



ภาควิชาวิศวกรรม  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ ระบบจีพีคิกระนาบ 3 มิติ

The 3-Dimensional Coordinate Finder

ชื่อนักศึกษา 1. นางสาวกานต์ ตระกูลบุญ รหัสประจำตัว 44035278  
2. นายณัฐพงษ์ สหายา รหัสประจำตัว 44035285  
3. นายพิเชษฐ์ นาคทอง รหัสประจำตัว 44035295

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์โกศล ตราชู  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ	
2. อาจารย์โกศล ตราชู	
3. อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	
4. ผศ. พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	
5. อาจารย์ไพฑูริย์ พุ่มวงษ์ตระกูล	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพุธที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546 เวลา 15:00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(นายสุรสิทธิ์ ราตรี)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรม

วันที่ 31 เดือน พ.ศ. 47



<BT4610022>

ระบบจีพีคิกระนาบ 3 มิติ



# ปริยญาณิพนธ์

ระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ

THE 3 - DIMENSIONAL COORDINATE FINDER



นางสาวกานต์ ตระกูลบุญ

นายณัฐพงษ์ สหยา

นายพิเชษฐ์ นาคทอง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน **51038**

วัน,เดือน,ปี **29 ส.ย. 2547**

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

ปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

# ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ

The 3 - Dimensional Coordinate Finder

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพิกัดทรงกลม การจับสแต็ปิ้งมอเตอร์และการเขียนโปรแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เพื่อออกแบบระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ
3. เพื่อสร้างระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ
4. เพื่อทดสอบระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ
5. เพื่อนำระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติใช้งานจริง

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับระบบพิกัดทรงกลม เฟือง และการควบคุมสแต็ปิ้งมอเตอร์
2. ได้แบบระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ
3. ได้เครื่องต้นแบบระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ
4. ได้ผลการทดลองระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ
5. ได้นำระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ ไปใช้งานจริง

# I

ชื่อหัวข้อ	ระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ
นักศึกษา	นางสาวกานต์ ตระกูลบุญ
	นายณัฐพงษ์ สหายา
	นายพิเชษฐ์ นาคทอง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์โกศล ตราฐู
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2546

## บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ ในระบบพิกัดทรงกลม โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลคำนวณจำนวนสแต๊ปของมอเตอร์เพื่อสั่งงาน ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม สามารถใช้งานในการหาจุดพิกัดหรือตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ จากการทดลองระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

## II

<b>Thesis Title</b>	The 3 - Dimensional Coordinate Finder	
<b>Students</b>	MissKarn	Trakulboon
	Mr.Nattapong	Sahaya
	Mr.Pichet	Nakthong
<b>Advisor</b>	Mr.Koson	Trachu
<b>Co-Advisor</b>	Mr.Piya	Jitthamapirom
<b>Education Level</b>	Bachelor of Science in Industrial Education	
<b>Program in</b>	Telecommunication Engineering	
<b>Academic Year</b>	2003	

### ABSTRACT

This thesis presents The 3 – Dimensional Coordinate Finder. The Finder Coordinate the Spherical shape using a computer to calculate the number a step of stepping motor. The result a calculation was processed by the computer in order to control the microcontroller using a serial port. The finder was operated by programming on the computer from the result experiment. The worked correctly according to its setting.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ถูกลงไปด้วยดี เนื่องมาจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน ขอขอบคุณท่านอาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมทุกท่านที่ให้อุปกรณ์เครื่องมือและอุปกรณ์ รวมทั้งคำแนะนำ ความรู้ต่างๆ แนวความคิด แนวทางแก้ไข ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบคุณหอสมุดกลาง ห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการค้นคว้าหาข้อมูล สุดท้ายที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่งคือบิดามารดาที่เป็นผู้ให้ความสนับสนุนด้านการศึกษา เป็นทุกอย่างเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 จิตความสามารถของ โครงการงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ระบบพิกัด 3 มิติ	4
2.2.1 ระบบพิกัดฉาก	4
2.2.2 ระบบพิกัดทรงกระบอก	5
2.2.3 ระบบพิกัดทรงกลม	7
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบแฟลช P89C51RD2	8
2.3.1 คุณสมบัติทางเทคนิคไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2	8
2.4 หลักการทำงานของเฟือง	10
2.4.1 เฟืองหนอน	11
2.4.2 การจำแนกประเภทของเฟือง	12
2.4.3 ชุดเฟืองหนอน	12
2.5 สเต็ปป์มอเตอร์	15
2.5.1 ชนิดของสเต็ปป์มอเตอร์	15
2.5.2 โครงสร้างพื้นฐาน	16

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5.3 การพันขดลวดบนสเตเตอร์	16
2.5.4 การทำงานของสเต็ปิ้งมอเตอร์	17
2.5.5 การควบคุมการหมุนของสเต็ปิ้งมอเตอร์	20
2.6 มาตรฐานพอร์ตอนุกรม RS232C	23
2.7 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม RS485	24
2.7.1 มาตรฐานการสื่อสารข้อมูล	24
2.7.2 รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลแบบ RS485	25
2.7.3 มาตรฐานของ RS485	25
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	27
3.1 การทำงานของระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	27
3.2 วงจรประมวลผล	27
3.3 วงจรขับสเต็ปิ้งมอเตอร์	29
3.4 วงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้พอร์ตอนุกรม RS232	30
3.5 โครงสร้างระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	30
3.6 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสอบจุดเริ่มต้น	32
3.7 การติดต่อกับคอมพิวเตอร์กับระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	32
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	33
4.1 กล่าวนำ	33
4.2 วงจรขับสเต็ปิ้งมอเตอร์	33
4.3 การทดลองระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	35
4.3.1 การทดลองสเต็ปที่เคลื่อนที่ของระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	35
4.3.2 การทดสอบระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	37
บทที่ 5 บทสรุป	41
5.1 สรุป	41
5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข	41
5.3 แนวทางการพัฒนา	42

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	44
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	48
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	54
ภาคผนวก ง ผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม	58
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	67
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	73
ประวัติผู้แต่ง	93

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51Rx+ และ Rx2	9
2.2 มุมนำของเกลิยวหนอน	14
2.3 มุมนำของเฟืองหนอน	15
2.4 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบรูปคลื่น	21
2.5 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส	22
2.6 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป	22
2.7 หน้าที่การทำงานของแต่ละขาของ DB-25 และ DB-9	23
2.8 การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารข้อมูล EIA	24
2.8 (ต่อ) การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารข้อมูล EIA	25
4.1 จ่ายสัญญาณให้อินพุตของวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์	34
4.2 ผลการทดลองวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์	34
4.3 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ของมุมกวาดแต่ละสเต็ปต่อองศา	35
4.3 (ต่อ) ผลการทดลองการเคลื่อนที่ของมุมกวาดแต่ละสเต็ปต่อองศา	36
4.4 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ของมุมแยะแต่ละสเต็ปต่อองศา	37
4.5 ทดสอบระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	38
4.6 ทดสอบระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	39
ค.1 รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	55
ค.2 รายการอุปกรณ์วงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม	55
ค.3 รายการอุปกรณ์วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์	56
ค.4 รายการอุปกรณ์วงจรประมวลผล	56
ค.4 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรประมวลผล	57

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบพิกัดฉาก	5
2.2 จุด p ระบบพิกัดทรงกระบอก	6
2.3 เวกเตอร์ฐาน $\hat{a}_\rho, \hat{a}_\phi$ และ $\hat{a}_z$ เทียบกับ $\hat{a}_x, \hat{a}_y$ และ $\hat{a}_z$	7
2.4 ตำแหน่งของจุด p ขึ้นอยู่กับพิกัด $r, \theta$ และ $\phi$ ในระบบพิกัดทรงกลม	8
2.5 โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2	10
2.6 ลักษณะของลื้อพินเฟือง	11
2.7 ชุดเฟืองหนอน	12
2.8 ลักษณะการผันขดลวดบนสเตเตอร์	17
2.9 ทิศทางการหมุน โรเตอร์ของสเต็ปปีงมอเตอร์ 4 เฟส	18
2.10 ไบโพลาร์สเต็ปปีงมอเตอร์แบบ 2 เฟส	19
2.11 ยูนิโพลาร์สเต็ปปีงมอเตอร์	19
2.12 วงจรทดลองการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์	20
2.13 โครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมด้วย RS485	24
3.1 แผนผังการทำงานของระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	27
3.2 วงจรประมวลผล	27
3.3 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์	29
3.4 วงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้พอร์ตอนุกรม RS232	30
3.5 โครงสร้างระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	31
3.6 ขนาดโครงสร้างระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	31
3.7 แผนผังการติดต่อกับคอมพิวเตอร์กับระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	32
4.1 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์	33
4.2 วิธีการทดสอบค่าความผิดพลาดระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	38
ก.1 ภาพด้านหน้าของเครื่องระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	45
ก.2 ภาพด้านข้างของเครื่องระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ	45

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.3 ภาพวงจรประมวลผลและวงจรขับสเต็ปมอเตอร์	46
ก.4 ภาพวงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์	46
ก.5 ภาพวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	47
ก.6 ภาพชุดเฟืองหนอน	47
ข.1 วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	49
ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	49
ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	49
ข.4 วงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์	50
ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์	50
ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์วงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์	50
ข.7 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์	51
ข.8 วงจรประมวลผล	51
ข.9 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรประมวลผลและวงจรขับสเต็ปมอเตอร์	52
ข.10 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์วงจรประมวลผลและวงจรขับสเต็ปมอเตอร์	53
ง.1 ฝังงานโปรแกรมควบคุมสเต็ปมอเตอร์มุมยก	59
ง.2 ฝังงานโปรแกรมควบคุมสเต็ปมอเตอร์มุมกวาด	60
จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ	69
จ.2 หน้าจอแสดงผลโปรแกรม 3D	70

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

โดยทั่วไปในงานที่ต้องการหาตำแหน่งหรือจุดพิกัดจำเป็นต้องใช้ภาพถ่ายทางดาวเทียม ผลที่ได้ต้องมาทำการคำนวณอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งผลที่ได้ต้องมีความแม่นยำสูงแต่ผลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์มาเกี่ยวข้องในด้านการคำนวณ เครื่องที่ใช้งานได้ง่ายมีประสิทธิภาพสูงยังมีราคาแพง จากแนวความคิดนี้จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้านำเอาความรู้ทางด้านระยะนาบ 3 มิติ โดยมีพิกัดทรงกลม สามารถหาจุดอ้างอิงเพื่อใช้ในการคำนวณ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์มาช่วยในการควบคุมเพื่อหาจุดพิกัดที่ต้องการ รวมทั้งสามารถติดตั้งใช้งานง่ายและมีความแม่นยำสูง

ในการหาจุดพิกัดที่มีความเที่ยงตรงสูงจำเป็นต้องควบคุมมอเตอร์แบบไมโครสเต็ปให้ความเที่ยงตรงและมีความละเอียด จากปัญหาดังกล่าวจึงได้ศึกษาค้นคว้าวิธีการควบคุมมอเตอร์แบบสเต็ปปิ้ง เพื่อควบคุมความเร็วและตำแหน่งที่ต้องการโดยนำเอาคอมพิวเตอร์ใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาพิกัดทรงกลม การสเต็ปปิ้งมอเตอร์และการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เพื่อออกแบบระบบชี้พิกัดระยะนาบ 3 มิติ
3. เพื่อสร้างระบบชี้พิกัดระยะนาบ 3 มิติ
4. เพื่อทดสอบระบบชี้พิกัดระยะนาบ 3 มิติ
5. เพื่อนำระบบชี้พิกัดระยะนาบ 3 มิติใช้งานจริง

### 1.3 ขีดความสามารถของโครงการ

- โครงการนี้มีขีดความสามารถดังนี้
1. สามารถชี้พิกัดระยะนาบ 3 มิติ ในระบบพิกัดทรงกลม
  2. สามารถหมุนมุมกวาดได้ 360 องศา

3. สามารถหมุนมุมเงยได้ 90 องศา
4. สามารถแสดงค่ามุมกวาดและมุมเงยที่ต้องการเป็นตัวเลขบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้
5. สามารถสั่งงานผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม

#### 1.4 สมมุติฐานของโครงการงาน

ระบบซีพิกัดระนาบ 3 มิตินี้สามารถช่วยในการหาจุดพิกัดที่ต้องการ โดยมีการใช้งานที่ง่ายกว่าภาพถ่ายทางดาวเทียมหรือกล้องรังวัด และสามารถสั่งงานได้ง่ายกว่า ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย เคลื่อนย้ายได้สะดวกและผลที่ได้มีความแม่นยำ

#### 1.5 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการโครงการงาน

เมื่อต้องการหาจุดพิกัดโดยทั่วไปนั้นยังมีความยุ่งยากและซับซ้อนซึ่ง แต่ผลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์มาเกี่ยวข้องในด้านของการคำนวณ เครื่องที่ใช้งานได้ง่ายมีประสิทธิภาพสูงยังมีราคาแพง

โครงการนี้อาศัยหลักการหลักการจับสเต็ปิ้งมอเตอร์แบบไมโครสเต็ปเคลื่อนที่สเต็ปิ้งมอเตอร์มุมกวาดและมุมเงยมีลักษณะคล้ายกับการเคลื่อน ที่ของจานรับสัญญาณดาวเทียมที่หมุนได้ โดยโครงการสามารถชี้ไปยังจุดพิกัดที่ต้องการได้ โดยป้อนค่ามุมที่ต้องการผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์

#### 1.6 ขอบเขตของโครงการงานการวิจัย

ศึกษาการจับสเต็ปิ้งมอเตอร์แบบไมโครสเต็ป รวมถึงระบบพิกัดทรงกลมเพื่อใช้ในระบบซีพิกัดระนาบ 3 มิติ ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมและแสดงค่ามุมกวาดมุมเงยบนหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม

#### 1.7 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาปริญญาบัตรฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาและเข้าใจได้ง่าย ในแต่ละบทประกอบไปด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญ ชัดความสามารถของโครงการและเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วยทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่องระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ องค์ประกอบของเครื่องระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ ระบบพิกัดทรงกลม ระบบพิกัดฉากและระบบพิกัดทรงกระบอก ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช P89C51RD2 หลักการทำงานของเฟือง สตีปปีงมอเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม RS485

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวกับแผนผังการทำงานรวมถึงโครงสร้าง วงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงการ ตลอดจนการออกแบบและการสร้างส่วนประกอบต่างๆ เช่น วงจรประมวลผล วงจรขับ สตีปปีงมอเตอร์ เฟือง โครงสร้างระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ

บทที่ 4 ประกอบด้วยการทดลองและผลการทดลองของวงจรขับ สตีปปีงมอเตอร์ การทดลองระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจัดทำโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขปัญหารวมทั้งแนวทางการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ภาคผนวก ก แสดงภาพเครื่องต้นแบบ การติดตั้ง การเชื่อมต่ออุปกรณ์อื่นๆ ขณะใช้งานจริง

ภาคผนวก ข ประกอบด้วยแผนผังรายละเอียดวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้งานในแต่ละวงจร

ภาคผนวก ง แสดงแผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรมทั้งหมดที่สร้างขึ้นเพื่อประกอบการทำงานของโครงการ

ภาคผนวก จ เป็นคู่มือการใช้งานระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ

ภาคผนวก ฉ แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในโครงการ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 กล่าวนำ

ในการหาจุดพิกัดในระนาบ 3 มิติ ต้องอาศัยการทำงานของระบบพิกัดมาเกี่ยวข้องรวมถึงส่วนประกอบต่างๆ เพื่อที่ใช้งานต้องมีประสิทธิภาพสูงมีความละเอียดเพื่อให้ได้จุดที่ต้องการหา มีประสิทธิภาพมากที่สุด รวมถึงวงจรในการควบคุมสแต็ปมอเตอร์ซึ่งในวงจรนี้มีวงจรประกอบย่อยหลายๆ วงจรและมีอุปกรณ์หลายๆ อย่างประกอบกัน

#### 2.2 ระบบพิกัด

ในระบบพิกัดประกอบด้วย เวกเตอร์ซึ่งหนึ่งจะต้องมีจุดเริ่มต้นและจุดปลายสุด ถ้าต้องการบอกว่า เวกเตอร์หนึ่งอยู่ในลักษณะอย่างไรมีขนาดเท่าใด เพื่อให้สอดคล้องตามคุณสมบัติของเวกเตอร์ จึงต้องบอกค่าที่ตำแหน่งของจุดเริ่มต้นและจุดปลายสุดเปรียบเทียบกับกันอย่างถูกต้องเหมาะสมด้วยเหตุนี้ จึงนิยมบอกค่าที่แสดงตำแหน่งของจุดหรือที่เรียกว่า พิกัด (Coordinates) เทียบกับจุดกำเนิดของระบบพิกัด

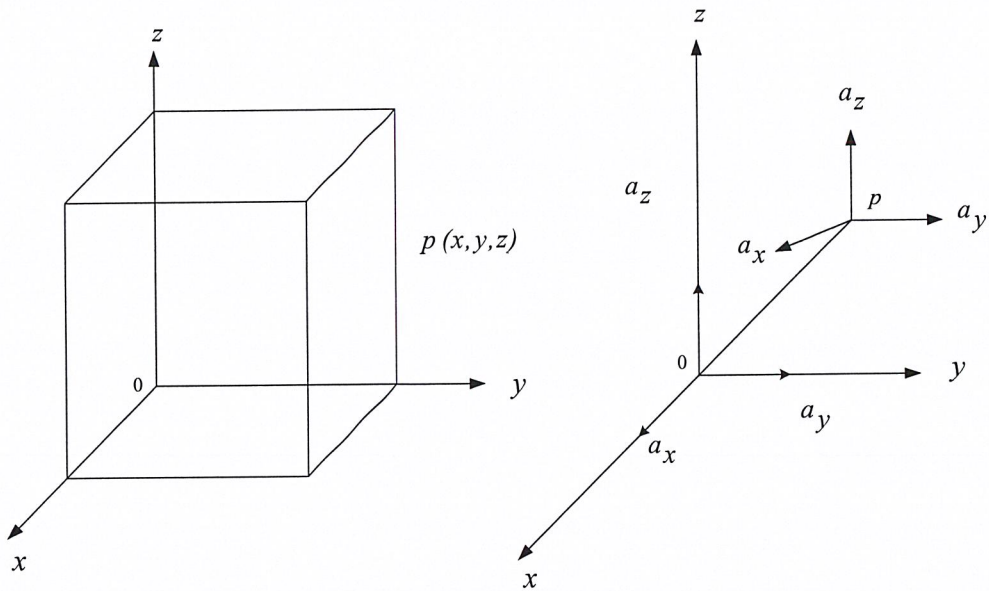
##### 2.2.1 ระบบพิกัดฉาก

ในระบบพิกัดฉากที่ได้ใช้เป็นระบบหลักในการพิจารณาเวกเตอร์โดยตลอดมานั้น ใช้แกนเวกเตอร์ 3 แกนคือ  $x, y$  และ  $z$  ที่อยู่ในลักษณะซึ่งตั้งฉากแก่กัน ดังรูปที่ 2.1

ระบบพิกัดฉากนี้นับว่าเป็นระบบพิกัดพื้นฐานเพราะเป็นส่วนสำคัญและอยู่ใกล้ตัวเช่น ลักษณะของแนวกำแพงหรือฝาผนังจากมุมห้อง

รูปที่ 2.1 (ก) แสดงตำแหน่งของจุด  $p$  ในพิกัดฉาก  $(x, y, z)$  หรือ  $p = (x, y, z)$  สังเกตว่าจุด  $p(x, y, z)$  อยู่บน 3 ระนาบ คือระนาบที่มีค่า  $x = x$ ,  $y = y$  และ  $z = z$  ตามลำดับ

รูปที่ 2.1 (ข) แสดงเวกเตอร์พื้นฐาน  $a_x, a_y$  และ  $a_z$  ซึ่งมีขนาด 1 หน่วย ในระบบพิกัดฉาก เช่นเดียวกับที่แสดงไว้ในรูป 2.1 (ก) ปกติเวกเตอร์พื้นฐานจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งและเวลา เช่น เวกเตอร์พื้นฐาน ณ จุด  $p$  จะเหมือนกับที่จุด 0 ทุกประการ แต่ถ้าเวกเตอร์พื้นฐานขึ้นอยู่กับเวลา ต้องกำหนดไว้โดยเฉพาะ



(ก) จุด  $p$  มีพิกัดเทียบกับระบบพิกัดฉาก

(ข)  $a_x, a_y$  และ  $a_z$  เวกเตอร์ในระบบพิกัดฉาก

รูปที่ 2.1 ระบบพิกัดฉาก

### 2.2.2 ระบบพิกัดทรงกระบอก

ในการทำความเข้าใจในระบบพิกัดทรงกระบอกนั้น ต้องมีพื้นฐานระบบพิกัดฉากถึงแม้ว่าขณะนี้กำลังจะพิจารณาระบบพิกัดใหม่อีกระบบหนึ่ง แต่ถ้าสามารถพัฒนาแนวความคิดขึ้นจากระบบพิกัดเดิมจะช่วยให้เข้าใจมากขึ้น พิจารณาดังนี้ สมมติมีผิว 3 ผิว โดย 2 ผิวแรก มี  $z = 0$  และ  $z = z$  ตามลำดับ ส่วนผิวที่สามอยู่ห่างจากแกน  $z$  ตามลำดับคงที่เสมอ โดยใช้หลักดังกล่าวนี้จะช่วยให้พิจารณาคุณสมบัติของจุด  $p$  ในรูปที่ 2.2 ได้ปรากฏว่าจุด  $p$  อยู่ห่างจากแกน  $z = \rho$  ตามแนวที่ทำมุมกับแกน  $x$  คือ  $\phi$  อยู่เหนือระนาบ  $x - y$  หรืออยู่ห่างจากจุดกำเนิด (0) ตามแนวแกน  $z = z$  จึงเป็นจุดที่ขึ้นอยู่กัค่า  $\rho, \phi, z$  ดังกล่าวคือ  $p = p(\rho, \phi, z)$  บางกรณีพิจารณากำหนดผิวที่อยู่ห่างจากแกน  $z$  คงที่และผิวที่มีค่าระหว่าง  $-z$  กับ  $z$  ดังรูปที่ 2.2

จากรูปจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดฉากและพิกัดทรงกระบอกดังนี้

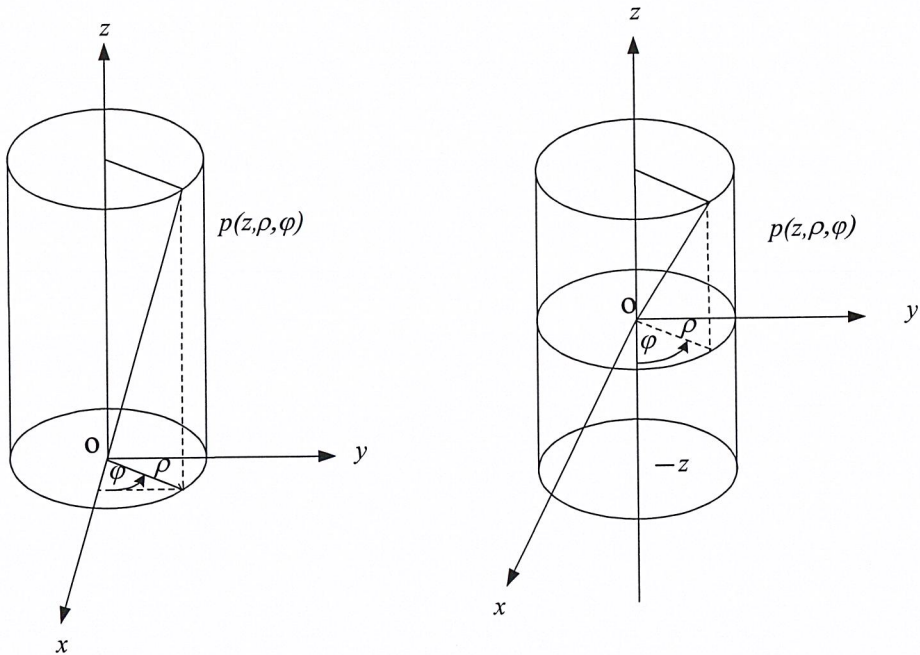
$$x = \rho \cos \phi$$

$$y = \rho \sin \phi$$

$$z = z$$

สมมติ  $a_\rho, a_\phi$  และ  $a_z$  แทนเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในระบบพิกัดทรงกระบอก โดยมีทิศไปทางที่เพิ่มค่าของ  $\rho, \phi$  กับ  $z$  และต่างก็อยู่ในลักษณะที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันตามลำดับ ดังแสดงในรูป

ที่ 2.2 โดย  $a_\rho$ ,  $a_\phi$  และ  $a_z$  จึงเป็นเวกเตอร์ฐานในระบบนี้เช่นเดียวกับที่  $a_x$ ,  $a_y$  และ  $a_z$  เป็นเวกเตอร์ฐานในระบบพิกัดฉากดังกล่าวแล้ว

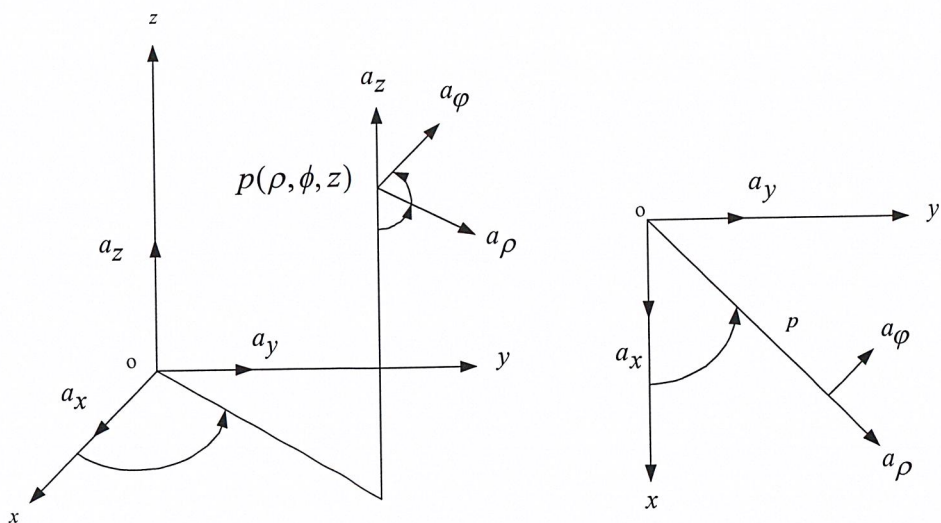


(ก) ตำแหน่งจุด  $p$  ในระบบพิกัดทางกระบอก

(ข) จุด  $p$  ณ จุดใดๆ ในระบบพิกัดทรงกระบอก

### รูปที่ 2.2 จุด $p$ ระบบพิกัดทรงกระบอก

จะเห็นว่า  $a_\rho$ ,  $a_\phi$  จะอยู่ในระนาบที่ขนานกับระนาบ  $x-y$  หรืออยู่ในระนาบเสมอ  $x-y$  ส่วน  $a_z$  ย่อมขนานกับแกน  $z$  และถ้ามองจุด  $p$  สู่ระนาบ  $x-y$  เวกเตอร์ฐาน  $a_\rho$  และ  $a_\phi$  ที่เทียบกับ  $a_x$  และ  $a_y$  ในลักษณะดังรูป 2.3

