

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

ระบบควบคุมอาวุธปืน  
GUN CONTROL SYSTEM



รฟ.  
ก ๙๙๖๖  
๒๕๕๐

เลขสารบัญ.....  
เลขทะเบียน..... **82032**  
วัน,เดือน,ปี.....-4 ก.ค. 2551

b. **11๙๔3๖10**  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมอาวุธปืน


GUN CONTROL SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นายไกรสร แสนละมะ รหัสนักศึกษา 48015327

2. จำเอกประจักษ์ ยาพิลา รหัสนักศึกษา 48015345



  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์เจริญ วงษ์ชุ่มเย็น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบควบคุมอาวุธปืน

นายไกรสร แสนละมะ 48015327  
จำเอกประจักษ์ ยาพิลา 48015345  
อาจารย์เจริญ วงษ์ชุ่มเย็น อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2550

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างระบบควบคุมอาวุธปืนที่สามารถยิงเป้าหมายตามตำแหน่งที่ผู้ทำการยิงนั้นต้องการที่จะยิงภาพที่ถ่ายมาบนจอภาพคอมพิวเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำการพัฒนาระบบควบคุมอาวุธปืนให้มีประสิทธิภาพ และยังสามารถพัฒนาต่อได้โดยจะไปควบคุมอาวุธปืนจริง ที่มีรัศมีในการยิงมีระยะไกลมากขึ้น เมื่อโปรแกรมทำงานจะให้ผู้ที่ทำการยิงเป้าหมายนั้นถ่ายภาพ และผู้ทำการยิงจะทำการคลิกตำแหน่งภาพที่ต้องการยิง โดยเมื่อได้ตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการยิง โปรแกรมจะสั่งการให้ปืนหมุนไปตามตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการยิง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน ได้แก่ สเต็ปปีงมอเตอร์ โดยส่งกำลังผ่านทางสายพาน เพื่อที่จะทำการขับเคลื่อนให้ปืนเลเซอร์ไปยังตำแหน่งที่ผู้ยิงต้องการ และติดต่อกับโปรแกรมผ่านทางพอร์ตอนุกรม

## Gun Control System

Mr. Krisorn Saenlama 48015327

PO.1 Prajak Yapila 48015345

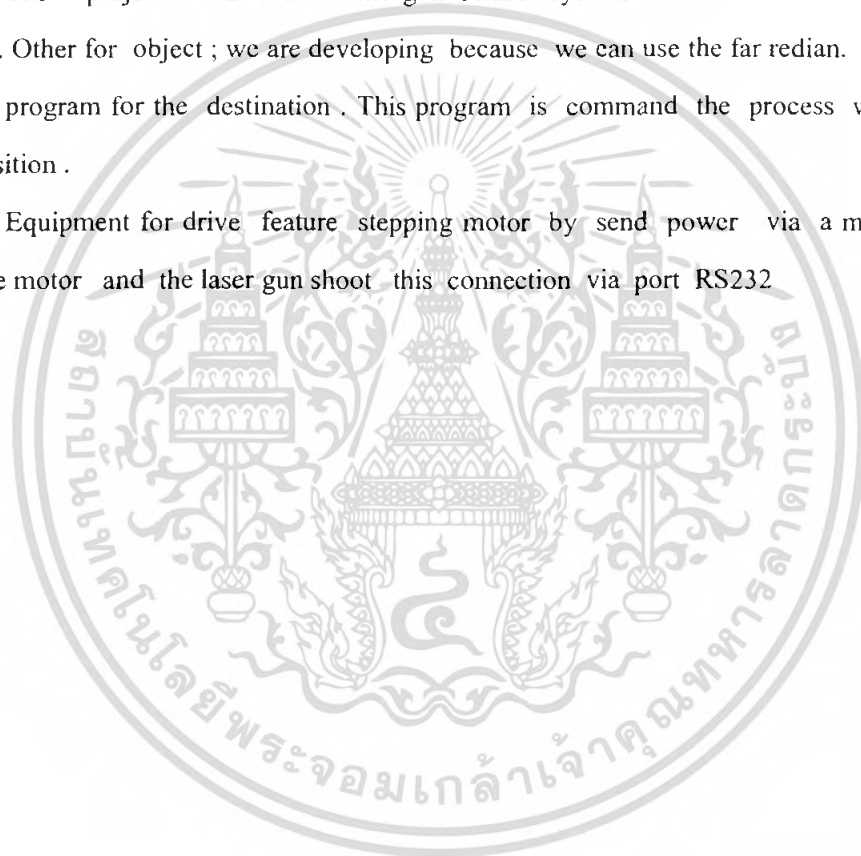
Mr. Charoen Vongchumyen Advisor

Academic Year 2007

### ABSTRACT

The project studies about the gun control system with can shoot the thing for the monitor. Other for object ; we are developing because we can use the far redian. When the user use this program for the destination . This program is command the process with the right gun position .

Equipment for drive feature stepping motor by send power via a machine rewrite for drive motor and the laser gun shoot this connection via port RS232



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการและปฏิญานิพนธ์เล่มนี้เกิดขึ้นมาได้ โดยได้รับการสนับสนุนและคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์เจริญ วงษ์ชุ่มเย็น ซึ่งคอยให้คำปรึกษาและแนวทางต่างๆ ในการทำโครงการนี้ และบุคคลท่านอื่นๆ ที่ให้คำปรึกษาและมีส่วนร่วมสนับสนุนจนทำให้โครงการนี้เกิดความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ดังนั้นข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณท่านไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นอกเหนือที่ได้กล่าวมาจากข้างต้นแล้ว ข้าพเจ้าขอขอบคุณบุพการีที่คอยเลี้ยงดูข้าพเจ้าเป็นอย่างดีและให้ข้าพเจ้าได้รับการศึกษา รวมถึงคอยให้ความสนับสนุนข้าพเจ้ามาโดยตลอด ดังนั้น ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบคุณบุพการีของข้าพเจ้าไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และช่วยกันแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ III อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สเต็ปป์มอเตอร์.....	3
2.2 ลักษณะการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่สเต็ปป์มอเตอร์.....	5
2.3 วิธีการหาลำดับเฟสของสายสัญญาณ.....	5
2.4 วงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์.....	7
2.5 หลักการเบื้องต้นของการขับสเต็ปป์มอเตอร์ด้วย PWM.....	11
2.6 Board Drive Stepping Motor 5 Phase.....	18
2.7 ข้อดีของสเต็ปป์มอเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์กระแสตรง ( DC MOTOR).....	18
2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	18
2.9 การอินเตอร์เฟซกับพอร์ตอนุกรม (Serial Port Interface).....	25
2.10 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกล้องดิจิทัล.....	33
2.11 ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟือง.....	35
2.12 การคำนวณอัตราส่วนการเกิดภาพของกล้อง.....	40

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบ.....	42
3.1 การคำนวณเกี่ยวกับภาพ.....	42
3.2 การออกแบบวงจรผลิตสัญญาณ PWM.....	46
3.3 การออกแบบและจัดทำวงจร (PCB).....	47
3.4 การออกแบบส่วนที่ใช้ติดต่อกับฮาร์ดแวร์.....	50
บทที่ 4 การทดลองและผลลัพธ์.....	59
4.1 การทดลองยิงเป้าจากโปรแกรมควบคุมอาวุธปืน.....	59
4.2 ผลการทดลอง.....	70
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป.....	72
5.1 วิจารณ์สิ่งที่ได้จากโครงงาน.....	72
5.2 สรุปผลการทดลอง.....	72
บรรณานุกรม.....	74
ภาคผนวก.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สเต็ปมอเตอร์แบบมีสาย 5 เส้น.....	3
2.2 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างสเต็ปมอเตอร์.....	3
2.3 แสดง (ก) โครงสร้าง (ข) วงจรเทียบเท่า Equivalentcircuit ของมอเตอร์ชนิด4ขด.....	4
2.4 แบบจำลองลักษณะการต่อความต้านทานภายในมอเตอร์.....	5
2.5 แสดงวิธีขับเอาต์พุทของสเต็ปมอเตอร์.....	7
2.6 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ซึ่งสามารถดัดแปลงไปใช้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่นได้.....	8
2.7 วงจรสมมูลย์ (Equivalentcircuit) ของสเต็ปมอเตอร์.....	9
2.8 การใช้ไดโอดชัฟเฟรสเซอร์.....	9
2.9 การใช้ไดโอดและตัวต้านทานชัฟเฟรสเซอร์.....	9
2.10 การใช้ซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟรสเซอร์.....	10
2.11 การใช้ตัวเก็บประจุชัฟเฟรสเซอร์.....	10
2.12 แนวคิดการขับขดลวดภายในสเต็ปมอเตอร์ด้วยเทคนิค PWM.....	11
2.13 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ยูนิโพลาร์ด้วยเทคนิค PWM หรือชอปเปอร์.....	13
2.14 ลักษณะของแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดและกระแสที่ไหลผ่านขดลวด.....	14
2.15 ทำงานร่วมกับฟลิปฟล็อปและวงจรรอสซิลเลเตอร์ควบคุมกระแสให้ดีขึ้น.....	14
2.16 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในไอซีเบอร์ L297 ต่อร่วมกับเบอร์ L298.....	15
2.17 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในไอซีเบอร์ L6506.....	16
2.18 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในไอซีเบอร์ UDN2916.....	16
2.19 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในไอซีเบอร์ LMD18245.....	17
2.20 บล็อกไดอะแกรมภายในไอซีเบอร์ UC 3770 ซึ่งจะคล้ายกับเบอร์ TEA3717.....	17
2.21 Board Drive Stepping Motor 5 Phase.....	18
2.22 การจักระมาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51.....	19
2.23 ลักษณะของหัวต่อแบบ DB-9.....	26
2.24 ลักษณะของหัวต่อแบบ DB-25.....	27
2.25 การเชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารทางเดียว.....	29
2.26 การเชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารสองทาง.....	30
2.27 การต่อแบบ Handshaking.....	31
2.28 การต่อแบบ Null Modem.....	31
2.29 การต่อแบบ Loopback Plug.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 RS-232C Wave form.....	33
2.31 ลักษณะการหมุนของเฟือง.....	36
2.32 Spur gear.....	36
2.33 Worm Gear.....	37
2.34 การหมุนของฟันเฟือง.....	37
2.35 แสดงการขบกันของเฟือง.....	38
2.36 ลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง.....	39
2.37 เฟืองที่มีฟันเรียงเป็นแนวเส้นตรง.....	39
2.38 ภาพจำลองการหาอัตราภาพ.....	41
3.1 ภาพจำลองจุดศูนย์กลางภาพ.....	42
3.2 รูปการแบ่งขอบเขตภาพ.....	43
3.3 รูปจำลองการถ่ายภาพจากกล้อง.....	43
3.4 Schematic ของวงจรผลิตสัญญาณ PWM โดยใช้ AT89S52 ฝั่ง RS232.....	48
3.5 Schematic ของวงจรผลิตสัญญาณ PWM โดยใช้ AT89S52 ฝั่ง Supply.....	48
3.6 Schematic ของวงจรผลิตสัญญาณ PWM โดยใช้ AT89S52 ฝั่ง master control.....	49
3.7 Schematic ของวงจรผลิตสัญญาณ PWM โดยใช้ AT89S52 ฝั่ง Drive motor.....	49
3.8 แสดงการหาจุดหมุนแกน Y.....	50
3.9 แสดงการหาจุดหมุนแกน X.....	51
3.10 ลักษณะโปรแกรมที่ใช้ทดสอบStepการหมุน.....	52
3.11 โครงสร้างของโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์.....	54
3.12 ปุ่มที่ทำหน้าที่ติดต่อกับกล้อง.....	55
3.13 ปุ่มที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อพอร์ต.....	55
3.14 ปุ่มที่ทำหน้าที่รับค่าระยะทาง.....	56
3.15 ปุ่มที่ทำหน้าที่ Capture ภาพ.....	56
3.16 ปุ่มที่ทำหน้าที่ยิง.....	56
3.17 ปุ่มที่ทำหน้าที่เริ่มต้นใหม่.....	57
3.18 ปุ่มที่ทำหน้าที่จบ โปรแกรม.....	57
3.19 ช่องแสดงค่าตำแหน่งพิกเซล.....	57

