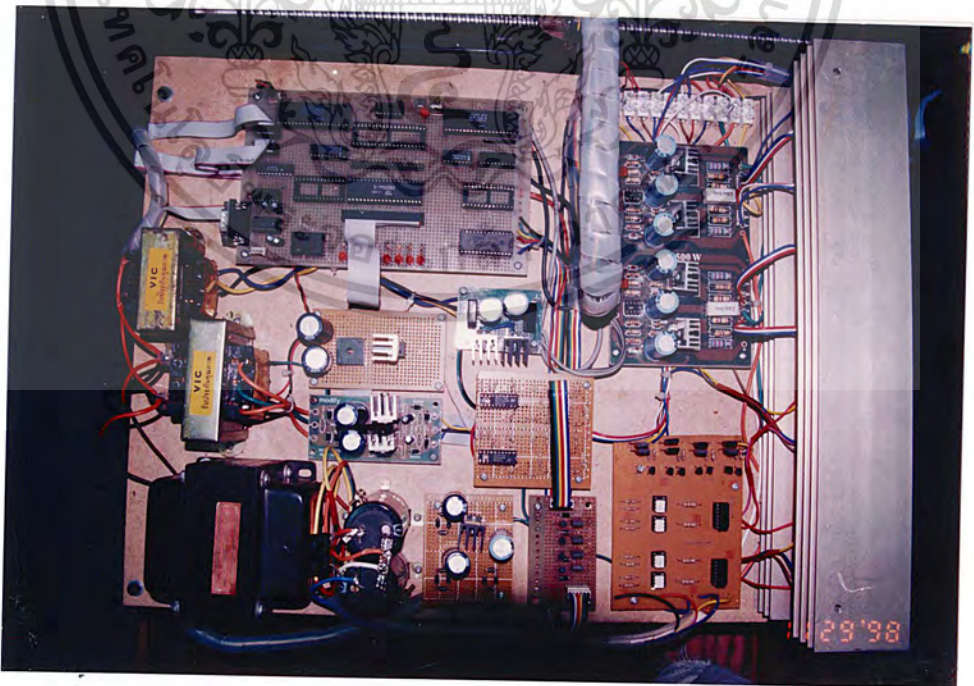
ภาคผนวก ก

รูปแบบของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 เครื่องต้นแบบของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ



รูปที่ ก.2 วงจรควบคุมเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ

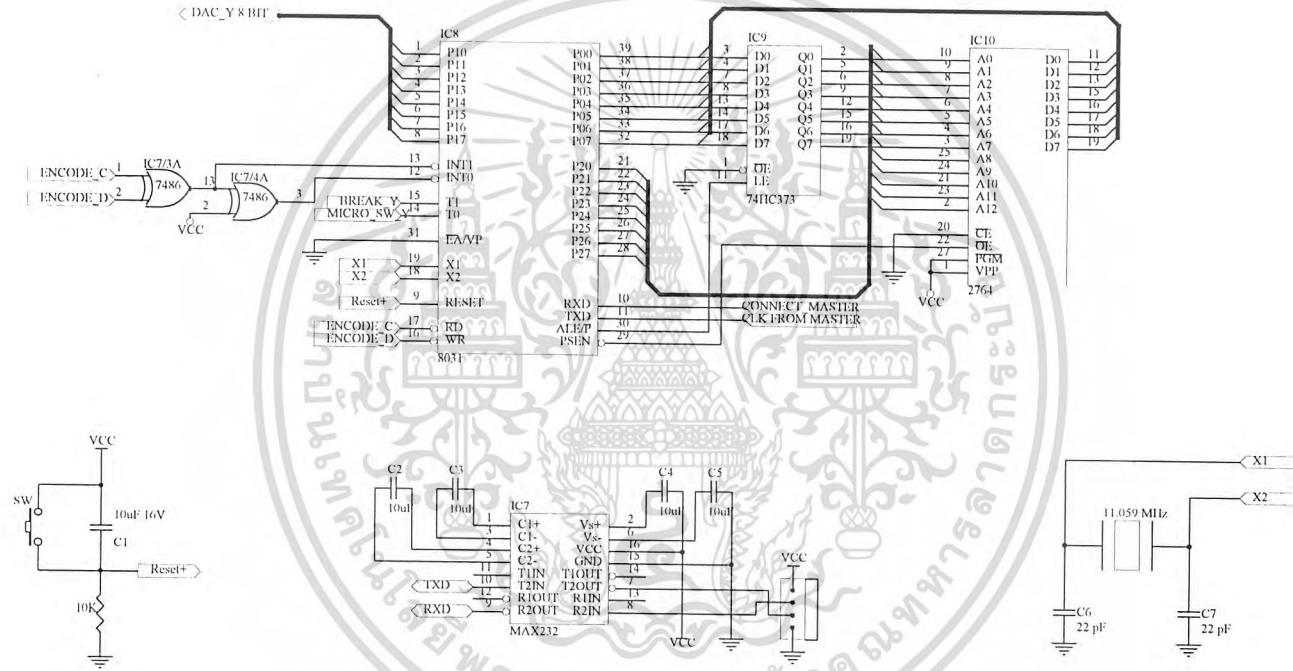
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

วงจรของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 (ต่อ) วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์

```

;*****
;* PROGRAM CONTROL AUTOMATIC PCB DRILLER *
;*
;* MASTER PROCESSOR *
;*****

```

```

;*****
;* INTERNAL MICROPROCESSOR MCS-51 RAM *
;*****

```

```

NOR EQU 64H ; NORMINATOR 64H->67H
DENOR EQU 60H ; DENORMINATOR 60H->63H
RESULT EQU 5CH ; RESULT OF OPERATE 5CH->5FH
ENCDATA EQU 6AH ; 6AH->6DH
ENCPOINT EQU 69H ; POINTER ENCODER DATA
ENCNEW EQU 68H ; INPUT NEW ENCODER DATA
ABSPOST EQU 50H ; ABSOLUTE POSITION
RAM1 EQU 7FH ; STOP POSITION
RAM2 EQU 7EH ; SLOW POSITION
MEM_LY EQU 7DH ; MEMY POINTER LOW BYTE
MEM_HY EQU 7CH ; MEMY POINTER HIGH BYTE

```

```

;*****
;* ADDRESS PORT AND DATA CONSTANCE *
;*****

```

```

PORT_A EQU 0E000H
PORT_B EQU 0E001H
PORT_C EQU 0E002H
PORT_CTRL EQU 0E003H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MEMX      EQU      02000H
MEMY      EQU      03000H
CTRL_WORD EQU      80H          ; ALL PORT OUTPUT
FAST_F    EQU      40H          ; SPEED FAST FORWARD
FAST_R    EQU      03H          ; SPEED FAST REVERSE
SLOW      EQU      03H          ; SPEED SLOW
BARBIT     EQU      P1.0
BAROUT     EQU      10H
BARREV     EQU      20H
BARBUF     EQU      9000H

```

```

*****
;
;*          START PROGRAM          ;*
;*          INITIAL PARAMETER     ;*
*****
;

```

```

ORG      0000H          ; START ADDRESS 0000H
LJMP     INITIAL
LJMP     ENCODER        ; READ ENCODER ADDRESS
ORG      0013H
LJMP     ENCODER        ; READ ENCODER ADDRESS
INITIAL: LCALL    DELAY
MOV      RAM1,#00H
MOV      RAM2,#00H
MOV      DPTR,#PORT_CTRL ; INITIAL PORT 8255
MOV      A,#CTRL_WORD    ; ALL PORT OUTPUT
MOVX    @DPTR,A
MOV      DPTR,#MEMY      ; ADDRESS DATA Y #3000H
MOV      MEM_LY,DPL
MOV      MEM_HY,DPH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
;
;          INITIAL DRILL_UP          ;
;
;*****

```

```

MOV          R1,#05H          ; SPEED DRILL UP
L_DRILL:    JB          P1.7,CK_ORG0      ; CHECK MICRO_SW
MOV          A,#09H
MOV          DPTR,#PORT_A
MOVX         @DPTR,A
LCALL        D
MOV          A,#03H
MOV          DPTR,#PORT_A
MOVX         @DPTR,A
LCALL        D
MOV          A,#06H
MOV          DPTR,#PORT_A
MOVX         @DPTR,A
LCALL        D
MOV          A,#0CH
MOV          DPTR,#PORT_A
MOVX         @DPTR,A
LCALL        D
SJMP        L_DRILL

```

```

;***** SET X_ORIGIN *****;

```

```

CK_ORG0:    JNB          P1.4,SWAP_ORGX0  ; CHECK ORIGIN SW_X
LCALL        STOP          ; STOP WHEN ORIGIN POINT
SJMP        SERIAL        ; LEAVE THIS FUNCTION
SWAP_ORGX0:MOV          DPTR,#PORT_B
MOV          A,#03H          ; SPEED AXIS_X VALUE
MOVX         @DPTR,A
SJMP        CK_ORG0        ; LOOP FOR CHECK ORIGIN

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

***** RECEIVE DATA FROM RS232C *****;

; RECEIVE DATA AXIS_X ;

```
SERIAL:    MOV        SCON,#52H        ; SET MODE 1 SERIAL PORT
           MOV        TMOD,#20H       ; SET TIMER1 IN MODE 2
           MOV        TH1,#0FDH       ; BAUD RATE 9600 BPS
           MOV        DPTR,#MEMX      ; MEMORY #2000H
MEMX_NEXT: SETB        TR1            ; START BAUD RATE
           JNB        RI,$            ; CHECK DATA COMPLETE
           CLR        RI
           MOV        A,SBUF          ; MOV DATA TO REG A
           MOVX       @DPTR,A        ;
           INC        DPTR            ; INC MEMORY POINTER
           CJNE       A,#00H,MEMX_NEXT ; CHECK END OF FILE
```

***** RECEIVE DATA AXIS_Y *****;

```
;
           MOV        DPTR,#MEMY      ; MEMORY #3000H
;MEMY_NEXT: SETB        TR1            ; START BAUD RATE
;
           JNB        RI,$            ; CHECK DATA COMPLETE
;
           CLR        RI
;
           MOV        A,SBUF          ; MOV DATA TO REG A
;
           MOVX       @DPTR,A        ;
;
           INC        DPTR            ; INC MEMORY POINTER
;
           CJNE       A,#00H,MEMY_NEXT ; CHECK END OF FILE
```

*****;