(ก) จุด  $p$  ในระบบพิกัดทรงกลม(ข) เวกเตอร์ฐาน  $a_\rho, a_\phi, a_z$  เทียบกับ  $a_x, a_y, a_z$ รูปที่ 2.3 เวกเตอร์ฐาน  $a_\rho, a_\phi$  และ  $a_z$  เทียบกับ  $a_x, a_y$  และ  $a_z$ 

### 2.2.3 พิกัดทรงกลม

ในระบบพิกัดทรงกลมจุดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิด (0) จะมีระยะเท่ากับ  $r$  อยู่บนผิวของทรงกลมซึ่งรัศมี  $r$  จากจุดศูนย์กลางจะมีระยะเท่ากับ  $\theta$  จุด 0 นั้นสามารถใช้รัศมี  $r$  เป็นปริมาณหนึ่งสำหรับบอกตำแหน่งบนผิวทรงกลมได้ แต่ก็ยังไม่สามารถกำหนดตายตัวได้ด้วยค่า  $r$  อย่างเดียวนั้น จึงจำเป็นต้องรู้แนวที่รัศมี  $r$  กระทบกับแกน  $z$  โดยสมมติเป็นมุม  $\theta$  ถึงกระนั้นตำแหน่ง  $p$

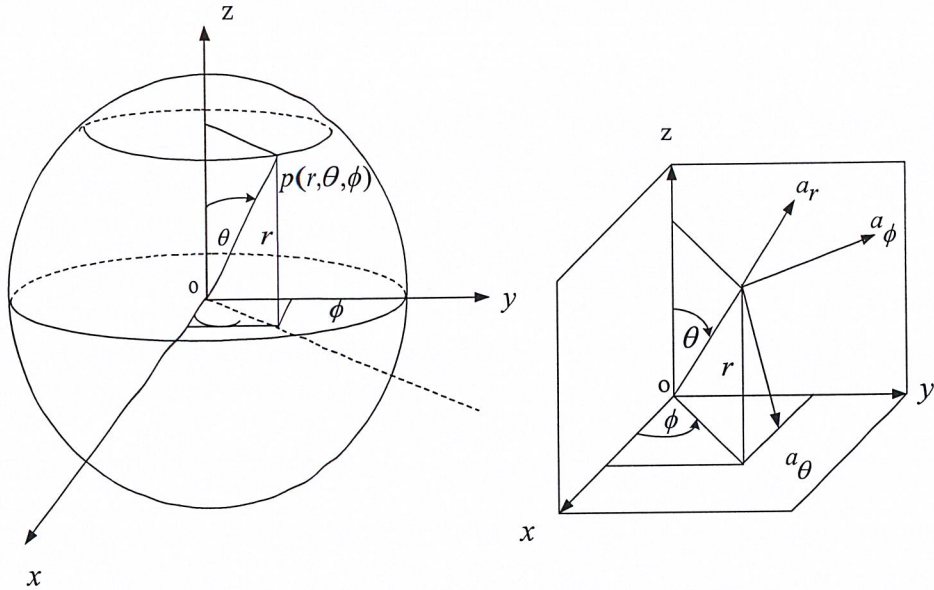
ตามแนวของวงกลมที่รัศมี  $r$  วนไปรอบแกน  $z$  เป็นมุม  $\phi$  ปริมาณที่ 3 ที่จะช่วยกำหนดตำแหน่งของจุดให้ตายตัวคือมุมที่เงาของ  $r$  บนระนาบ  $x-y$  กระทบกับแกน  $x$  กล่าวคือมุม  $\phi$  นั้นเอง ด้วยเหตุนี้จึงใช้  $r, \theta$  และ  $\phi$  เป็นพิกัดของจุดในระบบพิกัดทรงกลม

แสดงว่า  $r, \theta$  และ  $\phi$  ความสัมพันธ์กับ  $x, y$  และ  $z$  ดังนี้

$$x = r \sin \theta \cos \phi$$

$$y = r \sin \theta \sin \phi$$

$$z = r \cos \theta$$

(ก) ตำแหน่ง  $p$  ในระบบพิกัดทรงกลม(ข) ตำแหน่งจุด  $p$  เปรียบเทียบในระบบพิกัดฉากรูปที่ 2.4 ตำแหน่งของจุด  $p$  ขึ้นอยู่กับพิกัด  $r, \theta$  และ  $\phi$  ในระบบพิกัดทรงกลม

## 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช P89C51RD2

### 2.3.1 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญ ไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2

ไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD+ ที่ใช้อ้างอิงเพื่อการเรียนรู้และใช้งานในที่นี้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในแบบแฟลช (Flash Memory) ของ Philips Semiconductor ในอนุกรม P89C51RD2 สำหรับคุณสมบัติทางเทคนิค มีดังนี้

1) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต ที่เข้ากันได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 พื้นฐานของอินเทล

2) หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง แรงดันที่ใช้ในการโปรแกรม + 5 V สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมสูงที่สุดถึง 64 กิโลไบต์

3) หน่วยความจำแรมภายในมีขนาด 1 กิโลไบต์

4) สามารถเขียนโปรแกรมใหม่ได้โดยไม่ต้องถอดไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาทำการโปรแกรมใหม่ เรียกว่า การโปรแกรมในวงจรหรือในระบบ (In – System Programming : ISP) โดยภายในมีหน่วยความจำที่บรรจุโปรแกรมสำหรับเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมเรียกว่า

บูธรอม (Boot ROM) ในส่วนนี้ทำหน้าที่ แรงดันที่ใช้ในการโปรแกรม ISP ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

5) ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด 33 MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกา 12 ลูกต่อแมชชีนไซเคิล

6) ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยทั่วไป

7) ขาพอร์ต 8 บิต จำนวน 4 พอร์ตเป็นแบบกึ่ง 2 ทิศทางสามารถใช้งานได้เป็นทั้งอินพุตและเอาต์พุต

8) มีวงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์

9) ไมเมอร์/แคตเตอร์ขนาด 16 บิต 3 ตัว (ไทมเมอร์ 0, 1 และ 2)

10) มีรีจิสเตอร์ตัวชี้ตำแหน่งข้อมูลหรือ DPTR 2 ตัว

11) สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์ได้ 7 ประเภท

12) กำหนดนัยสำคัญของการตอบสนองอินเทอร์รัปต์ได้ 4 ระดับ

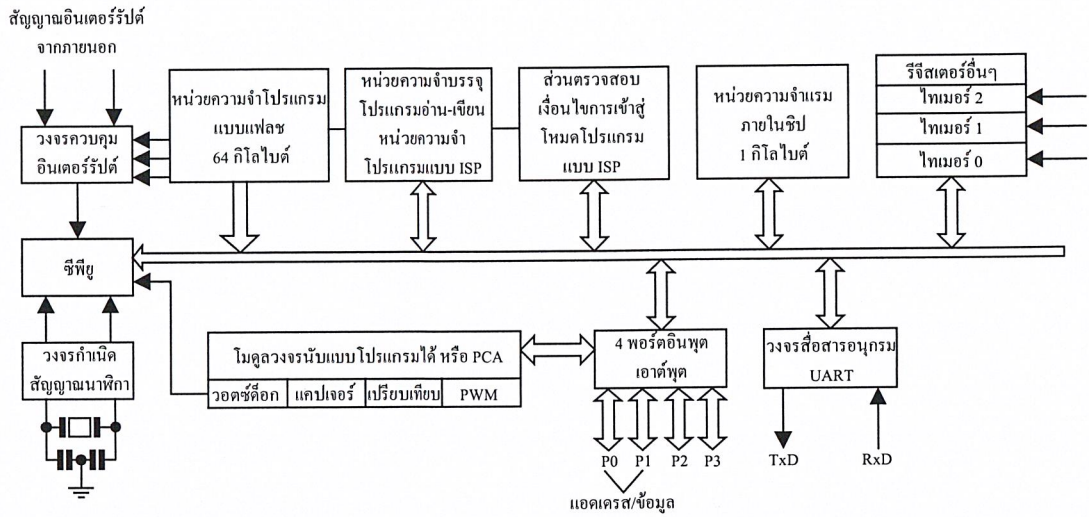
13) สามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้สูงสุด 64 กิโลไบต์

14) มีวอตช์ดีออกไทมเมอร์

15) มีโมดูลวงจรนับโปรแกรมได้ (PCA) ซึ่งบรรจุวงจรตรวจจับสัญญาณ (Capture) เปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) และวงจรมอดูเลตทางความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation) 5 โมดูล

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51Rx+ และ Rx2

ไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช	หน่วยความจำแรม	ความถี่สัญญาณนาฬิกาหลัก	
			6 สัญญาณนาฬิกา	12 สัญญาณนาฬิกา
P89C51RC+	32 กิโลไบต์	512 ไบต์	-	0 – 33 MHz
P89C51RD+	64 กิโลไบต์	1 กิโลไบต์	-	0 – 33 MHz
P89C51RB2	16 กิโลไบต์	512 ไบต์	0 – 20 MHz	0 – 33 MHz
P89C51RC2	32 กิโลไบต์	512 ไบต์	0 – 20 MHz	0 – 33 MHz
P89C51RD2	64 กิโลไบต์	1 กิโลไบต์	0 – 20 MHz	0 – 33 MHz



รูปที่ 2.5 โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD+/RD2

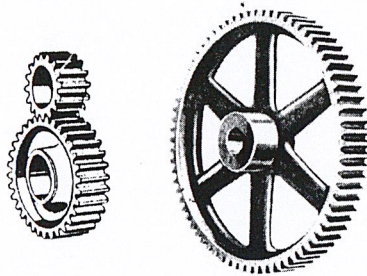
ในรูปที่ 2.5 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD+/RD2 คล้ายคลึงกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยทั่วไป แต่มีส่วนประกอบสำคัญเพิ่มเติม อาทิ หน่วยความจำเก็บโปรแกรมบดรวมสำหรับการอ่านเขียนข้อมูล ISP โมดูลวงจรนับมีโมดูลวงจรนับโปรแกรมได้ (PCA) ซึ่งบรรจุวงจรจับสัญญาณ (Capture) เปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) วงจรมอดูเลตทางความกว้างพัลส์ (PWM) 5 โมดูล รวมถึงไทมเมอร์ 2

อย่างไรก็ตามไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD+/RD2 ต่างก็มีเบอร์อื่นๆ ที่ร่วมอยู่อนุกรมเดียวกัน ดังแสดงรายละเอียดเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ในตารางที่ 2.1 ทุกเบอร์มีสถาปัตยกรรมและการทำงานเหมือนกัน แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD+/RD2 ที่ขาพอร์ต 1 จะมีความสามารถเพิ่มเติม โดยมีรายละเอียดขั้นต้นสรุปในตารางที่ 2.1

### 2.4 หลักการทำงานของเฟือง

การส่งกำลังระหว่างเพลาสองเพลากระทำได้หลายแบบ เช่น การส่งกำลังโดยใช้สายพานโซ่ ล้อความฝืด เฟือง เป็นต้น ล้อความฝืดเป็นการส่งกำลังอย่างหนึ่งที่ใช้ล้อสองล้อถูกกดให้ติดกันเมื่อล้อแต่ละล้อติดอยู่กับเพลา ถ้าหมุนเพลาตัวใดตัวหนึ่งเพลาของอีกตัวหนึ่งจะหมุนตามไปด้วยเนื่องจากผิวหน้าของล้อทั้งสองเกิดความฝืดเนื่องจากผิวสัมผัสล้อที่โซ่ส่งกำลังระหว่างเพลาทั้งสองนี้เรียกว่า ล้อความฝืด (Friction Wheels)

จากการส่งกำลังด้วยล้อความถี่ดังกล่าวเมื่อมีภาระมากการส่งกำลังสูงๆ หรือเมื่อเกิดแรงกระตุก (Chock Load) จะเกิดการลื่นไถลทำให้การส่งกำลังไม่แม่นยำ ใช้อัตราทดที่ไม่แน่นอน เพื่อให้ได้การถ่ายทอดการหมุนที่แม่นยำขึ้นและสามารถถ่ายทอดกำลังสูงๆ ระหว่างเพลาสองเพลาได้ จึงได้คิดฟันเฟืองไว้ที่ผิวของล้อ โดยรอบล้อก็จะมีลักษณะเป็นล้อฟันเฟือง ทำให้การส่งกำลังและถ่ายทอดการหมุนจากเพลาหนึ่งไปอีกเพลาหนึ่ง ได้โดยไม่มี การลื่นไถลล้อที่คิดฟันเฟืองเข้าไปโดยรอบนี้เราเรียกว่า เฟือง (Gear) ดังรูปที่ 2.6



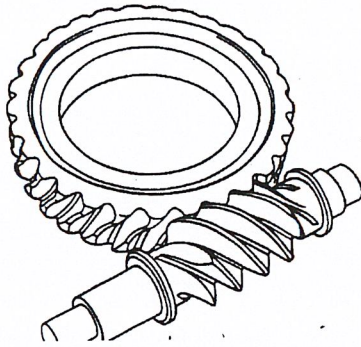
รูปที่ 2.6 ลักษณะของล้อฟันเฟือง

เฟืองเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรกลอีกอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญมาก มีใช้ในงานวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง เพราะสามารถส่งกำลังได้แม่นยำเที่ยงตรงไม่มีการลื่นไถลให้อัตราการทดที่แน่นอนเช่นเดียวกับการส่งกำลังด้วยสายพาน

#### 2.4.1 เฟืองหนอน

โดยทั่วไปแล้วเฟืองแบ่งตามลักษณะรูปร่างจะมีอยู่ 4 แบบ คือเฟืองตรง (Spur Gear) เฟืองเฉียงหรือเฟืองฟันเกลียว (Helical Gear or Spiral Gear) เฟืองดอกจอก (Bevel Gear) และเฟืองหนอน (Worm Gear) ซึ่งแต่ละแบบจะมีใช้งานอย่างกว้างขวาง ในที่นี้จะกล่าวถึงเรื่องเฟืองหนอน

เฟืองหนอนจะประกอบด้วยตัวเกลียวหนอน ซึ่งจะต้องใช้งานร่วมกันโดยเกลียวหนอนจะส่งกำลังหมุนไปขับให้เฟืองหนอนหมุนตามระยะพิทช์ของเกลียวกับระยะพิทช์ของเฟืองหนอนจะต้องมีค่าเท่ากัน เกลียวหนอนและเฟืองหนอนจะส่งกำลัง ระหว่างเพลาที่ตั้งฉากกันและเป็นเพลาที่วางข้ามกัน ชุดเฟืองหนอนจะมีใช้ในชุดหัวแบ่ง ในเครื่องมือวัดบางอย่างและในเครื่องจักรกลบางชนิดที่ต้องการทดรอบจากความเร็วสูงให้เป็นความเร็วต่ำมากๆ เฟืองหนอนดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ชุดเฟืองหนอน

#### 2.4.2 การจำแนกประเภทของเฟือง

ถ้าจะจำแนกประเภทของเฟืองโดยยึดเอาตำแหน่งในการวางเพลาส่งกำลังจะสามารถจำแนกได้ดังนี้

##### 1) การส่งกำลังเมื่อวางเพลานานกัน (Parallel Shaft)

เฟืองที่ใช้ได้แก่ เฟืองตรง, เฟืองเฉียง, เฟืองก้างปลา

##### 2) การส่งกำลังเมื่อวางเพลาคัดกัน (Intersecting Shaft)

เฟืองที่ใช้คือเฟืองดอกจอกซึ่งมี 2 แบบ ได้แก่เฟืองดอกจอกฟันตรง, เฟืองดอกจอกฟันเฉียง

##### 3) การส่งกำลังเมื่อวางเพลานานกันและไม่ตัดกันหรือเพลาคู่ที่ข้ามกัน

เฟืองที่ใช้ได้แก่ เฟืองเกลียวกาะขนาด, เฟืองหน้าเอียงและเฟืองหนอน (Worm Gear)

#### 2.4.3 ชุดเฟืองหนอน

ชุดเฟืองหนอนประกอบด้วยเกลียวหนอน (Worm) และเฟืองหนอน (Worm Gear) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว เกลียวหนอนจะทำหน้าที่ส่งกำลังขับให้เฟืองหนอนหมุนตามฟันของเฟืองหนอน จะขบกับเกลียวหนอน ซึ่งทั้งเกลียวหนอนและเฟืองหนอนจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกันเท่านั้นและทำให้ได้อัตราทดที่จะนำไปใช้งานต่างๆ กัน

##### 1) ลักษณะของเกลียวหนอน

เกลียวหนอนเป็นรูปทรงกระบอกมีเกลียวโดยรอบและตลอดด้วยยาวของตัวหนอน ลักษณะของเกลียวเอควี ซึ่งมีมุม 29 องศา ซึ่งปกติจะเป็นเกลียวปากเดียวแต่ในบางกรณี เช่น ต้องการลดอัตราทดให้ต่ำลง ก็จะต้องใช้เกลียว 2 ปากหรือมากกว่านั้น

## 2) ลักษณะรูปร่างของเฟืองหนอน

เฟืองหนอนเป็นล้อเฟืองที่มีฟันเฟืองเอียงทำมุมกับแกนของเฟืองคล้ายมุมเฉียง แต่หน้าสัมผัสหรือหน้าของฟันเฟืองจะเว้าเข้าไปเป็นรัศมีความโค้งของเกลียวหนอน เพื่อให้ฟันเฟืองของเฟืองหนอนเข้าไปสัมผัสกับเกลียวหนอนได้สนิทและราบเรียบ

เฟืองหนอนและเกลียวหนอน จะส่งกำลังผ่านแกนที่วางตรงข้ามกัน ทำมุม 90 องศา

## 3) อัตราทดของชุดเฟืองหนอน

อัตราทดของชุดเฟืองหนอน คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันของเฟืองหนอนกับจำนวนปากของเกลียวหนอน นั่นคือถ้าเฟืองหนอนมี 40 ฟัน เกลียวหนอนเป็นเกลียวปากเดียว อัตราทดจะเป็น 40 ต่อ 1 ถ้าเฟืองหนอนมี 40 ฟัน เกลียวหนอนเป็นเกลียวสองปาก อัตราทดจะเป็น 20 ต่อ 1 ดังนั้นอัตราทดของชุดเฟืองหนอน สามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

$$I = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $Z_2$  = จำนวนฟันของเฟืองหนอน

$Z_1$  = จำนวนปากของเกลียวหนอน

ในทางปฏิบัติอัตราทดจะมีหลายขนาด ซึ่งสามารถมีได้ถึง 100 ต่อ 1 ถ้าอัตราทدن้อยลงจำนวนฟันของเฟืองหนอนก็จะน้อยกว่าปกติจะกำหนดให้มี 40 ฟัน

## 4) ประสิทธิภาพของชุดเฟืองหนอน

ประสิทธิภาพในการใช้งานของชุดเฟืองหนอนจะเพิ่มขึ้นได้ถึงร้อยละ 99 ถ้าหากมุมแต่ละเกลียว (Helix Angle) ของเกลียวหนอนได้เพิ่มขึ้นถึง 45 องศา แต่ถ้าต้องการให้เกลียวหนอนสามารถล็อกตัวเองได้ (Self-Locking) มุมนำจะมีค่าได้ไม่เกิน 5 องศาหรือน้อยกว่านั้น เฟืองหนอนที่ทำการหมุนแบบ Non-Reversible (คือเฟืองหนอนที่ไม่สามารถส่งกำลังขับให้เกลียวหนอนหมุนตามได้) มีมุมนำเกิน 20 องศาและมุมแต่ละเกลียวของเกลียวหนอน 60 องศา จะให้ประสิทธิภาพถึงร้อยละ 90 เมื่อการออกแบบที่การหมุนเป็นแบบสามารถขับเกลียวหนอนหมุนตามได้ Reversible (คือเฟืองหนอนส่งกำลังขับให้เกลียวหนอนหมุนตามได้) และมีประสิทธิภาพสูงกว่ามุมเกลียวของเกลียวหนอนจะเกิน 45 องศา

### 5) จำนวนฟันของเฟืองหนอน

จำนวนฟันน้อยสุดของเฟืองหนอนที่มีมุมกด (Pressure Angle) 14.5 องศาใช้ 30 ฟัน ถ้าต่ำกว่าจำนวนนี้แล้วทำให้มีระยะคลอนมากและฟันเฟืองจะไม่แข็งแรง ส่วนเฟืองหนอนที่มีมุมกด 20 องศา จำนวนฟันที่น้อยที่สุดจะใช้ 24 ฟัน

จำนวนฟันเฟืองหนอนนั้น จะสัมพันธ์กับจำนวนปาก (Number of Starts) ของเกลียวหนอน (Worm) ซึ่งจะทำให้ได้ค่าของอัตราทดจำนวนต่างๆ ถ้าจำนวนเฟืองหนอน 40 ฟัน เมื่ออัตราทดเปลี่ยนไปจำนวนปากของเกลียวหนอนจะเปลี่ยนไปด้วย

### 6) ระยะนำของเกลียวหนอน

ระยะนำของเกลียวหนอนจะมีลักษณะคล้ายกับระยะนำของเฟืองเฉียงคือระยะที่เกลียวเคลื่อนที่ไปได้ เมื่อเกลียวหนอนหมุนรอบแกน 1 รอบ เมื่อเกลียวหนอนเป็นปากเกลียวเดี่ยวหรือเกลียวหลายปาก การคำนวณหาระยะนำก็จะใช้สูตร ดังนี้

$$\text{Lead} = Z_1 \times P_x \quad (2.2)$$

เมื่อ  $Z_1$  = จำนวนปาก (Number of Starts)

$P_x$  = ระยะพิตซ์ของเกลียวมิลลิเมตร

มุมนำของเกลียวหนอนจะขึ้นอยู่กับจำนวนปากของเกลียวหนอน ซึ่งจะแสดงไว้ในตารางที่

2.2

ตารางที่ 2.2 มุมนำของเกลียวหนอน

จำนวนปาก	มุมนำ
1	ไม่เกิน 5 องศา
2	5 ถึง 12 องศา
3 หรือ 4	10 ถึง 14 องศา
5 หรือ 6	15 ถึง 36 องศา
7 ขึ้นไป	20 องศา ขึ้นไป

### 7) ความกว้างของหน้าเฟืองหนอน

ขนาดความกว้างของหน้าเฟืองหนอนจะออกแบบให้มีหน้าตัดที่มีความแข็งแรงที่พอที่จะไม่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในขณะใช้งาน อย่างไรก็ตามหน้าตัดที่เหมาะสมและไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นระหว่างใช้งานจะสามารถเลือกได้ 4 แบบ

### 8) รูปทรงของเกลียวหนอน

เกลียวหนอนจะมีลักษณะคล้ายเกลียวเอควี ซึ่งมีมุมกด 14.5 องศาหรือมีมุมเกลียว 29 องศา และบางมาตรฐานก็จะใช้มุมกด 20 องศา ในการเลือกมุมเกลียวของเกลียวหนอน ผู้ออกแบบจะต้องอาศัยมุมกดของเฟืองหนอนเป็นหลัก โดยเลือกจากตารางตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มุมนำของเฟืองหนอน

มุมนำของเฟืองหนอน	มุมกด (องศา)
0 ถึง 10	14.5 หรือ 15 องศา
10 ถึง 25	22 ถึง 22.5 องศา
25 ถึง 35	25 หรือ 26, 34 องศา
35 ถึง 45	30 องศา

## 2.5 สเต็ปป์มอเตอร์

สเต็ปป์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานกันมากไม่ว่าจะเป็นส่วนประกอบในหุ่นยนต์เครื่องจักรกลอัตโนมัติด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ต่างก็ต้องใช้สเต็ปป์มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน

รายละเอียดเกี่ยวกับสเต็ปป์มอเตอร์ต่างๆ ไป ลักษณะการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์ ตลอดจนการควบคุมการหมุนและวงจรถออิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาขับสเต็ปป์มอเตอร์หัวข้อต่างๆ เหล่านี้เป็นเรื่องที่ต้องทำความเข้าใจก่อน นำไปประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสม

### 2.5.1 ชนิดของสเต็ปป์มอเตอร์

การแบ่งชนิดของสเต็ปป์มอเตอร์หากแบ่งตามโครงสร้างพื้นฐานหรือความแตกต่างของรูปแบบโรเตอร์จะแบ่งออกได้ 4 ชนิด แต่ถ้าแบ่งตามวิธีการพันขดลวดบนสเตเตอร์จะแบ่งออกได้ 2 ชนิด

## 2.5.2 โครงสร้างพื้นฐาน

### 1) ชนิดแปรค่าความต้านทานแม่เหล็กหรือวาริเอเบิลรีลัคแตนซ์

ชนิดวาริเอเบิลรีลัคแตนซ์ (Variable Reluctance หรือ VR) มีโครงสร้างโดยโรเตอร์แบบมัลติทูธ (Multi-Tooth) ทำจากเหล็กอ่อนทราบว่าเป็นมอเตอร์ชนิดนี้โดยการทดสอบได้ คือ ใช้มือหมุนเพลลาของมอเตอร์และสังเกตเห็นว่าหมุนได้ตลอดโดยไม่ติดขัด เพราะที่โรเตอร์จะไม่เกิดปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กแตกต่างชนิด PM และชนิดไฮบริด ซึ่งมีสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ขณะหมุนจะรู้สึกขั้วๆ เหมือนเป็นฟันเฟือง ชนิดนี้มีจุดด้อยในความต้องการของตำแหน่งและทำงานได้ไม่ดีนักเมื่อมีสเต็ปในการหมุนสูง

### 2) ชนิดแม่เหล็กถาวรหรือเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต

ชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Permanent Magnet หรือ PM) มีโครงสร้างของโรเตอร์แบบเรียบไม่มีขั้วแม่เหล็ก บนโรเตอร์จะเป็นแบบแม่เหล็กถาวรควบคุมทำได้โดยป้อนกระแสกระตุ้นที่ขดลวดบนสเตเตอร์ เช่นถ้าเป็นสเตเตอร์แบบ 4 เฟส จะมีขั้วแม่เหล็กอยู่ 4 ขั้ว ซึ่งมีคอยล์แยกพันจากกัน ขั้วแม่เหล็กถาวรบนโรเตอร์จะถูกแรงดึงดูดจากขั้วแม่เหล็ก บนสเตเตอร์เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวด

### 3) ชนิดผสมหรือไฮบริด

ชนิดไฮบริด (Hybrid) เป็นชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยเฉพาะนำมาใช้กับอุปกรณ์ในเครื่องคอมพิวเตอร์โครงสร้างภายในจากการรวมโครงสร้างของโรเตอร์ชนิดวาริเอเบิลรีลัคแตนซ์ และชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ตนำมาประกอบเข้าด้วยกันจึงทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีแรงยึดเหนี่ยวสูง

### 4) ชนิดแรเอิร์ธเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต

ชนิดแรเอิร์ธเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Rare Earth Permanent Magnet) เป็นสเต็ปมอเตอร์แบบใหม่อีกชนิดหนึ่งปรับปรุงมาจากชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ตมีโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแผ่นยึดติดกับเพลลามอเตอร์ มีโมเมนต์ความเฉื่อยต่ำ อัตราเร่งสูง แรงบิดดีกำลังกลและความถูกต้องของตำแหน่งสูงมาก ความเร็วเริ่มหมุนและหยุดสูง สูญเสียพลังงานต่ำ ชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ดิสก์แมกเน็ตสเต็ปมอเตอร์ (Disc Magnet Steppers)