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 ช่องแสดงค่าตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเม้าส์.....	58
3.21 ภาพโครงสร้างโปรแกรมโดยรวม.....	58
4.1 การตั้งค่าเริ่มต้นของปืนกับศูนย์ภาพ.....	59
4.2 การยิงครั้งที่หนึ่ง.....	60
4.3 ผลการยิงครั้งที่หนึ่ง.....	60
4.4 การยิงครั้งที่สอง.....	61
4.5 ผลการยิงครั้งที่สอง.....	61
4.6 การยิงครั้งที่สาม.....	62
4.7 ผลการยิงครั้งที่สาม.....	62
4.8 การยิงครั้งที่สี่.....	63
4.9 ผลการยิงครั้งที่สี่.....	63
4.10 การยิงครั้งที่ห้า.....	64
4.11 ผลการยิงครั้งที่ห้า.....	64
4.12 การยิงครั้งที่หก.....	65
4.13 ผลการยิงครั้งที่หก.....	65
4.14 การยิงครั้งที่เจ็ด.....	66
4.15 ผลการยิงครั้งที่เจ็ด.....	66
4.16 การยิงครั้งที่แปด.....	67
4.17 ผลการยิงครั้งที่แปด.....	67
4.18 การยิงครั้งที่เก้า.....	68
4.19 ผลการยิงครั้งที่เก้า.....	68
4.20 การยิงครั้งที่สิบ.....	69
4.21 ผลการยิงครั้งที่สิบ.....	69

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันในการที่บุคคลใดบุคคลหนึ่งจะสามารถทำการยิงปืนได้นั้นจะต้องมีทักษะและการได้รับการฝึกฝนจากหน่วยงานหรือบุคลากรที่มีความชำนาญเป็นพิเศษเนื่องจากอาวุธปืนเป็นอุปกรณ์ที่มีความอันตรายอย่างสูงจนอาจถึงขั้นทำให้ผู้อื่นเสียชีวิตได้ ดังนั้นในแต่ละครั้งที่จะมียิงปืนจึงมีโอกาสความผิดพลาดได้อย่างสูง ถ้าผู้ที่ไม่ได้รับการฝึกฝนและเรียนรู้ทักษะของปืนในแต่ละชนิดที่ใช้ในการยิงไม่เพียงพอ รวมทั้งในการยิงปืนในแต่ละครั้งบุคคลที่ทำการยิงต้องมีสติและอารมณ์ที่มั่นคงสมบูรณ์ มิฉะนั้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการยิงปืนและอาจทำให้เกิดผลเสียต่อทรัพย์สินและชีวิตของผู้อื่นได้ ด้วยสาเหตุนี้ในการยิงปืนในแต่ละครั้งจึงเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่ง โครงการนี้เป็นโครงการที่มีการพัฒนาเครื่องต้นแบบควบคุมการยิงของอาวุธปืนให้ประสิทธิภาพในการทำงานและการยิงปืนที่มีความแม่นยำถูกต้องตามความต้องการของผู้ใช้อาวุธเพื่อที่จะได้พัฒนาต่อไปในอนาคต

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อเป็นการพัฒนาระบบควบคุมอาวุธปืน ให้มีความแม่นยำถูกต้องตามความต้องการของผู้ใช้ เพื่อเป็นการศึกษาการทำงานร่วมกันระหว่าง software และ hardware ให้สารที่จะทำงานร่วมกันได้

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

เป็นระบบควบคุมการยิงปืน โดยการควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์โดยการคลิกเมาส์ทางหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยทำการคลิกที่ภาพเป้าหมายที่ถ่ายมาได้โดยที่ภาพเป้าหมายจะไม่มีเคลื่อนที่จะเป็นภาพที่นิ่งและมีระยะห่าง 5 เมตร

### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

- 1 ศึกษาและเก็บข้อมูลของกระบวนการต่างๆที่ใช้ในโครงการ
- 2 ศึกษาอุปกรณ์ทางด้าน Hardware ที่ใช้ในโครงการ
- 3 จัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในโครงการ
- 4 จัดทำอุปกรณ์ทางด้าน Hardware
- 5 ศึกษาวิธีการควบคุมและสั่งการอุปกรณ์ทาง Hardware ให้ทำตามคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6 ศึกษาการทำงานของกระบวนการวิเคราะห์ภาพ
- 7 ศึกษาการทำงานร่วมกัน Hardware และ Software
- 8 เขียนโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพและโปรแกรมควบคุม Hardware
- 9 ทดลองการทำงานและสรุปผล
- 10 จัดทำรายงานและเอกสาร

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 ได้อุปกรณ์ชุดควบคุมการยิงปืน
- 2 เพื่อให้เข้าใจในหลักการทำงานของอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3 ช่วยให้ได้รู้ความรู้อีกเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Visual C # เพิ่มขึ้น
- 4 เพื่อให้เข้าใจหลักการวิเคราะห์และออกแบบในการทำงาน
- 5 ช่วยให้เข้าใจการทำงานของมอเตอร์และวิธีควบคุมสั่งงานมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 สเต็ปป์มอเตอร์

#### 2.1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสเต็ปป์มอเตอร์

สเต็ปป์มอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ ลักษณะการขับเคลื่อน จะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง แต่มีลักษณะเป็นสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1 , 1.5 , 1.8 หรือ 2 องศา แล้วแต่ละโครงสร้างของมอเตอร์ลักษณะที่ นำมอเตอร์ไปใช้ จะเป็นงานที่ต้องการตำแหน่งแม่นยำ เช่น ระบบขับเคลื่อนหัวแม่พิมพ์ในเครื่องพิมพ์ (PRINTER)ระบบขับเคลื่อนหัวอ่านในเครื่องอ่านบันทึกเทป ระบบขับเคลื่อนตำแหน่งของปากกาใน X-Y PLOTTER เป็นต้น



รูปที่ 2.1 สเต็ปป์มอเตอร์แบบมีสาย 5 เส้น



รูปที่ 2.2 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างสเต็ปป์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

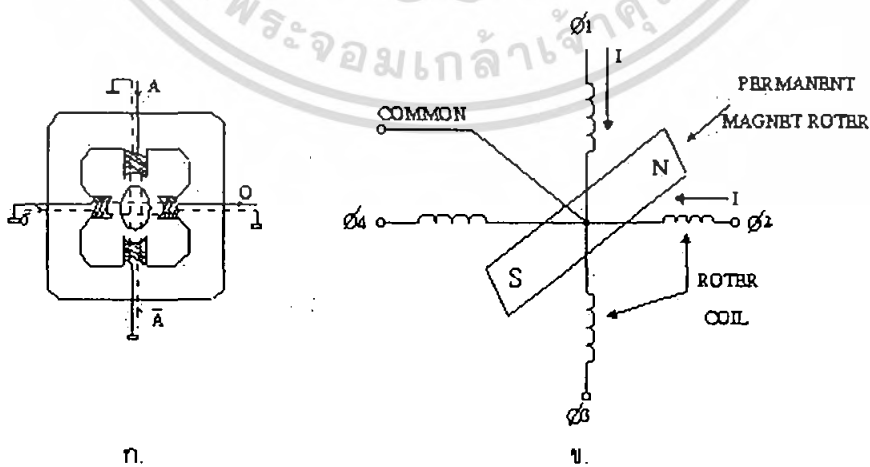
### 2.1.2 ชนิดและโครงสร้างของสเต็ปิ่งมอเตอร์

สเต็ปิ่งมอเตอร์ที่พบในปัจจุบันมี 3 ลักษณะดังนี้ 1. แบบแม่เหล็กถาวร(PERMANENT MAGNET\_PM) 2. แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (VARIABLE RELUCTANCE- VR) 3. แบบผสม (HYBRID-H)

แบบแม่เหล็กถาวร สเต็ปิ่งมอเตอร์แบบ PM จะมีสเตเตอร์ (STATOR) ที่พันขดลวดไว้หลายๆ โพล โดยมีโรเตอร์ (ROTOR) เป็นรูปทรง กระจบอกฟันเลื่อย และโรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร เพื่อป้อนไฟกระแสตรง ให้กับขดสเตเตอร์ จะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าผลัดต่อโรเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุนมอเตอร์แบบ PM จะเกิดแรงดูดยึดให้โรเตอร์หยุดอยู่กับที่ แม่จะไม่ได้ป้อนไฟเข้าขดลวด

แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ ( VARIABLE RELUCTANCE - VR ) สเต็ปิ่งมอเตอร์แบบ VR จะมีการหมุน โรเตอร์ได้อย่างอิสระ แม่จะไม่ได้จ่ายไฟให้โรเตอร์ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติก กำลังอ่อน มีลักษณะเป็นฟันเลื่อย รูปทรงกระจบอกโดยจะมีความสัมพันธ์ โดยตรงกับจำนวนโพลในสเตเตอร์ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะไปหมุนโรเตอร์ ไปในเส้นทางของอำนาจแม่เหล็กที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่ำที่สุด ตำแหน่งที่จะเกิดแน่นอนและมีเสถียรภาพแต่จะเกิดขึ้นได้หลายๆ จุดดังนั้นเมื่อป้อนไฟเข้าขดลวดต่างๆ ในมอเตอร์แตกต่างกันไป ก็ทำให้มอเตอร์ หมุนไปตำแหน่งต่างๆ กัน โรเตอร์ของ VR จะมีความเฉื่อยของโรเตอร์น้อยจึงมีความเร็วรอบสูงกว่ามอเตอร์แบบ PM

ส่วนแบบผสม ( HYBRID - H ) สเต็ปมอเตอร์แบบ H จะเป็นลูกผสมของ VR กับ PM โดยจะมีสเตเตอร์คล้ายกับที่ใช้ใน VR โรเตอร์มีหมวกหุ้ม ปลายซึ่งมีลักษณะของสารแม่เหล็กที่มีกำลังสูง โดยการควบคุมขนาดรูปร่างของหมวกแม่เหล็กอย่างดีทำให้ได้มุม การหมุนและครั้งน้อย และแม่นยำ ข้อดีก็คือ ให้แรงบิดสูงและมีขนาดกระทัดรัด และให้แรงดูดยึดโรเตอร์นิ่งกับที่ตอนไม่จ่ายไฟ



รูปที่ 2.3 แสดง (ก) โครงสร้าง (ข) วงจรเทียบเท่า (equivalent circuit) ของมอเตอร์ชนิด 4 ขด .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ลักษณะการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่สเต็ปิ่งมอเตอร์

### 2.2.1 แบบจ่ายกระแสไฟให้เฟสเดียววนเวียนกันไป

เรียก ONE-EXCITATION หรือ HALF DRIVE คือ f1 , f2 f3, f4 การ OUT EXCITATION แบบนี้แรงบิดจะน้อย

### 2.2.2 แบบจ่ายกระแสไฟให้พร้อมกันทีละ 2 f

เรียก TWO-EXCITATION หรือ FULL STEP คือ f1f2 , f2f3 , f3f4 , f4f1 หมุนเวียนกันไป แบบนี้แรงบิดจะมาก

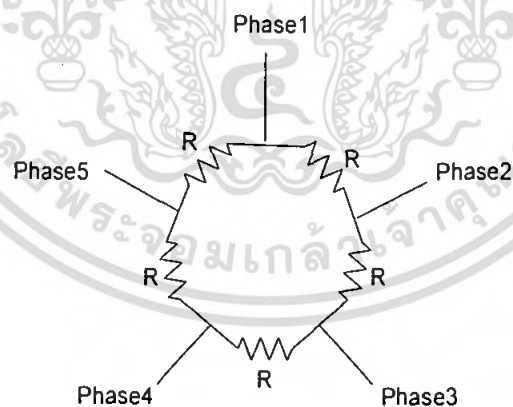
### 2.2.3 แบบจ่ายกระแสไฟให้ทีละ 1 เฟส สลับกับ 2 เฟส

เรียก ONE-TWO EXCITATION หรือ HALF STEP เหมือนรูปแสดงของมุมโรเตอร์ แต่แบบนี้จำนวน STEP ทวนเข็มจะเป็นตรงกันข้าม

ตารางที่ 2.1 แสดงตาราง ONE-TWO EXCITATION

เฟสที่จ่ายกระแสไฟฟ้า	$\phi_1$	$\phi_1\phi_2$	$\phi_2$	$\phi_2\phi_3$	$\phi_3$	$\phi_3\phi_4$	$\phi_4$	$\phi_4\phi_1$
ตำแหน่งโรเตอร์	↑	↗	→	↘	↓	↙	←	↖

## 2.3 วิธีการหาค่าดับเฟสของสายสัญญาณ



รูปที่ 2.4 แบบจำลองลักษณะการต่อความต้านทานภายในมอเตอร์

จากการวัดความต้านทานของสายสัญญาณ โดยทำการวัดทีละคู่ของสายสัญญาณ เช่น วัดสาย 1 คู่กับสาย 2 ค่าของความต้านทานที่วัดได้จะมีเพียงสองค่าคือ

- 1 กรณีที่วัดสายสัญญาณที่อยู่ติดกันเช่น สาย 1 กับ สาย 2 ความต้านทานที่วัดได้คือ ความต้านทานเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R // 4R$$