```
S1:        MOV        DPTR,#MEMX      ; SET DPTR IS RAM#2000 POINTER
```

```
S2:        MOV        ENCDATA,#0      ; FILL ENCODER DATA
```

```
           MOV        ENCDATA+1,#1
```

```
           MOV        ENCDATA+2,#3
```

```
           MOV        ENCDATA+3,#2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      R0,#ENCNDATA
S3:      MOV      A,P1          ; CHECK ENCODER STATUS
        ANL      A,#3
        MOV      ENCNEW,A
        MOV      A,@R0
        INC      R0
        CJNE     A,ENCNEW,S3
        DEC      R0
        MOV      ENCPOINT,R0
        SETB     IT0          ; SET EXTERNAL INTERRUPT
        SETB     IT1
        MOV      IP,#5
        MOV      IE,#85H
        MOV      ABSPOST+1,#0
        MOV      ABSPOST,#0
        ;*****
        ;*          PROGRAM START LOOP          ;*
        ;*****
START:   MOVX     A,@DPTR
        CJNE     A,#00H,START2
        LJMP     INITIAL
START2:  CJNE     A,#01H,START1
        LCALL    CK_ORG
        ACALL    DELAY
        INC     DPTR
        LJMP     S2
START1:  MOV      RAMI,A          ; PLUSE DATA TO DRILL
        INC     DPTR
        LCALL    RUN

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MAINLOOP:  MOV      NOR+2,ABSPOST
           MOV      NOR+3,ABSPOST+1
           MOV      DENOR+2,#0
           MOV      DENOR+3,#80
           LCALL   DIV
           MOV      A,RESULT+3      ; REG A IS PULSE FROM ENCODE
SWAP:     CJNE     A,RAM1,MAINLOOP  ; CHECK POSITION BYTE LOW
           LCALL   STOP              ; STOP & BREAK MOTOR
           LCALL   Z_AXIS            ; AXIS_Z WORK
           LJMP    S2                ; LOOP FOR RETURN CHECK
PULSE

```

```

;*****
;*          READ ENCODER
;*          CALL FROM INTERRUPT
;*****

```

```

ENCODER:  PUSH     PSW
           PUSH     ACC              ; SAVE REGISTER & FLAG
           PUSH     0
           PUSH     1
           PUSH     2
           MOV      R0,ENCPOINT     ; CHECK NEW POSITION
           MOV      A,P1
           ANL      A,#3
           CJNE     A,ENCNEW,ENCODER3
           SJMP     ENCODERO

```

```

ENCODER3: MOV      ENCNEW,A        ; CHECK BUTTOM POINT

```

```

           MOV      A,R0
           MOV      R1,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        CJNE      A,#ENCDATA,ENCODER5
        MOV       R0,#ENCDATA+3
        SJMP      ENCODER6
ENCODER5: DEC      R0
ENCODER6: MOV       A,@R0
        CJNE      A,ENCNEW,ENCODER4
        MOV       ENCPOINT,R0      ; ADD TO POSITION
        MOV       A,ABSPOST+1
        CLR       C
        ADD       A,#1
        MOV       ABSPOST+1,A
        MOV       A,ABSPOST
        ADDC      A,#0
        MOV       ABSPOST,A
        SJMP      ENCODERO
ENCODER4: PUSH     I      ; CHECK TOP POINT
        POP      0
        MOV       A,R0
        CJNE      A,#ENCDATA+3,ENCODER7
        MOV       R0,#ENCDATA
        SJMP      ENCODER8
ENCODER7: INC      R0
ENCODER8: MOV       A,@R0
        CJNE      A,ENCNEW,ENCODERO
        MOV       ENCPOINT,R0      ; SUB TO POSITION
        MOV       A,ABSPOST+1
        CLR       C
        SUBB      A,#1
        MOV       ABSPOST+1,A
        MOV       A,ABSPOST

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SUBB    A,#0
MOV     ABSPOST,A
SJMP    ENCODERO
ENCODERO: POP    2
        POP    1
        POP    0
        POP    ACC
        POP    PSW
        RETI

```

*
*

16 BIT DIVIDE

*
*

```

DIV:    PUSH    ACC
        PUSH    3
        MOV     NOR,#0
        MOV     NOR+1,#0
        MOV     DENOR,#0
        MOV     DENOR+1,#0
        MOV     R3,#15
DIV1:   CLR     C
        MOV     A,DENOR+3
        RLC    A
        MOV     DENOR+3,A
        MOV     A,DENOR+2
        RLC    A
        MOV     DENOR+2,A
        MOV     A,DENOR+1
        RLC    A
        MOV     DENOR+1,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	MOV	A,DENOR
	RLC	A
	MOV	DENOR,A
	DJNZ	R3,DIV1
	MOV	R3,#16
DIV2:	CLR	C
	MOV	A,NOR+3
	SUBB	A,DENOR+3
	MOV	RESULT+3,A
	MOV	A,NOR+2
	SUBB	A,DENOR+2
	MOV	RESULT+2,A
	MOV	A,NOR+1
	SUBB	A,DENOR+1
	MOV	RESULT+1,A
	MOV	A,NOR
	SUBB	A,DENOR
	MOV	RESULT,A
	JC	DIV3
	MOV	NOR,RESULT
	MOV	NOR+1,RESULT+1
	MOV	NOR+2,RESULT+2
	MOV	NOR+3,RESULT+3
	SETB	C
	SJMP	DIV4
DIV3:	CLR	C
DIV4:	MOV	A,NOR+3
	RLC	A
	MOV	NOR+3,A
	MOV	A,NOR+2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RLC      A
MOV      NOR+2,A
MOV      A,NOR+1
RLC      A
MOV      NOR+1,A
MOV      A,NOR
RLC      A
MOV      NOR,A
DJNZ     R3,DIV2
MOV      RESULT,NOR
MOV      RESULT+1,NOR+1
MOV      RESULT+2,NOR+2
MOV      RESULT+3,NOR+3
POP      3
POP      ACC
RET

```

```

*****
;
;*      SET X_ORIGIN      ;
*****
;

```

```

CK_ORG:  PUSH      DPH
         PUSH      DPL
         PUSH      ACC

CK_OR:   JNB       P1.4,SWAP_ORGX
         LCALL     STOP
         SJMP      RET_CHK_ORG

SWAP_ORGX: LCALL     RUN_R
         SJMP      CK_OR

RET_CHK_ORG: POP      ACC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POP DPH

RET

```
*****;  
;*          RUN DC MOTOR SERVO          *;  
*****;
```

```
RUN:      PUSH      ACC  
          PUSH      DPL  
          PUSH      DPH  
          SETB      P1.2          ; NO BREAK  
          MOV       A,#FAST_F     ; MORTOR SPEED+  
          MOV       DPTR,#PORT_B  
          MOVB     @DPTR,A  
          POP       DPH  
          POP       DPL  
          POP       ACC  
          RET
```

```
*****;  
;*          RUN REVERSE DC MOTOR SERVO    *;  
*****;
```

```
RUN_R:    PUSH      ACC  
          PUSH      DPL  
          PUSH      DPH  
          SETB      P1.2          ; NO BREAK  
          MOV       A,#FAST_R     ; MORTOR SPEED-  
          MOV       DPTR,#PORT_B  
          MOVB     @DPTR,A
```

```
POP       DPH
```

```
POP       DPL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POP ACC

RET

```
*****;  
;*          STOP DC MOTOR SERVO          *;  
*****;
```

STOP:

PUSH ACC

PUSH DPH

PUSH DPL

MOV A,#00H ; STOP MOTOR

MOV DPTR,#PORT_B

MOVBX @DPTR,A

CLR P1.2 ; BREAK MOTOR

POP DPL

POP DPH

POP ACC

RET

```
*****;  
;*          FUNCTION SEND DATA 1 BYTE TO SLAVE          *;  
*****;
```

SEND_Y:

ACALL DELAY

PUSH DPH

PUSH DPL

MOV DPH,MEM_HY

MOV DPL,MEM_LY

MOVBX A,@DPTR ; DATA TO SEND FROM RAM #3000H

INC DPL

MOV MEM_LY,DPL

PUSH ACC

MOVBX A,DPL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลีโอนังห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE      A,#00H,SEND_SWAP1
INC       DPH
MOV       MEM_HY,DPH
SEND_SWAP1: POP      ACC
CJNE      A,#00H,SEND_SWAP  ; CHECK END DATA FROM RAM
SEND_SWAP: MOV       P1,#00H
MOV       R1,#08H
SEND_YL:  RRC        A
MOV       P1.5,C          ; MOV DATA BIT TO P1.5 <TX>
CLR       P1.6            ; SET CLK
ACALL     DELAY
SETB      P1.6            ; CLEAR CLK
ACALL     DELAY
DJNZ      R1,SEND_YL
POP       DPL
POP       DPH
RET

;*****;
;*          DELAY FUNCTION          *;
;*****;

DELAY:    PUSH       DPH
          PUSH       DPL
          MOV        DPL,#0FFH
DELAY1:   MOV        DPH,#0FFH
          DJNZ       DPH,$
          DJNZ       DPL,DELAY1
          POP        DPL
          POP        DPH
          RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
;*          FUNCTION Z AXIS          *
;*****

```

```

Z_AXIS:  PUSH      DPH
         PUSH      DPL
         PUSH      ACC
         PUSH      0
         PUSH      1
         ACALL     DRILL_UP
         ACALL     DRILL_DOWN
         ACALL     DRILL_UP
         POP       1
         POP       0
         POP       ACC
         POP       DPL
         POP       DPH
         RET

```

```

;*****
;*          FUNCTION DRILL DOWN      *
;*****

```

```

DRILL_DOWN:MOV    R0,#23H           ; TIME TO DRILL DOWN ;
            MOV    R1,#05H           ; SPEED DRIL DOWN ;

```

```

L_Z1:      MOV    A,#0CH
            MOV    DPTR,#PORT_A
            MOVX   @DPTR,A
            ACALL D
            MOV    A,#06H
            MOV    DPTR,#PORT_A
            MOVX   @DPTR,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL    D
MOV      A,#03H
MOV      DPTR,#PORT_A
MOVX    @DPTR,A
ACALL    D
MOV      A,#09H
MOV      DPTR,#PORT_A
MOVX    @DPTR,A
ACALL    D
CJNE    R0,#07H,SWAP_Z    ; CHECK NEAR PBC ;
MOV      R1,#0F0H
SWAP_Z:  DJNZ    R0,L_Z1
MOV      R1,#30H
L_Z:     ACALL    D        ; STOP TIME TO DRILL ;
DJNZ    R1,L_Z
RET

;*****;
;*  FUNCTION DRILL UP CHECK WITH MICRO_SW  *;
;*****;

DRILL_UP: MOV      R1,#05H    ; SPEED DRILL UP ;
INTI:     JB      P1.7,S      ; CHECK MICRO_SW

MOV      A,#09H
MOV      DPTR,#PORT_A
MOVX    @DPTR,A
ACALL    D
MOV      A,#03H
MOV      DPTR,#PORT_A
MOVX    @DPTR,A
ACALL    D

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,#06H
MOV      DPTR,#PORT_A
MOVX     @DPTR,A
ACALL   D
MOV      A,#0CH
MOV      DPTR,#PORT_A
MOVX     @DPTR,A
ACALL   D
SJMP    INTI
S:      MOV      R1,#20H      ; TIME TO STOP
L_Z2:   ACALL   D            ; STOP TIME TO DRILL ;
        DJNZ    R1,L_Z2
        RET
D:      PUSH    DPH
        PUSH    DPL
        MOV     DPH,R1
D1:     MOV     DPL,#0FFH
        DJNZ    DPL,$
        DJNZ    DPH,D1
        POP     DPL
        POP     DPH
        RET
        END                ; END PROGRAM

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****;
;*      PROGRAM CONTROL AUTOMATIC PCB DRILLER      *;
;*                                          *;
;*      SLAVE PROCESSOR                          *;
;*****;