## 2.5.3 การพันขดลวดบนสเตเตอร์

### 1) แบบไบโพลาร์

แบบไบโพลาร์ (Bipolar) มีการพันขดลวด 1 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ ถูกกำหนดโดยทิศทางของกระแสไฟฟ้าและทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามได้โดยกลับทิศทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งกำหนดทิศทางกระแสไฟฟ้าและการกลับทิศทางของกระแสไฟฟ้า

2) แบบยูนิโพลาร์

แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) มีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้าม การกลับขั้วของแม่เหล็กเปลี่ยนไปมาได้โดยการตัดต่อกระแสไฟฟ้าจากขดลวดหนึ่งไปยังอีกขดลวดหนึ่ง ขดลวดทั้งสองจะมีการเชื่อมต่อกันหรือมีจุดร่วม เพื่อลดจำนวนของสายไฟที่ต่อจากมอเตอร์ วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ทำได้ง่ายกว่าชนิดไบโพลาร์ เพราะต้องการเพียงชนิดขดลวดในการเปิดและปิดกำลังไฟฟ้าให้กับขดลวดบนสเตเตอร์ในทิศทางที่ต้องการให้หมุนได้ทันที



(ก) ไบโพลาร์

(ข) ยูนิโพลาร์

รูปที่ 2.8 ลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์

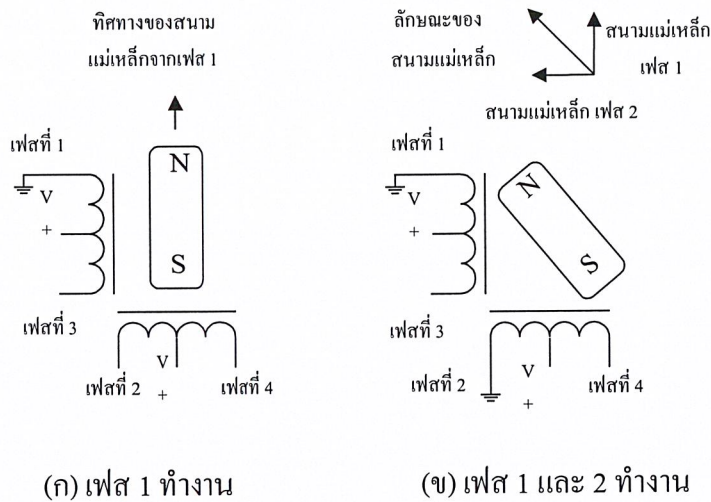
2.5.4 การทำงานของสแต๊ปมอเตอร์

การทำงานของสแต๊ปมอเตอร์มีความแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วไป โดยเมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับตัวมัน จะหมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด แต่มอเตอร์ทั่วไปจะหมุนทันทีและตลอดเวลา สแต๊ปมอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งการหมุนด้วยตัวเลขได้อย่างละเอียด

สแต๊ปมอเตอร์สามารถทำงานในระบบเปิด แต่วิธีกำหนดตำแหน่งการหมุนให้ถูกต้องจำเป็นต้องมีการป้อนกลับไปยังระบบให้รับรู้โดยทั่วไปจะใช้สวิตซ์ติดตั้งไว้ ที่ตำแหน่งที่ต้องการตรวจจับ เมื่อสแต๊ปมอเตอร์เริ่มหมุนและหมุนจนกระทั่งถึงตำแหน่งของสวิตซ์ตรวจจับสัญญาณก็จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบและทราบการทำงานของสแต๊ปมอเตอร์ได้ตลอดเวลา ซึ่งโดยปกติในวงจรคอนโทรลเลอร์จะมีการกำหนดจุดอ้างอิงไว้ด้วย เพื่อให้เริ่มต้นทำงานและอ้างอิงตำแหน่งถูกต้อง

การทำให้เกิดการหมุนของโรเตอร์ก็เช่นเดียวกับมอเตอร์ทั่วไป คือต้องมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดวางขั้วแม่เหล็กการหมุนทำได้ทั้งแบบต่อเนื่องและกลับทิศทางไปมา โดยกระบวนการทางไฟสลับหรือการจัดวางแปรปร่งถ่านการจัดแยก

คอมพิวเตอรื การตัดต่อกำลังไฟฟ้าที่เกิดแรงดึงดูดของแม่เหล็กที่ขั้วแม่เหล็กสร้างและหยุดสลับกัน ผลคือเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นบนสเตเตอร์โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ละคู่ของขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามไปตลอดเวลาและเมื่อต้องการให้หยุดหมุนทำได้โดยการเกิดขั้วแม่เหล็กที่จุดหนึ่ง โดยการตัดต่อในลำดับต่อไปเสีย การหมุนกลับทิศทางก็ทำได้เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว เพียงแต่ทำการตัดต่อกำลังไฟฟ้าที่เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในทิศทางกลับกันหรือกลับลำดับการสวิตช์ของมัน



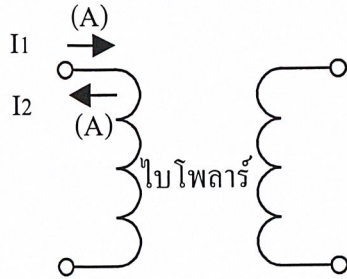
รูปที่ 2.9 ทิศทางการหมุนโรเตอร์ของสเต็ปปีงมอเตอร์ 4 เฟส

หลักการทํางานของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ 4 เฟส ตัวโรเตอร์เป็นแม่เหล็กโดยจะเปลี่ยนทิศทางไปตามสนามแม่เหล็ก โดยการให้พลังงานแก่ขดลวดใดขดลวดหนึ่งโรเตอร์ก็จะหมุนไป 90 องศา ดังรูปที่ 2.9 (ก) แต่ถ้าให้ที่เดียว 2 ขดพร้อมกัน โรเตอร์ก็จะหมุนเพียง 45 องศา ดังรูปที่ 2.10 (ข) ซึ่งแบบหลังจะสร้างแรงบิดได้มากกว่าแบบแรก สเต็ปปีงมอเตอร์จะมีมุมของการเคลื่อนที่แต่ละสเต็ปเป็น 1.8 องศา ดังนั้นที่โรเตอร์จะต้องมีขั้วแม่เหล็ก 50 ขั้ว ( $90/50 = 1.8$ )

สเต็ปปีงมอเตอร์ 4 เฟส เรียกว่าเป็นแบบ 2 เฟส มากกว่า ถึงแม้ว่าขดลวดจะมี 4 ขดก็ตาม แต่การทํางานของเฟสที่ 3 หรือเฟสที่ 4 มีค่าเท่ากับเฟสที่ 1 หรือเฟสที่ 2 การที่มี 4 ขด ก็เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุม เพียงใช้ทรานซิสเตอร์กำลังเป็นสวิตช์ 4 ตัว

ส่วนในรูปที่ 2.10 เป็นการพันขดลวดแบบไบโพลาร์ เมื่อขดลวด A และ B มีกระแสไหลผ่าน สเตเตอร์จะเกิดขั้วแม่เหล็ก เป็นผลให้โรเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็กต่างกับสเตเตอร์ถูกดูดต่อมาเมื่อกระแสที่ไหลในขดลวด A เปลี่ยนทิศทางกลับ จึงเป็นผลให้ขั้วแม่เหล็กที่แกน A เปลี่ยนจากขั้ว S เป็นขั้ว N จากขั้ว N เป็นขั้ว S สลับกัน โรเตอร์จึงถูกผลักให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาไป 90 องศา ลำดับการ

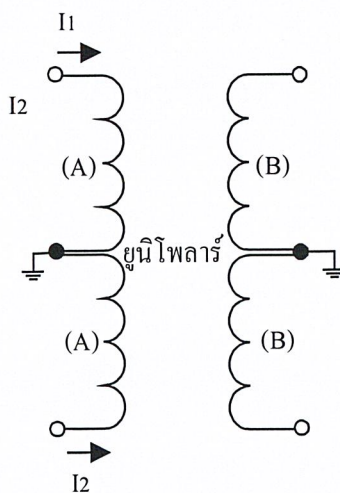
หมุนใน 1 รอบมีลำดับเป็น AB, AB, AB, AB มี 4 สเต็ปๆ ละ 90 องศา เครื่องหมายขีด (-) บนตัวอักษร A,B แทนการกบขั้ว



รูปที่ 2.10 ไบโพลาร์สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ 2 เฟส

เมื่อกลับขั้วแม่เหล็กในแต่ละเฟสจะต้องมีการหยุดกระแสก่อนแล้วกระแสจึงค่อยเปลี่ยนทิศทาง จึงสรุปเป็นสเต็ปได้ คือ AB, B, AB, A, B, AB, A, AB การทำงานเป็นลักษณะแบบครึ่ง สเต็ป เป็นผลให้ค่าโมเมนต์มีค่าน้อยกว่าปกติเพราะมีช่วงเวลาที่กระแสไหลแค่เฟสเดียวส่วนแบบ ยูนิโพลาร์ก็คล้ายกับแบบไบโพลาร์โดยคิดขดเดียว ในแต่ละเฟสของยูนิโพลาร์จะมีแถบกลางซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ขด ดังรูปที่ 2.11 เป็นผลให้ค่าฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าน้อยกว่าไบโพลาร์

ดังนั้นเมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงกระแสจะไม่เปลี่ยนแปลงกระแสจะไม่เปลี่ยน ทิศทางการไหล สนามแม่เหล็กที่ได้ก็น้อยตามแรงบิดที่ขึ้นอยู่กับสนามแม่เหล็กก็น้อยกว่า



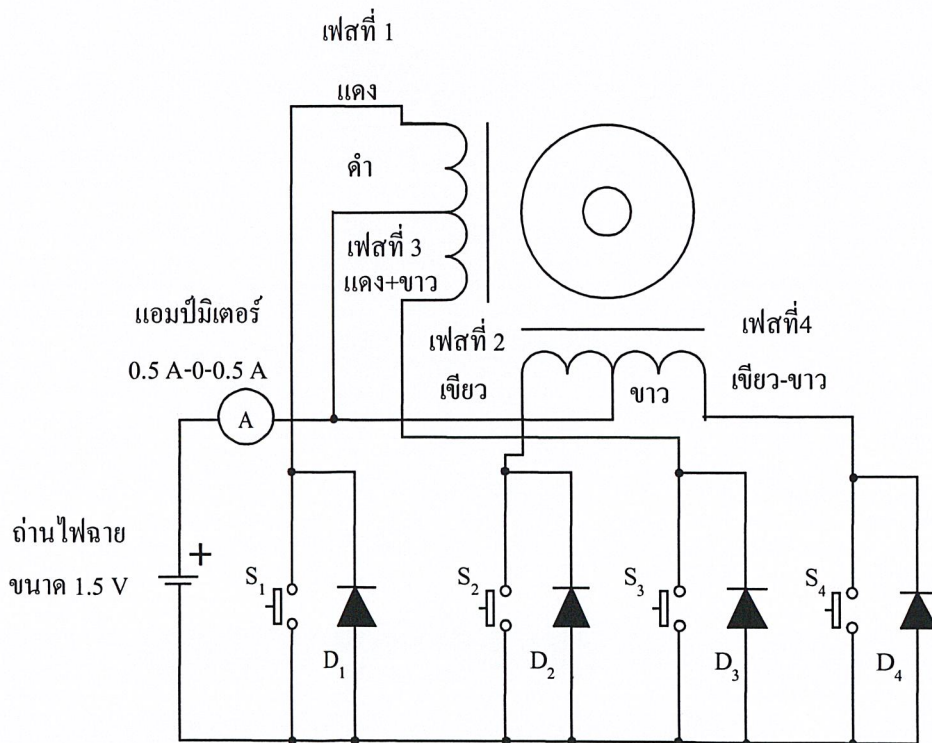
รูปที่ 2.11 ยูนิโพลาร์สเต็ปปิ้งมอเตอร์

โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ประกอบขึ้นจากขั้วแม่เหล็กวงแหวนที่มีซี่ยื่นออกมา แต่ละซี่เหล่านั้นจะมีคอยล์พันสวมอยู่ เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านคอยล์จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ด้านตรงข้ามของแต่ละขั้วแม่เหล็กจะได้รับกระแสไฟฟ้าในขณะเดียวกัน แต่จะไหลวนในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศตรงข้ามด้วย ถ้าเพิ่มจำนวนของขั้วแม่เหล็กให้มากขึ้น จะเน้นการเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อวงจรรอบมากขึ้นตามไปด้วย

วิธีเพิ่มจำนวนของสเต็ปอีกวิธี โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายใน โดยทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้โรเตอร์หยุดหมุนอยู่ระหว่างกลางของ 2 ขั้วแม่เหล็กนั้นหรือเคลื่อนที่ไปครึ่งสเต็ปเท่านั้นและวิธีการนี้ยังช่วยให้เกิดแรงบิดมากขึ้นด้วย

### 2.5.5 การควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์

การควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์ดังรูปที่ 2.12 โดยป้อนแรงดันขนาด 1.5 โวลต์มาใช้ขับให้เกิดแรงบิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์ใช้สวิตช์กด 4 ตัว ควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานแบบรูปคลื่นหรือครึ่งสเต็ปและไดโอด  $D_1$  ถึง  $D_4$  ป้องกันที่หน้าสัมผัสสวิตช์และแรงดันย้อนกลับ



รูปที่ 2.12 วงจรทดลองการทำงานเต็ปปีงมอเตอร์

วงจรทดลองการทำงานเต็ปปิ้งมอเตอร์ โดยสมมติว่าขดลวดเฟสที่ 1 สวิตช์  $S_1$  ปิดวงจรจะมีกระแสไหลผ่านขดลวดเฟสที่ 1 ลงกราวด์และเมื่อสวิตช์  $S_1$  เปิดวงจรก็จะทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขดลวดเฟสที่ 3 โดยผ่านทางไดโอด  $D_3$  ในขณะเดียวกันก็จะมีแรงดันตกคร่อมขดลวด 2 ขณะเปิดวงจร (เป็นแรงดันตกคร่อมไดโอด) ซึ่งจะมีขนาดแรงดันเป็น 2 เท่าของแรงดันในตอนแรกเพราะในการเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ต้องคำนึงถึงข้อนี้ด้วยเมื่อนำมาใช้ในการมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

การกระตุ้นเพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปใน การใช้งานจริงทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีแควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้องแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ

**1) แบบรูปคลื่น (Wave)**

แบบรูปคลื่นเป็นการกระตุ้นรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งและเรียงถัดกันไป เช่น ขดที่ 1, 2, 3, 4, 1 หรือ 1, 4, 3, 2, 1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุนดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบรูปคลื่นจึงสามารถสร้างได้ง่าย ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.4

**ตารางที่ 2.4** ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบรูปคลื่น

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

**2) แบบ 2 เฟส (Two Phase)**

เป็นการกระตุ้นที่คล้ายกับแบบรูปคลื่นแต่จ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปคือขดลวดที่ 12, 23, 34, 41, 12 หรือ 14, 43, 32, 21, 14 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุน การเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ทำให้เพิ่มแรงบิดได้โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกันและต่อด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดถัดไป สำหรับข้อเสียของการกระตุ้นแบบนี้ ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการกระตุ้นเฟสต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

### 3) แบบครึ่งสเต็ป (Half Step)

เป็นรูปแบบผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบรูปคลื่นและแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกหนึ่งเท่าตัว จะกระตุ้นขดลวดเรียงกันเป็นไปตามลำดับดังนี้ ขดลวด 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1 หรือในการหมุนอีกทิศทางหนึ่งจะได้เป็น 1, 14, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีกเพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลงและแต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น การกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ปจึงจะได้เท่ากับ 1 สเต็ปเต็มเหมือนกับการควบคุม 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องใช้เทียบเท่ากับ 2 เฟสจึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดเฟสต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป

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

## 2.6 มาตรฐานพอร์ตอนุกรม RS-232C

พอร์ตอนุกรม RS-232C พัฒนาและออกแบบได้ผลิตขึ้นในปี ค.ศ. 1969 มาตรฐานพอร์ตอนุกรม RS-232C ที่สร้างขึ้นในตอนแรกสำหรับการเชื่อมต่อระหว่างเทอร์มินอลและโมเด็มระบุคุณลักษณะทางไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัวและกำหนดชื่อและหมายเลขแก่สายที่จำเป็นสำหรับการเชื่อมต่อวงจร ซึ่งวงจรตามมาตรฐาน RS-232C (AA, AB) จำได้ยากจึงใช้ชื่อย่อแทน ตัวอย่างเช่น สายเส้นที่ 2 มีชื่อ BA แต่ใช้กันทั่วไป TXD (Transmitted Data) RS-232C สายเส้นที่ 2 นำข้อมูลจากเทอร์มินอลไปสู่โมเด็มเพื่อให้การทำงานถูกต้องเทอร์มินอลต้องส่งเอาต์พุตออกที่สายเส้นที่ 2 และโมเด็มต้องรับข้อมูลบนสายเส้นที่ 2 เพราะฉะนั้นสายเส้นที่ 2 เป็นสายส่ง ข้อมูลสำหรับอุปกรณ์บางอย่างและเป็นสายรับข้อมูลสำหรับอุปกรณ์อย่างอื่น การเชื่อมต่อโดยตรงจากสายเส้นที่ 2 บนอุปกรณ์ส่งเข้ากับสายเส้นที่ 2 บนอุปกรณ์รับ สามารถทำได้ต่อเมื่ออุปกรณ์หนึ่งส่งข้อมูลบนสายเส้นที่ 2 และส่งไปยังตัวรับข้อมูลจากสายเส้นที่ 2 เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ส่งข้อมูลบนสายเส้นเดียวกัน อุปกรณ์จึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด เช่น เทอร์มินอลซึ่งใช้สายเส้นที่ 2 สำหรับเอาต์พุต เรียกว่า Data Terminal Equipment :DTE โมเด็มซึ่งใช้สายเส้นที่ 2 สำหรับอินพุต เรียกว่า Data Communication Equipment : DCE

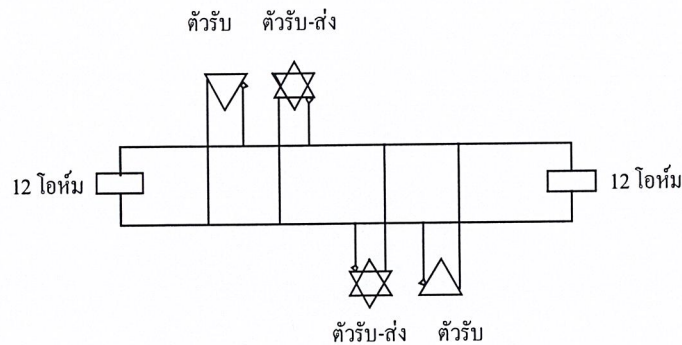
ตารางที่ 2.7 หน้าที่การทำงานของแต่ละขาของ DB-25 และ DB-9

สัญญาณ	ตำแหน่งขา DB-25	ตำแหน่งขา DB-9	หน้าที่
DTR	20	4	ส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังวงจรรับ
RTS	4	7	ควบคุมการส่งหรือรับ
CTS	5	8	รับข้อมูลจากวงจรรับส่งไปยังคอมพิวเตอร์
TXD	2	3	สัญญาณไฟเลี้ยงวงจรจากคอมพิวเตอร์
GND	7	5	กราวด์วงจร

## 2.7 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม RS485

### 2.7.1 มาตรฐานการสื่อสารข้อมูล

สำหรับมาตรฐาน RS485 นั้นเป็นมาตรฐานที่อาศัยหลักการทำงานของ การส่งสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลเช่นเดียวกับมาตรฐาน RS422A แต่สามารถสื่อสารข้อมูลได้ 2 ทิศทาง ในสายนำสัญญาณแบบคู่เดียวซึ่งเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ จากผลของการใช้สัญญาณในลักษณะดิฟเฟอเรนเชียล ทำให้ระยะทางและความเร็วในการสื่อสารข้อมูลสูง การสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน RS485 นั้นสามารถที่จะสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ทั้งการรับและการส่งได้สูงสุด 32 ตัวหรืออาจกล่าวได้ว่า การสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน RS485 นั้นเป็นการสื่อสารแบบหลายจุด (Multi – Point Communication) โดยโครงสร้างในการสื่อสารข้อมูลแบบ RS485 แสดงดังรูป



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมด้วย RS485

### ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารข้อมูล EIA

พารามิเตอร์	RS232C	RS423A	RS422A	RS485
โหมดการทำงาน	Single-ended	Single-ended	Differential	Differential
จำนวนตัวรับ-ส่ง	1 ตัวรับ 1 ตัวส่ง	1 ตัวรับ 10 ตัวส่ง	1 ตัวรับ 10 ตัวส่ง	32 ตัวรับ 32 ตัวส่ง
ความยาวคู่สาย สัญญาณ	50 ฟุต	4000 ฟุต	4000 ฟุต	4000 ฟุต
อัตราการส่งข้อมูลสูง สุด	20 k	100 k	10 M	10 M

ตารางที่ 2.8 (ต่อ) การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารข้อมูล EIA

พารามิเตอร์	RS232C	RS423A	RS422A	RS485
แรงดันไฟฟ้าโหมคร่วมสูงสุด	$\pm 2.5$ V	$\pm 6$ V	+ 6 V - 2.5 V	12 V -7 V
Driver Output	$\pm 5$ V ต่ำสุด	$\pm 3.6$ V ต่ำสุด	$\pm 2$ V ต่ำสุด	$\pm 1.5$ V ต่ำสุด
Driver Slew Rate	30 V/us สูงสุด		N/A	N/A
Driver Load (W)	3 k – 7 k	450 ต่ำสุด	100 ต่ำสุด	60 ต่ำสุด
ค่าความต้านทานอินพุตตัวรับ	3 k – 7 k	4 k	4 k	12 k
ความไวตัวรับ	$\pm 3$ V	$\pm 200$ mV	$\pm 200$ mV	$\pm 200$ mV

### 2.7.2 รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลแบบ RS485

รูปแบบหรือลักษณะการต่อใช้งานของ RS485 ในลักษณะเครื่องข่าย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

#### 1. เครื่องข่ายแบบที่ใช้สายนำสัญญาณสองเส้น (Two Wires)

การสื่อสารข้อมูล RS485 แบบสองสายนี้ถือเป็นการสื่อสารแบบซิมเพล็กซ์คือลักษณะของการรับส่งข้อมูล เป็นลักษณะผลัดกันรับส่ง โดยการกำหนดว่าจะเป็นการให้การรับหรือการส่ง จะถูกกำหนดด้วยตัวแม่ข่าย (Master) ข้อดีของเครื่องข่ายแบบนี้ จะช่วยประหยัดสายที่ใช้ในการวางเครื่องข่าย ข้อเสียคือการรับส่งช้า

#### 2. เครื่องข่ายแบบที่ใช้สายนำสัญญาณสี่เส้น (Four Wires)

การสื่อสารข้อมูล RS485 แบบที่ใช้สายนำสัญญาณสี่เส้น (Four Wires) เป็นการสื่อสารข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์ ลักษณะการรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ในเวลาเดียวกัน ทั้งนี้เพราะมีบัสข้อมูลจำนวน 4 เส้น ข้อดีมีความเร็วในการรับส่งสูงกว่าแบบ 2 เส้น ข้อเสียคือสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

### 2.7.3 มาตรฐานของ RS485

#### 1) คุณสมบัติเฉพาะตัวของตัวรับ RS485

- 1.1) ค่าความต้านทานอินพุตมีค่าสูง โดยมีค่าไม่น้อยกว่า 12 k $\Omega$
- 1.2) ตัวรับมีค่าแรงดันอินพุต ระหว่าง -7 ถึง 12 V
- 1.3) ตัวรับสามารถตอบสนองต่อสัญญาณที่แตกต่างจากสัญญาณ โหมคร่วมได้  $\pm 200$ mV

## 2) คุณสมบัติเฉพาะของคู่สัญญาณ RS485

คู่สายสัญญาณที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล ในระบบ RS485 นั้นควรพันสลับเป็นเกลียวเพื่อการลดทอนสัญญาณรบกวน

### 3) ความหมายของยูนิคโหลด (Unit Load : U.L.)

ยูนิคโหลด เป็นจำนวนที่มากที่สุดของตัวรับส่ง ที่สามารถใช้งานบนคู่สายสัญญาณรับส่งคู่หนึ่ง โดยขึ้นอยู่กับค่ายูนิคโหลด ซึ่ง RS485 ยอมรับได้ 32 ยูนิคโหลด ต่อคู่สายสัญญาณ 1 คู่สาย นิยามของยูนิคโหลด เป็นโหลดที่ใช้กระแส 1 mA ที่แรงดันโหมคร่วม 12 V ซึ่งโหลดนี้ประกอบด้วยตัวส่ง ตัวรับแต่ไม่รวม ค่าความต้านทานที่เกิดจากความต้านทานที่ตกรวมคู่สายสัญญาณรับส่ง

### 4) คุณสมบัติเฉพาะของตัวรับส่ง

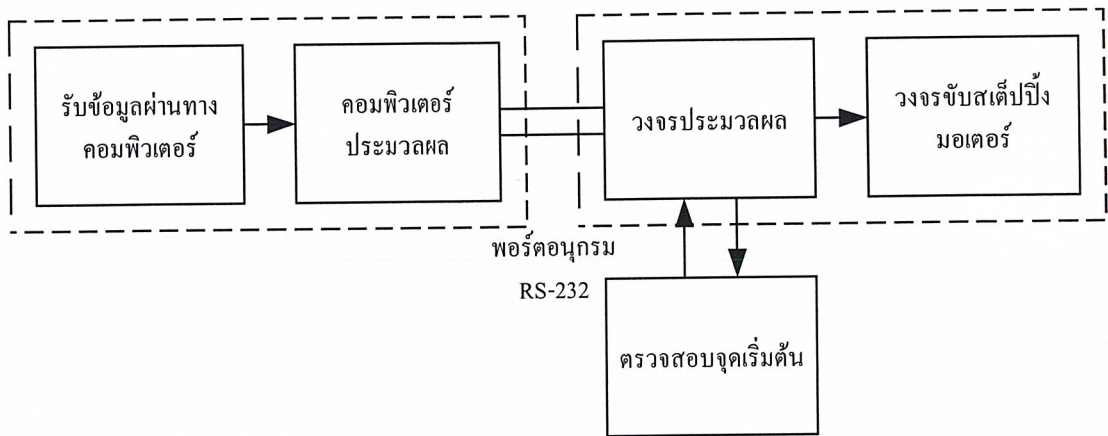
- 4.1) เป็นไปตามมาตรฐาน RS485, RS422, CCITT V.11
- 4.2) เอาต์พุตของตัวส่งเป็นแบบ 3 สเตท ยกเว้น SN 75179B
- 4.3) เอาต์พุตตัวส่งสามารถขับกระแสได้สูงสุด 60 mA
- 4.4) ค่าความต้านทานอินพุตของตัวรับมีค่าประมาณ 20 k (น้อยที่สุด)
- 4.5) ตัวรับมีค่าความไวอินพุต (Input Sensitivity) ประมาณ  $\pm 200$  mV
- 4.6) ใช้ไฟเลี้ยง