ซึ่งจะเท่ากับ

$$4R^2 / 5R = 4R / 5 \text{ โห้หม} \quad (2.1)$$

2. กรณีที่วัดสายสัญญาณที่อยู่ติดกันไปเช่น สาย 1 กับ สาย 3 ความต้านทานที่วัดได้คือ ความต้านทานเท่ากับ

$$2R // 3R$$

ซึ่งจะเท่ากับ

$$6R^2 / 5R = 6R / 5 \text{ โห้หม} \quad (2.2)$$

โดยจากการทดลองจริง วัดค่าจากสายสัญญาณได้ 2 ค่าคือ 3.6 และ 2.4 โห้หม การคำนวณเพื่อ พิสูจน์ความถูกต้อง จากค่าความต้านทานที่คิดจากวงจรมี 2 ค่าคือ  $4R/5$  โห้หม และ  $6R/5$  โห้หม ซึ่ง  $4R/5$  โห้หมมีค่าน้อยกว่า ดังนั้นเราจะให้มีค่าเท่ากับ 2.4 โห้หม จะได้ว่า

$$2.4 = 4R / 5 \quad (2.3)$$

ดังนั้น

$$R = (2.4 * 5) / 4 = 3 \text{ โห้หม} \quad (2.4)$$

ดังนั้น ความต้านทานอีกหนึ่งสาย

$$= 6R / 5 = (6 * 3) / 5 = 3.6 \text{ โห้หม} \quad (2.5)$$

จากความรู้ดังกล่าวทำให้เราสามารถหาลำดับของสายสัญญาณได้โดยการวัดค่าความต้านทานแล้วนำมาสร้างความสัมพันธ์กัน และเมื่อได้ลำดับของสายสัญญาณแล้ว ขั้นตอนถัดไปก็จะหาลำดับในการจ่ายกระแสให้แก่มอเตอร์ว่ามีรูปแบบอย่างไร

จากลักษณะของมอเตอร์เราจะแบบออกเป็นทั้งหมด 5 ส่วน โดยที่ 1 รอบ ของรูปแบบของการหมุนจะเท่ากับ 360 องศา ดังนั้น 1 ส่วน จะเท่ากับ  $360/5$  หรือ 72 องศา จากความรู้นี้เราจะได้รูปแบบของการจ่ายกระแสให้แก่มอเตอร์ คือ จ่ายกระแสให้ครึ่งละหนึ่งเฟสเรียงกันไปตามลำดับ โดยแต่ละเฟสจะเริ่มห่างกัน 72 องศาและ การจ่ายให้แต่ละเฟสใช้ช่วงการหมุน 180 องศา จากรูปที่ 2.5 ก็จะสามารถแบ่งได้ออกเป็น 10 รูปแบบ โดยการจ่ายกระแสจะจ่ายตามลำดับที่ 1-10 และวนกลับมาเริ่มใหม่ โดยถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนย้อนกลับก็ต้องจ่ายย้อนกลับจาก 10-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

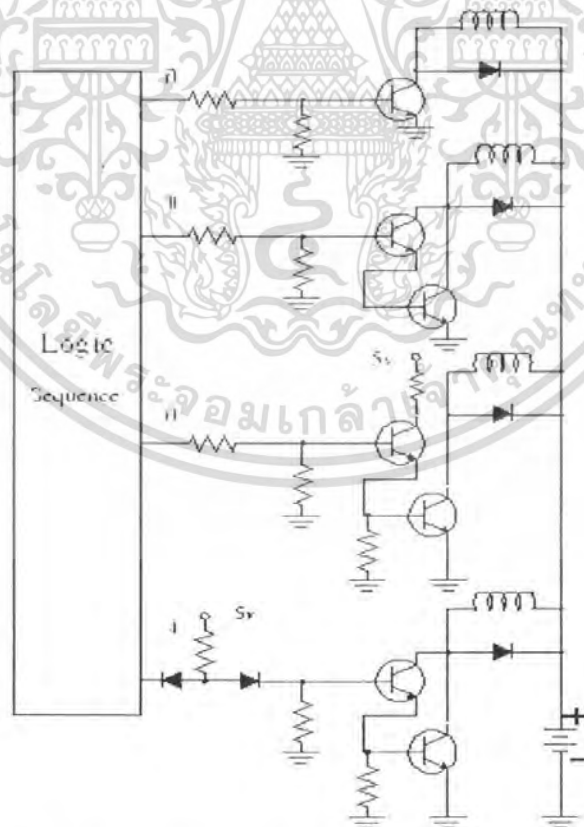
ตารางที่ 2.2 รูปแบบของลำดับการจ่ายกระแสให้แก่มอเตอร์

องศา	0	36	72	108	144	180	216	252		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เฟส1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
เฟส2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
เฟส3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
เฟส4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
เฟส5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

## 2.4 วงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์

### 2.4.1 วงจรขับ (DRIVE)

เมื่อเรารู้ความเร็วของมันแล้วคือไปเราก็ต้องมีวงจร DRIVE ให้แก่ STEPPING MOTOR วิธีที่ง่ายที่สุดในการต่อวงจรขับเคลื่อนสี่ขั้วกับวงจรขับ คือ การต่อ โดยตรง ดังเอาท์พุท ก และ ข แต่ถ้ากระแสเอาท์พุท ของวงจรขับเคลื่อนสี่ขั้วไม่เพียงพอก็ต้องต่อ บัฟเฟอร์ (BUFFER) เพื่อขยายกระแสดังรูปที่ 2.5

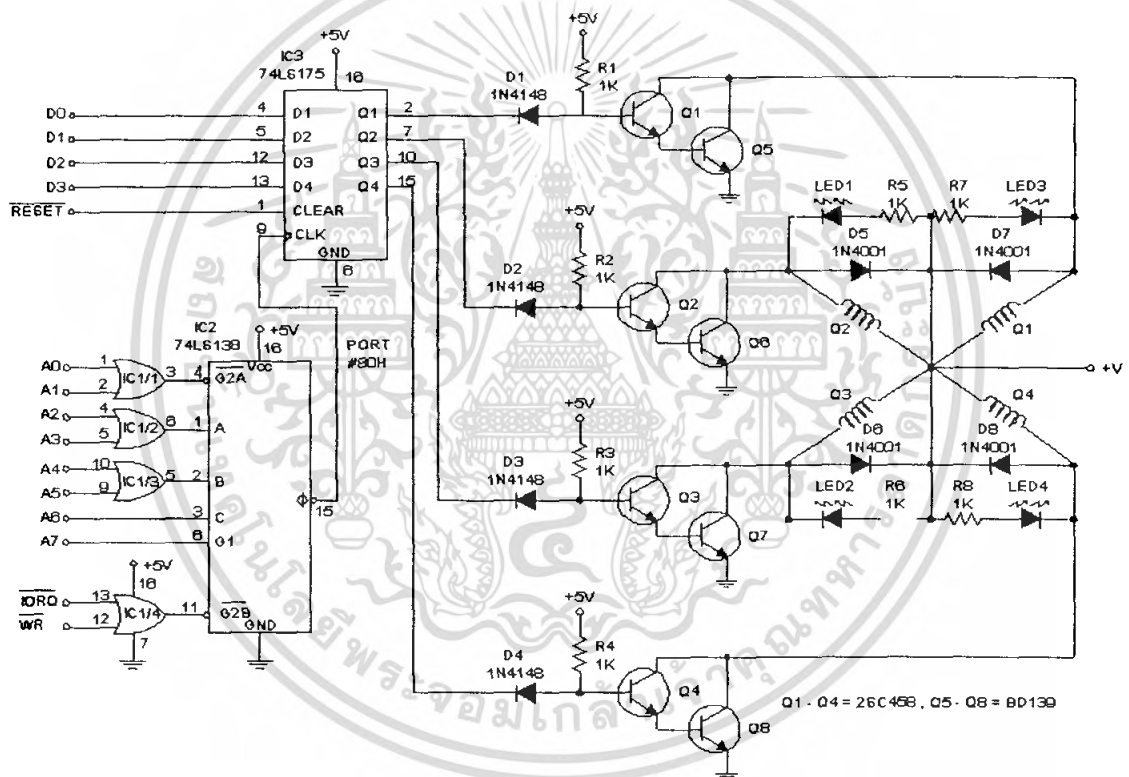


รูปที่ 2.5 แสดงวิธีขับเอาท์พุทของสเต็ปป์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 วงจรขับสแต็ปมอเตอร์ที่ประยุกต์ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

Q1-Q4 เป็นตัวขับร่วมกับ Q5-Q8 โดยการต่อแบบคาร์ลิงตัน วงจรนี้สามารถใช้กับมอเตอร์ที่ดึงกระแสมากๆแต่ไม่ ควรเกิน 2A เพราะ Q5-Q8 อาจจะร้อนซึ่งวงจรที่ให้นานี้ออกแบบไว้สำหรับ รุ่นที่ให้กระแสไม่เกิน 600 mA ถ้าจะใช้ กับรุ่นที่ดึงกระแสมากๆก็เพียงแต่เปลี่ยน Q5-Q8 เป็นเบอร์ที่ สามารถทนกระแสได้มากขึ้น D5-D8 เป็นตัวป้องกัน ความเสียหาย ทรานซิสเตอร์อื่นเกิดจากการ เปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงดันย้อนกลับ LED1-LED5 ทำหน้าที่บอกสถานะ เอาท์พุท (สว่างคือ "1" ดับคือ "0") R5-R8 ทำหน้าที่จำกัดกระแส โดย LED ซึ่งแรงดันย้อนกลับ สามารถทำให้ LED ดิดสว่างได้เช่นกัน แรงดัน +V นั้นควรเลือกให้เหมาะสมกับสแต็ปมอเตอร์ที่จะ ใช้ด้วยคือ ประมาณ  $V+2.5$  โดย V คือค่าแรงดันที่กำกับไว้ที่ข้างตัวมอเตอร์ เช่น 12 V ก็จะใช้ แรงดันเท่ากับ  $12+2.5 = 14.5$  โวลต์ เป็นต้น

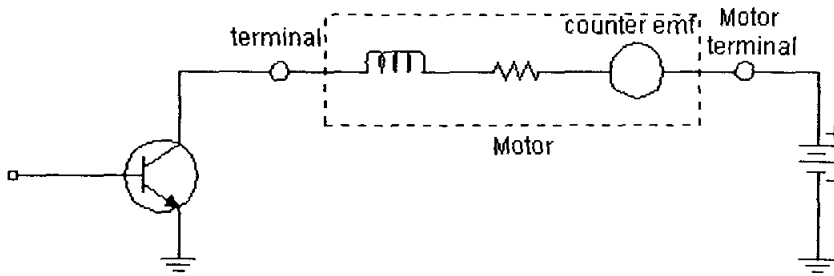


รูปที่ 2.6 วงจรขับสแต็ปมอเตอร์ซึ่งสามารถดัดแปลงไปใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่นได้

## 2.4.3 ปัญหาเกี่ยวกับวงจรขับ

ขดลวดของสแต็ปมอเตอร์เป็น โทลด์ชนิดตัวเหนี่ยวนำ และมีค่าเปรียบเสมือนผลรวม ของความเหนี่ยวนำ (Inductance)อนุกรมกับความต้านทานดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

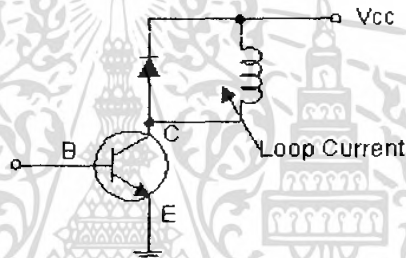


รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลย์ (equivalent circuit) ของสแต็ปมิ่งมอเตอร์

### 2.4.3 ซัพเพรสเซอร์ (SUPPRESSOR)

เมื่อ ทรานซิสเตอร์รูป A หยุคนำกระแสจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าค่าสูงจำนวนหนึ่ง เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ และแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้จะเป็นอันตรายต่อทรานซิสเตอร์ได้วิธีป้องกันได้ด้วยวิธีการต่อไปนี้

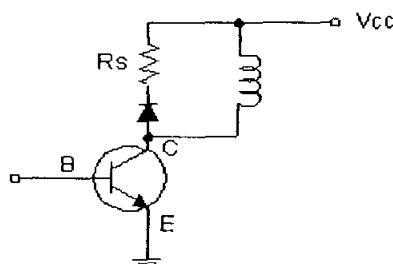
#### 2.4.3.1 การใช้ไดโอดซัพเพรสเซอร์



รูปที่ 2.8 การใช้ไดโอดซัพเพรสเซอร์

กระแสมวนเวียน CIRCULATING CURRENT จะเริ่มไหลหลังจากทรานซิสเตอร์ หยุคนำกระแส และสัปดาห์บนคอลเลกเตอร์ จะเท่ากับศักดาของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ข้อเสียคือ กระแสจะหมุนเวียนอยู่นานและ จะทำให้เกิดแรงบิดห้ามล้อ (BREAKING TORQUE) พลังงานส่วนใหญ่จะสูญเสียเป็นความร้อนในความต้านทานของขดลวด