```

```

;*****;
;*      INTERNAL MICROPROCESSOR MCS-51 RAM      *;
;*****;

```

```

NOR      EQU      64H      ;NORMINATOR 64H->67H
DENOR    EQU      60H      ;DENORMINATOR 60H->63H
RESULT   EQU      5CH      ;RESULT OF OPERATE 5CH->5FH
ENCDATA  EQU      6AH      ;6AH->6DH
ENCPOINT EQU      69H      ;POINTER ENCODER DATA
ENCNEW   EQU      68H      ;INPUT NEW ENCODER DATA
ABSPOST  EQU      50H      ;ABSOLUTE POSITION
RAM1     EQU      7FH      ;STOP POSITION
FAST_FM  EQU      7EH      ;SPEED MANUAL

```

```

;*****;
;*      ADDRESS PORT AND DATA CONSTANCE      *;
;*****;

```

```

FAST_F   EQU      04H      ;SPEED FAST FORWARD
FAST_R   EQU      0F0H     ;SPEED FAST REVERSE
SLOW     EQU      03H      ;SPEED SLOW

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
;*          START PROGRAM          *;
;*          INITIAL PARAMETER     *;
;*****

ORG          0000H          ; START ADDRESS 0000H
LJMP        INITIAL
LJMP        ENCODER          ; READ ENCODER ADDRESS
ORG          0013H
LJMP        ENCODER          ; READ ENCODER ADDRESS
INITIAL:    MOV          FAST_FM,#07H
MOV          A,#00H
MOV          P1,A
;***** SET ORIGIN POINT *****;
SET_ORG:    SETB        P3.5
JNB         P3.4,SW_ORG
MOV          A,#00H
MOV          P1,A
CLR         P3.5
SJMP        START
SW_ORG:    MOV          A,#0F0H
MOV          P1,A
SJMP        SET_ORG

;*****
SI:         MOV          ENCDATA,#0          ; FILL ENCODER DATA
MOV          ENCDATA+1,#1
MOV          ENCDATA+2,#3
MOV          ENCDATA+3,#2
MOV          R0,#ENCDATA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

S2:      MOV      A,P3                ; CHECK ENCODER STATUS
        ANL      A,#3
        MOV      ENCNEW,A
        MOV      A,@R0
        INC      R0
        CJNE     A,ENCNEW,S2
        DEC      R0
        MOV      ENCPOINT,R0
        SETB     IT0                ; SET EXTERNAL INTERRUPT
        SETB     IT1
        MOV      IP,#5
        MOV      IE,#85H
        MOV      ABSPOST+1,#0
        MOV      ABSPOST,#0
        ;*****
        ;*          PROGRAM START LOOP          ;*
        ;*****
START:   MOV      R1,#08H
        CLR      C
CLK:     JB       P3.7,$
        JNB      P3.7,$
        MOV      C,P3.6
        RRC      A
        DJNZ     R1,CLK
        CJNE     A,#01H,SWAP_M1
        MOV      A,FAST_FM
        MOV      P1,A
        SJMP     START
SWAP_M1: CJNE     A,#02H,SWAP_M2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 SWAP_M1: ๕ CJNE A,#02H,SWAP_M2
 ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JNB      P3.4,RUN_M
MOV      P1,#00H
CLR      P3.5
SJMP     START
RUN_M:   SETB      P3.5
MOV      A,#FAST_R
MOV      P1,A
SJMP     START
SWAP_M2: CJNE      A,#03H,SWAP_M3
SETB     P3.5
MOV      P1,#00H
SJMP     START
SWAP_M3: CJNE      A,#04H,START
MOV      A,FAST_FM
ADD      A,#04H
CJNE     A,#13H,SWAP_M4
MOV      A,#07H
SWAP_M4: MOV      FAST_FM,A
SJMP     START
SWAP_MEND: MOV     RAM1,A
LCALL    RUN
MAINLOOP: MOV      NOR+2,ABSPOST
MOV      NOR+3,ABSPOST+1
MOV      DENOR+2,#0
MOV      DENOR+3,#80
LCALL    DIV
MOV      A,RESULT+3
SWAP:   CJNE      A,RAM1,MAINLOOP ; CHECK POSITION DRILLING
LCALL    STOP ; STOP & BREAK MOTOR
LJMP     SI

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MAIN:   SETB     BARBIT
        CALL    BARIN
        CALL    BARCV
        JC      MAINE
        MOV     R0,#BAROUT      ;SEND DATA TO SERIAL
MAIN2:  MOV     A,@R0
        CJNE   A,#0DH,MAIN4
        MOV     A,#0AH
        CALL   SBYTE
        MOV     A,#0DH
        CALL   SBYTE
        CALL   UBEEP
        LJMP   MAIN
MAIN4:  CALL   SBYTE
        INC    R0
        SJMP   MAIN2
MAINE:  MOV     R2,#80H          ;READ ERROR
        MOV     R3,#0
        CALL   SOUND
        SJMP   MAIN
BARCV:  MOV     DPTR,#BARBUF
        MOVX   A,@DPTR
        MOV    B,#2
        MUL   AB
        MOV   B,A              ;STD. COMPARE
        MOV   DPTR,#BARBUF+1  ;CHECK FORWARD OR REVERSE
        MOVX  A,@DPTR
        CJNE  A,B,$+3
        JC   BARRV
        MOV   DPTR,#BARBUF    ;FORWARD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นให้ตีพิมพ์และต้องอ้างอิงเลขที่ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV R0,#BAROUT
BARCV1: MOV R2,#9 ;DIGIT LOOP
MOV R3,#0
BARCV2: MOVX A,@DPTR
CJNE A,#0FFH,BARCV3
SJMP BARCVE
BARCV3: CJNE A,B,$+3
CPL C
MOV A,R3
RLC A
MOV R3,A
INC DPTR
DJNZ R2,BARCV2
INC DPTR ;SKIP 0 BETWEEN DIGIT
CALL BARTB
JC BARCVE
CJNE A,#*',BARCV4
CJNE R0,#BAROUT,BARCV35
SJMP BARCV1 ;IS * START
BARCV35: MOV @R0,#0DH
CLR C
RET ;EXIT OK
BARCV4: MOV @R0,A
INC R0
SJMP BARCV1
BARCVE: SETB C
RET ;EXIT ERROR
BARRV: MOV DPTR,#BARBUF ;REVERSE
MOV R0,#BARREV
BARRV1: MOV R2,#9 ;DIGIT LOOP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร ำรงเชิง กษเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่รำกรณเต้ำ ำงลิ่ง อักห้งห้ามมิให้ดัดเบ้ยงเนื้อหำและต้องอ้ำงอิงเง้งใจของเอกสรทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      R3,#0
BARRV2:  MOVX   A,@DPTR
         CJNE  A,#0FFH,BARRV3
         SJMP  BARRVE
BARRV3:  CJNE  A,B,S+3
         CPL   C
         MOV  A,R3
         RRC  A
         MOV  R3,A
         INC  DPTR
         DJNZ R2,BARRV2
         INC  DPTR           ;SKIP 0 BETWEEN DIGIT
         MOV  A,R3
         RLC  A
         MOV  R3,A
         CALL BARTB
         JC   BARRVE
         CJNE A,#*,BARRV4
         CJNE R0,#BARREV,BARRV35
         SJMP BARRV1           ;IS * START
BARRV35: MOV   R1,#BAROUT      ;LOAD BARREV TO BAROUT
         DEC  R0
BARRV37: CJNE  R0,#BARREV-1,BARRV38
         MOV  @R1,#0DH
         CLR  C
         RET  ;EXIT OK
BARRV38: MOV  A,@R0
         MOV  @R1,A
         DEC  R0
         INC  R1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        SJMP          BARRV37
BARRV4: MOV          @R0,A
        INC          R0
        SJMP          BARRV1
BARRVÉ: SETB        C
        RET          ;EXIT ERROR
BARTB:  PUSH        DPH
        PUSH        DPL
        MOV          DPTR,#BARTBX
        JC          BARTB1
        MOV          DPTR,#BARTBY
BARTB1: CLR          A          ;TABLE
        MOVC        A,@A+DPTR
        CJNE        A,#0FFH,BARTB2
        SJMP        BARTBE
BARTB2: CLR          C          ;COMPARE
        SUBB        A,R3
        JZ          BARTB5
        INC          DPTR
        INC          DPTR
        SJMP        BARTB1
BARTBX: DB          00100001B,'1' ;BIT 9 = 1 TABLE
        DB          01100000B,'3'
        DB          00110000B,'5'
        DB          00100100B,'8'
        DB          00001001B,'A'
        DB          01001000B,'C'
        DB          00011000B,'E'
        DB          00001100B,'H'
        DB          00000011B,'K'

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB 01000010B,'M'

DB 00010010B,'O'

DB 00000110B,'R'

DB 10000001B,'U'

DB 11000000B,'W'

DB 10010000B,'Y'

DB 10000100B,'.'

DB 0FFH

BARTBY: DB 00110100B,'0' ;BIT 9 = 0 TABLE

DB 01100001B,'2'

DB 00110001B,'4'

DB 01110000B,'6'

DB 00100101B,'7'

DB 01100100B,'9'

DB 01001001B,'B'

DB 00011001B,'D'

DB 01011000B,'F'

DB 00001101B,'G'

DB 01001100B,'I'

DB 00011100B,'J'

DB 01000011B,'L'

DB 00010011B,'N'

DB 01010010B,'P'

DB 00000111B,'Q'

DB 01000110B,'S'

DB 00010110B,'T'

DB 11000001B,'V'

DB 10010001B,'X'

DB 11010000B,'Z'

DB 10000101B,'.'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้ตีและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DB      11000100B,' '
DB      10010100B,'*'
DB      10101000B,'$'
DB      10100010B,'/'
DB      10001010B,'+'
DB      00101010B,'% '
DB      0FFH
BARIN:  MOV      DPTR,#BARBUF
JB      BARBIT,$          ;WAIT FOR FIRST PULSE
JNB     BARBIT,$
BARIN1: CLR      A          ;BACK BAR
BARIN2: CALL     BARDL
INC     A
JZ      BARIN5
JB      BARBIT,BARIN2
MOVX   @DPTR,A
INC     DPTR
CLR     A          ;WHITE BAR
BARIN3: CALL     BARDL
INC     A
JZ      BARIN5
JNB     BARBIT,BARIN3
MOVX   @DPTR,A
INC     DPTR
SJMP   BARIN1