# บทที่ 3

## การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

### 3.1 การทำงานของระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ

ในขั้นตอนการสร้างระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ ประกอบด้วยวงจรและอุปกรณ์หลายอย่าง ซึ่งวงจรเหล่านี้จำเป็นต้องออกแบบเพื่อให้ได้ผลตามต้องการและรวมถึงสามารถรองรับการใช้งานให้ได้เต็มประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ

การทำงานของระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ โดยประกอบด้วยส่วนต่างๆ ในส่วนแรกเพื่อรับคำสั่ง คำมุมกวาด มุมเงยที่ต้องการจากคอมพิวเตอรและทำการประมวลผลเพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้พอร์ตอนุกรมเพื่อใช้ควบคุมวงจรขับสเต็ปมอเตอร

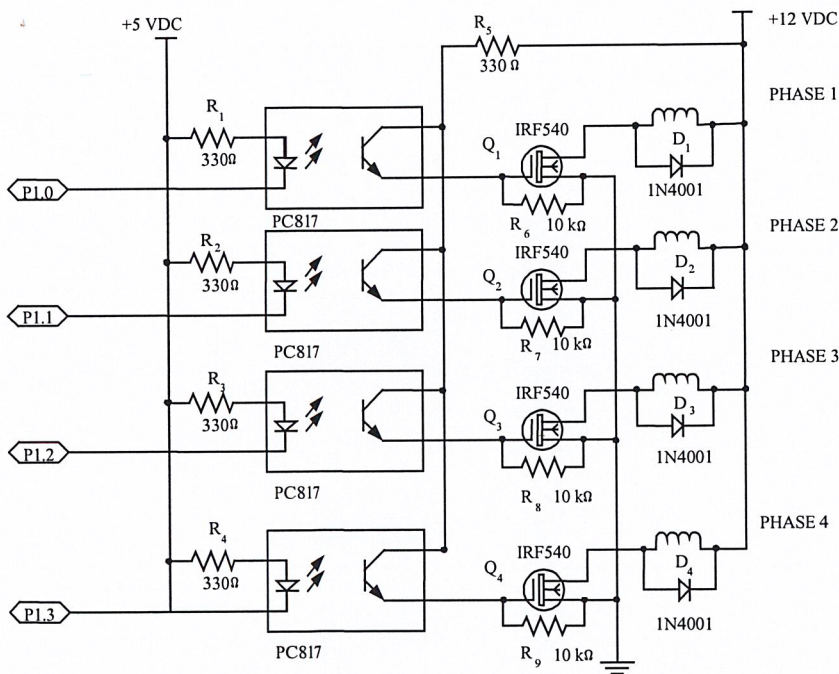
### 3.2 วงจรประมวลผล

ในส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานในส่วนของเครื่องระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติเริ่มต้นการทำงานส่วนควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51RD2 สั่งให้สเต็ปมอเตอรทั้งสองตัวหมุนไปยังตำแหน่งเริ่มต้นโดยการตรวจสอบจากค่าจากตัวตรวจสอบจุดเริ่มต้นจากนั้นจะรอรับคำสั่งเพื่อส่งคำสั่งไปควบคุมส่วนอื่นๆ



### 3.3 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

การออกแบบขับสเต็ปมอเตอร์จะใช้สัญญาณจากหน่วยประมวลผลกลาง เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากทางคอมพิวเตอร์ แล้วส่งข้อมูลไปทางพอร์ต (P1.0 – P1.7) จะต่ออยู่กับขาที่ 2 PC817 เพื่อกระตุ้นให้ตัวควบคุมเชื่อมโยงทางแสง เบอร์ PC817 ซึ่งจะทำหน้าที่แยกกราวด์ของภาคควบคุมและภาคขับเคลื่อนออกจากกันและทำการนำกระแสเพื่อจ่ายให้ สเต็ปมอเตอร์ เพื่อป้องกันปัญหากระแสย้อนกลับจากสเต็ปมอเตอร์ ทำให้ไอซี 89C51RD2 เกิดการทำงานผิดพลาด โดยที่ขา 1 ของ PC817 แต่ละตัวจะต่ออยู่กับตัวความต้านทานค่า 330  $\Omega$  เพื่อลดกระแสที่ป้อนให้กับ PC817 ทางด้านอินพุต



รูปที่ 3.3 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

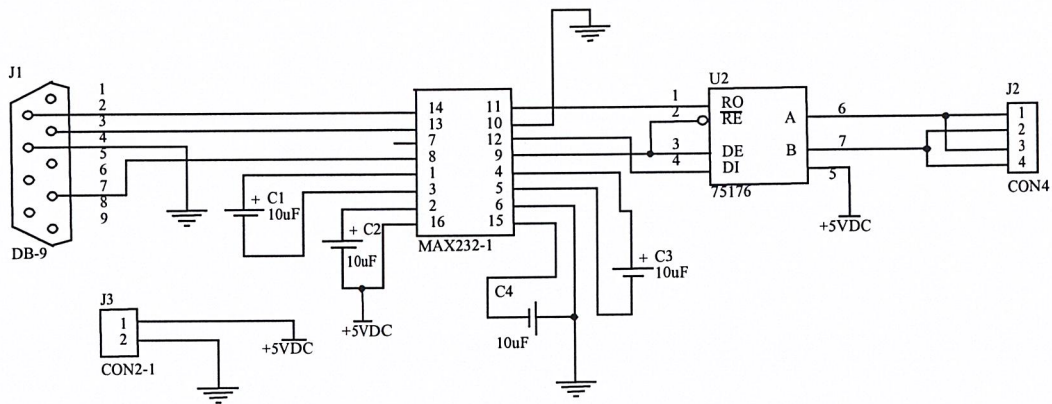
ส่วนขา 3 ของ PC817 แต่ละตัวจะต่อเข้ากับขาเกตของ IRF540 โดยมีตัวความต้านทานค่า 10 k  $\Omega$  ต่อพูลดความถี่กับกราวด์ โดยขาซอร์สและขาเดรนจะต่ออยู่กับไดโอด  $D_1$  ถึง  $D_4$  1N4001 เพื่อป้องกันแรงดันที่ไหลย้อนกลับจากขดลวดของมอเตอร์ขณะที่มอเตอร์หยุดทำงาน

เมื่อทางด้านอินพุตของตัวเชื่อมโยงทางแสง PC817 ถูกไบอัสให้ทำงานกระแสจากขา 4 ของตัวเชื่อมโยงทางแสง PC817 จะไหลไปยังขาที่ 3 ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตที่สามารถไหลไปยังขา

เกตได้ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการไบอัสให้ตัวเชื่อมต่อโยงทางแสง IRF540 ทำงานยอมให้กระแสจากขาซอร์สไหลไปยังขาเดรนทำให้สแต็ปิ่งมอเตอร์ได้รับการกระตุ้นให้ทำงานได้

### 3.4 วงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้พอร์ตอนุกรม RS232

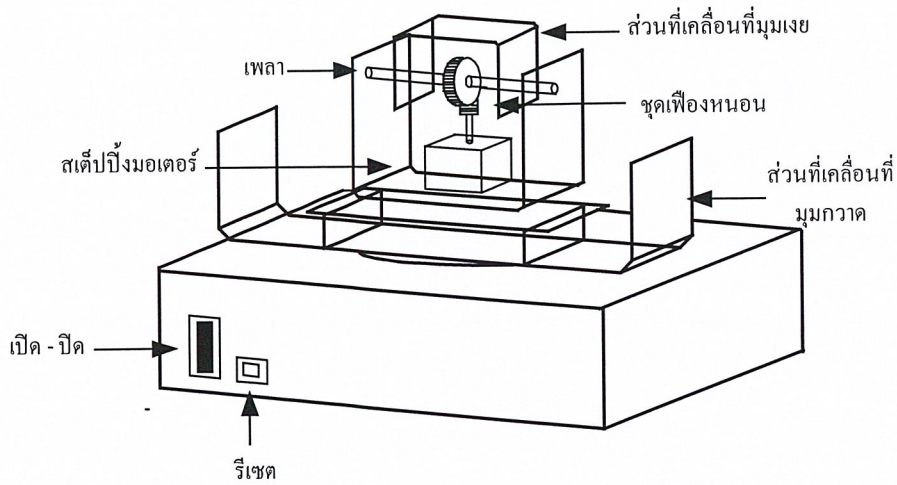
วงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้พอร์ตอนุกรม DB9 ที่มี 9 ขา ขาที่ 2 และ 3 ของ DB9 ต่อเข้ากับขาที่ 13, 14 ของไอซี MAX 232 โดยขาของไอซี MAX 232 ขาที่ 1 ขา 3 และ ขาที่ 2 กับขาที่ 16 ต่อตัว C ค่า 10 uF โดยวงจรนี้จะเชื่อมต่อกับไอซี RS485 เพื่อทำหน้าที่รับส่งข้อมูล



รูปที่ 3.4 วงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้พอร์ตอนุกรม RS232

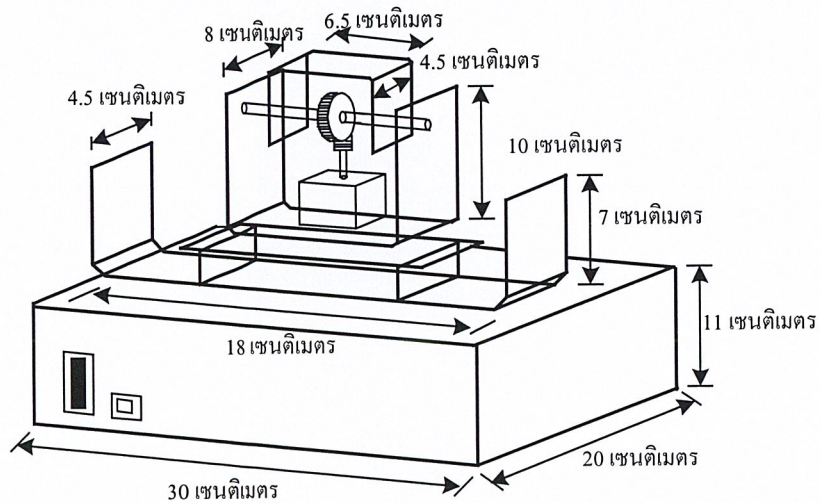
### 3.5 โครงสร้างระบบชี้พิกัดระยะนาบ 3 มิติ

การสร้างโครงสร้างระบบชี้พิกัดระยะนาบ 3 มิติ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นฐานของระบบชี้พิกัดโดยรองรับในส่วนของมุมกวาด ในส่วนนี้จะรองรับสแต็ปิ่งมอเตอร์ เฟลา แผ่นวงจรพิมพ์ ส่วนที่ทำหน้าที่มุมกวาด สามารถเคลื่อนที่ในส่วนของมุมกวาด 360 องศาโดยยึดติดกับส่วนแรกด้วยเฟลา ด้านบนรองรับสแต็ปิ่งมอเตอร์มุมแยง และชุดเฟืองหนอนของมุมแยง ส่วนทำหน้าที่มุมแยงอยู่ด้านบนสุด สามารถเคลื่อนที่ได้ 90 องศา ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นฐานจะอยู่กับที่



รูปที่ 3.5 โครงสร้างระบบซีพีกัดระนาบ 3 มิติ

จากรูปที่ 3.5 โครงสร้างระบบซีพีกัดระนาบ 3 มิติประกอบด้วยส่วนที่เป็นฐาน มุมกวาดเคลื่อนที่ได้ 360 องศา มุมแกนเคลื่อนที่ได้ 90 องศา สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ มีสวิทช์เปิดเปิดและปุ่มรีเซตอยู่ที่ตัวเครื่อง



รูปที่ 3.6 ขนาด โครงสร้างระบบซีพีกัดระนาบ 3 มิติ

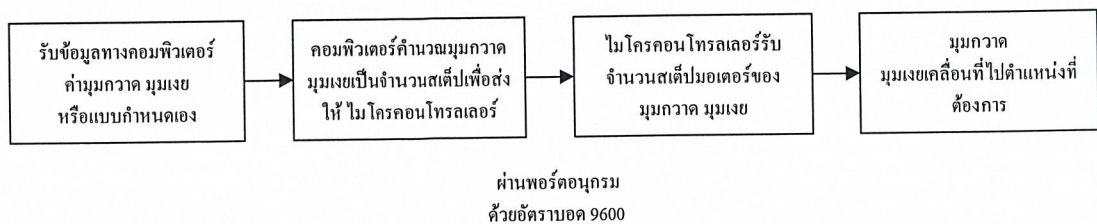
ขนาดโครงสร้างสำหรับฐานมีขนาดความยาว 30 เซนติเมตร ความกว้าง 20 เซนติเมตร ความสูง 11 เซนติเมตร บรรจุอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ ชุดเฟืองหนอน สแต็ปปีงมอเตอร์

### 3.6 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบจุดเริ่มต้น

ในการป้องกันการเกิดความผิดพลาด ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบจุดเริ่มต้น โดยในที่นี้ใช้ตัวลิมิตสวิทช์ 2 ตัว ติดมุมกวาดและมุมงย แต่ส่วนการทำงานของเครื่องจะมีส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบจุดเริ่มต้นเพื่อป้องกันการผิดพลาดในกรณีที่มีมุมกวาดหรือมุมงยเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง 0 องศา และ 0 องศา ตำแหน่งการติดตั้งจะอยู่บริเวณจุด 0 องศาของมุมกวาด 0 องศา สำหรับมุมงย โดยใช้อุปกรณ์ตรวจสอบจุดเริ่มต้น เพื่อป้องกันกลับไปยังตัวเครื่องเพื่อให้ส่วนประมวลผลหยุดการสั่งงานไปยังสเต็ปปั๊มมอเตอร์เพราะอาจเกิดข้อผิดพลาดขึ้นหรือความเสียหายที่อาจเกิดกับตัวเครื่องได้

### 3.7 การติดต่อคอมพิวเตอร์กับระบบซีพีกัดระนาบ 3 มิติ

ระบบซีพีกัดระนาบ 3 มิตินั้นใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ในการคำนวณและส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ที่ตัวเครื่อง โดยในการติดต่อนั้นใช้พอร์ตอนุกรมในการติดต่อ โดยขาดต่อใช้งานมีทั้งหมด 9 ขา มีอัตราบอด 9600 ในการประมวลผลนั้นรับค่าจากคอมพิวเตอร์เป็นองศาทำการคำนวณ โดยใช้วิธีนำจำนวนองศาที่รับได้คูณกับจำนวนสเต็ปซึ่งจำนวนสเต็ปมุมกวาดและมุมงยมีจำนวน สเต็ปที่แตกต่างกัน โดยจำนวนสเต็ปมุมกวาดเท่ากับ รับข้อมูลเป็นเลขฐานสิบและแปลงเป็นเลขฐานสิบหกเพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถใส่ค่าองศามุมกวาดสูงสุดได้ 360 องศาและมุมงยสูงสุด 180 องศาและมีการตรวจสอบจำนวนสเต็ปที่สเต็ปปั๊มมอเตอร์ได้หมุนไปเพื่อส่งกลับไปยังคอมพิวเตอร์แสดงค่าองศาที่เป็นจริงทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดย 1 องศาในมุมงยสเต็ปปั๊มมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 11 สเต็ป ส่วนมุมกวาดเคลื่อนที่ไป 1 องศา สเต็ปปั๊มมอเตอร์เคลื่อนที่ไป 10.35 สเต็ป



รูปที่ 3.7 แผนผังการติดต่อคอมพิวเตอร์กับระบบซีพีกัดระนาบ 3 มิติ

# บทที่ 4

## การทดลองและผลการทดลอง

### 4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองในส่วนต่างๆ ของโครงงานระบบซีพีกัด ระบาย 3 มิติว่าทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ โดยทดสอบสมรรถภาพระบบซีพีกัดระบาย 3 มิติ โดยใช้เครื่องมือตรวจสอบผลการทำงานในส่วนของวงจรที่ได้สร้างขึ้น ได้แก่ การทดลองวงจร ขับสแต็ปปั๊มมอเตอร์ รวมทั้งส่วนการทำงานของเครื่องระบบซีพีกัดระบาย 3 มิติ

### 4.2 วงจรขับสแต็ปปั๊มมอเตอร์

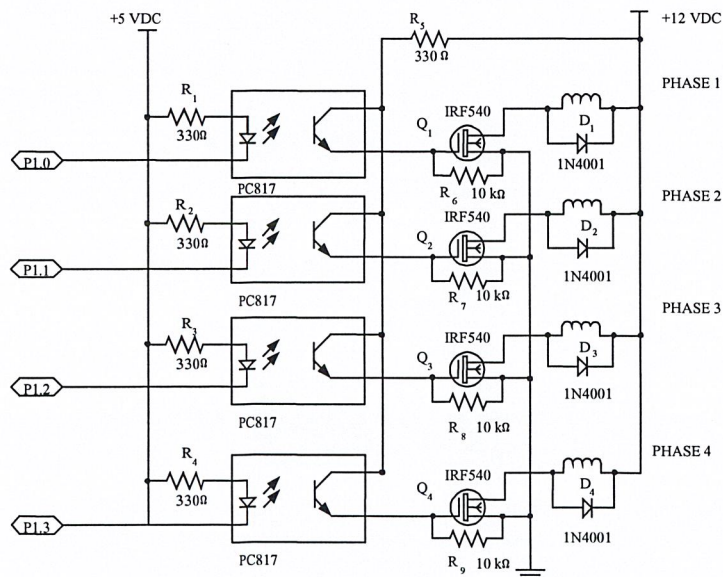
#### 4.2.1 การทดลอง

##### 1) วัตถุประสงค์

1.1) เพื่อทดสอบวงจรขับสแต็ปปั๊มมอเตอร์

##### 2) ลำดับขั้นการทดลอง

2.1) ต่อวงจรขับสแต็ปปั๊มมอเตอร์



รูปที่ 4.1 วงจรขับสแต็ปปั๊มมอเตอร์

- 2.2) จ่ายไฟ 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ ให้กับวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์
- 2.3) จ่ายสัญญาณให้กับอินพุตของวงจรภาคขับสเต็ปปีงมอเตอร์ตามตารางที่ 4.1
- 2.4) สังเกตผลที่ได้บันทึกลงในตารางที่ 4.2
- 2.5) สังเกตที่สเต็ปปีงมอเตอร์จะหมุนตามสัญญาณที่จ่ายมาทางด้านอินพุต

ตารางที่ 4.1 จ่ายสัญญาณให้อินพุตของวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์

ช่วงเวลา	ขั้วเอาต์พุต A	ขั้วเอาต์พุต B	ขั้วเอาต์พุต C	ขั้วเอาต์พุต D
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

### 3) สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 โดยสัญญาณไฟที่ออกตามขั้ว A, B, C และ D จะได้ดังตาราง กล่าวคือ ณ ช่วงเวลาที่ 1 มีการจ่ายสัญญาณควบคุมให้ขั้ว A ผลการทดลองที่ได้ไดโอดเปล่งแสงของขั้ว A จะติดสว่าง เมื่อสังเกตแกนของมอเตอร์ แกนของมอเตอร์จะมีการขยับเล็กน้อย ณ ช่วงเวลาที่ 2 มีการจ่ายสัญญาณควบคุมให้ขั้ว B ผลการทดลองที่ได้ไดโอดเปล่งแสงของขั้ว B จะติดสว่าง เมื่อสังเกตแกนของมอเตอร์ จะมีการขยับเล็กน้อย ณ ช่วงเวลาที่ 3 มีการจ่ายสัญญาณควบคุมให้ขั้ว C

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์

ช่วงเวลา	ขั้วเอาต์พุต A	ขั้วเอาต์พุต B	ขั้วเอาต์พุต C	ขั้วเอาต์พุต D
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

### 4.3 ระบบชี้พิกัดระยะนาบ 3 มิติ

ระบบชี้พิกัดระยะนาบ 3 มิติสามารถส่งงานผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถระบุค่ามุมกวาดและมุมเงย โดยทดสอบผลการทำงานดังต่อไปนี้

#### 4.3.1 การทดลองสแต็ปที่เคลื่อนที่ของระบบชี้พิกัดระยะนาบ 3 มิติ

##### 1) วัตถุประสงค์

- 1.1) เพื่อทดสอบจำนวนสแต็ปที่เคลื่อนที่ไปของมุมกวาด
- 1.2) เพื่อทดสอบจำนวนสแต็ปที่เคลื่อนที่ไปของมุมเงย
- 1.3) เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน

##### 2) ลำดับขั้นการทดลอง

- 2.1) ใส่ค่ามุมกวาดและมุมเงยทางเครื่องคอมพิวเตอร์
- 2.2) ทดสอบตามค่าต่างๆ ดังตาราง
- 2.3) บันทึกจำนวนสแต็ปที่ระบบชี้พิกัดระยะนาบ 3 มิติ เคลื่อนที่ไปเป็นเลขฐานสิบหก บันทึกจำนวนองศาที่เครื่องคอมพิวเตอร์แสดง อ่านค่าองศาที่เคลื่อนที่จากสเกลที่ติดตั้งอยู่บนตัวเครื่อง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ของมุมกวาดแต่ละสแต็ปมอเตอร์ต่อองศา

จำนวนสแต็ป	ค่าองศาที่ได้จากการคำนวณ	องศาจากสเกลที่ตัวเครื่อง
100	9.66 °	10.00 °
200	19.35 °	20.00 °
300	29.00 °	29.50 °
400	38.60 °	39.00 °
500	48.32 °	48.50 °
600	58.90 °	59.00 °
700	67.66 °	68.00 °
800	77.28 °	77.00 °
900	87.04 °	87.00 °
1000	96.61 °	97.00 °

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ผลการทดลองการเคลื่อนที่ของมุมกวาดแต่ละสเต็ปมอเตอร์ต่อองศา

จำนวนสเต็ป	ค่าองศาที่ได้จากการคำนวณ	องศาจากสเกลที่ตัวเครื่อง
1100	96.61 °	97.00 °
1200	115.95 °	116.00 °
1300	125.57 °	126.00 °
1400	135.28 °	135.00 °
1500	144.95 °	145.00 °
1600	154.57 °	155.00 °
1700	164.28 °	164.00 °
1800	173.95 °	174.00 °
1900	183.61 °	184.00 °
2000	193.19 °	193.00 °
3000	289.80 °	289.00 °

จากตารางผลการทดลองทำให้ทราบจำนวนรอบของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่หมุนไปแต่ละรอบ ทำให้เฟืองเคลื่อนที่ที่องศา โดยสเต็ปปิ้งมอเตอร์หมุน 1 รอบทำให้ระบบซีพีกัดระยะนาบ 3 มิติ ในแนวของมุมกวาดเคลื่อนที่ไปประมาณ 0.0966 องศา จากการใช้เครื่องมือวัดที่ตัวเครื่องทำให้ทราบองศาที่ผิดพลาด

1.4) จากผลที่ได้ดังตารางทำการแปลงกลับเพื่อให้ได้ผลการทดลองว่าจำนวนสเต็ปต่อองศา มีค่าตรงกับที่คำนวณหรือไม่ จากสูตร มุมเมย

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ของมุมเงยแต่ละสเต็ปมอเตอร์ต่อองศา

จำนวนสเต็ป	ค่าองศาที่ได้จากการคำนวณ	องศาจากสเกลที่ตัวเครื่อง
100	9.09°	9.00°
200	18.14°	18.00°
300	27.28°	27.00°
400	36.38°	36.00°
500	45.42°	45.00°
600	54.57°	55.00°
700	63.66°	64.00°
800	72.76°	73.00°
900	81.80°	82.00°

จากตารางผลการทดลองทำให้ทราบจำนวนรอบของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่หมุนไปแต่ละรอบ ทำให้เฟืองเคลื่อนที่ที่กึ่งองศา โดยสเต็ปปิ้งมอเตอร์หมุน 1 รอบทำให้ระบบซีพิกัดระยะนาบ 3 มิติในแนวของมุมเงยเคลื่อนที่ไปประมาณ 0.0909 องศา

### 3) สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจากการใส่ค่าองศาที่แตกต่างกันทำให้ทราบถึงช่วงที่มีปัญหาหรือช่วงที่เกิดการผิดพลาดของโปรแกรมหรือเครื่องระบบซีพิกัดระยะนาบ 3 มิติ ทราบถึงจำนวนแต่ละสเต็ปที่มอเตอร์หมุนไปเพื่อใช้ในการคำนวณในการแก้ไขโปรแกรมต่อไป

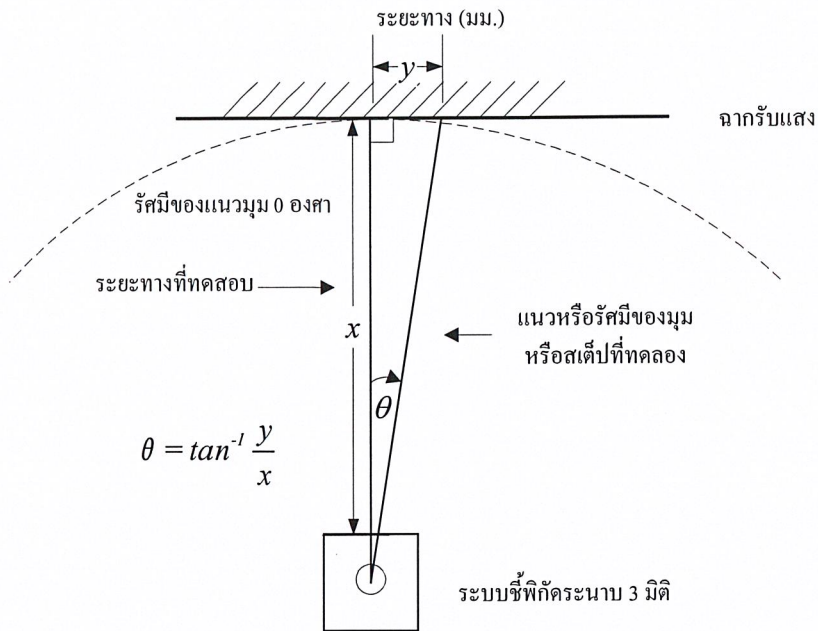
#### 4.3.2 การทดสอบเครื่องระบบซีพิกัดระยะนาบ 3 มิติ

การทดสอบระบบซีพิกัดระยะนาบ 3 มิติ เมื่อใช้งานจริงว่าในระยะไกลเกิดการค่าผิดพลาดเท่าไร โดยใช้วิธีการทดสอบดังลำดับขั้นการทดลอง

##### 1) ลำดับขั้นการทดลอง

1.1) ติดตั้งระบบซีพิกัดระยะนาบ 3 มิติ

1.2) หาจุดอ้างอิงเป็นจุดเริ่มต้น โดยติดตั้งเครื่องระบบซีพิกัดระยะนาบ 3 มิติ ห่างจากจุดอ้างอิง 10 เมตร โดยใช้เลเซอร์พอยต์เตอร์ในการหาจุดอ้างอิงโดยในครั้งแรกตั้งมุมกวาดที่ 0 องศา และ มุมเงย 0 องศา ให้เลเซอร์พอยต์เตอร์ชี้ไปที่ตำแหน่งของจุดอ้างอิงนั้นๆ



รูปที่ 4.2 วิธีการทดสอบค่าความผิดพลาดระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ

1.3) ทดสอบตามจำนวนครั้ง โดยในแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบต้องรีเซ็ตระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ ที่จุด 0, 0 ทุกครั้ง และคำนวณมุมการเคลื่อนที่ได้จากสูตร