#### 2.4.3.2 การใช้ไดโอดและตัวต้านทานซัพเพรสเซอร์

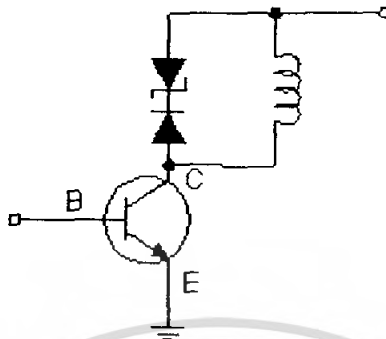


รูปที่ 2.9 การใช้ไดโอดและตัวต้านทานซัพเพรสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าค่าตัวต้านทาน RS ยิ่งมากกระแสหมวนเวียนก็จะลดลงเร็วขึ้นแต่ศักดาของ คอลเลคเตอร์ในขณะที่ กระแสไหลย้อนกลับ จะมีค่าสูงขึ้นพลังงานส่วนใหญ่สูญเสียในตัวต้านทาน RS

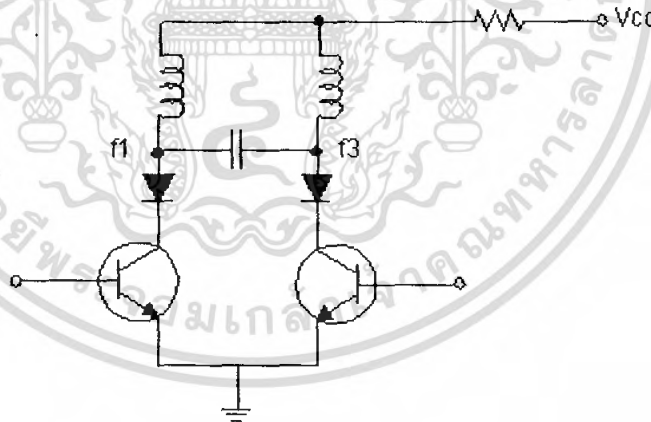
### 2.4.3.3 การ ใช้ซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟรสเซอร์



รูปที่ 2.10 การใช้ซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟรสเซอร์

เมื่อทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส กระแสจะลดลงได้เร็วกว่า 2 แบบแรก และศักดาที่คอลเลคเตอร์ ขณะกระแสไหลย้อน กลับจะเท่ากับศักดาของซีเนอร์บวกกับศักดาของแหล่งจ่าย ซึ่งเป็นอิสระต่อ กระแสพลังงานส่วนใหญ่สูญเสียในซีเนอร์ไดโอด

### 2.4.3.4 การใช้ตัวเก็บประจุชัฟเฟรสเซอร์



รูปที่ 2.11 การใช้ตัวเก็บประจุชัฟเฟรสเซอร์

จะใส่ตัวเก็บประจุให้  $f1$  กับ  $f3$  และ  $f2$  กับ  $f4$  เมื่อทรานซิสเตอร์ หยุดนำกระแสตัวเก็บประจุ  $C$  จะ ต่อกับทรานซิสเตอร์ โดยผ่านไดโอด และจะดูดกลืนกระแสที่ค่อยๆ ลดลงจากขดลวดของมอเตอร์ เพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์เสีย และยังช่วยแคมป์ไฟ คือช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นในขดลวดสเต เตอร์เนื่องจากการแกว่งของโรเตอร์

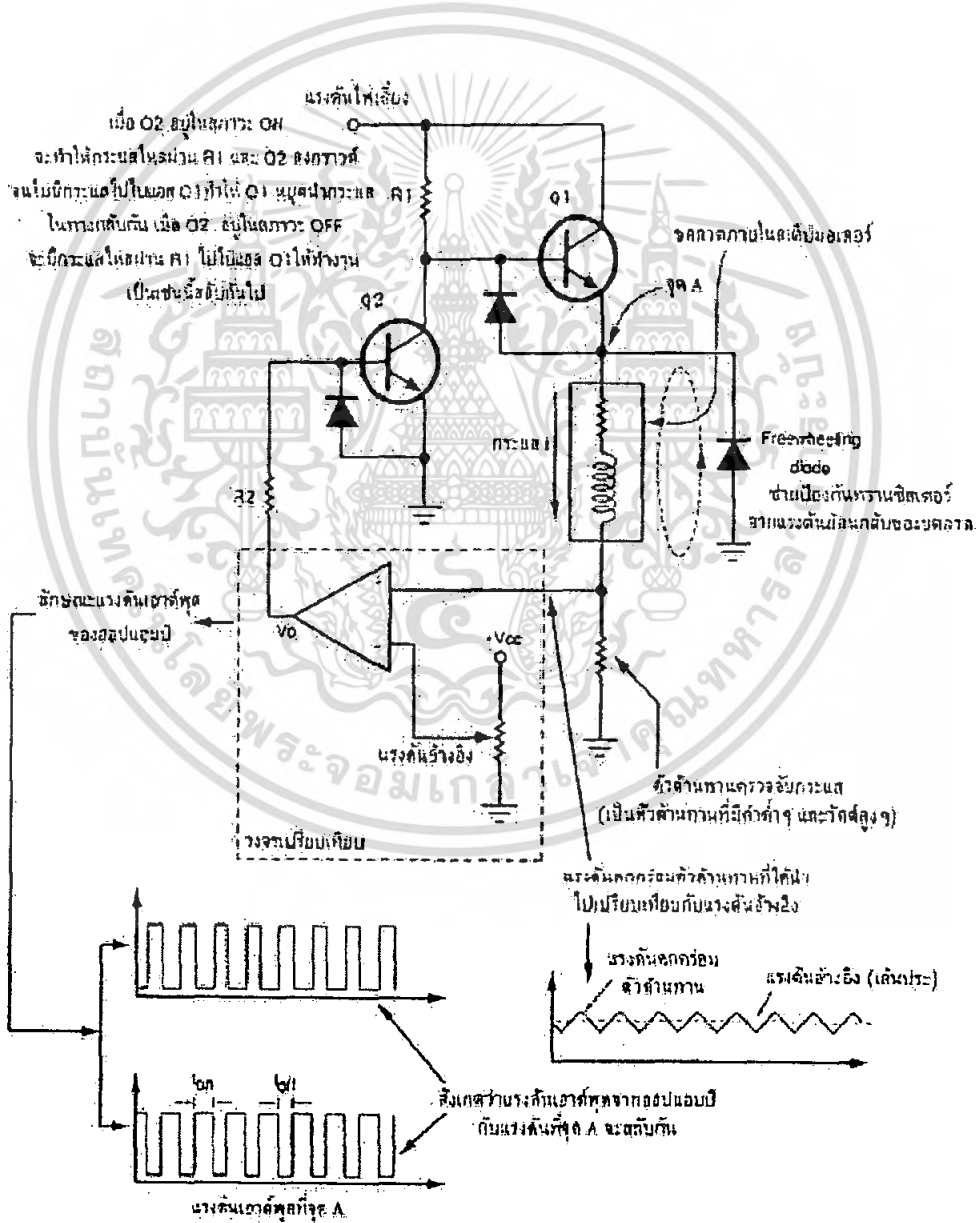
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5 หลักการเบื้องต้นของการขับสเต็ปปีงมอเตอร์ด้วย PWM

หลักการเบื้องต้นของการขับสเต็ปปีงมอเตอร์ด้วยเทคนิคพัลส์วิดธ์มอดูเลชัน PWM ( Pulse Width Modulation ) แสดงดังรูปที่... จะเห็น โหลดที่เป็นขดลวดตัวเหนี่ยวนำอนุกรมกับตัวต้านทาน อยู่ในกรอบเส้นประ (เปรียบเทียบได้กับขดลวดภายในสเต็ปปีงมอเตอร์)

กระแสที่ไหลผ่านขดลวดนี้จะไหลผ่านตัวต้านทานค่าต่างๆ ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับกระแสที่ไหลผ่าน โดยจะได้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอ้างอิง โดยใช้ ออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

เอาต์พุตจากออปแอมป์จะนำกลับไปควบคุมทรานซิสเตอร์อีกทีหนึ่ง โดยทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เปรียบเหมือนสวิตช์ที่คอย ON หรือ OFF ตามเอาต์พุตของออปแอมป์



รูปที่ 2.12 แนวคิดการขับขดลวดภายในสเต็ปปีงมอเตอร์ด้วยเทคนิค PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูปที่ 2.12 ถ้าแรงดันที่ขาบวกของออปแอมป์ (มาจากตัวต้านทานที่ตรวจจับกระแส) มากกว่าแรงดันที่ขาลบ (แรงดันอ้างอิง) เอาต์พุต (Vo) ของออปแอมป์จะให้เอาต์พุตเป็น “High” ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 อยู่ในสถานะ ON จึงเป็นผลทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 อยู่ในสถานะ OFF

เมื่อ Q1 อยู่ในสถานะ OFF ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวด เป็นผลทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานสำหรับตรวจจับกระแสมีค่าลดลง จนแรงดันมีค่าน้อยกว่าแรงดันอ้างอิง เอาต์พุตของออปแอมป์เป็น “LOW” จึงทำให้ Q2 อยู่ในสถานะ OFF ส่งผลให้ Q1 กลับไปอยู่ในสถานะ ON เช่นเดิม ทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดอีกครั้งหนึ่ง :

เหตุการณ์ทั้งหมดนี้จะเกิดขึ้นสลับกันไปอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเป็นลักษณะของกระแสไหลกับกระแสไม่ไหลอย่างรวดเร็ว ซึ่งประกอบด้วย สถานะการ ON และ OFF สลับกันไปมาอย่างนี้ อาจมีความถี่ได้ตั้งแต่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ไปจนถึง 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ต่อรวมว่าทำงานได้เร็วมากน้อยขนาดไหน

การขับขดลวดของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบนี้ บ่อยครั้งถูกเรียกว่าการขับแบบชอปเปอร์ (Chopper) ซึ่งข้อดีของการขับแบบนี้ก็คือ ใช้แหล่งจ่ายไฟแบบเดียว การสูญเสียกำลังงานต่ำและสามารถปรับกระแสที่จ่ายให้ขดลวดได้ โดยการปรับที่แรงดันอ้างอิง

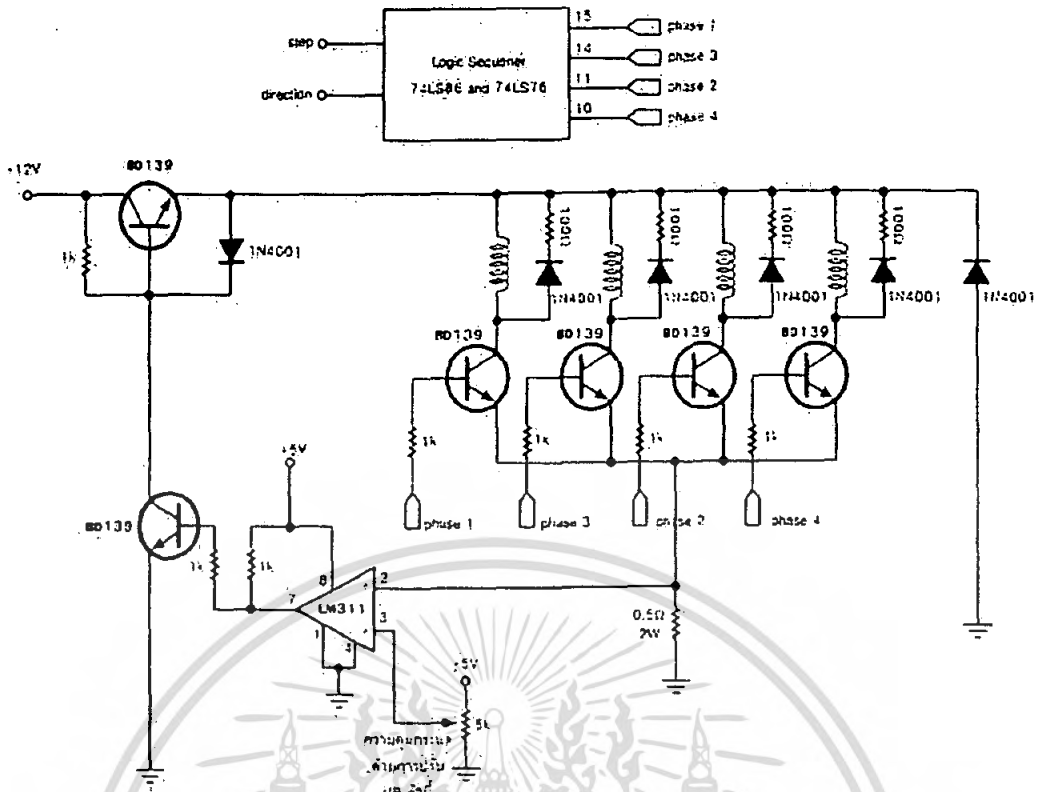
แต่อย่างไรก็ตาม การขับลักษณะนี้มีข้อเสียอยู่บ้างเนื่องจากวงจรทานในลักษณะการของออสซิลเลต ดังนั้นในขณะที่วงจรนี้ทำงาน จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้