```

```

;*****
;*
;*          READ ENCODER          *
;*
;*          CALL FROM INTERRUPT   *
;*****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ENCODER:  PUSH      PSW
          PUSH      ACC          ; SAVE REGISTER & FLAG
          PUSH      0
          PUSH      1
          PUSH      2
          MOV       R0,ENCPOINT  ; CHECK NEW POSITION
          MOV       A,P3
          ANL      A,#3
          CJNE     A,ENCNEW,ENCODER3
          SJMP     ENCODERO
ENCODER3: MOV       ENCNEW,A      ; CHECK BUTTOM POINT
          MOV       A,R0
          MOV       R1,A
          CJNE     A,#ENCDATA,ENCODER5
          MOV       R0,#ENCDATA+3
          SJMP     ENCODER6
ENCODER5: DEC       R0
ENCODER6: MOV       A,@R0
          CJNE     A,ENCNEW,ENCODER4
          MOV       ENCPPOINT,R0  ; ADD TO POSITION
          MOV       A,ABSPOST+1
          CLR      C
          ADD      A,#1
          MOV      ABSPOST+1,A
          MOV      A,ABSPOST
          ADDC     A,#0
          MOV      ABSPOST,A
          SJMP     ENCODERO

```

```

ENCODER4: PUSH      1          ; CHECK TOP POINT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	MOV	DENOR,#0
	MOV	DENOR+1,#0
	MOV	R3,#15
DIV1:	CLR	C
	MOV	A,DENOR+3
	RLC	A
	MOV	DENOR+3,A
	MOV	A,DENOR+2
	RLC	A
	MOV	DENOR+2,A
	MOV	A,DENOR+1
	RLC	A
	MOV	DENOR+1,A
	MOV	A,DENOR
	RLC	A
	MOV	DENOR,A
	DJNZ	R3,DIV1
	MOV	R3,#16
DIV2:	CLR	C
	MOV	A,NOR+3
	SUBB	A,DENOR+3
	MOV	RESULT+3,A
	MOV	A,NOR+2
	SUBB	A,DENOR+2
	MOV	RESULT+2,A
	MOV	A,NOR+1
	SUBB	A,DENOR+1
	MOV	RESULT+1,A
	MOV	A,NOR
	SUBB	A,DENOR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	MOV	RESULT,A
	JC	DIV3
	MOV	NOR,RESULT
	MOV	NOR+1,RESULT+1
	MOV	NOR+2,RESULT+2
	MOV	NOR+3,RESULT+3
	SETB	C
	SJMP	DIV4
DIV3:	CLR	C
DIV4:	MOV	A,NOR+3
	RLC	A
	MOV	NOR+3,A
	MOV	A,NOR+2
	RLC	A
	MOV	NOR+2,A
	MOV	A,NOR+1
	RLC	A
	MOV	NOR+1,A
	MOV	A,NOR
	RLC	A
	MOV	NOR,A
	DJNZ	R3,DIV2
	MOV	RESULT, NOR
	MOV	RESULT+1, NOR+1
	MOV	RESULT+2, NOR+2
	MOV	RESULT+3, NOR+3
	POP	3
	POP	ACC
	RET	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****;
;*          RUN DC MOTOR SERVO          *;
;*****;

```

```

RUN:      PUSH      ACC
          SETB      P3.5          ; NO BREAK
          MOV       A,#FAST_F    ; MORTOR SPEED+
          MOV       P1,A
          POP       ACC
          RET

```

```

;*****;
;*          RUN REVERES DC MOTOR SERVO  *;
;*****;

```

```

RUN_R:   PUSH      ACC
          SETB      P3.5          ; NO BREAK
          MOV       A,#FAST_R    ; MORTOR SPEED+
          MOV       P1,A
          POP       ACC
          RET

```

```

;*****;
;*          STOP DC MOTOR SERVO         *;
;*****;

```

```

STOP:    PUSH      ACC
          CLR       P3.5          ; BREAK MOTOR
          MOV       A,#00H       ; STOP MOTOR
          MOV       P1,A
          POP       ACC
          RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****;
;*          SET X_ORIGIN          *;
;*****;

```

```

CK_ORG:   PUSH      ACC
          JNB       P3.4,SWAP_ORGY
          ACALL    STOP
          SJMP     RET_CHK_ORG

```

```

SWAP_ORGY: LCALL   RUN_R
          SJMP     CK_ORG

```

```

RET_CHK_ORG: POP    ACC
          RET

```

```

;*****;
;*          DELAY FUNCTION          *;
;*****;

```

```

DELAY:   PUSH      DPH
          PUSH      DPL
          MOV       DPL,#0FFH
DELAY1:  MOV       DPH,#0FFH
          DJNZ     DPH,$
          DJNZ     DPL,DELAY1
          POP      DPL
          POP      DPH
          RET

```

```

BARIN5:  MOV       A,#0FFH
          MOVX     @DPTR,A
          RET

```

```

BARDL:   MOV       R2,#8           ;DELAY SUB.
          DJNZ     R2,$
          RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BARTBE:  SETB      C           ;EXIT ERROR
          POP      DPL
          POP      DPH
          RET