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (4.1)$$

1.4) ป้อนค่ามุมกวาดให้เครื่องคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 4.5 ทดสอบระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ

องศา	ความคลาดเคลื่อน ครั้งที่ 1	ความคลาดเคลื่อน ครั้งที่ 2	ความคลาดเคลื่อน ครั้งที่ 3
1°	-	-	-
5°	-	+ 0.14°	+ 0.11°
10°	- 0.17°	+ 0.17°	-
45°	- 0.11°	- 0.14°	-

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ทดสอบระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ

90°	-	-	-
180°	-0.11°	-	+0.17°
270°	-	-0.11°	-
360°	-	-	-

1.5) หากจุดอ้างอิงเป็นจุดเริ่มต้น โดยติดตั้งเครื่องระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ ห่างจากจุดอ้างอิง 5 เมตร โดยใช้เลเซอร์พอยต์เตอร์ในการหาจุดอ้างอิงโดยในครั้งแรกตั้งมุมกวาดที่ 0 องศา และ มุมเงย 0 องศา ให้เลเซอร์พอยต์เตอร์ชี้ไปที่ตำแหน่งของจุดอ้างอิงนั้นๆ

1.6) ป้อนค่ามุมกวาดให้เครื่องคอมพิวเตอร์

1.7) ทดสอบตามจำนวนครั้ง โดยในแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบต้องรีเซ็ตระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ ทุกครั้งและบันทึกผลจากสูตรการคำนวณที่ (4.1)

ตารางที่ 4.6 ทดสอบระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ

องศา	ความคลาดเคลื่อน ครั้งที่ 1	ความคลาดเคลื่อน ครั้งที่ 2	ความคลาดเคลื่อน ครั้งที่ 3
1°	-	-	+0.17°
2°	-	-0.11°	-0.17°

จากการทดลองดังตารางที่ 4.5 ถึง 4.6 เป็นการสั่งงานเครื่องระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ ผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยทดสอบความสามารถตามค่าผลการทดลองที่ได้ เครื่องเคลื่อนที่ไปตำแหน่งที่ต้องการได้และสามารถใส่ค่าบวกลบค่าเดิมได้ จากหน้าจอแสดงผลโดยไม่ต้องทำการรีเซ็ตเครื่องทุกครั้งที่ต้องการ และค่าความคลาดเคลื่อนในกรณีนี้ชี้ในระนาบทางไกล ระยะที่ใช้ในการทดลอง 10 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 1-2 องศา เนื่องจากระยะพิสัยของเฟืองที่ใช้งาน

# บทที่ 5

## บทสรุป

### 5.1 สรุป

โครงการระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ ประกอบด้วยส่วนทำงาน 2 ส่วนคือส่วนที่ทำหน้าที่ซีพีกักระนาบ 3 มิติ ส่วนใช้งานผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมเป็นตัวกำหนดซึ่งเป็นส่วนควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์เพื่อส่งกำลังไปขับเฟืองที่ทำหน้าที่ซีพีกัดที่ต้องการ ในโครงการนี้ทางด้านอินพุตเป็นการสั่งงานผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์โดยสามารถใส่ค่าพิกัดที่ต้องการมุมกวาด มุมแยะ ที่ต้องการได้ง่ายเหมาะกับนักศึกษา ผู้สนใจทั่วไปสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมงานต่างๆ ได้

อย่างไรก็ตามเครื่องระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติที่จัดทำขึ้นมา ยังมีข้อบกพร่องทางคณะผู้จัดทำได้รวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้น แนวทางการแก้ไขและแนวทางในการพัฒนาโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและการทดสอบโครงการพบว่ามีปัญหาหลายประการ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ปัญหา ที่ตัวเครื่องระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ เกิดการคลอนของเฟืองทำให้เกิดความผิดพลาดระหว่างที่ตัวเครื่องกำลังเคลื่อนที่

แนวทางแก้ไข ยึดติดสแต็ปปีงมอเตอร์กับโครงสร้างให้แน่นเพื่อบังคับให้เฟืองหมุนและเกลียวหมุนมีมุมกดกันมากที่สุดเพื่อป้องกันการเกิดการคลอน

2. ปัญหา อุปกรณ์วงจรภาคจ่ายไฟเกิดความร้อนในขณะที่ขับสแต็ปปีงมอเตอร์

แนวทางแก้ไข จัดทำภาคจ่ายไฟใหม่โดยเปลี่ยนอุปกรณ์

3. ปัญหา วงจรที่ขับสแต็ปปีงมอเตอร์ไม่สามารถขับสแต็ปปีงมอเตอร์ได้อย่างเต็มที่

แนวทางแก้ไข เปลี่ยนวงจรขับสแต็ปปีงใหม่โดยสามารถขับสแต็ปปีงมอเตอร์ได้อย่างเต็มที่

4. ปัญหา เนื่องจากโครงสร้างเป็นพลาสติกและต้องเจาะเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ทำให้พลาสติกเกิดความเสียหาย แตก ชำรุด

แนวทางแก้ไข เพิ่มความระมัดระวังในขั้นตอนการเจาะมากขึ้น

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ควรพัฒนาเฟืองที่ใช้งานให้มีประสิทธิภาพแข็งแรงกว่า เพราะเฟืองที่ใช้เป็นเฟืองพลาสติกทำให้ไม่แข็งแรงเท่าที่ควร
2. ออกแบบโครงสร้างให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา
3. พัฒนาวงจรที่ใช้งานให้สามารถรองรับการใช้งานหรือมีประสิทธิภาพสูงกว่า เช่น เปลี่ยนอุปกรณ์
4. พัฒนาให้ระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ สามารถชี้ได้ในระบบพิกัดฉากและระบบพิกัดทรงกระบอก

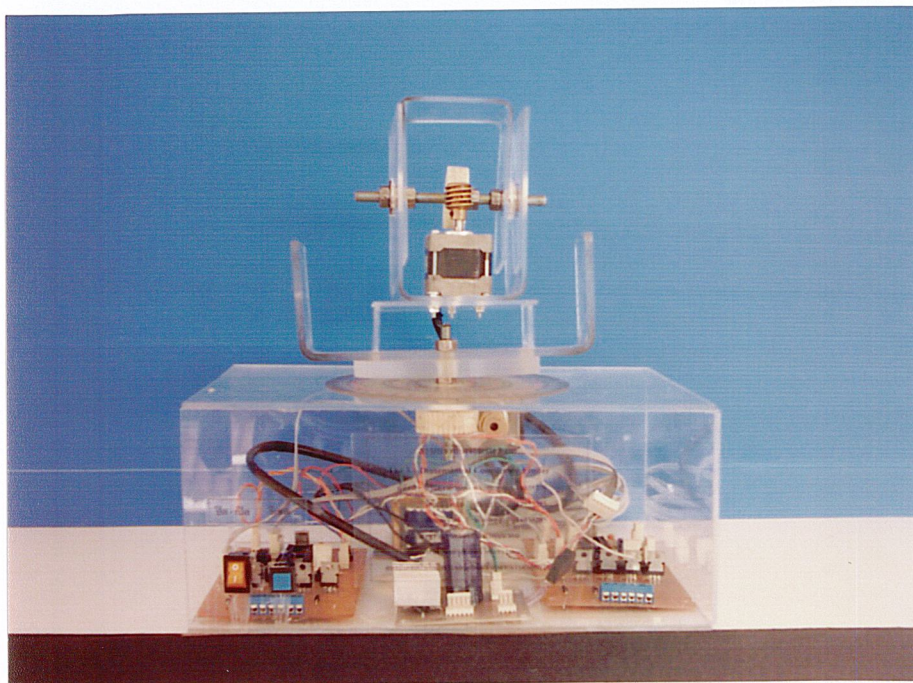
## บรรณานุกรม

อนันต์ วงศ์กระจ่าง และคณะ. **เฟืองและเทคนิคการผลิตเฟือง**. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยเทคโนโลยีและ  
อาชีวศึกษา 2527

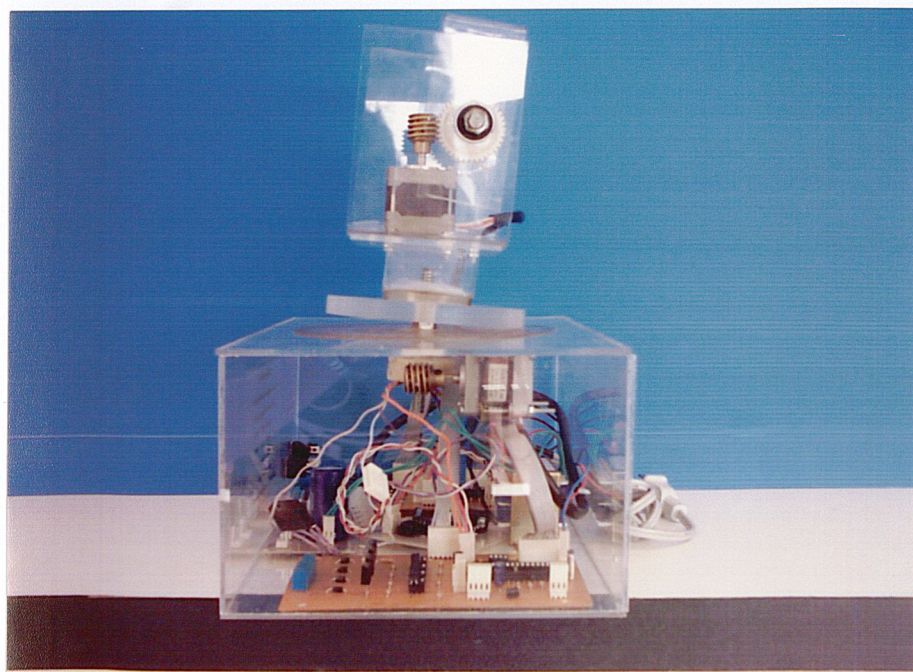
บริษัท อิน โนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด. **คู่มือสำหรับอ้างอิงและใช้งานบอร์ดทดลองไมโครคอน  
โทรลเลอร์ NX-51** กรุงเทพฯ : Philips name and logo registered trademarks of Philips  
Electronics USA. 2542

มงคล ทองสงคราม 2536. **สนามแม่เหล็กไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ : บริษัท รามาคารพิมพ์ จำกัด

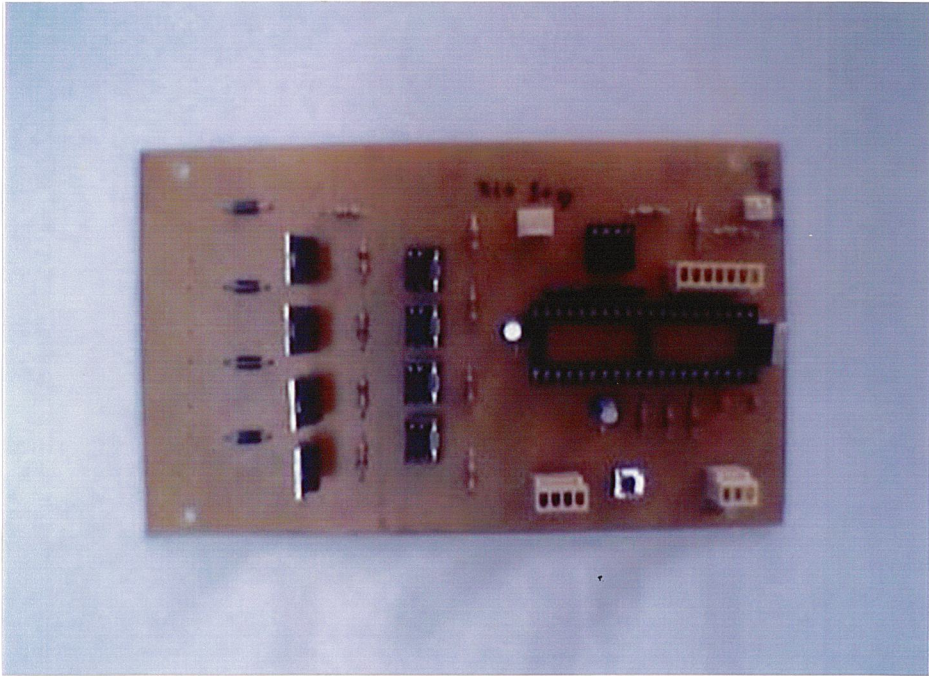
ภาคผนวก ก  
เครื่องต้นแบบ



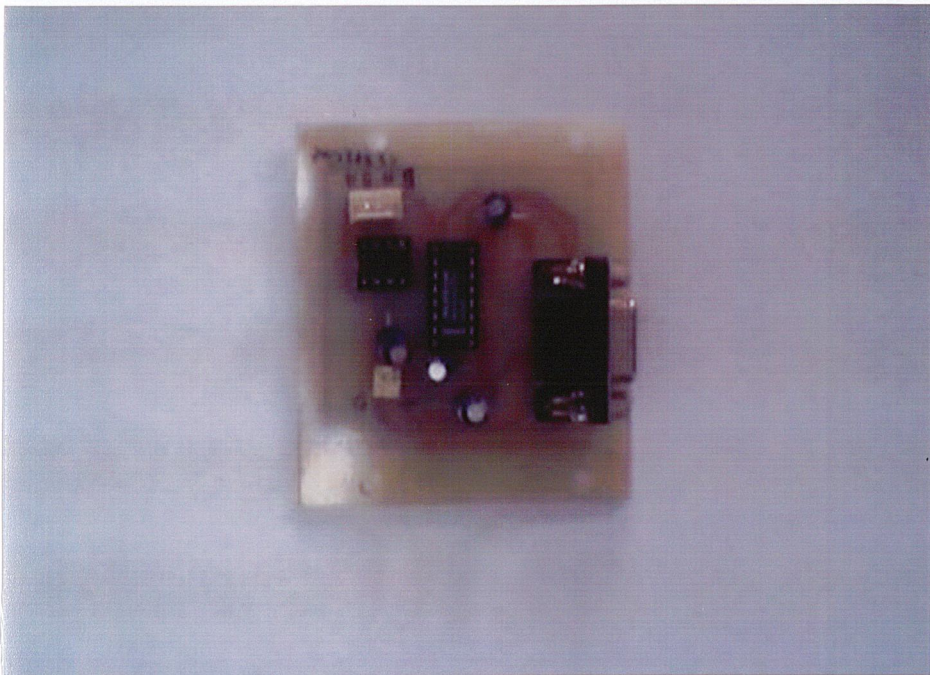
รูปที่ ก.1 ภาพด้านหน้าของเครื่องระบบชี้พิกักระนาบ 3 มิติ



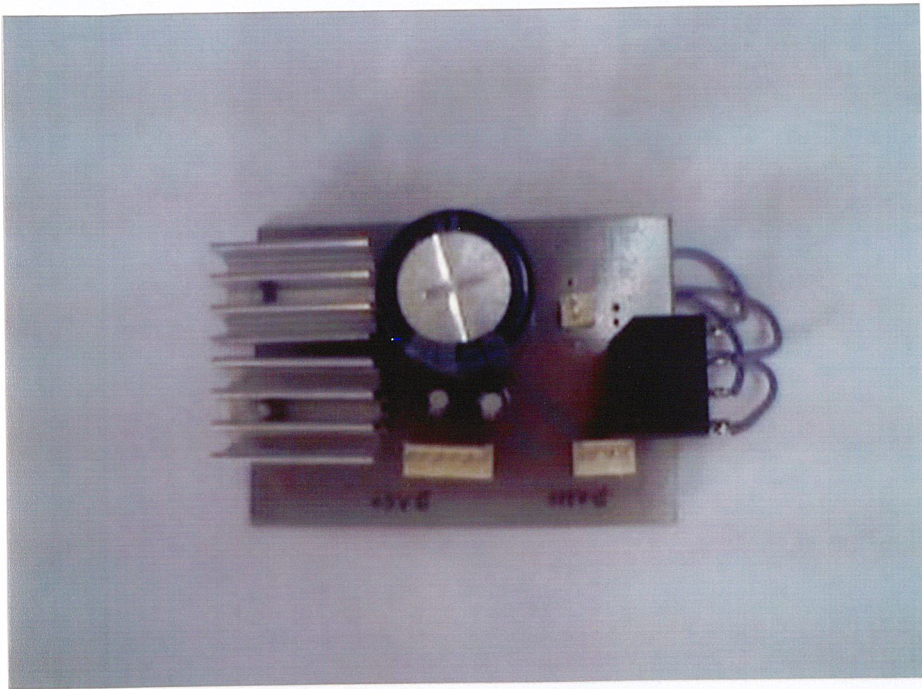
รูปที่ ก.2 ภาพด้านข้างของเครื่องระบบชี้พิกักระนาบ 3 มิติ



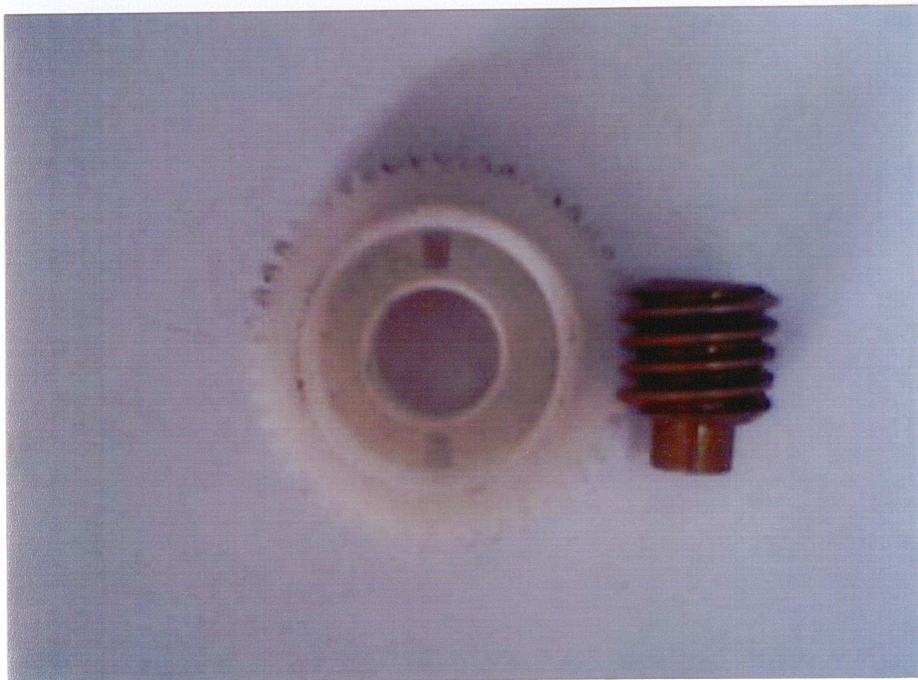
รูปที่ ก.3 ภาพวงจรประมวลผลและวงจรขับสเต็ปมอเตอร์



รูปที่ ก.4 ภาพวงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์

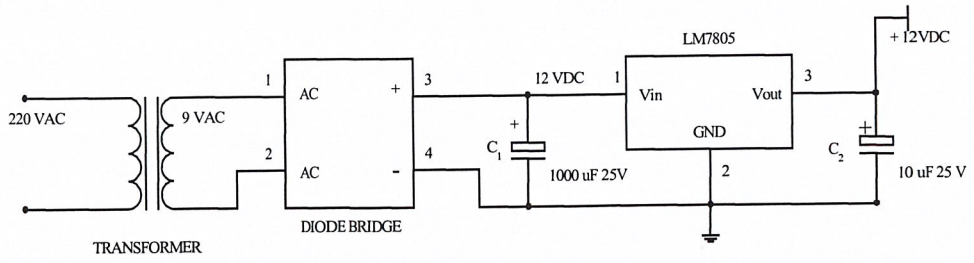


รูปที่ ก.5 ภาพวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

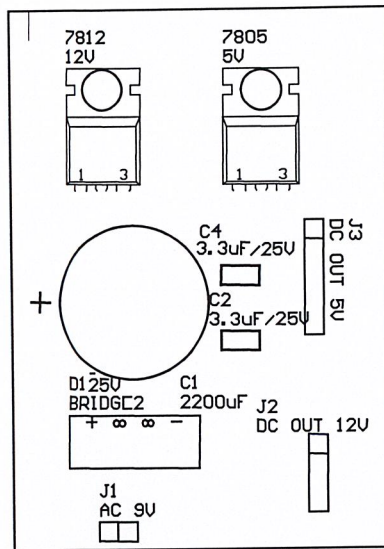


รูปที่ ก.7 ภาพชุดเฟืองหนอน

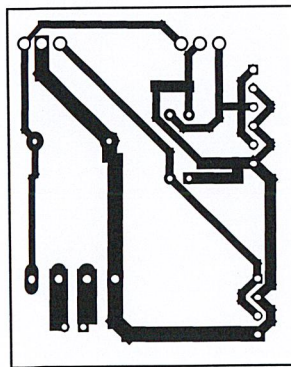
ภาคผนวก ข  
วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์



รูปที่ ข.1 วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

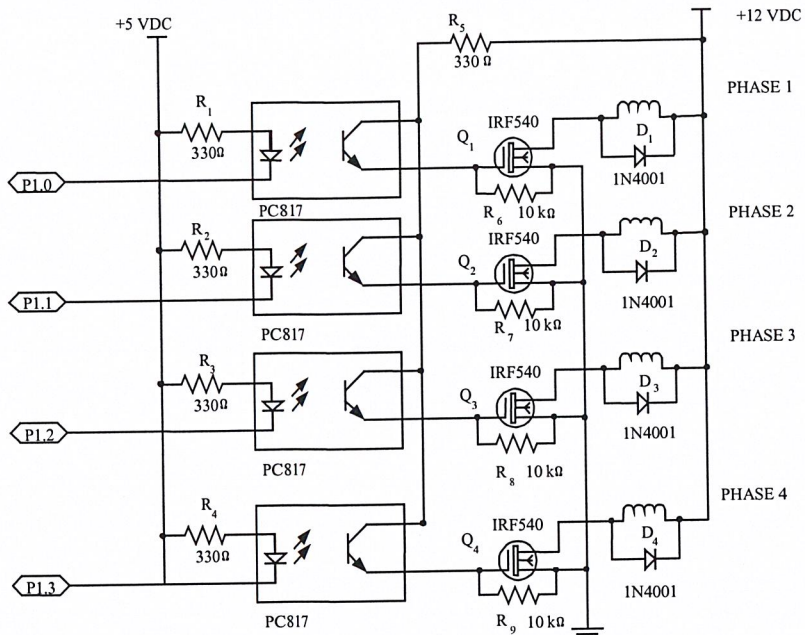


รูปที่ ข.2 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

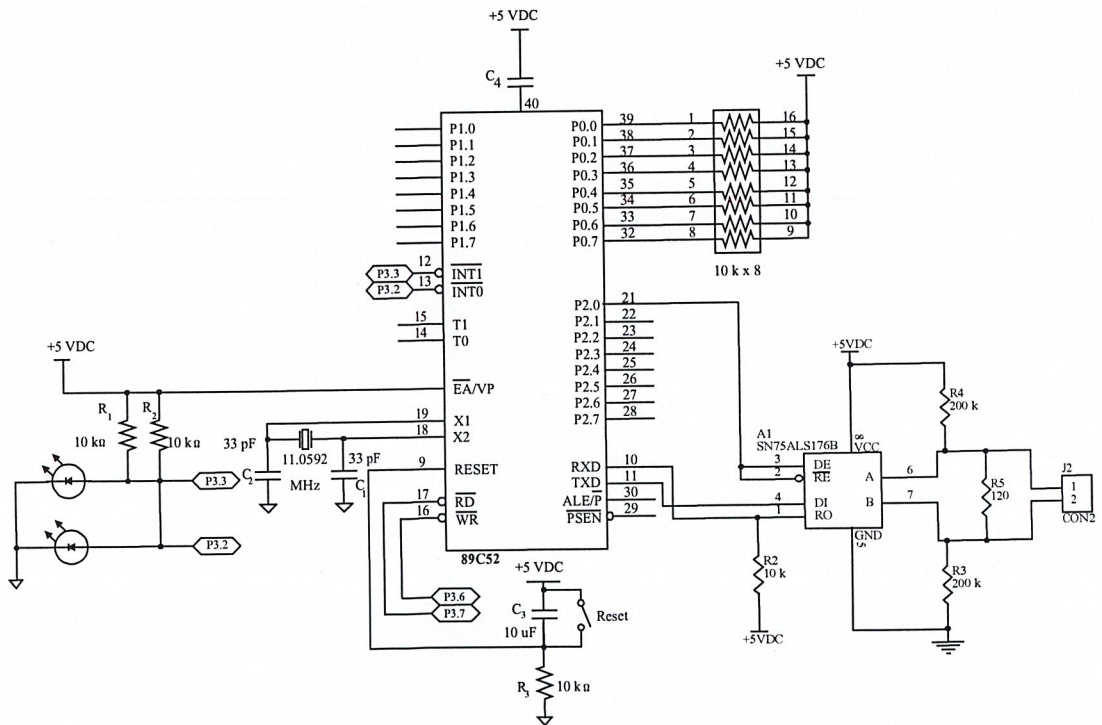


รูปที่ ข.3 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

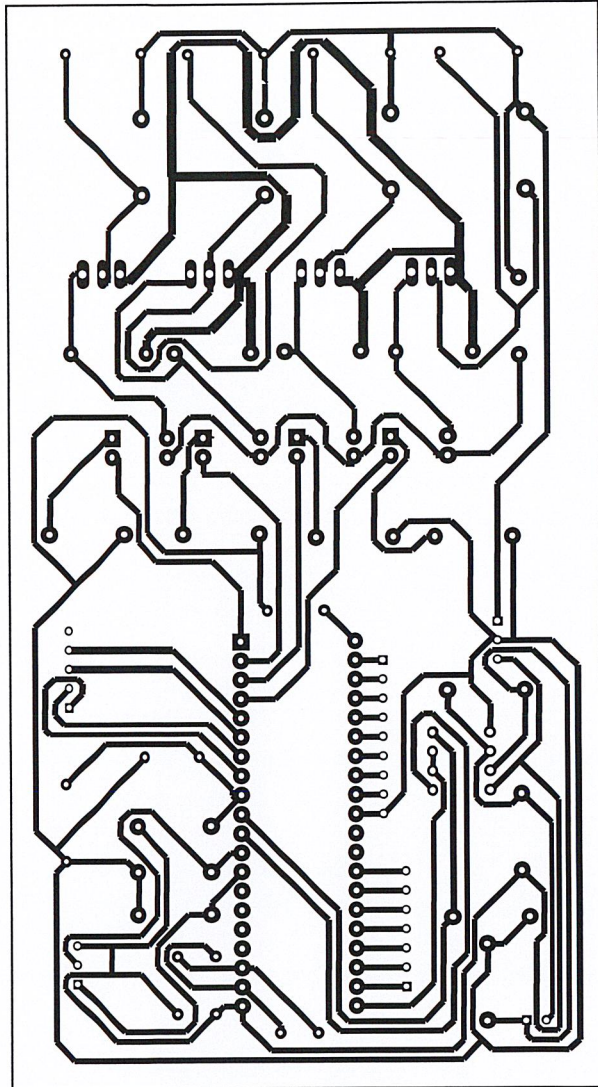




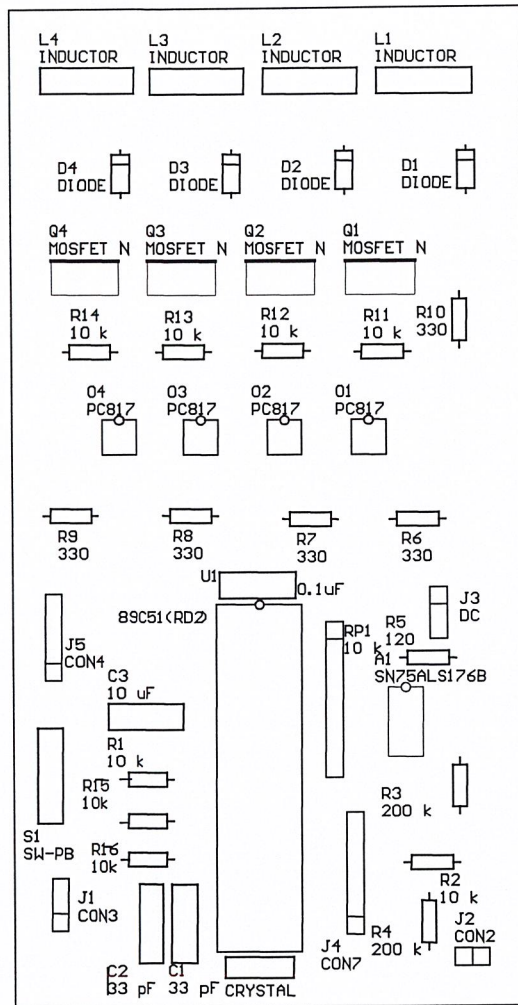
รูปที่ ข.7 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์