### 2.5.1 ขับสเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดยูนิโพลาร์

ในรูปที่ 2.13 เป็นวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดยูนิโพลาร์มีวงจรควบคุมเป็นวงจรดิจิทัลที่รับสัญญาณอินพุตเป็น Step และ Direction ( วงจรนี้แสดงไว้ในบทความตอนลดจำนวนสายในการควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์ด้วยวงจรดิจิทัล ) เอาต์พุตจากวงจรนี้จะนำไปขับทรานซิสเตอร์ทั้งสี่ของวงจรขับ ( 4 เฟส ) มีออปแอมป์เบอร์ LM 311 ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

โดยออปแอมป์จะเปรียบเทียบแรงดันที่ได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้กับแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 0.5 โอห์ม ถ้าปรับแรงดันเปรียบเทียบที่ขา 3 ของ LM 311 ให้มากขึ้นกระแสจะไหลผ่านขดลวดภายในสเต็ปปีงมอเตอร์มาก แต่ถ้าปรับแรงดันเปรียบเทียบที่ขา 3 น้อยๆ กระแสที่ไหลผ่านขดลวดก็น้อยตาม ถ้าต้องการทราบกระแสที่ไหลผ่านขดลวด ให้วัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 0.5 โอห์ม นำมาหารด้วยค่า 0.5 นี้ก็จะได้กระแสที่ไหลผ่านขดลวดของสเต็ปปีงมอเตอร์ขณะนั้น

ในทำนองเดียวกัน ถ้าต้องการควบคุมกระแสให้ไหลผ่านสเต็ปปีงมอเตอร์ 0.8 แอมป์ จะต้องปรับตัวต้านทานให้แรงดันที่ขา 3 ของ LM 311 เท่ากับ 0.4 โวลต์ ซึ่งคำนวณได้จาก 0.8 คูณด้วย 0.5 เท่ากับ 0.4 โวลต์ ซึ่งคำนวณได้จาก 0.8 คูณด้วย 0.5 เท่ากับ 0.4



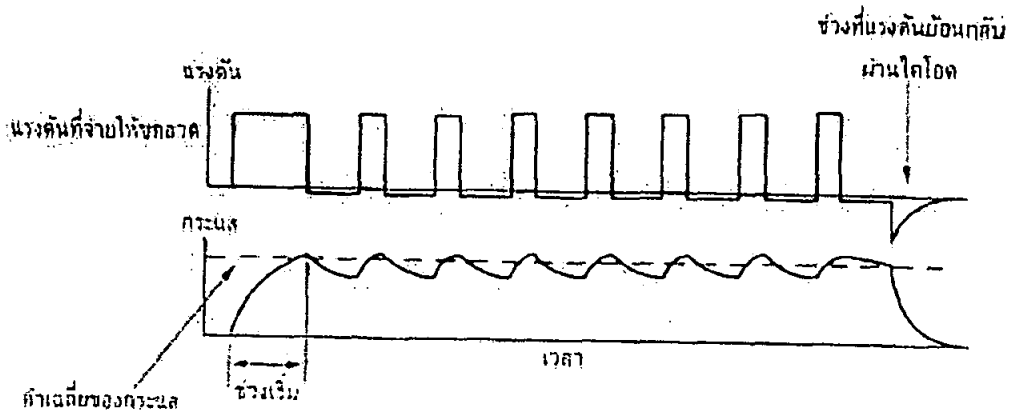
รูปที่ 2.13 วงจรขับสเต็ปิ่งมอเตอร์ยูนิโพลาร์ด้วยเทคนิค PWM หรือชอปเปอร์

จะเห็นว่าแรงดันเปรียบเทียบมีค่าต่ำมาก ดังนั้นตัวต้านทานปรับค่าได้ควรใช้แบบทริมพอร์ต 25 รอบ (ตัวสีฟ้า) ซึ่งจะช่วยให้การปรับละเอียดทำได้ง่ายขึ้น

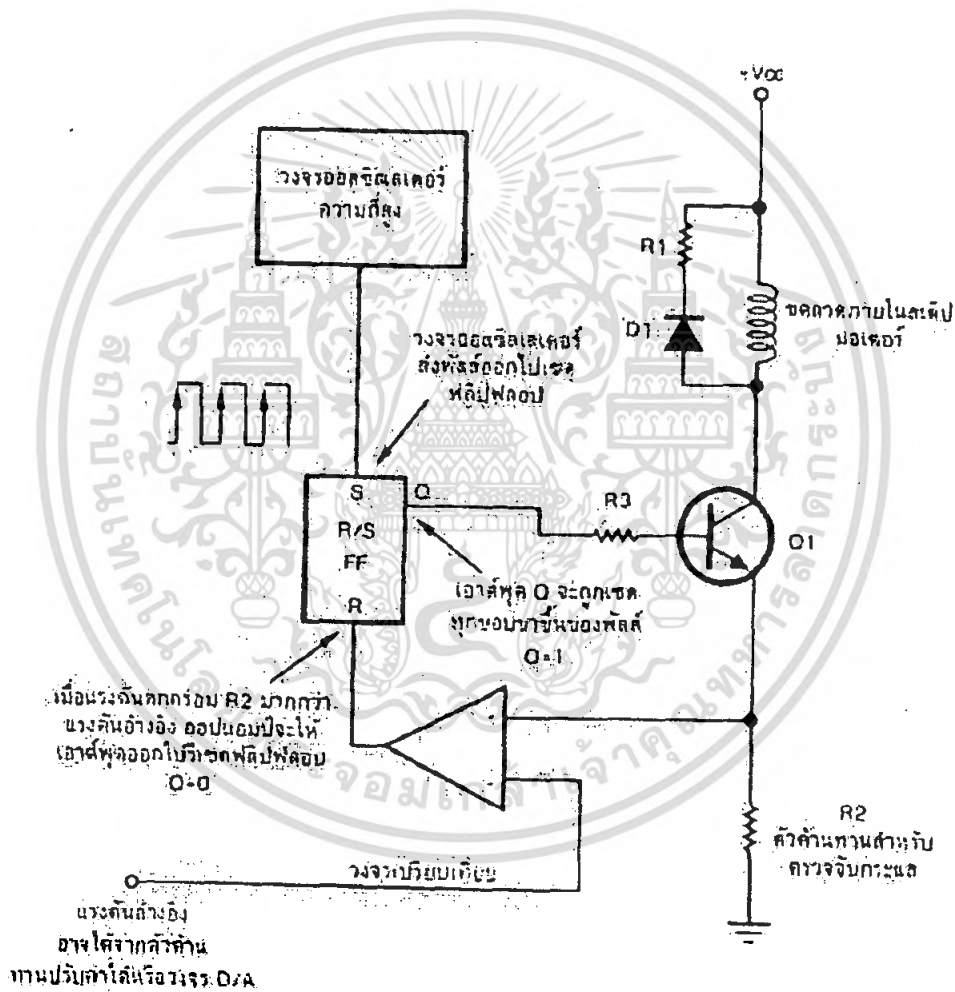
ในรูปที่ 2.14 เมื่อทรานซิสเตอร์เฟสที่ 1 และเฟสที่ 3 นำกระแส ลักษณะของแรงดันที่จ่ายให้ขดลวดและลักษณะของแรงแสที่ไหลผ่านขดลวดจะเป็นดังกราฟแสดงโหม่ง ไดอะแกรมในรูป โดยกระแสที่ได้เป็นผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านเฟสที่ 1 และเฟสที่ 3 โดยค่าเฉลี่ยของกระแสสามารถควบคุมให้มากขึ้นหรือน้อยลงได้ ด้วยการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ในวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

วิธีการควบคุมกระแสตามแนวคิดนี้ยังมีข้อเสียอยู่บ้างเล็กน้อยที่ระยะเวลาของการ ON และ OFF ของทรานซิสเตอร์เป็นไปตามค่าคงที่ของตัวต้านทานอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาการ ON และ OFF ของทรานซิสเตอร์แตกต่างกันไปตามค่าความต้านทานภายในขดลวดของสเต็ปิ่งมอเตอร์

นอกจากแบบวงจรจึงใช้วิธีบังคับให้ทรานซิสเตอร์ ON หรือ OFF ตามความถี่ที่ต้องการ โดยการนำเอาจุดของออปแอมป์ไปต่อเข้ากับขาริเซตฟลิปฟลอป ซึ่งอีกด้านหนึ่งมีวงจรกำเนิดความถี่ที่ตั้งไว้แล้วต่อเข้าขาเซตของฟลิปฟลอป ซึ่งแนวคิดดังกล่าวเป็นดังรูปที่ 2.15

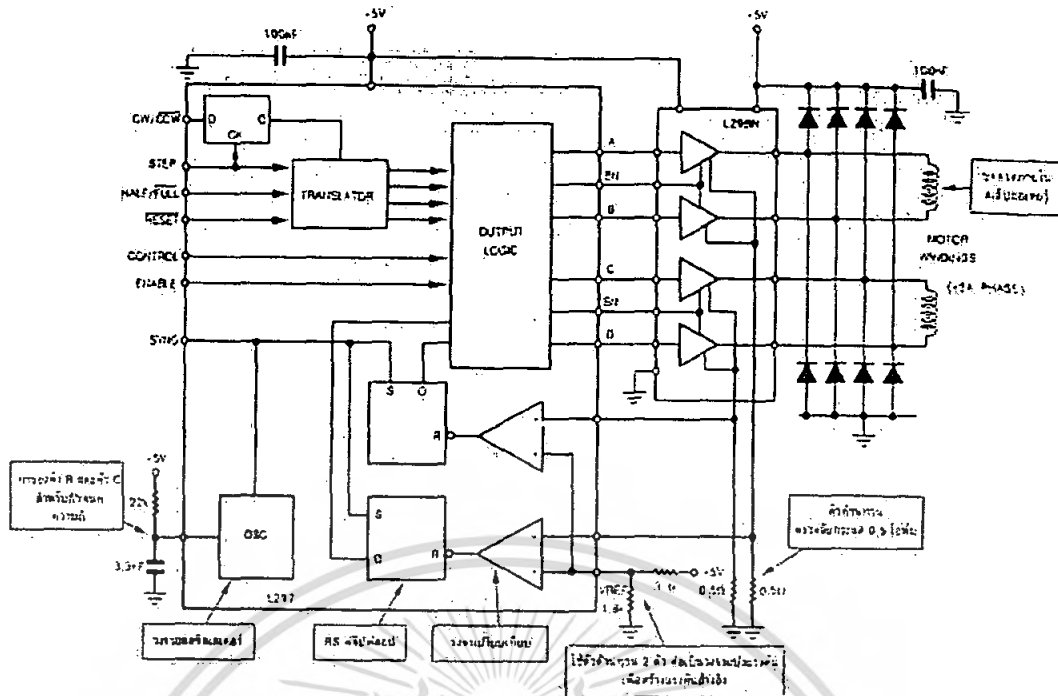


รูปที่ 2.14 ลักษณะของแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดและกระแสที่ไหลผ่านขดลวด



รูปที่ 2.15 ทำงานร่วมกับฟลิปฟล็อปและวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมกระแสให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในไอซีเบอร์ L297 ต่อกับเบอร์ L298