```

```

BARTB5:  INC      DPTR        ;COMPARE OK
          CLR      A
          MOVC     A,@A+DPTR
          CLR      C
          POP      DPL
          POP      DPH
          RET      ;EXIT OK
          END

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
รายละเอียดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

รายการอุปกรณ์ภาคขยาย

รายชื่ออุปกรณ์

จำนวน

ตัวต้านทาน	47	โอห์ม	8	ตัว
ตัวต้านทาน	50	โอห์ม	2	ตัว
ตัวต้านทาน	220	กิโลโอห์ม	4	ตัว
ตัวต้านทาน	470	โอห์ม	8	ตัว
ตัวต้านทาน	47	กิโลโอห์ม	2	ตัว
ตัวต้านทาน	50	กิโลโอห์ม	2	ตัว
ตัวต้านทาน	1	กิโลโอห์ม	2	ตัว
ตัวต้านทาน	2	กิโลโอห์ม	2	ตัว
ตัวเก็บประจุ	47	ไมโครฟารัด/160โวลต์	6	ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.33	ไมโครฟารัด	2	ตัว
ทรานซิสเตอร์	B772		2	ตัว
ทรานซิสเตอร์	B882		2	ตัว
ไดโอด	1N4148		4	ตัว
ซีเนอร์ไดโอด	15	โวลต์	4	ตัว

รายการอุปกรณ์ภาคขยายสเตอปีงมอเตอร์

รายชื่ออุปกรณ์

จำนวน

ทรานซิสเตอร์	BD139		4	ตัว
ทรานซิสเตอร์	BD140		4	ตัว
ไดโอด	1N4001		4	ตัว
ไมโครสวิตช์			1	ตัว

รายการอุปกรณ์ภาคควบคุมมอเตอร์

รายชื่ออุปกรณ์

จำนวน

ตัวต้านทาน	820	โอห์ม	2	ตัว
ตัวต้านทาน	100	โอห์ม	2	ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคคลที่สนใจในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากฝ่าฝืนจะดำเนินการตามกฎหมายและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มา
 ใช้

รายการอุปกรณ์ภาคควบคุมมอเตอร์ (ต่อ)

รายชื่ออุปกรณ์	จำนวน
ทรานซิสเตอร์ BC549	2 ตัว
ทรานซิสเตอร์ BD559	2 ตัว
ทรานซิสเตอร์ BD139	2 ตัว
ทรานซิสเตอร์ BD140	2 ตัว
ทรานซิสเตอร์ MJ2955	2 ตัว
ทรานซิสเตอร์ 2N3055	2 ตัว
ออปโตคัปเปิล MOC8111	2 ตัว
ไอซี 74LS00	1 ตัว
ไอซี 74LS04	1 ตัว

รายการอุปกรณ์ภาคแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาล็อก

รายชื่ออุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม	4 ตัว
ตัวต้านทาน 5 กิโลโอห์ม	6 ตัว
ตัวต้านทาน 20 กิโลโอห์ม	4 ตัว
ตัวต้านทาน 50 กิโลโอห์ม	10 ตัว
ตัวต้านทาน 100 กิโลโอห์ม	12 ตัว
ตัวต้านทาน 500 กิโลโอห์ม	2 ตัว
ไอซี TL074CN	2 ตัว

รายการอุปกรณ์ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

รายชื่ออุปกรณ์	จำนวน
ไอซี 74LS04	1 ตัว
ไอซี 74LS86	1 ตัว
ไอซี 74LS138	1 ตัว
ไอซี 74LS373	2 ตัว
ไอซี 8031	2 ตัว
ไอซี 6264	1 ตัว
ไอซี 8255	1 ตัว
ไอซี MAX232	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่รังเกียจใดๆ ทั้งสิ้น หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้

รายการอุปกรณ์ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ (ต่อ)

รายชื่ออุปกรณ์	จำนวน
คริสตอล 11.0592 เมกะเฮิร์ต	1 ตัว
ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม	8 ตัว
ตัวเก็บประจุ 0.1 ไมโครฟารัด/16 โวลต์	4 ตัว
รายการอุปกรณ์ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์	
ไอซี 7805	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ 2200 ไมโครฟารัด/35 โวลต์	2 ตัว
ไดโอด 1N4001	4 ตัว
รายการอุปกรณ์ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15-0-15 โวลต์	
ไอซี 7815	1 ตัว
ไอซี 7915	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ 2200 ไมโครฟารัด/35 โวลต์	2 ตัว
ไดโอด 1N4001	4 ตัว
รายการอุปกรณ์ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 9 โวลต์	
ไอซี 7809	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ 2200 ไมโครฟารัด/35 โวลต์	2 ตัว
ไดโอด 1N4001	4 ตัว
รายการอุปกรณ์ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง -35-0-35 โวลต์	
ตัวเก็บประจุ 10000 ไมโครฟารัด/63 โวลต์	2 ตัว
ไดโอดบริดจ์ K404	1 ตัว
รายการอุปกรณ์แมคคาณิกส์	
มอเตอร์กระแสตรง	2 ตัว
สเตปป์มอเตอร์	1 ตัว
เกลียวยาว 86 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร	1 ตัว
เกลียวยาว 56 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร	1 ตัว
แกนเหล็กกลม 86 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร	1 ตัว
แกนเหล็กกลม 56 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร	1 ตัว

ย่อย

2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

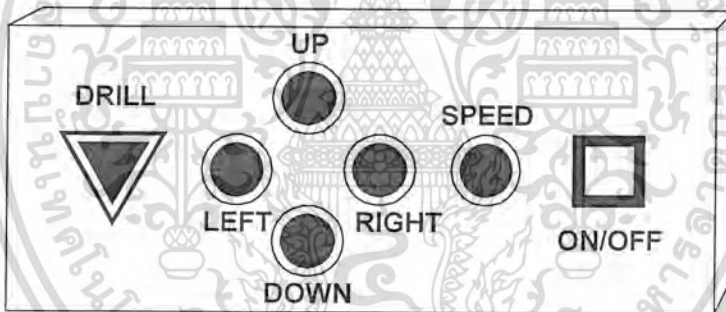
คู่มือการใช้งาน

เครื่องเจาะวงจรมอเตอร์อัตโนมัติสามารถแยกการทำงานออกเป็น 2 คือ

1. โหมดการทำงานอัตโนมัติ (Automatic)
2. โหมดการสั่งงานจากเครื่องเจาะ (Manual)

การใช้งานในโหมด 1

1. ต่อพอร์ตอนุกรม ของเครื่องเจาะวงจรมอเตอร์อัตโนมัติ
2. เสียบปลั๊กเครื่องเจาะวงจรมอเตอร์ แล้วเปิดเครื่อง
3. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วรัน โปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นสำหรับเจาะแผ่นวงจรมอเตอร์
4. วางแผ่นวงจรมอเตอร์ที่จะทำการเจาะบนแผ่นรองเจาะ ในตำแหน่งเริ่มต้น (Origin) ของเครื่อง เปิดสว่านที่ติดตั้งที่แกน Z
5. โหลดไฟล์ที่ต้องการเจาะ แล้วทำการเจาะ



รูปที่ จ.1 เป็นควบคุมการเจาะในโหมดการทำงานที่ 2

การทำงานในโหมดที่ 2

1. เสียบปลั๊กเครื่องเจาะวงจรมอเตอร์ แล้วเปิดเครื่อง
2. วางแผ่นวงจรมอเตอร์ที่จะทำการเจาะบนแผ่นรองเจาะ ในตำแหน่งเริ่มต้น (Origin) ของเครื่อง เปิดสว่านที่ติดตั้งที่แกน Z
3. เปิดสวิตซ์ ON ที่เป็นควบคุมดังรูปที่ จ.1
4. สั่งทำการควบคุมหัวเจาะไปทางด้านซ้าย ที่ปุ่ม LEFT ทางด้านขวาที่ปุ่ม RIGHT ซึ่งทั้งสองปุ่มนี้จะใช้ในการควบคุมทางแกน Y จากรูปจะเห็นว่า มีปุ่ม SPEED ที่ใช้สำหรับปรับระดับความเร็วได้ 3 ระดับ เมื่อกด 1 ครั้ง ความเร็วจะเพิ่มขึ้น 1 ระดับ เมื่อกดจนถึงระดับที่ 3 เมื่อกดอีกครั้งก็จะกลับสู่ระดับที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ กรุณาแจ้งให้ทราบถึงบริษัทฯ เพื่อแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สั่งทำการควบคุมหัวเจาะไปทางด้านบนที่ปุ่ม UP ทางด้านล่างที่ปุ่ม DOWN ซึ่งทั้งสองปุ่มนี้จะใช้ในการควบคุมทางแกน X จากรูปจะเห็นว่า มีปุ่ม SPEED ที่ใช้สำหรับปรับระดับความเร็วได้ 3 ระดับ เมื่อกด 1 ครั้ง ความเร็วจะเพิ่มขึ้น 1 ระดับ เมื่อกดจนถึงระดับที่ 3 เมื่อกดอีกครั้งก็จะกลับสู่ระดับที่ 1
6. การสั่งให้ทำการเจาะทำได้ โดยการกดปุ่ม DRILL เมื่อดำเนินการถึงตำแหน่งที่ต้องการเจาะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ
รายละเอียดของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(RESET)

Reset. A "high" on this input clears the control register and all ports (A, B, C) are set to the input mode.

Group A and Group B Controls

The functional configuration of each port is programmed by the systems software. In essence, the CPU "outputs" a control word to the 8255A. The control word contains information such as "mode", "bit set", "bit reset", etc., that initializes the functional configuration of the 8255A.

Each of the Control blocks (Group A and Group B) accepts "commands" from the Read/Write Control Logic, receives "control words" from the internal data bus and issues the proper commands to its associated ports.

- Control Group A — Port A and Port C upper (C7-C4)
- Control Group B — Port B and Port C lower (C3-C0)

The Control Word Register can Only be written into. No Read operation of the Control Word Register is allowed.

Ports A, B, and C

The 8255A contains three 8-bit ports (A, B, and C). All can be configured in a wide variety of functional characteristics by the system software but each has its own special features or "personality" to further enhance the power and flexibility of the 8255A.

Port A. One 8-bit data output latch/buffer and one 8-bit data input latch.

Port B. One 8-bit data input/output latch/buffer and one 8-bit data input buffer.

Port C. One 8-bit data output latch/buffer and one 8-bit data input buffer (no latch for input). This port can be divided into two 4-bit ports under the mode control. Each 4-bit port contains a 4-bit latch and it can be used for the control signal outputs and status signal inputs in conjunction with ports A and B.