รูปที่ ข.8 วงจรประมวลผล



รูปที่ ข.9 แผงวงจรพิมพ์วงจรประมวลผลและวงจรจับสแต็ปปั๊มมอเตอร์



รูป ข.10 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์วงจรประมวลผลและวงจรขับสเต็ปมอเตอร์

ภาคผนวก ค  
รายการอุปกรณ์

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	LM7405 12 V	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1-D4	1N4001	4 ตัว
LED	สีแดง	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	3300 $\mu$ F 25 V	1 ตัว
C2	10 $\mu$ F 25 V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	500 $\Omega$ 1/4 W 5%	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
F1	ฟิวส์	1 ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยพอร์ตอนุกรม

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	MAX232	1 ตัว
IC2	MAX485	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1-C4	10 $\mu$ F 25 V	4 ตัว
C5	0.1 $\mu$ F	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1	connector DB-9	1 ตัว
J2	Connector 4 pin	1 ตัว
J3	Connector 2 pin	1 ตัว

ตารางที่ ก.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
D1-D8	IN4001	8 ตัว
D9	Bridge 10Amp	1 ตัว
D10-D17	PC817	8 ตัว
Q1-Q8	MOSFET IRF540	8 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	3300 $\mu$ F 25 V	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1-R9	330 $\Omega$ 1/4 W 5%	9 ตัว
R10-R17	10 k $\Omega$ 1/4 W 5%	8 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
T1	หม้อแปลง 9 V 3 Amp	1 ตัว

ตารางที่ ก.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรประมวลผล

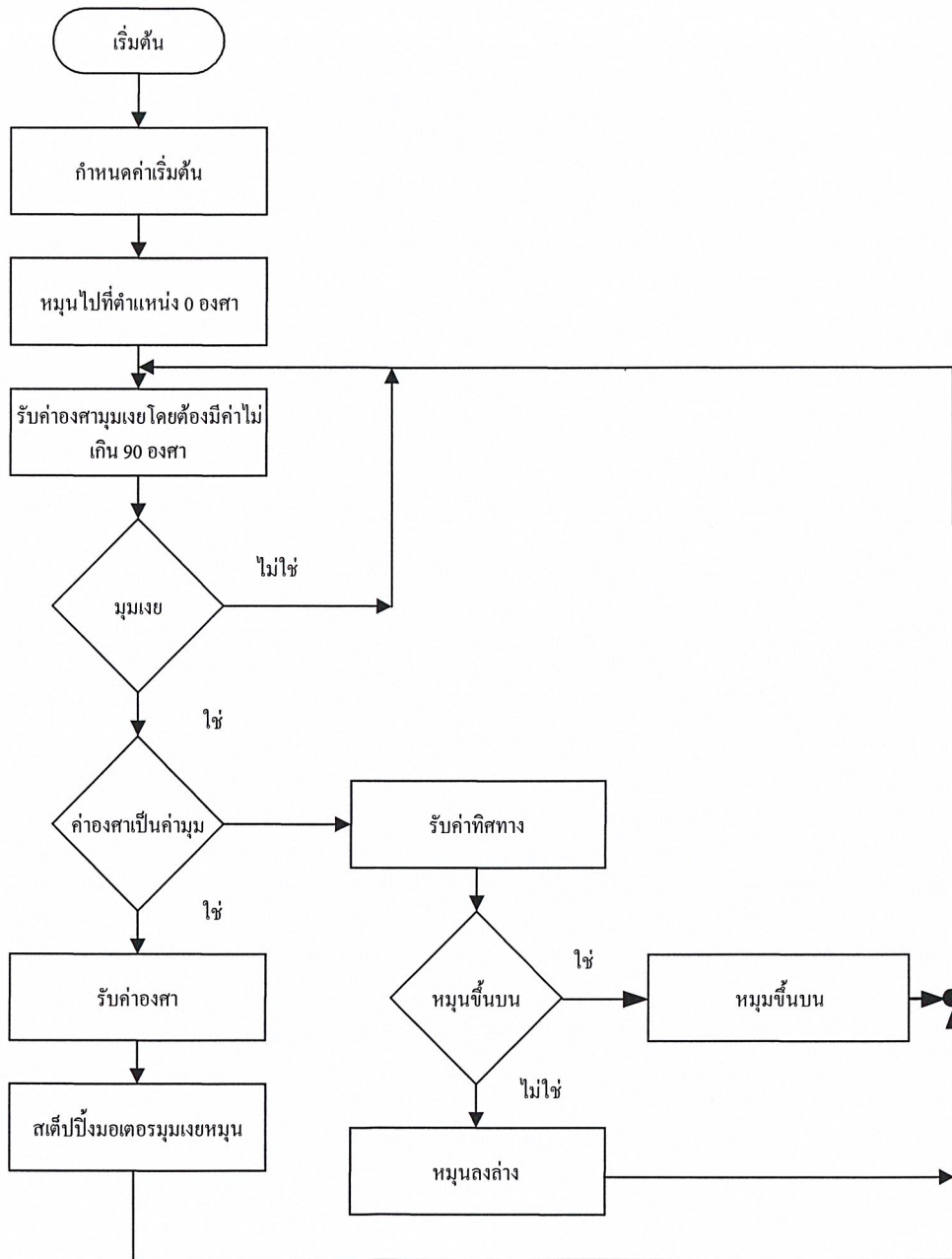
ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	P89C51 RD2 5 V 40 PIN	1 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1-C2	33 pF	2 ตัว
C3	0.1 $\mu$ F	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1-R2	10 k $\Omega$ 1/4 W 5%	2 ตัว
R5-R6	200 k $\Omega$ 1/4 W	4 ตัว
R7	120 k $\Omega$ 1/4 W	2 ตัว
R8	R NETWORK 10 k $\Omega$ 9 PIN	1 ตัว

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรประมวลผล

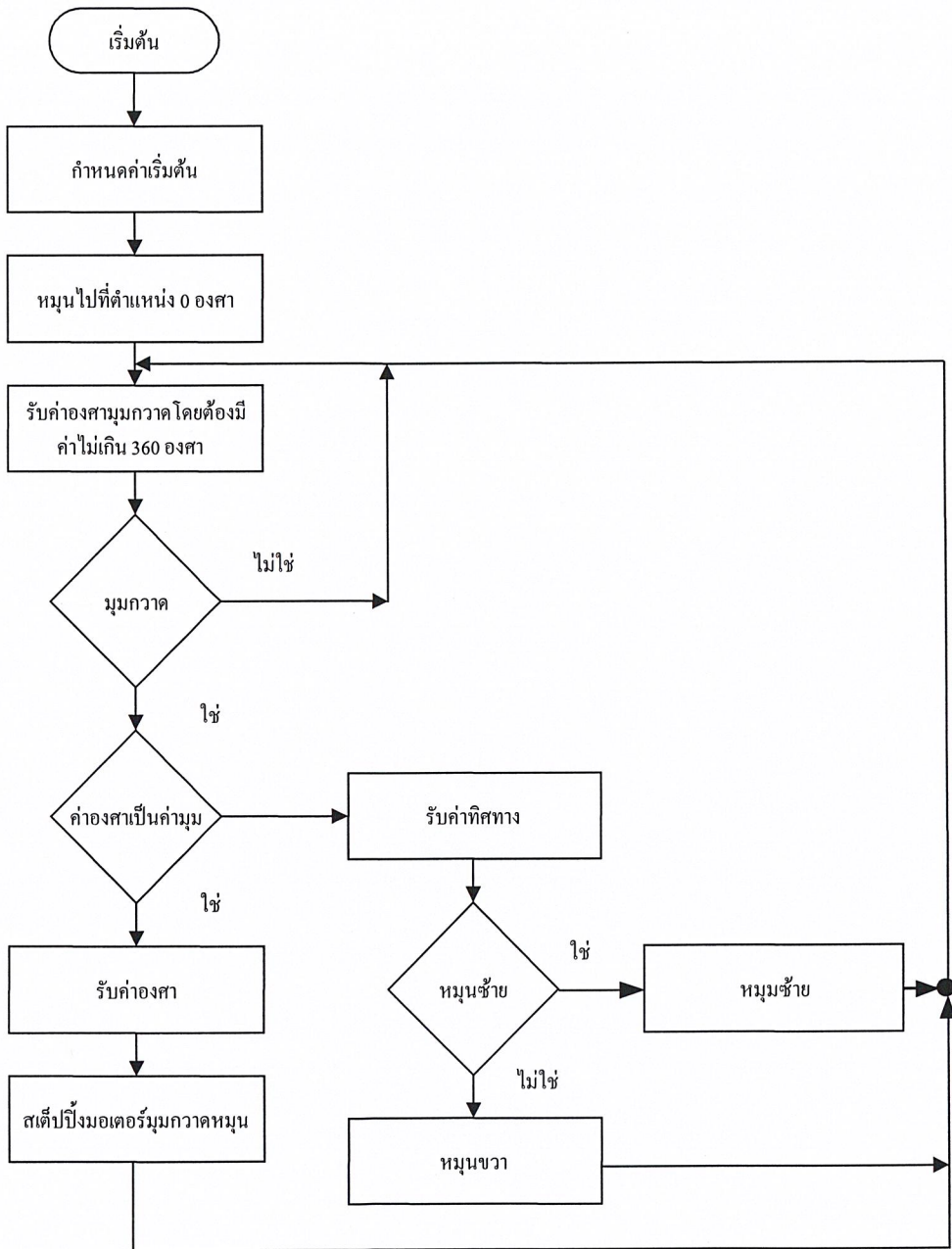
ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1	Connector 2 pin	1 ตัว
X-TAL	11.0592 MHz	1 ตัว

ภาคผนวก ง

แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม



รูปที่ ง.1 ฟังงาน โปรแกรมควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์มุมองศา



รูปที่ ง.2 ฟังงาน โปรแกรมควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์หมุนกวาด

## โปรแกรมคำนวณมุมกวาด มุมเงยเพื่อส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

```

Private Sub Command1_Click()
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.Output = "11" & Text3.Text      'D1 = Device ; D2 =
Auto
    MSComm1.Output = "21" & Text4.Text      'D1 = Device ; D2 =
Auto
    MSComm1.PortOpen = False
End Sub

Private Sub Command2_Click()
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.Output = "221"                  'D1 = Device ; D2 = Manual ; D3 =
UP
    MSComm1.PortOpen = False
    Text2.Text = Text2.Text - 0.0476        'มุมเงย
End Sub

Private Sub Command3_Click()
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.Output = "122"                  'D1 = Device ; D2 = Manual ; D3 =
UP
    MSComm1.PortOpen = False
    Text1.Text = Text1.Text - 0.0476        'มุมกวาด
End Sub

Private Sub Command4_Click()
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.Output = "121"                  'D1 = Device ; D2 = Manual ; D3 =
UP
    MSComm1.PortOpen = False
    Text1.Text = Text1.Text + 0.0476        'มุมกวาด
End Sub

Private Sub Command5_Click()
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.Output = "222"                  'D1 = Device ; D2 = Manual ; D3 =
UP
    MSComm1.PortOpen = False
    Text2.Text = Text2.Text + 0.0476        'มุมเงย
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Text1.Text = 0
    Text2.Text = 0
End Sub

Private Sub Text1_Change()
On Error GoTo err1
    If (Text1.Text <= 360) Then
        Text3.Text = Format((Text1.Text * 10), "0000")
'ตัวคูณมุมกวาด
    Else
        MsgBox "มีค่า ไม่เกิน 360 องศา", vbOKOnly Or vbCritical,

```

```

"àµ×Í¹."
    Text3.Text = "0000"
    Text1.Text = "0"
End If
Exit Sub
err1:
    Text3.Text = "0000"
End Sub

Private Sub Text2_Change()
On Error GoTo err1
    If (Text2.Text <= 90) Then
        Text4.Text = Format((Text2.Text * 11), "0000")    'ตัวคูณ มุม กว้าง
    Else
        MsgBox "ต้อง มีค่า ไม่เกิน 90 องศา", vbOKOnly Or vbCritical,
"àµ×Í¹."
        Text4.Text = "0000"
        Text2.Text = "0"
    End If
Exit Sub
err1:
    Text4.Text = "0000"
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
    Timer1.Enabled = False
End Sub

```

## โปรแกรมขับสตีปิ้งมอเตอร์มุมเงย

```

#include <reg52.h>
#include <absacc.h>
#include <intrins.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

sbit  PH0  = P1^0;
sbit  PH1  = P1^1;
sbit  PH2  = P1^2;
sbit  PH3  = P1^3;
sbit  chk  = P2^0;
sbit  limit= P3^2;

//unsigned char data
r_state[8]={0x08,0x0c,0x04,0x06,0x02,0x03,0x01,0x09};
           // STATUS WELL
//unsigned char data
l_state[8]={0x09,0x01,0x03,0x02,0x06,0x04,0x0c,0x08};
           // STATUS WELL
unsigned char data r_state[4]={0x08,0x04,0x02,0x01};
           // STATUS WELL
unsigned char data l_state[4]={0x01,0x02,0x04,0x08};
           // STATUS WELL
unsigned char tmp,i,state[2],direct,din[5];

void dmsec (unsigned int count)
{
    /* Delay mSec */
    unsigned char i;
    while (count)
    {
        for (i=1;i<=228;i++);
        count--;
    }
}

/***** MAIN *****/
void main (void)
{
    unsigned char tmp,i,state[2],direct,din[5];
    int step,j;
    SCON = 0x52;
    TMOD = 0x20;
    TH1 = 0xfa;
    TR1 = 1;
    dmsec(100);
//    chk=0;
    j=0;
    for(j=0;limit==1;j++)
    {
        tmp=P1&0xf0;
        P1=tmp|l_state[j%4];
        dmsec(15);
    }
}

```

```

P1=P1|0x0f;
while(1)
{
    for(i=0;i<2;i++)
        state[i]=getchar();
    if(state[0]=='2')           //Device
    {
        if(state[1]=='1')
        {
            for(i=0;i<4;i++)
                din[i]=getchar();
            din[4]='\0';
            for(j=0;limit==1;j++)
            {
                tmp=P1&0xf0;
                P1=tmp|l_state[j%4];
                dmsec(15);
            }
            step=atoi(din);
            for(j=0;j<step;j++)
            {
                tmp=P1&0xf0;
                P1=tmp|r_state[j%4];
                dmsec(30);
            }
            P1=P1|0x0f;
        }
        else
        {
            direct=getchar();
            if(direct=='1')
                P1=(P1&0xf0)|r_state[j%4];
            if(limit==1)
                if(direct=='2')
                    P1=(P1&0xf0)|l_state[j%4];
            j++;
        }
    }
    else
    {
        if(state[1]=='1')
            for(i=0;i<4;i++)
                getchar();
        else
            getchar();
    }
}
}

```

## โปรแกรมขับสแต็ปิ่งมอเตอร์มุกวาด

```

#include <reg52.h>
#include <absacc.h>
#include <intrins.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

sbit    PH0  = P1^0;
sbit    PH1  = P1^1;
sbit    PH2  = P1^2;
sbit    PH3  = P1^3;
sbit    chk  = P2^0;
sbit    limit= P3^2;

//unsigned char data
r_state[8]={0x08,0x0c,0x04,0x06,0x02,0x03,0x01,0x09};
           //    STATUS WELL
//unsigned char data
l_state[8]={0x09,0x01,0x03,0x02,0x06,0x04,0x0c,0x08};
           //    STATUS WELL
unsigned char data r_state[4]={0x08,0x04,0x02,0x01};
           //    STATUS WELL
unsigned char data l_state[4]={0x01,0x02,0x04,0x08};
           //    STATUS WELL
unsigned char tmp,i,state[2],direct,din[5];
int step,j;

void dmsec (unsigned int count)
{
    /* Delay mSec */
    unsigned char i;
    while (count)
    {
        for (i=1;i<=228;i++);
        count--;
    }
}

/***** MAIN *****/
void main (void)
{
    SCON = 0x52;
    TMOD = 0x20;
    TH1 = 0xfa;
    TR1 = 1;
    dmsec(100);
//    chk=0;
    j=0;
    for(j=0;limit==1;j++)
    {
        tmp=P1&0xf0;
        P1=tmp|l_state[j%4];
        dmsec(15);
    }
    P1=P1|0x0f;
}

```

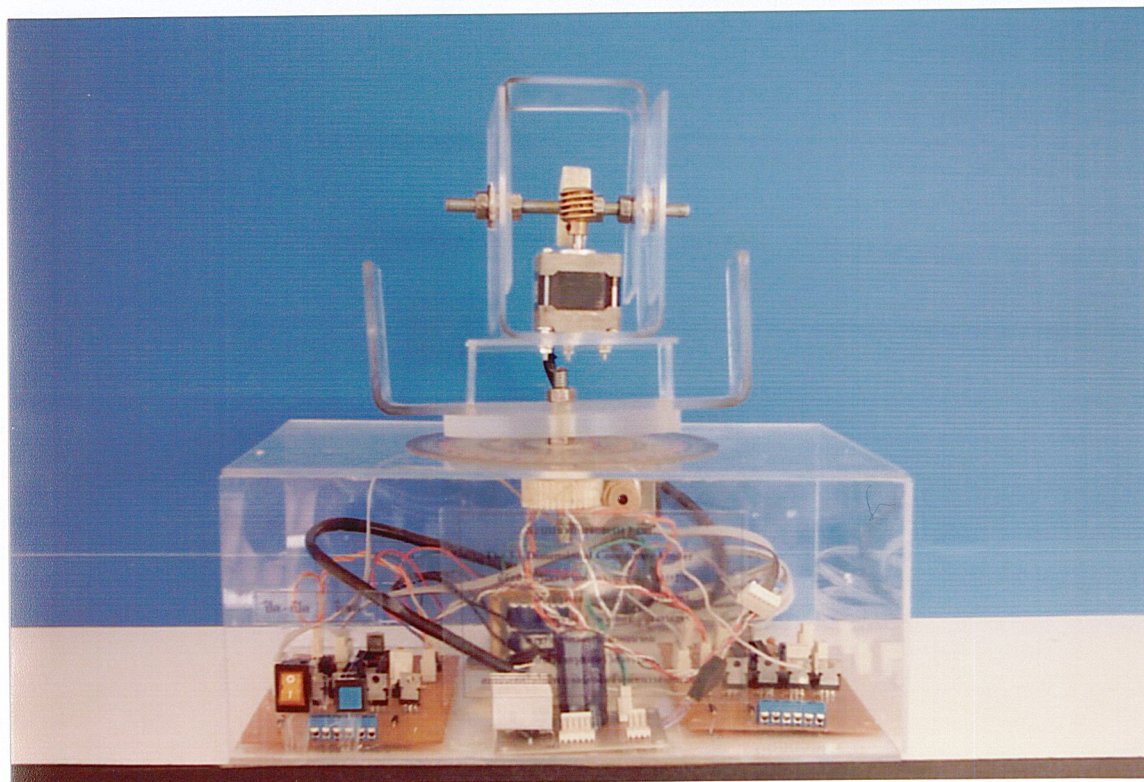
```

while(1)
{
    for(i=0;i<2;i++)
        state[i]=getchar();
    if(state[0]=='1')
    {
        if(state[1]=='1')
        {
            for(i=0;i<4;i++)
                din[i]=getchar();
            din[4]='\0';
            for(i=0;i<6;i++)
                getchar();
            step=atoi(din);
            for(j=0;limit==1;j++)
            {
                tmp=P1&0xf0;
                P1=tmp|l_state[j%4];
                dmsec(15);
            }
            for(j=0;j<step;j++)
            {
                tmp=P1&0xf0;
                P1=tmp|r_state[j%4];
                dmsec(30);
            }
            P1=P1|0x0f;
        }
        else
        {
            direct=getchar();
            if(direct=='1')
                P1=(P1&0xf0)|r_state[j%4];
            if(limit==1)
                if(direct=='2')
                    P1=(P1&0xf0)|l_state[j%4];
            j++;
        }
    }
    else
    {
        if(state[1]=='1')
            for(i=0;i<4;i++)
                getchar();
        else
            getchar();
    }
}
}

```

ภาคผนวก จ  
คู่มือการใช้งาน

คู่มือการใช้งาน  
ระบบชี้พิกัดระนาบ 3 มิติ

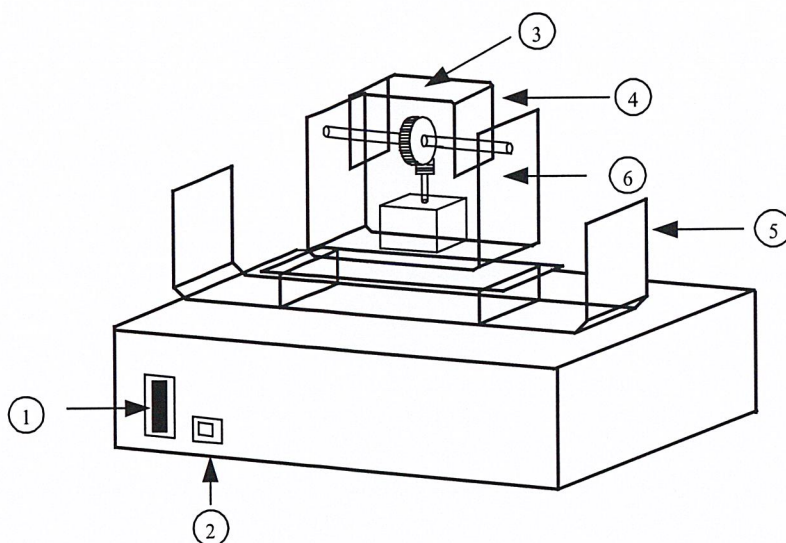


สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2545

## 1. คำแนะนำเบื้องต้น

การใช้งานระบบซีพีกัดระนาบ 3 มิติ ควรทำการศึกษาคู่มือการใช้งานเพื่อให้เข้าใจ อีกทั้งมีลักษณะการใช้งานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนต่อการใช้งาน เพื่อผลที่ได้มีความถูกต้องและเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับตัวเครื่องระบบซีพีกัดระนาบ 3 มิติ

## 2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องระบบซีพีกัดระนาบ 3 มิติ

จากรูปที่ จ.1 มีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ปุ่มเปิด - ปิด
2. ปุ่มรีเซต
3. จุดติดตั้งอุปกรณ์ (เลเซอร์พอยเตอร์)
4. มุมเงย
5. มุมกวาด
6. อุปกรณ์ตรวจสอบจุดเริ่มต้น

### 3. การติดตั้งและการใช้งาน

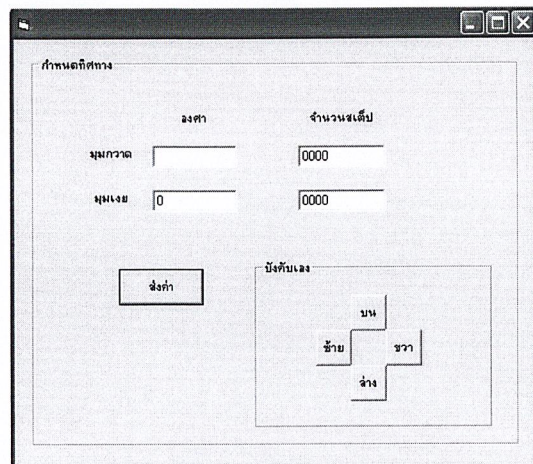
3.1 หาพื้นที่สำหรับติดตั้ง โดยมีลักษณะเป็นพื้นที่เรียบ ไม่ขรุขระเพื่อป้องกันความผิดพลาด

3.2 ติดตั้งอุปกรณ์พอร์ตอนุกรมเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

3.3 เมื่อเปิดเครื่องตัวเครื่องจะทำงานที่ตำแหน่งเริ่มต้น

3.4 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ ดับเบิลคลิกที่ไอคอนชื่อ 3D ที่หน้าจอ แสดงหน้าจอโปรแกรม

3D ดังรูปที่ จ.2



รูปที่ จ.2 หน้าจอ โปรแกรมควบคุมระบบชี้พิกัดระยะนาบ 3 มิติ

3.5 สามารถสั่งงานในระบบพิกัดทรงกลม

3.6 เมื่อใส่ค่าตำแหน่งที่ต้องการลงบนจอคอมพิวเตอร์ แสดงผลประกอบแต่ละขั้นตอน

- ใส่ค่ามุมกวาดที่ต้องการ

- ใส่ค่ามุมเงยที่ต้องการ

3.7 ใส่ค่าตามที่ต้องการแล้ว คลิกที่ตำแหน่ง “ส่งค่า”

3.8 เมื่อใส่ตำแหน่งที่ต้องการเครื่องจะทำการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งนั้นๆ สามารถแสดงค่าองศาที่เป็นจริงที่หน้าจอแสดงผลด้วยและแสดงจำนวนสเต็ปมอเตอร์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์

3.9 สามารถเลือกคลิกที่ตำแหน่งบน ล่าง ซ้าย ขวาได้ตามต้องการ ทำการคลิกที่ตำแหน่งนั้นค้างไว้เมื่อได้องศาตามที่ต้องการจึงปล่อย

3.10 เมื่อไม่ใช้งานให้ปิดสวิทช์ก่อนแล้วถอดสายต่างๆ ที่ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์

#### 4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ สามารถตรวจสอบแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นจากตารางข้างล่างนี้

อาการ	สาเหตุและหรือวิธีแก้ไข
จอภาพไม่ติด, เครื่องไม่หมุนมายังตำแหน่งเริ่มต้น	ตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง, ฟิวส์, ไม่ได้เปิดสวิตช์กำลังที่หน้าเครื่อง, รีเซตเครื่องระบบซีพีกักระนาบ 3 มิติ
ตัวเครื่องไม่มีการตอบสนองกับคำสั่ง	ตรวจสอบบริเวณที่เลือกรายการว่าติดต่อกับเครื่องในลักษณะใดข้อ 3.2 ว่าอุปกรณ์เชื่อมต่ออาจหลวม

#### 5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

##### 5.1 การดูแลรักษา

- ถอดอุปกรณ์เชื่อมต่อออกจากตัวเครื่องทุกครั้งที่ใช้งานเสร็จ
- เช็ดทำความสะอาดตัวเครื่องด้วยผ้านุ่ม อย่าใช้สารใดๆ ที่เป็นตัวทำละลายเพราะอาจเกิดความเสียหายกับตัวเครื่องได้

##### 5.2 ข้อควรระวัง

- ไม่ควรติดตั้งตัวเครื่องในบริเวณพื้นที่ขรุขระ
- ไม่ควรใช้งานในที่โล่งขณะที่ฝนตก
- ไม่ควรเสียบปลั๊กไฟทิ้งไว้เมื่อไม่ได้ใช้งาน
- ไม่ควรตั้งทิ้งไว้ในที่โล่งแจ้งมีแสงแดดเป็นเวลานานๆ
- ก่อนทำการติดตั้งทุกครั้งต้องทำการปรับระดับก่อน

#### 6. ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
หน่วยรับข้อมูล	คอมพิวเตอร์
หน่วยประมวลผล	คอมพิวเตอร์ประมวลผลสั่งงานไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์
การรับส่งข้อมูล	พอร์ตอนุกรม RS-232C DB-9

คุณสมบัติ	รายละเอียด
ส่วนแสดงผล	หน้าจอคอมพิวเตอร์
แหล่งจ่ายพลังงาน	ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50-60 เฮิร์ตซ์

ภาคผนวก ง

รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

# DATA SHEET

**P89C51RB2/P89C51RC2/P89C51RD2**  
**80C51 8-bit Flash microcontroller family**  
16KB/32KB/64KB ISP/IAP Flash with 512B/512B/1KB RAM

Preliminary specification  
Supersedes data of 2000 Jul 31  
IC28 Data Handbook

2000 Aug 21



**80C51 8-bit Flash microcontroller family**  
**16KB/32KB/64KB ISP/IAP Flash with 512B/512B/1KB RAM**
**P89C51RB2/P89C51RC2/  
P89C51RD2**
**DESCRIPTION**

The P89C51RB2/RC2/RD2 device contains a non-volatile 16kB/32kB/64kB Flash program memory that is both parallel programmable and serial In-System and In-Application Programmable. In-System Programming (ISP) allows the user to download new code while the microcontroller sits in the application. In-Application Programming (IAP) means that the microcontroller fetches new program code and reprograms itself while in the system. This allows for remote programming over a modem link. A default serial loader (boot loader) program in ROM allows serial In-System programming of the Flash memory via the UART without the need for a loader in the Flash code. For In-Application Programming, the user program erases and reprograms the Flash memory by use of standard routines contained in ROM.