2.5.2 กำหนดสถานะ ON-OFF ตามต้องการ

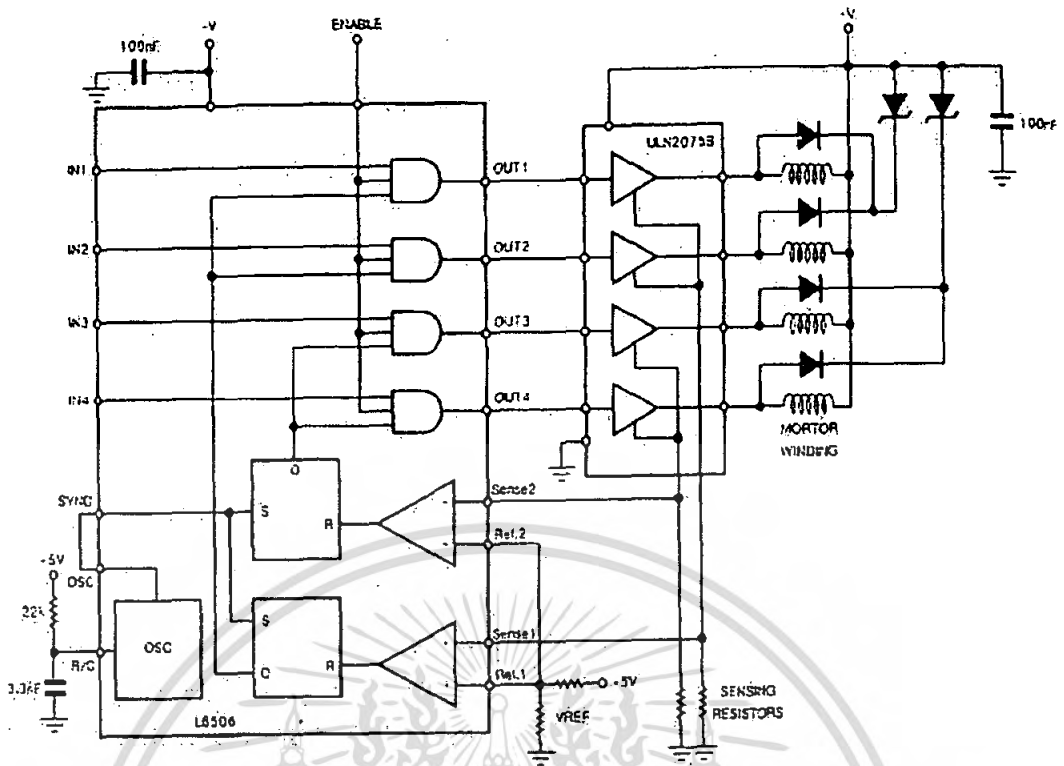
การทำงานของวงจรในรูปที่ 2.15 คล้ายคลึงกับแนวคิดในรูปที่ 2.12 แตกต่างกันเพียงมี วงจร ฟลิปฟลอปและวงจรรอสซิลเลเตอร์เพิ่มเข้ามาเท่านั้น

สัญญาณความถี่ที่ได้จากวงจรรอสซิลเลเตอร์จะไปเซตเอาต์พุต Q เป็นลอจิก “1” ทุก ๆ ขอบขาขึ้นของพัลส์เป็นผลให้ Q1 อยู่ในสถานะ ON กระแสจะไหลผ่านขดลวดผ่านทรานซิสเตอร์ และผ่าน R2 เกิดเป็นแรงดันตกคร่อม R2 ส่งเข้าวงจรเปรียบเทียบ

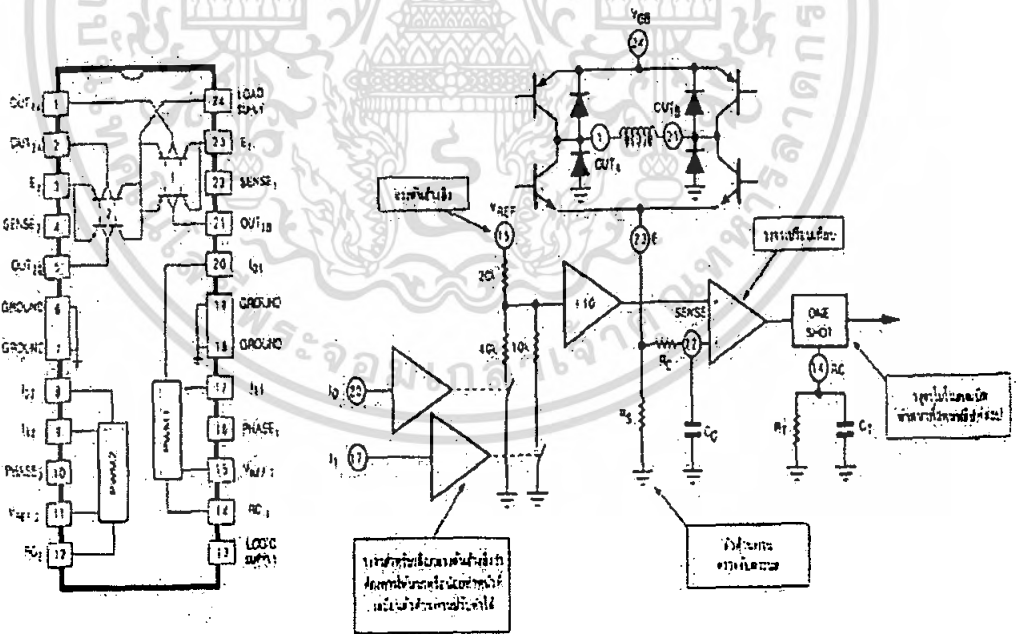
ถ้าแรงดันนี้มากกว่าแรงดันอ้างอิง เอาต์พุตของออปแอมป์จะให้อาต์พุตเป็นลอจิก “1” ไป ฟลิปฟลอปให้ Q เป็นลอจิก “0” ทำให้ Q1 อยู่ในสถานะ OFF แต่สัญญาณพัลส์ที่มาจากวงจรรอสซิลเลเตอร์ยังคงส่งมาเซตฟลิปฟลอปอย่างต่อเนื่อง ทำให้ Q1 มีสถานะ ON และ OFF สลับกันไปมาอย่างรวดเร็วตามที่ได้อธิบายมาแล้ว

แนวคิดของวงจรในรูปที่ 2.15 ได้ถูกนำมาใช้ในไอซีควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์หลากหลาย เบอร์ ตัวอย่างเช่น L297, L6506, UDN2916, LMD18245, TEA3717 และ UC3770 เป็นต้น รูปที่ 2.16 ถึงรูปที่ 2.20 แสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรภายในของ ไอซีเหล่านี้

ตั้งแต่เริ่มต้นบทความเกี่ยวกับการขับเคลื่อนสเต็ปปีงมอเตอร์จนมาถึงหัวข้อนี้ ถ้าผู้อ่านติดตามมาตลอดจะได้เห็นถึงพัฒนาการของวงจรขับเคลื่อนสเต็ปปีงมอเตอร์ที่ซับซ้อนมากขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้เพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับสเต็ปปีงมอเตอร์ให้สามารถหมุนได้เร็วขึ้นและแรงขึ้น โดยที่ยังอยู่ภายใต้การควบคุม

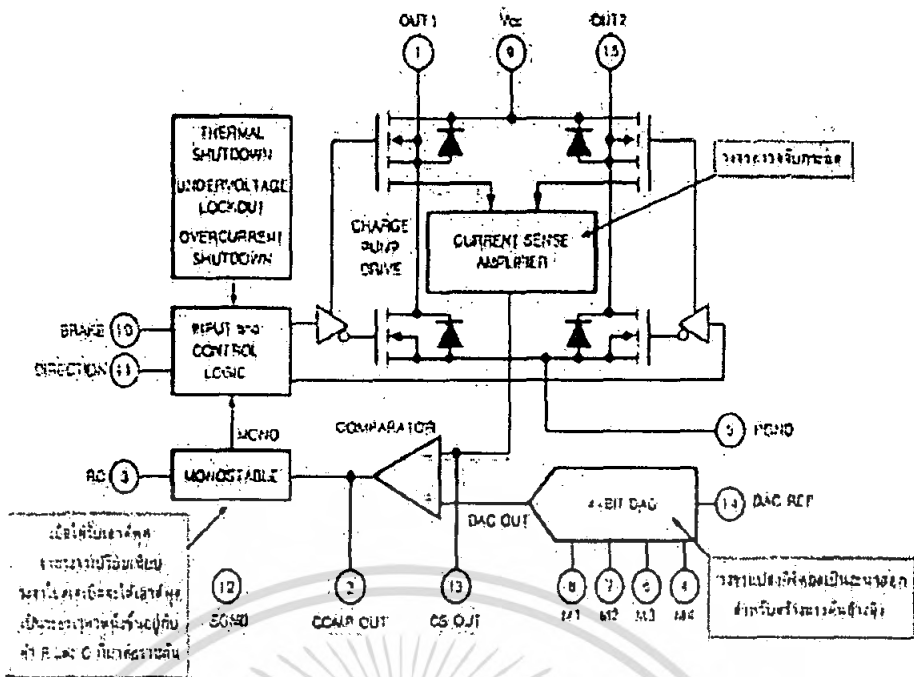


รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในไอซีเบอร์ L6506

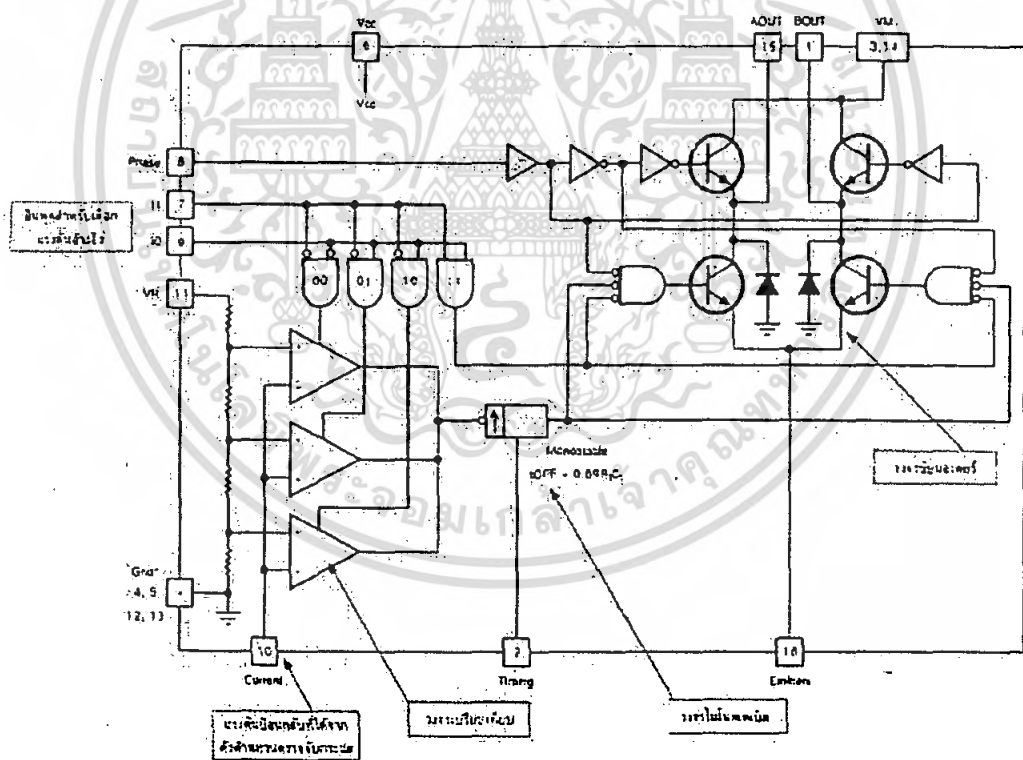


รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในไอซีเบอร์ UDN2916

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรภายในไอซีเบอร์ LMD18245

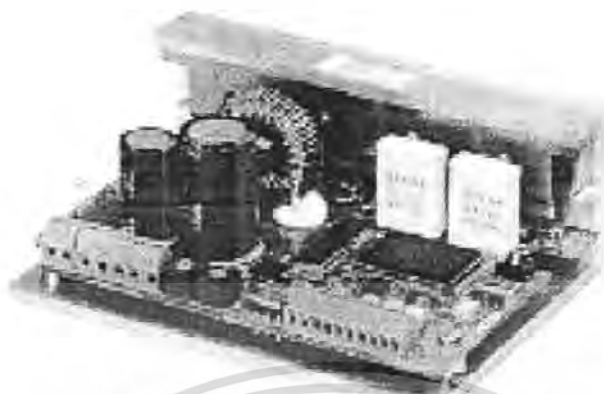


รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมภายในไอซีเบอร์ UC 3770 ซึ่งจะคล้ายกับเบอร์ TEA3717

82032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 Board Drive Stepping Motor 5 Phase