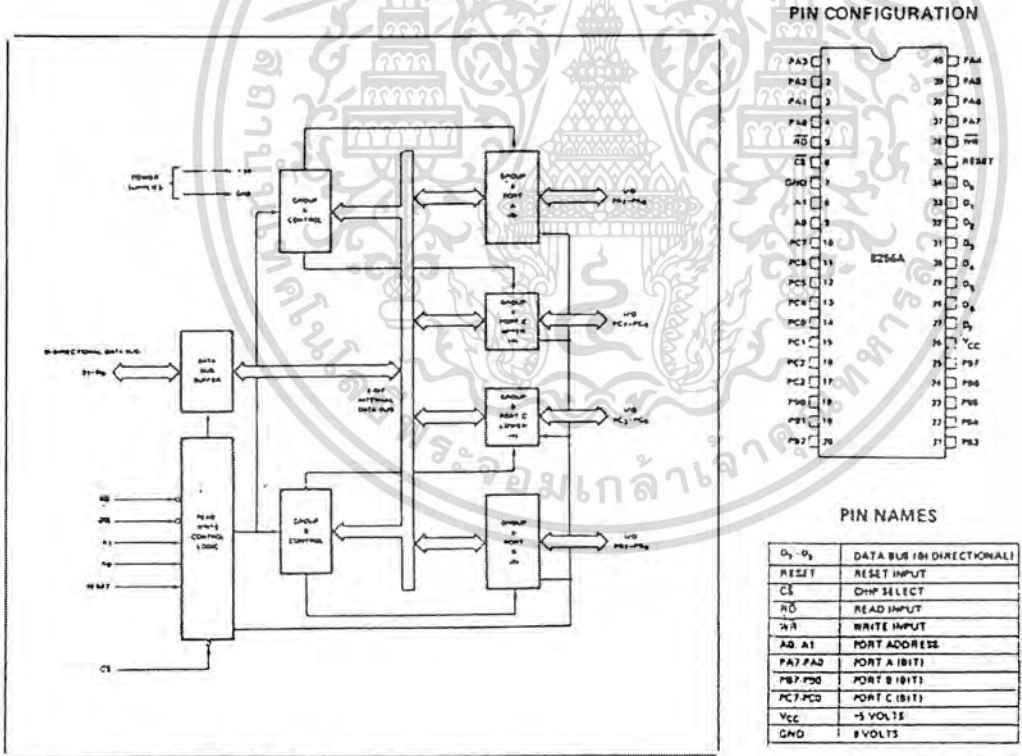


Figure 4. 8255A Block Diagram Showing Group A and Group B Control Functions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8255A OPERATIONAL DESCRIPTION

Mode Selection

There are three basic modes of operation that can be selected by the system software:

- Mode 0 – Basic Input/Output
- Mode 1 – Strobed Input/Output
- Mode 2 – Bi-Directional Bus

When the reset input goes "high" all ports will be set to the input mode (i.e., all 24 lines will be in the high impedance state). After the reset is removed the 8255A can remain in the input mode with no additional initialization required. During the execution of the system program any of the other modes may be selected using a single output instruction. This allows a single 8255A to service a variety of peripheral devices with a simple software maintenance routine.

The modes for Port A and Port B can be separately defined, while Port C is divided into two portions as required by the Port A and Port B definitions. All of the output registers, including the status flip-flops, will be reset whenever the mode is changed. Modes may be combined so that their functional definition can be "tailored" to almost any I/O structure. For instance; Group B can be programmed in Mode 0 to monitor simple switch closings or display computational results, Group A could be programmed in Mode 1 to monitor a keyboard or tape reader on an interrupt-driven basis.

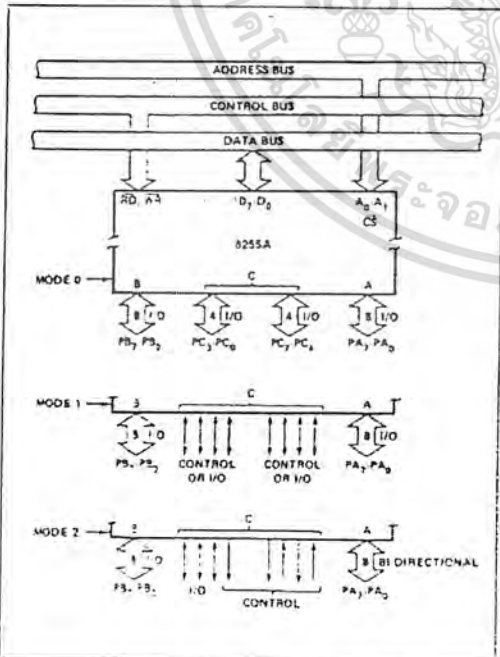


Figure 5. Basic Mode Definitions and Bus Interface

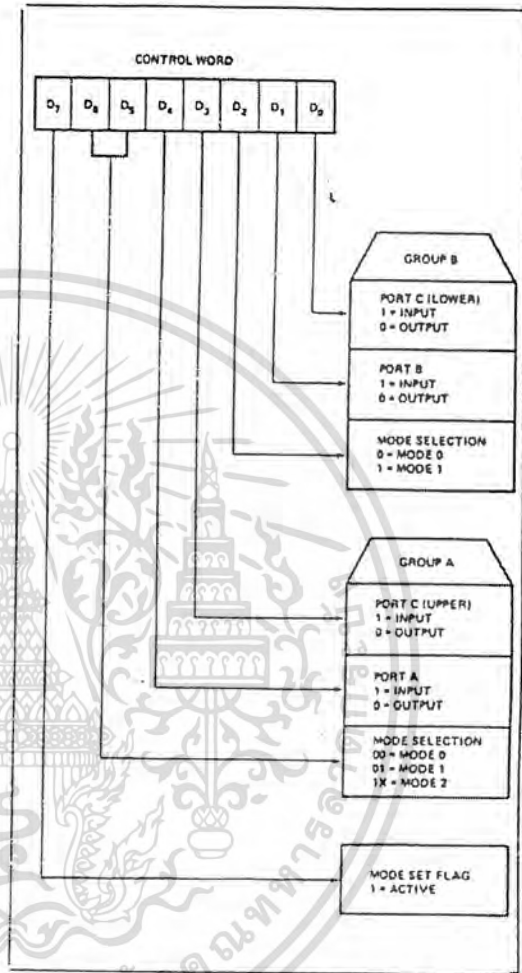


Figure 6. Mode Definition Format

The mode definitions and possible mode combinations may seem confusing at first but after a cursory review of the complete device operation a simple, logical I/O approach will surface. The design of the 8255A has taken into account things such as efficient PC board layout, control signal definition vs PC layout and complete functional flexibility to support almost any peripheral device with no external logic. Such design represents the maximum use of the available pins.

Single Bit Set/Reset Feature

Any of the eight bits of Port C can be Set or Reset using a single OUTPUT instruction. This feature reduces software requirements in Control-based applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

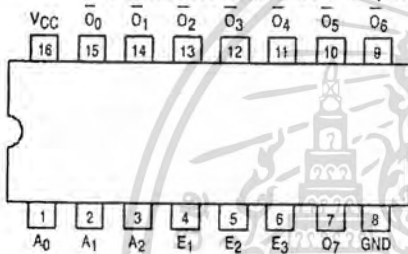


1-OF-8 DECODER/ DEMULTIPLEXER

The LSTTL/MSI SN54/74LS138 is a high speed 1-of-8 Decoder/Demultiplexer. This device is ideally suited for high speed bipolar memory chip select address decoding. The multiple input enables allow parallel expansion to a 1-of-24 decoder using just three LS138 devices or to a 1-of-32 decoder using four LS138s and one inverter. The LS138 is fabricated with the Schottky barrier diode process for high speed and is completely compatible with all Motorola TTL families.

- Demultiplexing Capability
- Multiple Input Enable for Easy Expansion
- Typical Power Dissipation of 32 mW
- Active Low Mutually Exclusive Outputs
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects

CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)



NOTE:
The Flatpak version has the same pinouts (Connection Diagram) as the Dual In-Line Package.

PIN NAMES

A₀-A₂ Address Inputs
E₁, E₂ Enable (Active LOW) Inputs
E₃ Enable (Active HIGH) Input
O₀-O₇ Active LOW Outputs (Note b)

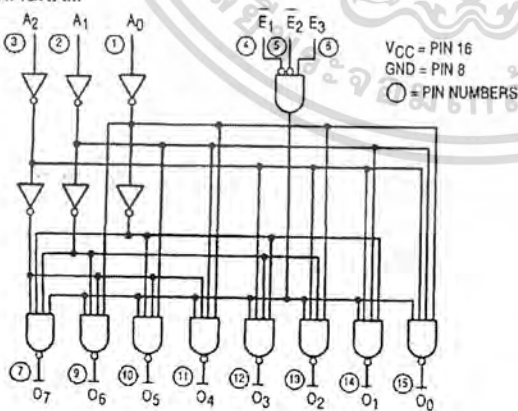
LOADING (Note a)

	HIGH	LOW
A ₀ -A ₂	0.5 U.L.	0.25 U.L.
E ₁ , E ₂	0.5 U.L.	0.25 U.L.
E ₃	0.5 U.L.	0.25 U.L.
O ₀ -O ₇	10 U.L.	5 (2.5) U.L.

NOTES:

- a) 1 TTL Unit Load (U.L.) = 40 μA HIGH/1.8 mA LOW.
b) The Output LOW drive factor is 2.5 U.L. for Military (54) and 5 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges.

LOGIC DIAGRAM



SN54/74LS138

1-OF-8 DECODER/ DEMULTIPLEXER

LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 620-09



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 648-08

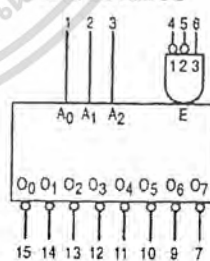


D SUFFIX
SOIC
CASE 751B-03

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic
SN74LSXXXN Plastic
SN74LSXXXD SOIC

LOGIC SYMBOL



VCC = PIN 16
GND = PIN 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

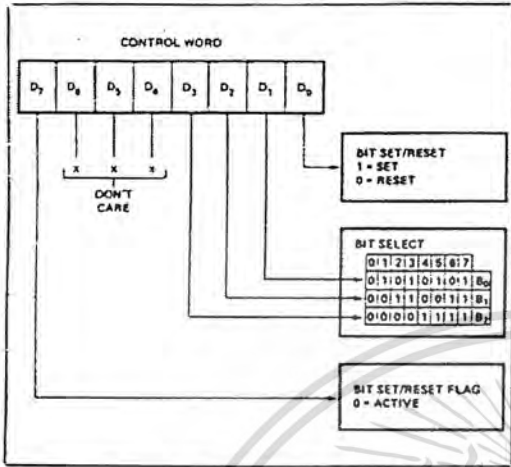


Figure 7. Bit Set/Reset Format

When Port C is being used as status/control for Port A or B, these bits can be set or reset by using the Bit Set/Reset operation just as if they were data output ports.

Interrupt Control Functions

When the 8255A is programmed to operate in mode 1 or mode 2, control signals are provided that can be used as interrupt request inputs to the CPU. The interrupt request signals, generated from port C, can be inhibited or enabled by setting or resetting the associated INTE flip-flop, using the bit set/reset function of port C.

This function allows the Programmer to disallow or allow a specific I/O device to interrupt the CPU without affecting any other device in the interrupt structure.

INTE flip-flop definition:

- (BIT-SET) – INTE is SET – Interrupt enable
- (BIT-RESET) – INTE is RESET – Interrupt disable

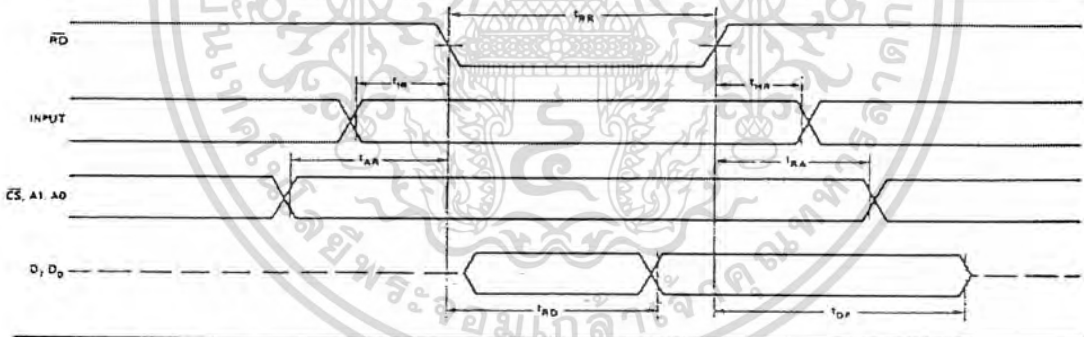
Note: All Mask flip-flops are automatically reset during mode selection and device Reset.

Operating Modes

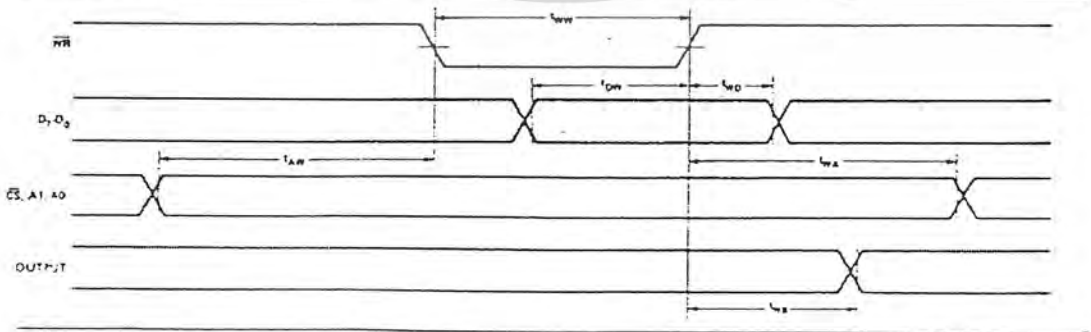
MODE 0 (Basic Input/Output). This functional configuration provides simple input and output operations for each of the three ports. No "handshaking" is required, data is simply written to or read from a specified port.

Mode 0 Basic Functional Definitions:

- Two 8-bit ports and two 4-bit ports.
- Any port can be input or output.
- Outputs are latched.
- Inputs are not latched.
- 16 different Input/Output configurations are possible in this Mode.



MODE 0 (Basic Input)



MODE 0 (Basic Output)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS138

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The LS138 is a high speed 1-of-8 Decoder/Demultiplexer fabricated with the low power Schottky barrier diode process. The decoder accepts three binary weighted inputs (A_0, A_1, A_2) and when enabled provides eight mutually exclusive active LOW Outputs (O_0-O_7). The LS138 features three Enable inputs, two active LOW (E_1, E_2) and one active HIGH (E_3). All outputs will be HIGH unless E_1 and E_2 are LOW and E_3 is HIGH. This multiple enable function allows easy parallel ex-

pansion of the device to a 1-of-32 (5 lines to 32 lines) decoder with just four LS138s and one inverter. (See Figure a.)

The LS138 can be used as an 8-output demultiplexer by using one of the active LOW Enable inputs as the data input and the other Enable inputs as strobes. The Enable inputs which are not used must be permanently tied to their appropriate active HIGH or active LOW state.

TRUTH TABLE

INPUTS						OUTPUTS							
E_1	E_2	E_3	A_0	A_1	A_2	O_0	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7
H	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	X	L	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	H	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H