This device executes one machine cycle in 6 clock cycles, hence providing twice the speed of a conventional 80C51. An OTP configuration bit lets the user select conventional 12 clock timing if desired.

This device is a Single-Chip 8-Bit Microcontroller manufactured in advanced CMOS process and is a derivative of the 80C51 microcontroller family. The instruction set is 100% compatible with the 80C51 instruction set.

The device also has four 8-bit I/O ports, three 16-bit timer/event counters, a multi-source, four-priority-level, nested interrupt structure, an enhanced UART and on-chip oscillator and timing circuits.

The added features of the P89C51RB2/RC2/RD2 makes it a powerful microcontroller for applications that require pulse width modulation, high-speed I/O and up/down counting capabilities such as motor control.

**FEATURES**

- 80C51 Central Processing Unit
- On-chip Flash Program Memory with In-System Programming (ISP) and In-Application Programming (IAP) capability
- Boot ROM contains low level Flash programming routines for downloading via the UART
- Can be programmed by the end-user application (IAP)
- 6 clocks per machine cycle operation (standard)
- 12 clocks per machine cycle operation (optional)
- Speed up to 20 MHz with 6 clock cycles per machine cycle (40 MHz equivalent performance); up to 33 MHz with 12 clocks per machine cycle
- Fully static operation
- RAM expandable externally to 64 kB
- 4 level priority interrupt
- 7 interrupt sources
- Four 8-bit I/O ports
- Full-duplex enhanced UART
  - Framing error detection
  - Automatic address recognition
- Power control modes
  - Clock can be stopped and resumed
  - Idle mode
  - Power down mode
- Programmable clock out
- Second DPTR register
- Asynchronous port reset
- Low EMI (inhibit ALE)
- Programmable Counter Array (PCA)
  - PWM
  - Capture/compare

80C51 8-bit Flash microcontroller family  
16KB/32KB/64KB ISP/IAP Flash with 512B/512B/1KB RAM

P89C51RB2/P89C51RC2/  
P89C51RD2

## ORDERING INFORMATION

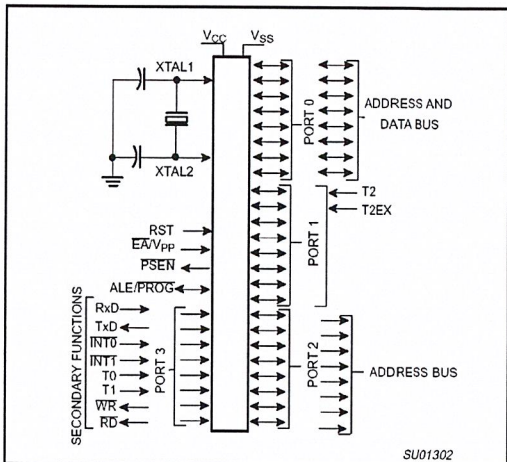
	PHILIPS (EXCEPT NORTH AMERICA) PART ORDER NUMBER PART MARKING	PHILIPS NORTH AMERICA PART ORDER NUMBER	MEMORY		TEMPERATURE RANGE (°C) AND PACKAGE	VOLTAGE RANGE	FREQUENCY (MHz)		DWG #
			FLASH	RAM			6 CLOCK MODE	12 CLOCK MODE	
1	P89C51RB2HBA	P89C51RB2BA	16 kB	512 B	0 to +70, PLCC	4.5–5.5 V	0 to 20 MHz	0 to 33 MHz	SOT187-2
2	P89C51RB2HBBD	P89C51RB2BBD	16 kB	512 B	0 to +70, LQFP	4.5–5.5 V	0 to 20 MHz	0 to 33 MHz	SOT389-1
3	P89C51RC2HBP	P89C51RC2BP	32 kB	512 B	0 to +70, PDIP	4.5–5.5 V	0 to 20 MHz	0 to 33 MHz	SOT129-1
4	P89C51RC2HBA	P89C51RC2BA	32 kB	512 B	0 to +70, PLCC	4.5–5.5 V	0 to 20 MHz	0 to 33 MHz	SOT187-2
5	P89C51RC2HFA	P89C51RC2FA	32 kB	512 B	–40 to +85, PLCC	4.5–5.5 V	0 to 20 MHz	0 to 33 MHz	SOT187-2
6	P89C51RC2HBBD	P89C51RC2BBD	32 kB	512 B	0 to +70, LQFP	4.5–5.5 V	0 to 20 MHz	0 to 33 MHz	SOT389-1
7	P89C51RC2HFBD	P89C51RC2FBD	32 kB	512 B	–40 to +85, LQFP	4.5–5.5 V	0 to 20 MHz	0 to 33 MHz	SOT389-1
8	P89C51RD2HBP	P89C51RD2BP	64 kB	1 kB	0 to +70, PDIP	4.5–5.5 V	0 to 20 MHz	0 to 33 MHz	SOT129-1
9	P89C51RD2HBA	P89C51RD2BA	64 kB	1 kB	0 to +70, PLCC	4.5–5.5 V	0 to 20 MHz	0 to 33 MHz	SOT187-2
10	P89C51RD2HBBD	P89C51RD2BBD	64 kB	1 kB	0 to +70, LQFP	4.5–5.5 V	0 to 20 MHz	0 to 33 MHz	SOT389-1



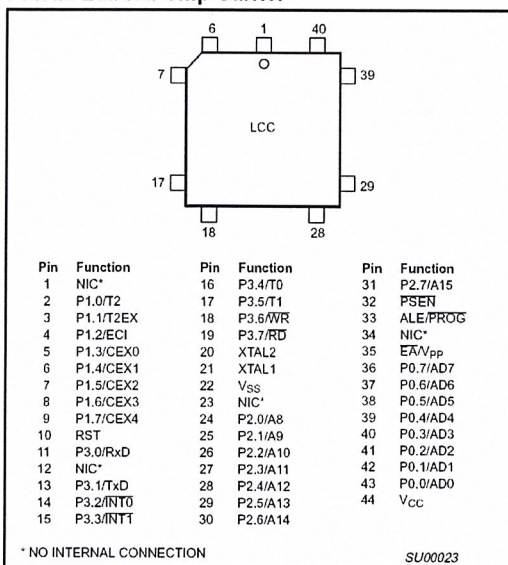
80C51 8-bit Flash microcontroller family  
16KB/32KB/64KB ISP/IAP Flash with 512B/512B/1KB RAM

P89C51RB2/P89C51RC2/  
P89C51RD2

LOGIC SYMBOL

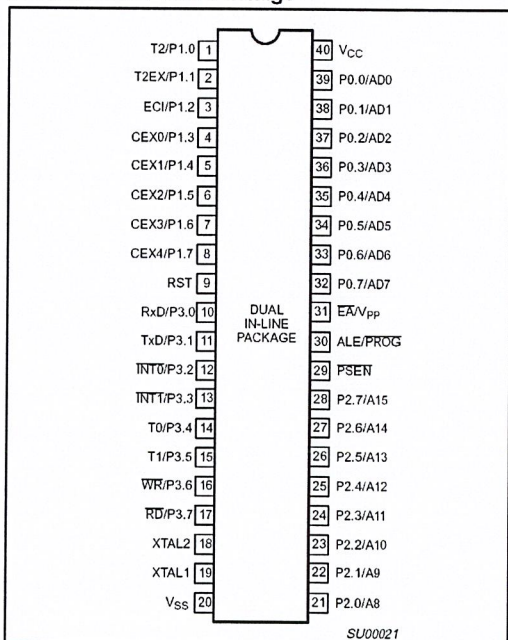


Plastic Leaded Chip Carrier

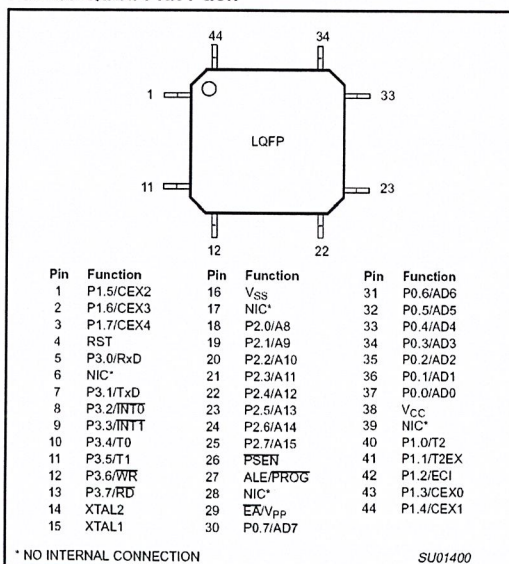


PINNING

Plastic Dual In-Line Package



Plastic Quad Flat Pack



80C51 8-bit Flash microcontroller family  
16KB/32KB/64KB ISP/IAP Flash with 512B/512B/1KB RAM

P89C51RB2/P89C51RC2/  
P89C51RD2

## PIN DESCRIPTIONS

MNEMONIC	PIN NUMBER			TYPE	NAME AND FUNCTION					
	PDIP	PLCC	LQFP							
V <sub>SS</sub>	20	22	16	I	Ground: 0 V reference.					
V <sub>CC</sub>	40	44	38	I	<b>Power Supply:</b> This is the power supply voltage for normal, idle, and power-down operation.					
P0.0–0.7	39–32	43–36	37–30	I/O	<b>Port 0:</b> Port 0 is an open-drain, bidirectional I/O port. Port 0 pins that have 1s written to them float and can be used as high-impedance inputs. Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external program and data memory. In this application, it uses strong internal pull-ups when emitting 1s.					
P1.0–P1.7	1–8	2–9	40–44, 1–3	I/O	<b>Port 1:</b> Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups on all pins except P1.6 and P1.7 which are open drain. Port 1 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, port 1 pins that are externally pulled low will source current because of the internal pull-ups. (See DC Electrical Characteristics: I <sub>IL</sub> ).					
	1	2	40	I/O	Alternate functions for 89C51RB2/RC2/RD2 Port 1 include: <b>T2 (P1.0):</b> Timer/Counter 2 external count input/Clockout (see Programmable Clock-Out)					
	2	3	41	I	<b>T2EX (P1.1):</b> Timer/Counter 2 Reload/Capture/Direction Control					
	3	4	42	I	<b>ECI (P1.2):</b> External Clock Input to the PCA					
	4	5	43	I/O	<b>CEX0 (P1.3):</b> Capture/Compare External I/O for PCA module 0					
	5	6	44	I/O	<b>CEX1 (P1.4):</b> Capture/Compare External I/O for PCA module 1					
	6	7	1	I/O	<b>CEX2 (P1.5):</b> Capture/Compare External I/O for PCA module 2					
	7	8	2	I/O	<b>CEX3 (P1.6):</b> Capture/Compare External I/O for PCA module 3					
P2.0–P2.7	21–28	24–31	18–25	I/O	<b>Port 2:</b> Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. Port 2 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, port 2 pins that are externally being pulled low will source current because of the internal pull-ups. (See DC Electrical Characteristics: I <sub>IL</sub> ). Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @DPTR). In this application, it uses strong internal pull-ups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOV @Ri), port 2 emits the contents of the P2 special function register. P2.7 must be a "1" to program and erase the device.					
P3.0–P3.7	10–17	11, 13–19	5, 7–13	I/O	<b>Port 3:</b> Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. Port 3 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, port 3 pins that are externally being pulled low will source current because of the pull-ups. (See DC Electrical Characteristics: I <sub>IL</sub> ). Port 3 also serves the special features of the 89C51RB2/RC2/RD2, as listed below:					
					10	11	5	I	<b>RxD (P3.0):</b> Serial input port	
					11	13	7	O	<b>TxD (P3.1):</b> Serial output port	
					12	14	8	I	<b>INT0 (P3.2):</b> External interrupt	
					13	15	9	I	<b>INT1 (P3.3):</b> External interrupt	
					14	16	10	I	<b>T0 (P3.4):</b> Timer 0 external input	
					15	17	11	I	<b>T1 (P3.5):</b> Timer 1 external input	
					16	18	12	O	<b>WR (P3.6):</b> External data memory write strobe	
					17	19	13	O	<b>RD (P3.7):</b> External data memory read strobe	
					RST	9	10	4	I	<b>Reset:</b> A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running, resets the device. An internal resistor to V <sub>SS</sub> permits a power-on reset using only an external capacitor to V <sub>CC</sub> .
					ALE	30	33	27	O	<b>Address Latch Enable:</b> Output pulse for latching the low byte of the address during an access to external memory. In normal operation, ALE is emitted twice every machine cycle, and can be used for external timing or clocking. Note that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory. ALE can be disabled by setting SFR auxiliary.0. With this bit set, ALE will be active only during a MOVX instruction.

80C51 8-bit Flash microcontroller family  
16KB/32KB/64KB ISP/IAP Flash with 512B/512B/1KB RAM

P89C51RB2/P89C51RC2/  
P89C51RD2

MNEMONIC	PIN NUMBER			TYPE	NAME AND FUNCTION
	PDIP	PLCC	LQFP		
PSEN	29	32	26	O	<b>Program Store Enable:</b> The read strobe to external program memory. When executing code from the external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory. PSEN is not activated during fetches from internal program memory.
$\overline{EA}/V_{PP}$	31	35	29	I	<b>External Access Enable/Programming Supply Voltage:</b> $\overline{EA}$ must be externally held low to enable the device to fetch code from external program memory locations. If $\overline{EA}$ is held high, the device executes from internal program memory. The value on the $\overline{EA}$ pin is latched when RST is released and any subsequent changes have no effect. This pin also receives the programming supply voltage ( $V_{PP}$ ) during Flash programming.
XTAL1	19	21	15	I	<b>Crystal 1:</b> Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock generator circuits.
XTAL2	18	20	14	O	<b>Crystal 2:</b> Output from the inverting oscillator amplifier.

**NOTE:**

To avoid "latch-up" effect at power-on, the voltage on any pin (other than  $V_{PP}$ ) must not be higher than  $V_{CC} + 0.5$  V or less than  $V_{SS} - 0.5$  V.

80C51 8-bit Flash microcontroller family  
16KB/32KB/64KB ISP/IAP Flash with 512B/512B/1KB RAM

P89C51RB2/P89C51RC2/  
P89C51RD2

Table 1. Special Function Registers

SYMBOL	DESCRIPTION	DIRECT ADDRESS	BIT ADDRESS, SYMBOL, OR ALTERNATIVE PORT FUNCTION								RESET VALUE
			MSB				LSB				
ACC*	Accumulator	E0H	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0	00H
AUXR#	Auxiliary	8EH	-	-	-	-	-	-	EXTRAM	AO	xxxxxx00B
AUXR1#	Auxiliary 1	A2H	-	-	ENBOOT	-	GF2	0	-	DPS	xxxxxx00B
B*	B register	F0H	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0	00H
CCAP0H#	Module 0 Capture High	FAH									xxxxxxxB
CCAP1H#	Module 1 Capture High	FBH									xxxxxxxB
CCAP2H#	Module 2 Capture High	FCH									xxxxxxxB
CCAP3H#	Module 3 Capture High	FDH									xxxxxxxB
CCAP4H#	Module 4 Capture High	FEH									xxxxxxxB
CCAP0L#	Module 0 Capture Low	EAH									xxxxxxxB
CCAP1L#	Module 1 Capture Low	EBH									xxxxxxxB
CCAP2L#	Module 2 Capture Low	ECH									xxxxxxxB
CCAP3L#	Module 3 Capture Low	EDH									xxxxxxxB
CCAP4L#	Module 4 Capture Low	EEH									xxxxxxxB
CCAPM0#	Module 0 Mode	DAH	-	ECOM	CAPP	CAPN	MAT	TOG	PWM	ECCF	x0000000B
CCAPM1#	Module 1 Mode	DBH	-	ECOM	CAPP	CAPN	MAT	TOG	PWM	ECCF	x0000000B
CCAPM2#	Module 2 Mode	DCH	-	ECOM	CAPP	CAPN	MAT	TOG	PWM	ECCF	x0000000B
CCAPM3#	Module 3 Mode	DDH	-	ECOM	CAPP	CAPN	MAT	TOG	PWM	ECCF	x0000000B
CCAPM4#	Module 4 Mode	DEH	-	ECOM	CAPP	CAPN	MAT	TOG	PWM	ECCF	x0000000B
			DF	DE	DD	DC	DB	DA	D9	D8	
CCON*#	PCA Counter Control	D8H	CF	CR	-	CCF4	CCF3	CCF2	CCF1	CCF0	00x00000B
CH#	PCA Counter High	F9H									00H
CL#	PCA Counter Low	E9H									00H
CMOD#	PCA Counter Mode	D9H	CIDL	WDTE	-	-	-	CPS1	CPS0	ECF	00xxx000B
DPTR:	Data Pointer (2 bytes)										
DPH	Data Pointer High	83H									00H
DPL	Data Pointer Low	82H									00H
			AF	AE	AD	AC	AB	AA	A9	A8	
IE*	Interrupt Enable 0	A8H	EA	EC	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0	00H
			BF	BE	BD	BC	BB	BA	B9	B8	
IP*	Interrupt Priority	B8H	-	PPC	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0	x0000000B
			B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	
IPH#	Interrupt Priority High	B7H	-	PPCH	PT2H	PSH	PT1H	PX1H	PT0H	PX0H	x0000000B
			87	86	85	84	83	82	81	80	
P0*	Port 0	80H	AD7	AD6	AD5	AD4	AD3	AD2	AD1	AD0	FFH
			97	96	95	94	93	92	91	90	
P1*	Port 1	90H	CEX4	CEX3	CEX2	CEX1	CEX0	ECl	T2EX	T2	FFH
			A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	
P2*	Port 2	A0H	AD15	AD14	AD13	AD12	AD11	AD10	AD9	AD8	FFH
			B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	
P3*	Port 3	B0H	R $\bar{D}$	WR	T1	T0	INT $\bar{1}$	INT $\bar{0}$	TxD	RxD	FFH
PCON#1	Power Control	87H	SMOD1	SMOD0	-	POF	GF1	GF0	PD	IDL	00xxx000B

\* SFRs are bit addressable.

# SFRs are modified from or added to the 80C51 SFRs.

- Reserved bits.

1. Reset value depends on reset source.

80C51 8-bit Flash microcontroller family  
16KB/32KB/64KB ISP/IAP Flash with 512B/512B/1KB RAM

P89C51RB2/P89C51RC2/  
P89C51RD2

Table 1. Special Function Registers (Continued)

SYMBOL	DESCRIPTION	DIRECT ADDRESS	BIT ADDRESS, SYMBOL, OR ALTERNATIVE PORT FUNCTION								RESET VALUE
			MSB				LSB				
PSW*	Program Status Word	D0H	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	0000000B
RCAP2H#	Timer 2 Capture High	CBH	CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	F1	P	
RCAP2L#	Timer 2 Capture Low	CAH									00H
SADDR#	Slave Address	A9H									00H
SADEN#	Slave Address Mask	B9H									00H
SBUF	Serial Data Buffer	99H									xxxxxxxxB
SCON*	Serial Control	98H	9F	9E	9D	9C	9B	9A	99	98	00H
SP	Stack Pointer	81H	SM0/FE	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	T1	RI	
TCON*	Timer Control	88H	8F	8E	8D	8C	8B	8A	89	88	00H
T2CON*	Timer 2 Control	C8H	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0	00H
T2MOD#	Timer 2 Mode Control	C9H	CF	CE	CD	CC	CB	CA	C9	C8	
TH0	Timer High 0	8CH	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T2	CP/RL2	00H
TH1	Timer High 1	8DH	-	-	-	-	-	-	T2OE	DCEN	xxxxxx00B
TH2#	Timer High 2	CDH									00H
TL0	Timer Low 0	8AH									00H
TL1	Timer Low 1	8BH									00H
TL2#	Timer Low 2	CCH									00H
TMOD	Timer Mode	89H	GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0	00H
WDTRST	Watchdog Timer Reset	A6H									

\* SFRs are bit addressable.

# SFRs are modified from or added to the 80C51 SFRs.

- Reserved bits.

### OSCILLATOR CHARACTERISTICS

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier. The pins can be configured for use as an on-chip oscillator.

To drive the device from an external clock source, XTAL1 should be driven while XTAL2 is left unconnected. Minimum and maximum high and low times specified in the data sheet must be observed.

This device is configured at the factory to operate using 6 clock periods per machine cycle, referred to in this datasheet as "6 clock mode". (This yields performance equivalent to twice that of standard 80C51 family devices). It may be optionally configured on commercially-available EPROM programming equipment to operate at 12 clocks per machine cycle, referred to in this datasheet as "12 clock mode". Once 12 clock mode has been configured, it cannot be changed back to 6 clock mode.

### RESET

A reset is accomplished by holding the RST pin high for at least two machine cycles (12 oscillator periods in 6 clock mode, or 24 oscillator periods in 12 clock mode), while the oscillator is running. To ensure a good power-on reset, the RST pin must be high long enough to allow the oscillator time to start up (normally a few milliseconds) plus two machine cycles. At power-on, the voltage on V<sub>CC</sub> and RST must come up at the same time for a proper start-up. Ports 1, 2, and 3 will asynchronously be driven to their reset condition when a voltage above V<sub>IH1</sub> (min.) is applied to RESET.

The value on the EA pin is latched when RST is deasserted and has no further effect.



## ±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

### General Description

The MAX202E–MAX213E, MAX232E/MAX241E line drivers/receivers are designed for RS-232 and V.28 communications in harsh environments. Each transmitter output and receiver input is protected against ±15kV electrostatic discharge (ESD) shocks, without latchup. The various combinations of features are outlined in the *Selection Guide*. The drivers and receivers for all ten devices meet all EIA/TIA-232E and CCITT V.28 specifications at data rates up to 120kbps, when loaded in accordance with the EIA/TIA-232E specification.

The MAX211E/MAX213E/MAX241E are available in 28-pin SO packages, as well as a 28-pin SSOP that uses 60% less board space. The MAX202E/MAX232E come in 16-pin narrow SO, wide SO, and DIP packages. The MAX203E comes in a 20-pin DIP/SO package, and needs no external charge-pump capacitors. The MAX205E comes in a 24-pin wide DIP package, and also eliminates external charge-pump capacitors. The MAX206E/MAX207E/MAX208E come in 24-pin SO, SSOP, and narrow DIP packages. The MAX232E/MAX241E operate with four 1µF capacitors, while the MAX202E/MAX206E/MAX207E/MAX208E/MAX211E/MAX213E operate with four 0.1µF capacitors, further reducing cost and board space.

### Applications

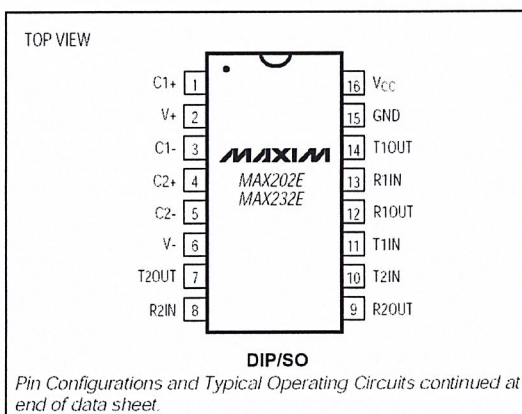
Notebook, Subnotebook, and Palmtop Computers  
Battery-Powered Equipment  
Hand-Held Equipment

Ordering Information appears at end of data sheet.

### Features

- ◆ ESD Protection for RS-232 I/O Pins:
  - ±15kV—Human Body Model
  - ±8kV—IEC1000-4-2, Contact Discharge
  - ±15kV—IEC1000-4-2, Air-Gap Discharge
- ◆ Latchup Free (unlike bipolar equivalents)
- ◆ Guaranteed 120kbps Data Rate—LapLink™ Compatible
- ◆ Guaranteed 3V/µs Min Slew Rate
- ◆ Operate from a Single +5V Power Supply

### Pin Configurations



### Selection Guide

PART	No. of RS-232 DRIVERS	No. of RS-232 RECEIVERS	RECEIVERS ACTIVE IN SHUTDOWN	No. of EXTERNAL CAPACITORS	LOW-POWER SHUTDOWN	TTL THREE-STATE
MAX202E	2	2	0	4 (0.1µF)	No	No
MAX203E	2	2	0	None	No	No
MAX205E	5	5	0	None	Yes	Yes
MAX206E	4	3	0	4 (0.1µF)	Yes	Yes
MAX207E	5	3	0	4 (0.1µF)	No	No
MAX208E	4	4	0	4 (0.1µF)	No	No
MAX211E	4	5	0	4 (0.1µF)	Yes	Yes
MAX213E	4	5	2	4 (0.1µF)	Yes	Yes
MAX232E	2	2	0	4 (1µF)	No	No
MAX241E	4	5	0	4 (1µF)	Yes	Yes

LapLink is a registered trademark of Traveling Software, Inc.