รูปที่ 2.21 Board Drive Stepping Motor 5 Phase

Board Drive Stepping Motor 5 Phase จะใช้ในการ Control Stepping Motor 5 Phase เพราะถ้าเราจะใช้การ Control Stepping Motor 5 Phase โดยตรงจะเป็น Control ยากมากจึงอาศัย Board Drive Stepping Motor 5 Phase โดยจะอาศัย Controller MCS-51 เป็นตัวควบคุม Board Drive Stepping Motor 5 Phase แทนจะเป็นการง่ายมากยิ่งขึ้น โดยที่ Board Drive Stepping Motor ใช้สัญญาณ PWM โดยที่ DUTY 50% ซึ่งจะต้องใช้คาบเวลาในการส่งงาน โดย 1 คาบเวลาจะให้ 1 Step หรือจะได้ 0.72 องศา ซึ่ง Board Drive Stepping Motor 5 Phase จะสามารถปรับองศาต่อ Step ได้ตั้งแต่ 0.72 องศา/Step - 0.00288 องศา/Step โดยจะปรับตามความต้องการของผู้ใช้ และการต้องการให้ Stepping Motor 5 Phase หมุนทางด้าน CW หรือ CCW นั้น Stepping Motor 5 Phase จะมี ขาสัญญาณที่ใช้ในการ Control 2 ขานี้ โดยจะนำสัญญาณ PWM เข้าไปที่ขาสัญญาณที่ต้องการใช้ ซึ่งต้องการหมุนไปที่ Step ก็จะทำให้การใส่สัญญาณ PWM เข้าไปตามจำนวน Step ที่ต้องการซึ่ง ถ้าต้องการหมุนที่ต้องการเท่าไรก็คำนวณองศา/Step ที่ต้องการหมุนตามภาคผนวก

### 2.7 ข้อดีของสเต็ปปีงมอเตอร์เมื่อเปรียบกับมอเตอร์กระแสตรง (DC MOTOR)

1. การควบคุมไม่ต้องอาศัยตัวตรวจจับการหมุน
2. ไม่ต้องใช้แปรงถ่าน ดังนั้นจึงทำให้ไม่มีส่วนที่จะต้องสึกหรอ และปัญหาของการสปาร์ก ( ที่เกิดจากหน้าสัมผัสของแปรงถ่านแหวนตัวนำใน โรเตอร์) ที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน
3. การควบคุมโดยทางวงจรถิจิตอลหรือไมโครโพรเซสเซอร์ ทำได้ง่าย และสะดวก

### 2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์

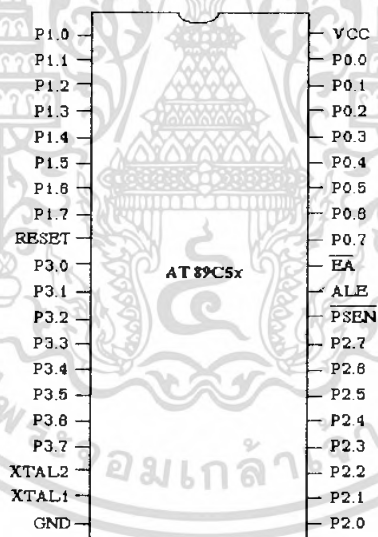
ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นชื่อเรียกของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่มีหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาต์พุต หน่วยความจำ วงจรกำหนดสัญญาณไฟฟ้าไว้ด้วยกัน ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม โดยที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรรีเลย์ทรานซิสต์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบ ในขณะที่ขีดความสามารถสูงขึ้น และภายใต้งบประมาณที่เหมาะสมภายในโครงการนี้เราได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S52 ดังนั้นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ในรายงานเล่มนี้จะกล่าวถึงหัวข้อสถาปัตยกรรมและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 และหัวข้อพอร์ตคอนโทรลเลอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เท่านั้น

### 2.8.1 สถาปัตยกรรมและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

สำหรับสถาปัตยกรรมโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 ที่มี 40 ขา มีขาให้ใช้งาน 32 ขา แบ่งเป็น 4 พอร์ต (หนึ่งขา ก็คือ 1 บิต และ 8 บิต เท่ากับ 1 พอร์ต) คือ P0, P1, P2 และ P3 ซึ่งแต่ละขาเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ มีหน่วยประมวลผลขนาด 8 บิต ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช ซึ่งสามารถลบและเขียนโปรแกรมอัดเข้าไปใหม่ได้ โดยตำแหน่งขาและชื่อจะจัดตามมาตรฐานของคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.22 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51

Port 0 จะอยู่ที่ขา 32-39 โดยจะใช้คำย่อว่า P0 โดย บิต 1 บิต ก็คือ 1 ขา และ 1 พอร์ต มี 8 บิต จะแบ่งเป็นบิต P0.0 – P0.7 นั้นเอง ในพอร์ตนี้แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นทั้งอินพุตและเอาต์พุต ใช้งานทั่วไป และยังใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วยเพื่อสลับการทำงานเป็นได้ทั้งขาแอดเดรสและขาข้อมูล Port 1 จะอยู่ที่ขา 1 – 8 โดยใช้คำย่อว่า P1 โดยมี 8 บิตเช่นกัน แบ่งเป็น

P1.0 – P1.7 ในพอร์ตนี้ แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นทั้งอินพุตและเอาต์พุตใช้งานทั่วไป สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89S52 ในบิตที่ P1.0 หรือ ขาที่ P1.0 เป็นอินพุตสำหรับนับค่าของไทเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทเมอร์ 2 ในขณะที่ P1.4 – P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลลงชิปนั่นเอง

Port 2 จะอยู่ที่ขา 21 – 28 โดยใช้คำย่อว่า P2 โดยมี 8 บิต แบ่งเป็น P2.0 – P2.7 ในพอร์ตนี้แต่ละขาเราสามารถกำหนดให้เป็นทั้งอินพุตและเอาต์พุตใช้งานทั่วไปได้ และยังใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

Port 3 จะอยู่ที่ขา 10-17 ใช้ชื่อย่อว่า P3 มี 8 บิต คือ P3.0 – P3.7 โดยแต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตใช้งานทั่วไป และนอกจากนี้ ขาพอร์ต 3 จะยังมีหน้าที่ในการใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดขั้นต้น ต่อไปนี้

P3.0 ขา RXD รับข้อมูลในการสื่อสารกับ คอมพิวเตอร์ ผ่าน RS232

P3.1 ขา TXD ส่งข้อมูลในการสื่อสารกับ คอมพิวเตอร์ ผ่าน RS232

P3.2 ขา  $\overline{\text{INT0}}$  รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก ช่องที่ 0

P3.3 ขา  $\overline{\text{INT1}}$  รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก ช่องที่ 1

P3.4 ขา T0 ใช้รับสัญญาณพัลส์ เคาน์เตอร์ 0

P3.5 ขา T1 ใช้รับสัญญาณพัลส์ เคาน์เตอร์ 1

P3.6 ขา  $\overline{\text{WR}}$  ใช้ในกรณี ติดต่อ หน่วยความจำภายนอก เป็นสัญญาณในการเขียน

P3.7 ขา  $\overline{\text{RD}}$  ใช้ในกรณี ติดต่อ หน่วยความจำภายนอก เป็นสัญญาณในการอ่าน

ขา  $\overline{\text{EA/Vpp}}$  (External Accessible /Programming voltage input) อยู่ที่ขา 31 เป็นขาที่ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำภายนอกหรือภายใน

ถ้า  $\overline{\text{EA}} = 0$  เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

ถ้า  $\overline{\text{EA}} = 1$  เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

นอกจากนี้ ยังเป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดัน 12 โวลต์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลชที่ต้องการแรงดันในการอัปเดตโปรแกรม

ขา  $\overline{\text{PSEN}}$  (Program Store Enable) ขานี้ใช้สำหรับแสดงสถานะของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะแสดงเป็นลอจิก Low '0' เมื่อกำลังอ่านข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา ALE / PROG (Address Latch Enable) ขานี้จะใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก โดยจะเป็น 1 เมื่อค่าที่ส่งเป็น ตำแหน่งของหน่วยความจำ และจะเป็น 0 เมื่อตำแหน่งใกล้จะหมด จะใช้ในการต่อวงจรแลตช์ในการติดต่อหน่วยความจำนั่นเอง

## 2.8.2 พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารแบบฟลูตเพล็กซ์ 1 ชุด (วงจรสื่อสารแบบฟลูตเพล็กซ์ หมายถึง วงจรสื่อสารที่สามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทางได้ในเวลาเดียวกัน) โดยใช้ขาสัญญาณของพอร์ต 3 คือขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้า หรือ RxD และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือ TxD โดยวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบบแฟลชเป็นแบบอะซิงโครนัส ปกติแล้วพอร์ตอนุกรมของตัวอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยใช้มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้แล้ว โดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณสื่อสารดังกล่าว

## 2.8.3 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

รูปแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาไปด้วย แต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอด หรือ บอดเรต (baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per second : bps) รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (parity bit) มีขนาด 1 บิต หรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 1 บิต

## 2.8.4 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

ในการทำงานของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัว คือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรมหรือ SBUF (Serial data buffer register) และรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON (Serial port Control Register) โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดของรีจิสเตอร์ทั้ง 2 ตัว คือรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON (Serial port Control Register) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 98H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิตดังในตาราง แสดงข้อมูลแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ SCON ซึ่งมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

### ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดรีจิสเตอร์ SCON

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

SM0-SM1 ใช้ในการเลือกโหมดทำงานของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ SM2 ใช้ในการเอ็นเอเบิลการสื่อสารในแบบมัลติโปรเซสเซอร์ในการทำงานของโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ถ้าบิตนี้เป็น 1 บิต RI จะไม่แอกทีฟถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น 0 (ข้อมูลบิตที่ 9 เก็บไว้ที่บิต RB8) ในการทำงานโหมด 1 ถ้าบิตนี้เซต บิต RI จะไม่แอกทีฟถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 บิตนี้ไม่มีการใช้งาน

REN ใช้ในการเอ็นเอเบิลการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ทำการเซต และเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้มีการรับข้อมูลต้องเซตบิตนี้เป็น 1

TB8 ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งออกไปในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

RB8 ใช้สำหรับรับข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ถ้าหากพอร์ตอนุกรมทำงานอยู่ในโหมด 1 และบิต SM2 เป็น 0 ข้อมูลที่บิต RB8 คือข้อมูลของบิตหยุด (stop bit) สำหรับในการทำงานโหมด 0 บิตนี้จะไม่ใช้งาน บิต RB8 นี้สามารถเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

TI ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ไปเรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดออกไป การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

RI ใช้แสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการรับข้อมูลบิตที่ 8 เรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อมีสามารถรับบิตหยุดของข้อมูลอนุกรมไปได้ครั้งทางแล้วยกเว้นในกรณีที่บิต SM2 มีการเซต บิตนี้จะเซตได้ก็ต่อเมื่อการรับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

#### 2.8.5 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเลือกการทำงานได้ถึง 4 โหมด คือ

โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะซีพรีจิสเตอร์

โหมด 1 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 8 บิต สามารถเลือก Baud Rate ได้

โหมด 2 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต โดยมี Baud Rate คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 3 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต สามารถเลือก Baud Rate ได้ การเลือกโหมดทำได้ด้วยการกำหนดข้อมูลให้แก่บิต SM0 และ SM1 ในรีจิสเตอร์ SCON

### 2.8.6 อัตราบอด (Baud Rate) ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

#### 1. โหมด 0

อัตราของโหมดนี้มีค่าคงที่ โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

อัตราบอดในโหมด 0 = ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา/12 หน่วยเป็นบิตต่อวินาที

#### 2. โหมด..1..และ 3

เนื่องจากทั้งสองโหมดนี้สามารถเลือกแหล่งกำเนิด Baud Rate ได้ 2 แหล่งคือ จากอัตราโอเวอร์โฟลวของไทมเมอร์ 1 และ 2 สำหรับ Baud Rate เมื่อใช้การโอเวอร์โฟลวของไทมเมอร์ 1 จะต้องใช้ค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON มาพิจารณาประกอบด้วย สามารถคำนวณค่า Baud Rate ได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = (2^{\text{ค่าของบิต SMOD}}/32) \times \text{อัตราโอเวอร์โฟลวของไทมเมอร์ 1} \quad (2.6)$$

ถ้าหากในไทมเมอร์ 1 ไม่ได้เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้ สามารถคำนวณค่า Baud Rate ได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = (2^{\text{ค่าในรีจิสเตอร์ SMOD}}/32) \times (\text{ความถี่สัญญาณนาฬิกา}/\{12 \times [256 - (TH1)]\}) \quad (2.7)$$

ในกรณีที่ใช้ไทมเมอร์ 2 ในการกำหนด Baud Rate โดยกำหนดให้ไทมเมอร์ 2 ทำงานในโหมดกำเนิด Baud Rate สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Baud Rate} = \text{อัตราโอเวอร์โฟลวของไทมเมอร์ 2}/16 \text{ บิตต่อวินาที}$$

ถ้าหากกำหนดให้ไทมเมอร์ 2 ทำงานในโหมดปกติ สามารถคำนวณหาค่า Baud Rate ได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = \text{ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา}/(32 \times (65536 - (RCAP2H, RCAP2L)))$$