L	L	H	H	H	L	H	H	H	L	H	H	H	H
L	L	H	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H
L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H
L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level
X = Don't Care

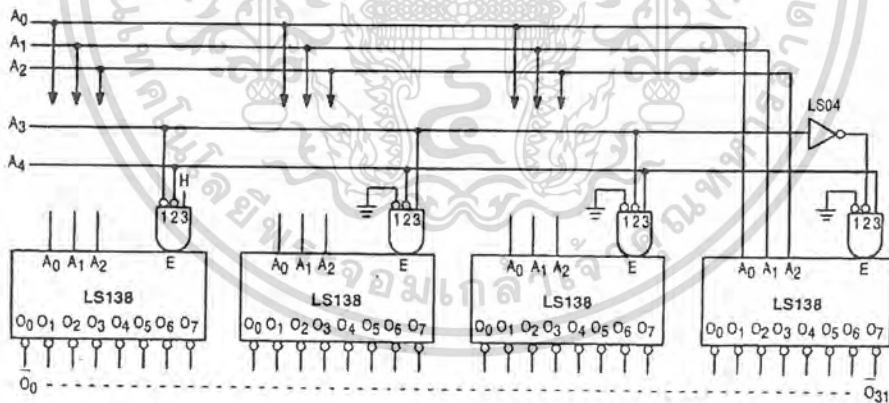


Figure a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



OCTAL TRANSPARENT LATCH WITH 3-STATE OUTPUTS; OCTAL D-TYPE FLIP-FLOP WITH 3-STATE OUTPUT

The SN54/74LS373 consists of eight latches with 3-state outputs for bus organized system applications. The flip-flops appear transparent to the data (data changes asynchronously) when Latch Enable (LE) is HIGH. When LE is LOW, the data that meets the setup times is latched. Data appears on the bus when the Output Enable (OE) is LOW. When OE is HIGH the bus output is in the high impedance state.

The SN54/74LS374 is a high-speed, low-power Octal D-type Flip-Flop featuring separate D-type inputs for each flip-flop and 3-state outputs for bus oriented applications. A buffered Clock (CP) and Output Enable (OE) is common to all flip-flops. The SN54/74LS374 is manufactured using advanced Low Power Schottky technology and is compatible with all Motorola TTL families.

- Eight Latches in a Single Package
- 3-State Outputs for Bus Interfacing
- Hysteresis on Latch Enable
- Edge-Triggered D-Type Inputs
- Buffered Positive Edge-Triggered Clock
- Hysteresis on Clock Input to Improve Noise Margin
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects

PIN NAMES

D ₀ -D ₇	Data Inputs
LE	Latch Enable (Active HIGH) Input
CP	Clock (Active HIGH going edge) Input
OE	Output Enable (Active LOW) Input
O ₀ -O ₇	Outputs (Note b)

LOADING (Note a)

	HIGH	LOW
D ₀ -D ₇	0.5 U.L.	0.25 U.L.
LE	0.5 U.L.	0.25 U.L.
CP	0.5 U.L.	0.25 U.L.
OE	0.5 U.L.	0.25 U.L.
O ₀ -O ₇	65 (25) U.L.	15 (7.5) U.L.

NOTES:

- a) 1 TTL Units Load (U.L.) = 40 μ A HIGH/1.6 mA LOW.
 b) The Output LOW drive factor is 7.5 U.L. for Military (54) and 25 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges. The Output HIGH drive factor is 25 U.L. for Military (54) and 65 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges.

SN54/74LS373
SN54/74LS374

**OCTAL TRANSPARENT LATCH WITH 3-STATE OUTPUTS;
OCTAL D-TYPE FLIP-FLOP WITH 3-STATE OUTPUT**

LOW POWER SCHOTTKY



**J SUFFIX
CERAMIC
CASE 732-03**



**N SUFFIX
PLASTIC
CASE 738-03**

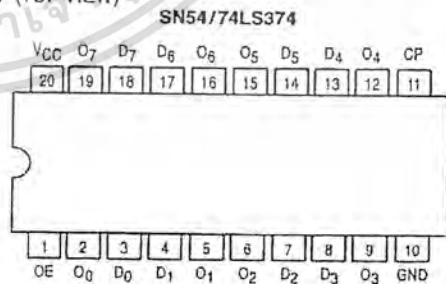
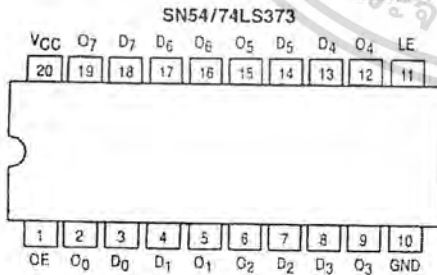


**DW SUFFIX
SOIC
CASE 751D-03**

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic
 SN74LSXXXN Plastic
 SN74LSXXXDW SOIC

CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)



NOTE:
The Flatpak version has the same pinouts (Connection Diagram) as the Dual In-Line Package.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS373 • SN54/74LS374

TRUTH TABLE

D_n	LE	OE	O_n
H	H	L	H
L	H	L	L
X	L	L	Q_0
X	X	H	Z*

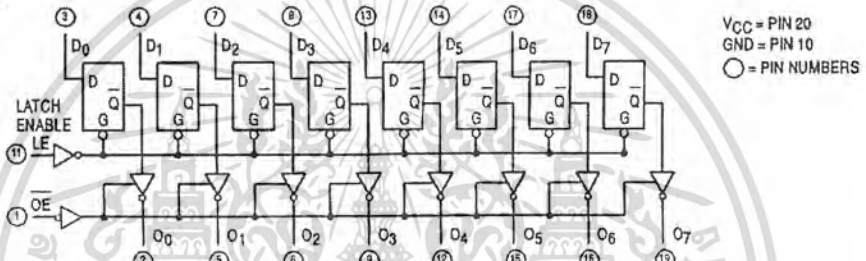
D_n	LE	OE	O_n
H		L	H
L		L	L
X	X	H	Z*

H = HIGH Voltage Level
 L = LOW Voltage Level
 X = Immaterial
 Z = High Impedance

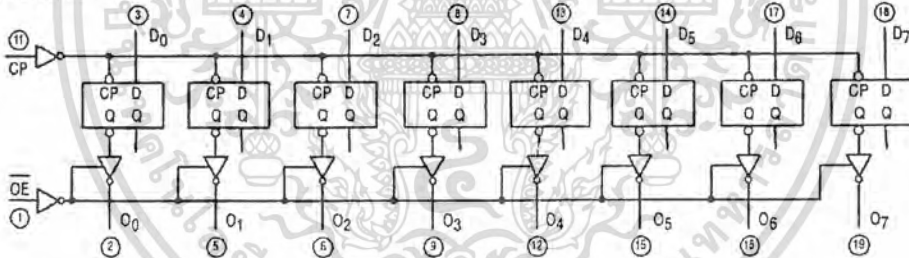
* Note: Contents of flip-flops unaffected by the state of the Output Enable Input (OE).

LOGIC DIAGRAMS

SN54LS/74LS373



SN54LS/74LS374



GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T_A	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I_{OH}	Output Current — High	54			-1.0	mA
		74			-2.6	
I_{OL}	Output Current — Low	54			12	mA
		74			24	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NM27C256 262,144-Bit (32K x 8) High Performance CMOS EPROM

General Description

The NM27C256 is a 256K Electrically Programmable Read Only Memory. It is manufactured in National's latest CMOS split gate EPROM technology which enables it to operate at speeds as fast as 120 ns access time over the full operating range.

The NM27C256 provides microprocessor-based systems extensive storage capacity for large portions of operating system and application software. Its 120 ns access time provides high speed operation with high-performance CPUs. The NM27C256 offers a single chip solution for the code storage requirements of 100% firmware-based equipment. Frequently-used software routines are quickly executed from EPROM storage, greatly enhancing system utility.

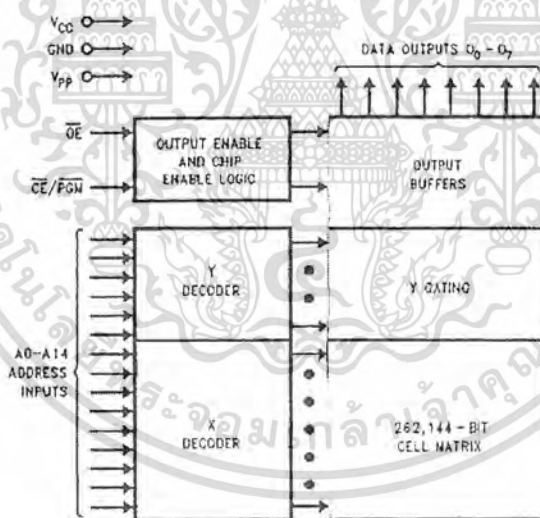
The NM27C256, is configured in the standard EPROM pin-out which provides an easy upgrade path for systems which are currently using standard EPROMs.

The NM27C256 is one member of a high density EPROM Family which range in densities up to 4 Mb.

Features

- High performance CMOS
 - 120 ns access time
- JEDEC standard pin configuration
 - 28-pin DIP package
 - 32-pin chip carrier
- Drop-in replacement for 27C256 or 27256
- Manufacturer's Identification code

Block Diagram

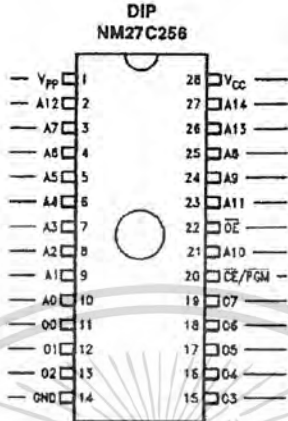


Tri-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.
HPC™ is a trademark of National Semiconductor Corporation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

27C080	27C040	27C020	27C010	27C512
A19	XX/V _{PP}	XX/V _{PP}	XX/V _{PP}	
A16	A16	A16	A16	
A15	A15	A15	A15	A15
A12	A12	A12	A12	A12
A7	A7	A7	A7	A7
A6	A6	A6	A6	A6
A5	A5	A5	A5	A5
A4	A4	A4	A4	A4
A3	A3	A3	A3	A3
A2	A2	A2	A2	A2
A1	A1	A1	A1	A1
A0	A0	A0	A0	A0
O0	O0	O0	O0	O0
O1	O1	O1	O1	O1
O2	O2	O2	O2	O2
GND	GND	GND	GND	GND



27C512	27C010	27C020	27C040	27C080
	V _{CC}	V _{CC}	V _{CC}	V _{CC}
	XX/PGM	XX/PGM	A18	A18
V _{CC}	A14	A14	A17	A17
A14	A14	A14	A14	A14
A13	A13	A13	A13	A13
A8	A8	A8	A8	A8
A9	A9	A9	A9	A9
A11	A11	A11	A11	A11
OE/V _{PP}	OE	OE	OE	OE/V _{PP}
A10	A10	A10	A10	A10
CE/PGM	CE	CE	CE/PGM	CE/PGM
O7	O7	O7	O7	O7
O6	O6	O6	O6	O6
O5	O5	O5	O5	O5
O4	O4	O4	O4	O4
O3	O3	O3	O3	O3

TL/D/10633-2

Note: Compatible EPROM pin configurations are shown in the blocks adjacent to the NM27C256 pins.

Commercial Temp. Range (0°C to +70°C)
V_{CC} = 5V ± 10%

Parameter/Order Number	Access Time (ns)
NM27C256 Q, N, V 120	120
NM27C256 Q, N, V 150	150
NM27C256 Q, N, V 200	200

Extended Temp. Range (-40°C to +85°C)
V_{CC} = 5V ± 10%

Parameter/Order Number	Access Time (ns)
NM27C256 QE, NE, VE 120	120
NM27C256 QE, NE, VE 150	150
NM27C256 QE, NE, VE 200	200

Military Temp. Range (-55°C to +125°C)
V_{CC} = 5V ± 10%

Parameter/Order Number	Access Time (ns)
NM27C256 QM 150	150
NM27C256 QM 250	250

Note: Surface mount PLCC package available for commercial and extended temperature ranges only.

Package Types: NM27C256 Q, N, V XXX

Q = Quartz-Windowed Ceramic DIP

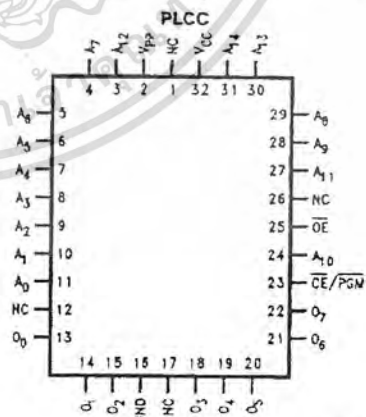
N = Plastic OTP DIP

V = Surface-Mount PLCC

- All packages conform to the JEDEC standard.
- All versions are guaranteed to function for slower speeds.

Pin Names

Symbol	Description
A0-A14	Addresses
CE	Chip Enable
OE	Output Enable
O0-O7	Outputs
PGM	Program
XX	Don't Care (during Read)



Top

TL/D/10633-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

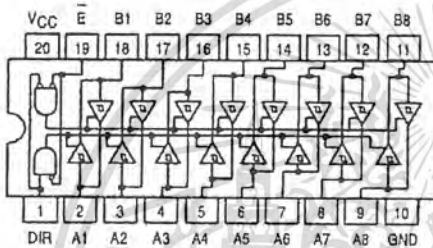


OCTAL BUS TRANSCEIVER