Maxim Integrated Products 1

For free samples & the latest literature: <http://www.maxim-ic.com>, or phone 1-800-998-8800

## ±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

MAX202E-MAX213E, MAX232E/MAX241E

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V <sub>CC</sub> .....	-0.3V to +6V	20-Pin SO (derate 10.00mW/°C above +70°C).....	800mW
V <sub>+</sub> .....	(V <sub>CC</sub> - 0.3V) to +14V	24-Pin Narrow Plastic DIP	
V <sub>-</sub> .....	-14V to +0.3V	(derate 13.33mW/°C above +70°C) .....	1.07W
Input Voltages		24-Pin Wide Plastic DIP	
T <sub>IN</sub> .....	-0.3V to (V <sub>+</sub> + 0.3V)	(derate 14.29mW/°C above +70°C).....	1.14W
R <sub>IN</sub> .....	±30V	24-Pin SO (derate 11.76mW/°C above +70°C).....	.941mW
Output Voltages		24-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C).....	.640mW
T <sub>OUT</sub> .....	(V <sub>-</sub> - 0.3V) to (V <sub>+</sub> + 0.3V)	28-Pin SO (derate 12.50mW/°C above +70°C).....	1W
R <sub>OUT</sub> .....	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	28-Pin SSOP (derate 9.52mW/°C above +70°C).....	.762mW
Short-Circuit Duration, T <sub>OUT</sub> .....	Continuous	Operating Temperature Ranges	
Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)		MAX2_EC_.....	0°C to +70°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C).....	842mW	MAX2_EE_.....	-40°C to +85°C
16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C).....	696mW	Storage Temperature Range.....	-65°C to +165°C
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C).....	762mW	Lead Temperature (soldering, 10sec).....	+300°C
20-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....	889mW		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V<sub>CC</sub> = +5V ±10% for MAX202E/206E/208E/211E/213E/232E/241E; V<sub>CC</sub> = +5V ±5% for MAX203E/205E/207E; C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> = 0.1µF for MAX202E/206E/207E/208E/211E/213E; C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> = 1µF for MAX232E/241E; T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>; unless otherwise noted. Typical values are at T<sub>A</sub> = +25°C.)

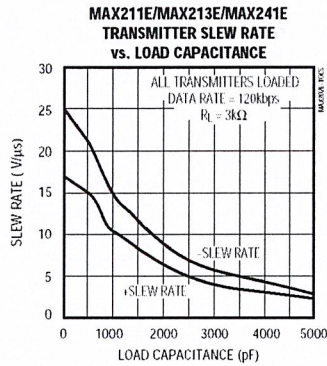
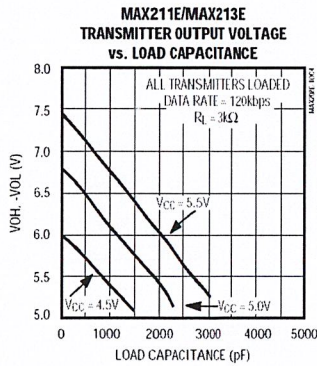
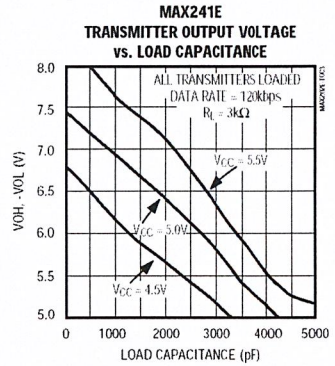
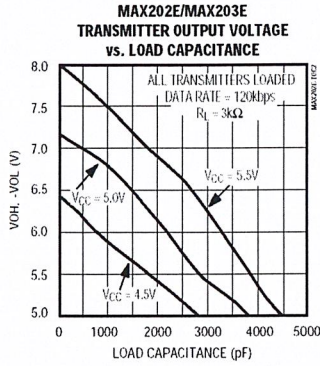
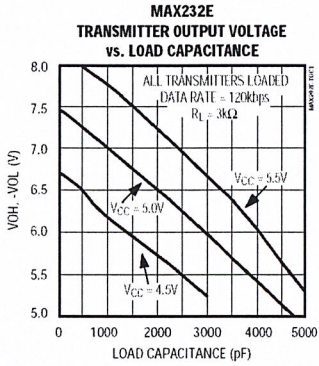
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>DC CHARACTERISTICS</b>						
V <sub>CC</sub> Supply Current	I <sub>CC</sub>	No load. T <sub>A</sub> = +25°C	MAX202E/203E	8	15	mA
			MAX205E-208E	11	20	
			MAX211E/213E	14	20	
			MAX232E	5	10	
			MAX241E	7	15	
Shutdown Supply Current		T <sub>A</sub> = +25°C, Figure 1	MAX205E/206E	1	10	µA
			MAX211E/241E	1	10	
			MAX213E	15	50	
<b>LOGIC</b>						
Input Pull-Up Current		T <sub>IN</sub> = 0V (MAX205E-208E/211E/213E/241E)	15	200		µA
Input Leakage Current		T <sub>IN</sub> = 0V to V <sub>CC</sub> (MAX202E/203E/232E)		±10		µA
Input Threshold Low	V <sub>IL</sub>	T <sub>IN</sub> ; EN, $\overline{\text{SHDN}}$ (MAX213E) or $\overline{\text{EN}}$ , SHDN (MAX205E-208E/211E/241E)		0.8		V
Input Threshold High	V <sub>IH</sub>	T <sub>IN</sub>	2.0			V
		EN, $\overline{\text{SHDN}}$ (MAX213E) or $\overline{\text{EN}}$ , SHDN (MAX205E-208E/211E/241E)	2.4			V
Output Voltage Low	V <sub>OL</sub>	R <sub>OUT</sub> ; I <sub>OUT</sub> = 3.2mA (MAX202E/203E/232E) or I <sub>OUT</sub> = 1.6mA (MAX205E/208E/211E/213E/241E)		0.4		V
Output Voltage High	V <sub>OH</sub>	R <sub>OUT</sub> ; I <sub>OUT</sub> = -1.0mA	3.5	V <sub>CC</sub> - 0.4		V
Output Leakage Current		$\overline{\text{EN}}$ = V <sub>CC</sub> , EN = 0V, 0V ≤ R <sub>OUT</sub> ≤ V <sub>CC</sub> , MAX205E-208E/211E/213E/241E outputs disabled	±0.05	±10		µA

# ±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

**MAX202E-MAX213E, MAX232E/MAX241E**

## Typical Operating Characteristics

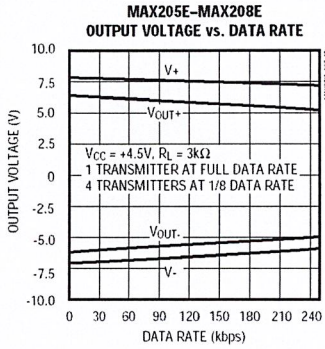
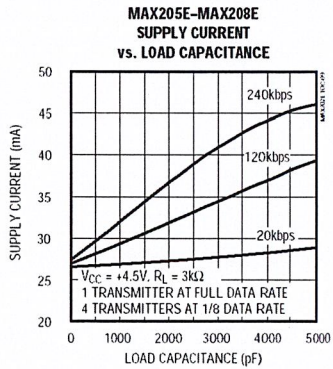
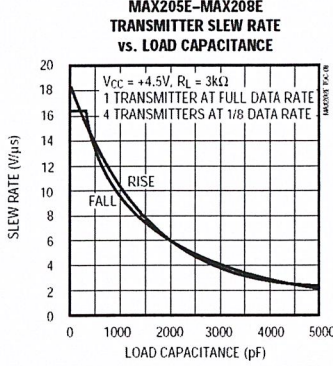
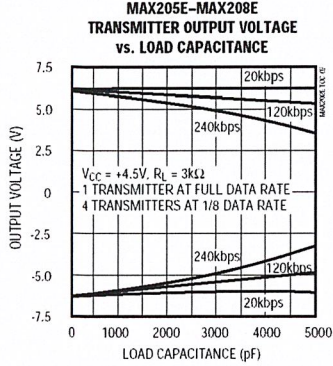
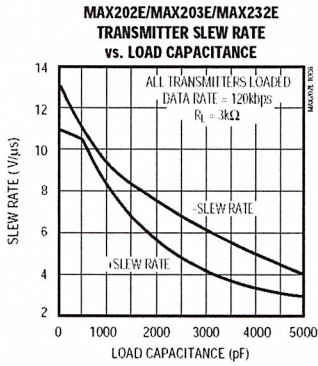
(Typical Operating Circuits.  $V_{CC} = +5V$ ,  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.)



# ±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

## Typical Operating Characteristics (continued)

(Typical Operating Circuits,  $V_{CC} = +5V$ ,  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.)



MAX202E-MAX213E, MAX232E/MAX241E

## ±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

### Pin Descriptions

**MAX202E-MAX213E, MAX232E/MAX241E**

#### MAX202E/MAX232E

PIN		NAME	FUNCTION
DIP/SO	LCC		
1, 3	2, 4	C1+, C1-	Terminals for positive charge-pump capacitor
2	3	V+	+2V <sub>CC</sub> voltage generated by the charge pump
4, 5	5, 7	C2+, C2-	Terminals for negative charge-pump capacitor
6	8	V-	-2V <sub>CC</sub> voltage generated by the charge pump
7, 14	9, 18	T_OUT	RS-232 Driver Outputs
8, 13	10, 17	R_IN	RS-232 Receiver Outputs
9, 12	12, 15	R_OUT	RS-232 Receiver Outputs
10, 11	13, 14	T_IN	RS-232 Driver Inputs
15	19	GND	Ground
16	20	V <sub>CC</sub>	+4.5V to +5.5V Supply-Voltage Input
—	1, 6, 11, 16	N.C.	No Connect—not internally connected.

#### MAX203E

PIN		NAME	FUNCTION
DIP	SO		
1, 2	1, 2	T_IN	RS-232 Driver Inputs
3, 20	3, 20	R_OUT	RS-232 Receiver Outputs
4, 19	4, 19	R_IN	RS-232 Receiver Inputs
5, 18	5, 18	T_OUT	RS-232 Transmitter Outputs
6, 9	6, 9	GND	Ground
7	7	V <sub>CC</sub>	+4.5V to +5.5V Supply-Voltage Input
8	13	C1+	Make no connection to this pin.
10, 16	11, 16	C2-	Connect pins together.
12, 17	10, 17	V-	-2V <sub>CC</sub> voltage generated by the charge pump. Connect pins together.
13	14	C1-	Make no connection to this pin.
14	8	V+	+2V <sub>CC</sub> voltage generated by the charge pump
11, 15	12, 15	C2+	Connect pins together.

#### MAX205E

PIN	NAME	FUNCTION
1–4, 19	T_OUT	RS-232 Driver Outputs
5, 10, 13, 18, 24	R_IN	RS-232 Receiver Inputs
6, 9, 14, 17, 23	R_OUT	TTL/CMOS Receiver Outputs. All receivers are inactive in shutdown.
7, 8, 15, 16, 22	T_IN	TTL/CMOS Driver Inputs. Internal pull-ups to V <sub>CC</sub> .
11	GND	Ground
12	V <sub>CC</sub>	+4.75V to +5.25V Supply Voltage
20	EN	Receiver Enable—active low
21	SHDN	Shutdown Control—active high

**±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers****Pin Descriptions (continued)****MAX206E**

PIN	NAME	FUNCTION
1, 2, 3, 24	T_OUT	RS-232 Driver Outputs
4, 16, 23	R_IN	RS-232 Receiver Inputs
5, 17, 22	R_OUT	TTL/CMOS Receiver Outputs. All receivers are inactive in shutdown.
6, 7, 18, 19	T_IN	TTL/CMOS Driver Inputs. Internal pull-ups to V <sub>CC</sub> .
8	GND	Ground
9	V <sub>CC</sub>	+4.5V to +5.5V Supply Voltage
10, 12	C1+, C1-	Terminals for positive charge-pump capacitor
11	V+	+2V <sub>CC</sub> generated by the charge pump
13, 14	C2+, C2-	Terminals for negative charge-pump capacitor
15	V-	-2V <sub>CC</sub> generated by the charge pump
20	EN	Receiver Enable—active low
21	SHDN	Shutdown Control—active high

**MAX207E**

PIN	NAME	FUNCTION
1, 2, 3, 20, 24	T_OUT	RS-232 Driver Outputs
4, 16, 23	R_IN	RS-232 Receiver Inputs
5, 17, 22	R_OUT	TTL/CMOS Receiver Outputs. All receivers are inactive in shutdown.
6, 7, 18, 19, 21	T_IN	TTL/CMOS Driver Inputs. Internal pull-ups to V <sub>CC</sub> .
8	GND	Ground
9	V <sub>CC</sub>	+4.75V to +5.25V Supply Voltage
10, 12	C1+, C1-	Terminals for positive charge-pump capacitor
11	V+	+2V <sub>CC</sub> generated by the charge pump
13, 14	C2+, C2-	Terminals for negative charge-pump capacitor
15	V-	-2V <sub>CC</sub> generated by the charge pump

**MAX208E**

PIN	NAME	FUNCTION
1, 2, 20, 24	T_OUT	RS-232 Driver Outputs
3, 7, 16, 23	R_IN	RS-232 Receiver Inputs
4, 6, 17, 22	R_OUT	TTL/CMOS Receiver Outputs. All receivers are inactive in shutdown.
5, 18, 19, 21	T_IN	TTL/CMOS Driver Inputs. Internal pull-ups to V <sub>CC</sub> .
8	GND	Ground
9	V <sub>CC</sub>	+4.5V to +5.5V Supply Voltage
10, 12	C1+, C1-	Terminals for positive charge-pump capacitor
11	V+	+2V <sub>CC</sub> generated by the charge pump
13, 14	C2+, C2-	Terminals for negative charge-pump capacitor
15	V-	-2V <sub>CC</sub> generated by the charge pump

**MAX202E-MAX213E, MAX232E/MAX241E**

## IRF540, RF1S540SM

Absolute Maximum Ratings  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

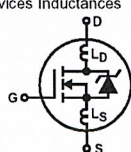
	IRF540, RF1S540SM	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage (Note 1)	$V_{DS}$	100 V
Drain to Gate Voltage ( $R_{GS} = 20k\Omega$ ) (Note 1)	$V_{DGR}$	100 V
Continuous Drain Current	$I_D$	28 A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	$I_D$	20 A
Pulsed Drain Current (Note 3)	$I_{DM}$	110 A
Gate to Source Voltage	$V_{GS}$	$\pm 20$ V
Maximum Power Dissipation	$P_D$	120 W
Dissipation Derating Factor		0.8 W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	$E_{AS}$	230 mJ
Operating and Storage Temperature	$T_J, T_{STG}$	-55 to 175 $^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s.	$T_L$	300 $^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334	$T_{pkg}$	260 $^\circ\text{C}$

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

## NOTE:

- $T_J = 25^\circ\text{C}$  to  $T_J = 150^\circ\text{C}$ .

Electrical Specifications  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Drain to Source Breakdown Voltage	$BV_{DSS}$	$I_D = 250\mu\text{A}, V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 10)	100	-	-	V	
Gate to Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu\text{A}$	2	-	4	V	
Zero Gate Voltage Drain Current	$I_{DSS}$	$V_{DS} = 95\text{V}, V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	25	$\mu\text{A}$	
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}, T_J = 150^\circ\text{C}$	-	-	250	$\mu\text{A}$	
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)} \text{ MAX. } V_{GS} = 10\text{V}$ (Figure 7)	28	-	-	A	
Gate to Source Leakage Current	$I_{GSS}$	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	$\pm 100$	nA	
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$I_D = 17\text{A}, V_{GS} = 10\text{V}$ (Figures 8, 9)	-	0.060	0.077	$\Omega$	
Forward Transconductance (Note 2)	$g_{fs}$	$V_{DS} \geq 50\text{V}, I_D = 17\text{A}$ (Figure 12)	8.7	13	-	S	
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$V_{DD} = 50\text{V}, I_D \approx 28\text{A}, R_G \approx 9.1\Omega, R_L = 1.7\Omega$ MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	15	23	ns	
Rise Time	$t_r$		-	70	110	ns	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	40	60	ns	
Fall Time	$t_f$		-	50	83	ns	
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_g(\text{TOT})$	$V_{GS} = 10\text{V}, I_D = 28\text{A}, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS},$ $I_{G(\text{REF})} = 1.5\text{mA}$ (Figure 14) Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	38	59	nC	
Gate to Source Charge	$Q_{GS}$		-	8	-	nC	
Gate to Drain "Miller" Charge	$Q_{gd}$		-	21	-	nC	
Input Capacitance	$C_{ISS}$	$V_{DS} = 25\text{V}, V_{GS} = 0\text{V}, f = 1\text{MHz}$ (Figure 11)	-	1450	-	pF	
Output Capacitance	$C_{OSS}$		-	550	-	pF	
Reverse Transfer Capacitance	$C_{RSS}$		-	100	-	pF	
Internal Drain Inductance	$L_D$	Measured From the Contact Screw on Tab To Center of Die	Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Devices Inductances 	-	3.5	-	nH
		Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) from Package to Center of Die		-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	$L_S$	Measured From the Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad		-	7.5	-	nH
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	1.25	$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free Air Operation	-	-	80	$^\circ\text{C/W}$	
	$R_{\theta JA}$	RF1S540SM Mounted on FR-4 Board with Minimum Mounting Pad	-	-	62	$^\circ\text{C/W}$	

IRF540, RF1S540SM

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

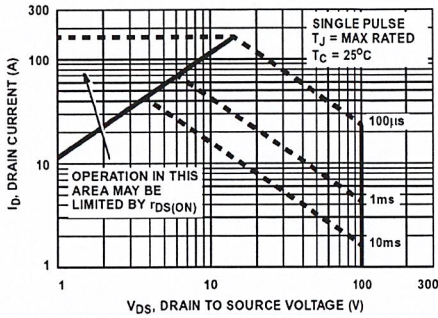


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

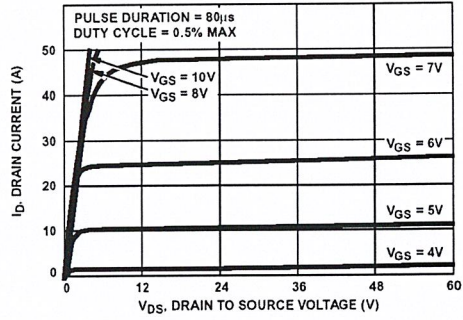


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

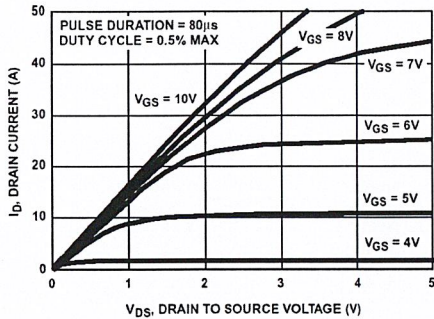


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

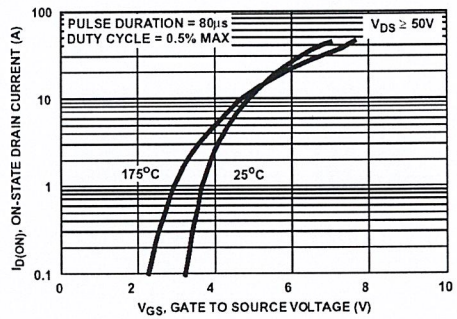


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

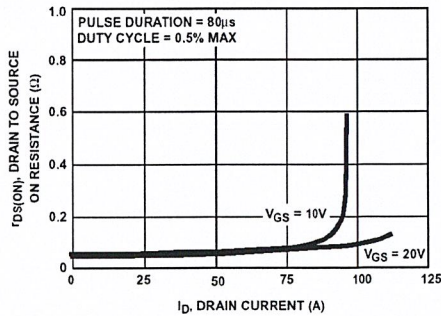


FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

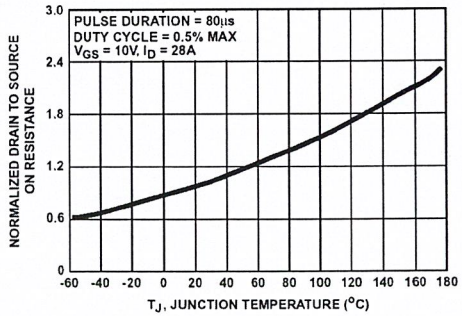


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

IRF540, RF1S540SM

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	$I_{SD}$	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Diode	-	-	28	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	$I_{SDM}$		-	-	110	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	$V_{SD}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{SD} = 27\text{A}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)	-	-	2.5	V
Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{SD} = 28\text{A}$ , $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	70	150	300	ns
Reverse Recovery Charge	$Q_{RR}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{SD} = 28\text{A}$ , $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	0.2	1.0	1.9	$\mu\text{C}$

NOTES:

2. Pulse test: pulse width  $\leq 300\mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 2\%$ .
3. Repetitive rating: pulse width limited by maximum junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4.  $V_{DD} = 25\text{V}$ , starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 440\mu\text{H}$ ,  $R_G = 25\Omega$ , peak  $I_{AS} = 28\text{A}$ .

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

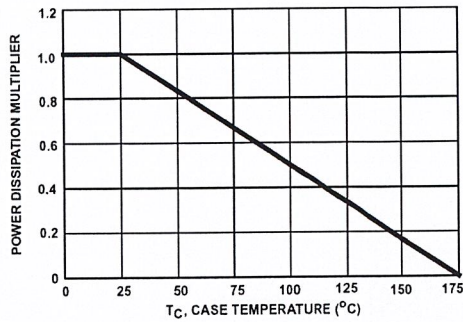


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

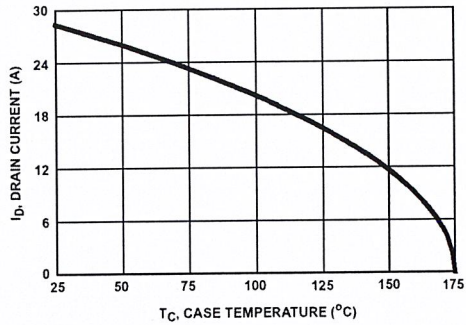


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

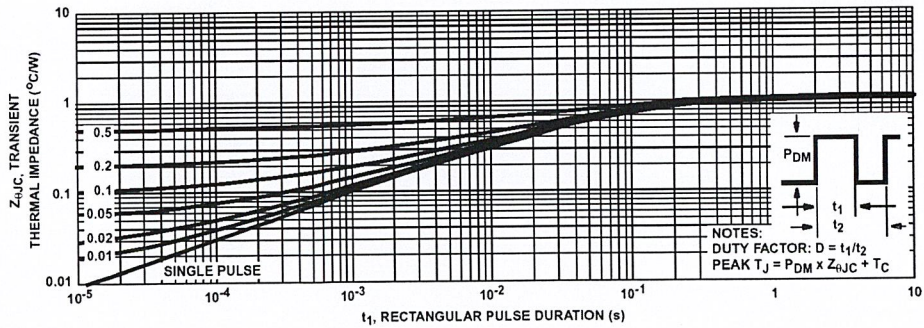


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

IRF540, RF1S540SM

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

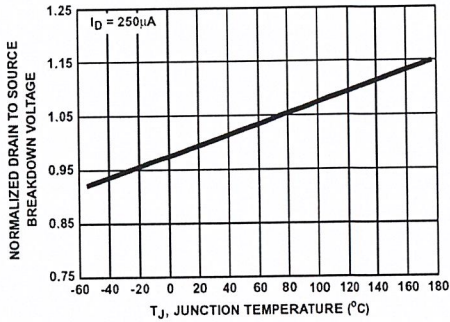


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

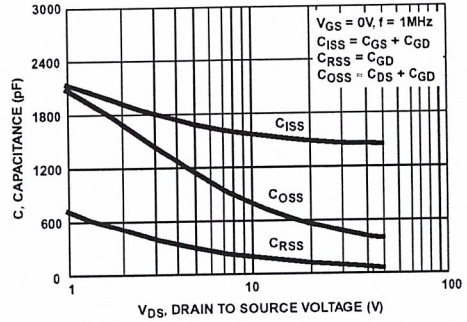


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

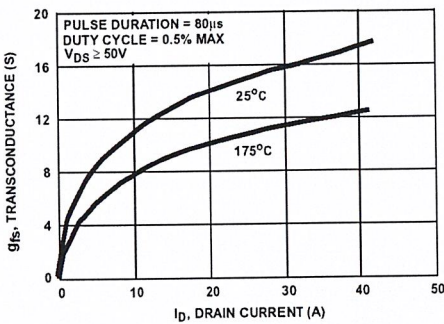


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

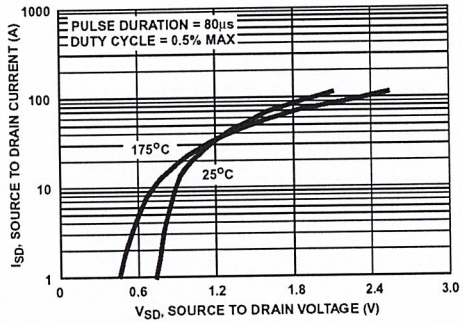


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

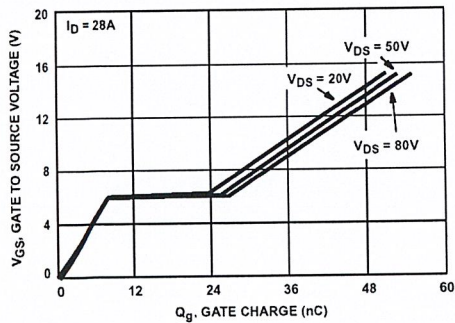


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล

นางสาวกานต์ ตระกูลบุญ

วัน เดือน ปีเกิด

11 มกราคม พ.ศ.2524

ภูมิลำเนาเดิม

196/112 หมู่บ้านการุณรังษี อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์  
60000 โทรศัพท์ 0-1596-7085

### ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนวิสุทธิศึกษา จังหวัดนครสวรรค์

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนวิสุทธิศึกษา จังหวัดนครสวรรค์

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

วิทยาลัยเทคนิคนครสวรรค์

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

วิทยาลัยเทคนิคนครสวรรค์

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

คติพจน์

ทำอะไรมัวแต่รอโอกาส

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล

นายณัฐพงษ์ สหaya

วัน เดือน ปีเกิด

10 พฤษภาคม พ.ศ.2522

ภูมิลำเนาเดิม

299/2 ม.15 ต.ในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ 36000

โทรศัพท์ 0-9693-0016

### ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนวัดคอนเมือง (ทหารอากาศอุทิศ) จังหวัดกรุงเทพฯ

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนคอนเมืองทหารอากาศบำรุง จังหวัดกรุงเทพฯ

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

คติพจน์

บางครั้งความพยายามก็เป็นแค่ความพยายาม

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล

นายพิเชษฐ์ นาคทอง

วัน เดือน ปีเกิด

25 กันยายน พ.ศ.2524

ภูมิลำเนาเดิม

71/4 ซ.7 ถ.พหลโยธิน ตำบลปากเพรียว อำเภอเมือง  
จังหวัดสระบุรี 18000 โทรศัพท์ 0-9746-8118

### ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนเทศบาล 6 จังหวัดสระบุรี

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนหินกองวิทยาคม จังหวัดสระบุรี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

คติพจน์

คิดทำอะไรด้วยตนเองคือเสรีภาพเดียวที่ทุกคนมี