The SN54/74LS245 is an Octal Bus Transmitter/Receiver designed for 8-line asynchronous 2-way data communication between data buses. Direction Input (DIR) controls transmission of Data from bus A to bus B or bus B to bus A depending upon its logic level. The Enable input (E) can be used to isolate the buses.

- Hysteresis Inputs to Improve Noise Immunity
- 2-Way Asynchronous Data Bus Communication
- Input Diodes Limit High-Speed Termination Effects
- ESD > 3500 Volts

LOGIC AND CONNECTION DIAGRAMS DIP (TOP VIEW)



TRUTH TABLE

INPUTS		OUTPUT
E	DIR	
L	L	Bus B Data to Bus A
L	H	Bus A Data to Bus B
H	X	Isolation

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level
X = Immaterial

SN54/74LS245

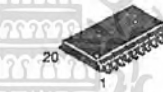
OCTAL BUS TRANSCEIVER
LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 732-03



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 738-03



DW SUFFIX
SOIC
CASE 751D-03

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic
SN74LSXXXN Plastic
SN74LSXXXDW SOIC

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-3.0	mA
		54, 74			-12 -15	
I _{OL}	Output Current — Low	54, 74			12	mA
		54, 74			24	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



OCTAL TRANSPARENT LATCH WITH 3-STATE OUTPUTS; OCTAL D-TYPE FLIP-FLOP WITH 3-STATE OUTPUT

The SN54/74LS373 consists of eight latches with 3-state outputs for bus organized system applications. The flip-flops appear transparent to the data (data changes asynchronously) when Latch Enable (LE) is HIGH. When LE is LOW, the data that meets the setup times is latched. Data appears on the bus when the Output Enable (OE) is LOW. When OE is HIGH the bus output is in the high impedance state.

The SN54/74LS374 is a high-speed, low-power Octal D-type Flip-Flop featuring separate D-type inputs for each flip-flop and 3-state outputs for bus oriented applications. A buffered Clock (CP) and Output Enable (OE) is common to all flip-flops. The SN54/74LS374 is manufactured using advanced Low Power Schottky technology and is compatible with all Motorola TTL families.

- Eight Latches in a Single Package
- 3-State Outputs for Bus Interfacing
- Hysteresis on Latch Enable
- Edge-Triggered D-Type Inputs
- Buffered Positive Edge-Triggered Clock
- Hysteresis on Clock Input to Improve Noise Margin
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects

PIN NAMES

		LOADING (Note a)	
		HIGH	LOW
D ₀ -D ₇	Data Inputs	0.5 U.L.	0.25 U.L.
LE	Latch Enable (Active HIGH) Input	0.5 U.L.	0.25 U.L.
CP	Clock (Active HIGH going edge) Input	0.5 U.L.	0.25 U.L.
OE	Output Enable (Active LOW) Input	0.5 U.L.	0.25 U.L.
O ₀ -O ₇	Outputs (Note b)	65 (25) U.L.	15 (7.5) U.L.

NOTES:

- 1 TTL Units Load (U.L.) = 40 μ A HIGH/1.6 mA LOW.
- The Output LOW drive factor is 7.5 U.L. for Military (54) and 25 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges. The Output HIGH drive factor is 25 U.L. for Military (54) and 65 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges.

SN54/74LS373
SN54/74LS374

OCTAL TRANSPARENT LATCH WITH 3-STATE OUTPUTS;
OCTAL D-TYPE FLIP-FLOP WITH 3-STATE OUTPUT

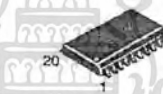
LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 732-03



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 738-03

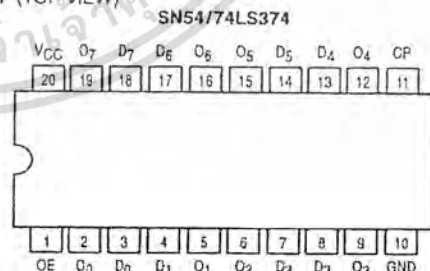
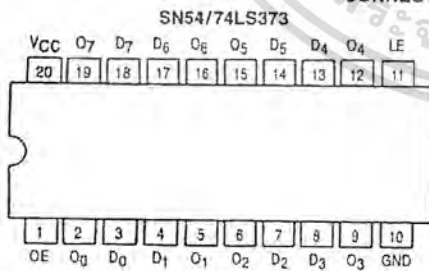


DW SUFFIX
SOIC
CASE 751D-03

ORDERING INFORMATION

- SN54LSXXXJ Ceramic
- SN74LSXXXN Plastic
- SN74LSXXXDW SOIC

CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)



NOTE:
The Flatpak version has the same pinouts (Connection Diagram) as the Dual In-Line Package.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญยานิพนธ์	นายกนกพงศ์ ทองกร
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2520
สถานที่เกิด	จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	319/46 ถ.จรัญสนิทวงศ์ แขวงบางพลัด เขตบางพลัด จังหวัดกรุงเทพฯ 10700
โทรศัพท์	433-4049
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียน โยนออฟอาร์ค
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียน โยนออฟอาร์ค
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา **ทำวันนี้ให้ดีที่สุด** ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญญานิพนธ์

นายณัฐวุฒิ ทิพย์กนก

วันเดือนปีเกิด

วันที่ 24 สิงหาคม พ.ศ. 2520

สถานที่เกิด

จังหวัด เชียงใหม่

ภูมิลำเนาเดิม

จังหวัด เชียงใหม่

ที่อยู่ปัจจุบัน

42/3 ถนน จัวลาย ซอย 2 ตำบล หายยา

อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

โทรศัพท์

053-200-069

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)

วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ภาคพายัพ

ปริญญาตรี

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

ผลงานที่ได้รับรางวัล

-

ทุนการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คดีพจน์ ไม่มีการแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและดัดแปลงข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คดีพจน์

อย่าเสียใจในสิ่งที่ทำไปแล้ว

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร

นายชिरศักดิ์ ชีรเทือกกิตติ

วันเดือนปีเกิด

วันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2519

สถานที่เกิด

จังหวัด กรุงเทพมหานคร

ภูมิลำเนาเดิม

ที่อยู่ปัจจุบัน

1609/11 ถนนริมทางรถไฟสายปากน้ำ แขวง

คลองตัน เขตคลองเตย จังหวัดกรุงเทพฯ

10110

โทรศัพท์

671-7748

ประวัติการศึกษา

โรงเรียนสาธิตน้ำทิพย์

ประถมศึกษา

โรงเรียนพระโขนงพิทยาลัย

มัธยมศึกษาตอนต้น

วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)

วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

ปริญญาตรี

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

ผลงานที่ได้รับรางวัล

-

ทุนการศึกษา

-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาต หวังสืบ อีกรหัสห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่นำมาใช้

คติพจน์

ความพยายามคือหนทางแห่งความสำเร็จ

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร

คติพจน์

วันเดือนปีเกิด

นายเอกรัตน์ คล้ายสาหร่าย

สถานที่เกิด

วันที่ 23 กันยายน พ.ศ. 2520

ภูมิลำเนาเดิม

จังหวัด กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ปัจจุบัน

จังหวัด กรุงเทพมหานคร

โทรศัพท์

11/9 หมู่ 3 ถนนพุทธบูชา แขวงบางมด

เขตราชบุรีบูรณะ จังหวัดกรุงเทพฯ 10140

870-6376

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนบางมด(ตันเปาว์)วิทยาคาร

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)

โรงเรียนธนบุรีศึกษา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)

โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม

ปริญญาตรี

วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

ผลงานที่ได้รับรางวัล

-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ทุนการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ความรัก เป็นสิ่งที่ค่าและมีความหมาย

บรรณานุกรม

ปราโมทย์ วาดเขียน และวิวัฒน์ กิรานนท์, พื้นฐานการสื่อสารข้อมูล, โรงพิมพ์ครุสภา, กรุงเทพฯ, 2536

โยธิน เปรมปราณีรัชต์, ระบบเซอร์โวและอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์, โรงพิมพ์ครุสภา, กรุงเทพฯ, 2533

ธีรวัฒน์ ประกอบผล, การประยุกต์การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2540

สุเจตน์ จันทรัมย์, ไมโครคอนโทรลเลอร์ซีพเดียว 8051, โครงการตำรามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพฯ, 2535

สมยศ จุณณะปิยะ, การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2537

ปริญญานิพนธ์เรื่องเครื่องเจาะวงจรมินิพีซี, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้