โดยที่ (RCAP2H, RCAP2L) เป็นค่าของรีจิสเตอร์ RCAP2H และ RCAP2L มีขนาด 16 บิต ไม่คิดเครื่องหมาย

#### 3. โหมด 2

ในโหมดนี้ Baud Rate จะขึ้นอยู่กับค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON ถ้า SMOD เป็น 0 Baud Rate จะเท่ากับ 1/64 ของความถี่นาฬิกา ในกรณีที่ SMOD เป็น 1 Baud Rate จะเท่ากับ 1/32 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา สามารถแสดงเป็นสูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{อัตราบอด} = (2^{\text{ค่าของบิต SMOD}}/64) \times \text{ความถี่สัญญาณนาฬิกา} \quad (2.8)$$

### 2.8.7 การกำหนดค่าของไทมเมอร์เพื่อเลือก Baud Rate

ในการใช้งานพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สิ่งที่ต้องให้ความสนใจมากที่สุดประการหนึ่งคือ อัตราการถ่ายทอข้อมูล หรือ Baud Rate ซึ่งการกำหนดอัตราบอดนั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณนาฬิกาเป็นหลัก สำหรับโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมที่จะสามารถเลือกอัตราบอดได้อย่างอิสระคือในโหมด 1 และ 3 โดยกำหนดได้จากอัตราการเกิดโอเวอร์โฟลวของไทมเมอร์ 1 ถ้าหากไทมเมอร์ 1 มีการเกิดโอเวอร์โฟลวในอัตราที่สูงมากเท่าใด Baud Rate ก็จะมีค่าสูงมากขึ้นตาม นั่นหมายความว่า อัตราในการถ่ายทอข้อมูลจะสูงมาก สามารถถ่ายทอข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

ในการใช้ไทมเมอร์ 1 เพื่อกำหนด Baud Rate ในโหมด 1 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมจะต้องกำหนดให้ไทมเมอร์ 1 ทำงานในโหมด 2 หรือโหมด 8 บิตแบบตั้งค่าการนับอัตโนมัติ และการกำหนดค่ารีโหลดให้แกร์จิสเตอร์ TH1 จึงเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการกำหนด Baud Rate ให้แก่พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

เริ่มต้นด้วยการเคลียร์บิต SMOD ซึ่งเป็น 7 ของรีจิสเตอร์ PCON ให้เป็น 0 ค่าของการรีโหลดให้แก่ TH1 สามารถคำนวณได้จาก

$$TH1 = 256 - ((\text{ค่าความถี่ของคริสตอล} / 384) / \text{Baud Rate}) \quad (2.9)$$

แต่ถ้าบิต SMOD เกิดการเซต จะเป็นการเอ็นเอเบิลการทวีคูณของ Baud Rate ดังนั้นการกำหนดค่าให้แก่ TH1 จึงต้องคำนวณจาก

$$TH1 = 256 - ((\text{ค่าความถี่ของคริสตอล} / 192) / \text{Baud Rate}) \quad (2.10)$$

สามารถสรุปขั้นตอนในการเลือก Baud Rate โดยกำหนดค่าของไทมเมอร์ 1 ได้ดังนี้

1. กำหนดให้พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทำงานในโหมด 1 หรือ 3
2. กำหนดให้ไทมเมอร์ 1 ทำงานในโหมด 2 หรือโหมด 8 บิตตั้งค่าอัตโนมัติ
3. กำหนดข้อมูลให้แก่ TH1 เท่ากับ 253 เพื่อสามารถกำเนิด Baud Rate ได้ 19,200 บิตต่อวินาทีตามที่ต้องการ

4. ทำการเซตบิต SMOD ซึ่งเป็นบิต 7 ของรีจิสเตอร์ PCON เพื่อเอ็นเอเบิลการทวีคูณ Baud Rate

## 2.9 การอินเตอร์เฟสกับพอร์ตอนุกรม (Serial Port Interface)

เป็นวิธีการอินเตอร์เฟสของพีซีวิธีหนึ่งเพื่อทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการติดต่อแบบอนุกรมผ่านทาง Serial Port ซึ่งการเชื่อมต่อแบบ Serial Port นั้นจะมีความเร็วในการเชื่อมต่อช้ากว่า Parallel Port แต่อุปกรณ์ที่ใช้ Parallel Port จะมีราคาแพงกว่า และจะต้องใช้สายสัญญาณมากกว่า การส่งข้อมูลทาง Serial Port นั้นในเครื่องพีซีจะใช้มาตรฐาน RS-232C ซึ่งเป็นมาตรฐานการส่งข้อมูลระยะทางไม่เกิน 15 เมตร ส่วนชิปที่ใช้ในการควบคุมการทำงานนั้นนิยมใช้ 8250 UART หรือตัวที่พัฒนาขึ้นมาใหม่อย่างเช่น 16550 UART ซึ่งมีการทำงานที่ดีขึ้น เราจึงต้องทำความเข้าใจมาตรฐานที่ใช้อยู่เพื่อนำไปประยุกต์และใช้งานตามความต้องการได้

### 2.9.1 ลักษณะของฮาร์ดแวร์

เพื่อที่จะให้อุปกรณ์จากผู้ผลิตต่างกันทำงานร่วมกันได้ มาตรฐานหลายชนิดได้รับการออกแบบขึ้น มาตรฐานที่ใช้กันกว้างขวางที่สุดคือ RS-232C ถูกประกาศในปี 1969 โดย Electronic Industries Association (EIA) ซึ่งเป็นการกำหนดมาตรฐานต่างๆเช่น ลักษณะการเชื่อมต่อ สัญญาณทางไฟฟ้าที่ใช้

เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ส่งข้อมูลภายในสายเส้นเดียวกัน อุปกรณ์สื่อสารจึงจำแนกออกเป็น 2 ประเภทคือ

- 1) DTE (Data Terminal Equipment) คืออุปกรณ์สำหรับส่งข้อมูล เช่น คอมพิวเตอร์
- 2) DCE (Data Communication Equipment) คืออุปกรณ์สำหรับการติดต่อ เช่น Modem ตามมาตรฐาน RS-232C อุปกรณ์ DTE ควรใช้หัวต่อตัวผู้ และอุปกรณ์ DCE ควรใช้หัวต่อตัวเมีย ซึ่งหัวต่อที่นิยมใช้กันอยู่จะเป็นชนิด D-Type ชนิด 9 ขา และ 25 ขา (บางครั้งเรียก DB-25 และ DB-9)

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Serial Port ตามมาตรฐาน RS-232C พอสรุปได้ดังนี้

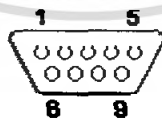
- 1) Logic '0' หรือ "Space" มีค่า +3 Volt ถึง +25 Volt
- 2) Logic '1' หรือ "Mark" มีค่า -3 Volt ถึง -25 Volt
- 3) ช่วง +3 Volt ถึง -3 Volt เป็นช่วง Undefined
- 4) Open Circuit Voltage เมื่อเทียบกับ ground ต้องไม่เกิน 25 Volt
- 5) Short Circuit Current ต้องไม่เกิน 500 mA ซึ่ง Driver ต้องสามารถรองรับได้

## ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดของมาตรฐาน RS-232C

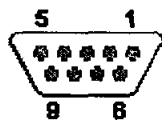
Specifications	RS-232C
Mode of Operation	Single-Ended
Total Number of Drivers and Receivers on One Line	1 Driver and 1 Receiver
Maximum Cable Length	50 FT.
Maximum Data Rate	20 KBPS
Maximum Driver Output Voltage	$\pm 25$ V
Driver Output Signal Level (Loaded Min.)	$\pm 5$ V to $\pm 15$ V
Driver Output Signal Level (Unloaded Max)	$\pm 25$ V
Driver Load Impedance ( $\Omega$ )	3k to 7k
Max. Driver Current in High Z State (Power On)	N/A
Max. Driver Current in High Z State (Power Off)	$\pm 6$ mA @ $\pm 2$ v
Slew Rate (Max.)	30V/ $\mu$ S
Receiver Input Voltage Range	$\pm 15$ V
Receiver Input Sensitivity	$\pm 3$ V
Receiver Input Resistance (Ohms)	3k to 7k

### 2.9.2 ลักษณะของหัวต่อตามมาตรฐาน RS-232C (DB-25 & DB-9)

Serial Port มีหัวต่อ 2 แบบคือ แบบ D-Type 25 Pin และแบบ D-Type 9 Pin ซึ่งทั้ง 2 แบบ จะเป็นชนิดตัวผู้ทางด้านของ Computer คำนึงอุปกรณ์ที่จะนำมาต่อกับ Computer จึงต้องใช้หัวต่อชนิดตัวเมีย ตารางที่ 2 และ 3 แสดง ชื่อสัญญาณของขาต่าง ๆ



(Male at a computer side)



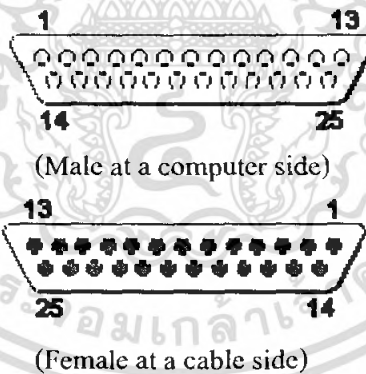
(Female at a cable side)

### รูปที่ 2.23 ลักษณะของหัวต่อแบบ DB-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 DB-9 ตัวผู้ ทางด้านคอมพิวเตอร์

Pin	Signal	Direction	Description
1	CD	←	Carrier Detect
2	RxD	←	Receive Data
3	TxD	→	Transmit Data
4	DTR	→	Data Terminal Ready
5	GND	-	System Ground
6	DSR	←	Data Set Ready
7	RTS	→	Request to Send
8	CTS	←	Clear to Send
9	RI	←	Ring Indicator



รูปที่ 2.24 ลักษณะของหัวต่อแบบ DB-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 DB-25 คิวผู้ ทางด้านคอมพิวเตอร์

Pin	Signal	Direction	Description
1	SHIELD	-	Shield Ground
2	TxD	→	Transmit Data
3	RxD	←	Receive Data
4	RTS	→	Request to Send
5	CTS	←	Clear to Send
6	DSR	←	Data Set Ready
7	GND	-	System Ground
8	CD	←	Carrier Detect
9	N/C	→	+12 Volts
10	N/C	→	-12 Volts
11	N/C	-	Reserved
12	N/C	←	Secondary Line Detector
13	N/C	←	Secondary Clear to Send
14	N/C	→	Secondary Transmit Data
15	N/C	→	DCE Transmitter Signal Timing
16	N/C	←	Secondary Receive Data
17	N/C	←	Receiver Signal Timing
18	N/C	-	Not Used
19	N/C	→	Secondary Request to Send
20	DTR	→	Data Terminal Ready
21	N/C	←	Signal Quality Detector
22	RI	←	Ring Indicator
23	N/C	→	Data Rate Selector
24	N/C	→	DTE Transmitter Signal Timing
25	N/C	-	Reserved

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 หน้าที่ของสัญญาณต่างๆ

Signal	Full Name	Originator	Function
TxD	Transmit Data	DTE	ส่งข้อมูลทีละบิตจาก DTE ไปยัง DCE
RxD	Receive Data	DCE	รับข้อมูลทีละบิตจาก DCE ไปยัง DTE
CTS	Clear to Send	DCE	ตรวจจับสัญญาณจาก DCE ว่าพร้อมจะรับข้อมูลจาก DTE
CD	Carrier Detect	DCE	เมื่อไรที่ตรวจสัญญาณเจอที่ปลายทางของสายสัญญาณจะทำให้สายสัญญาณ Active
DSR	Data Set Ready	DCE	บอก DTE ว่า DCE พร้อมที่จะทำงานแล้ว
DTR	Data Terminal Ready	DTE	สัญญาณจาก DTE บอกให้ DCE เตรียมพร้อม
RTS	Request to Send	DTE	สัญญาณจาก DTE บอกให้ DCE เตรียมพร้อมที่จะรับข้อมูล
RI	Ring Indicator	DCE	ตรวจจับสัญญาณของสายโทรศัพท์

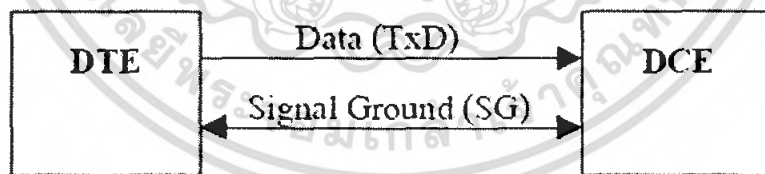
### 2.9.3 การสื่อสารพอร์ตอนุกรม

#### 2.9.3.1 การสื่อสารทางเดียว

สัญญาณหลักที่ใช้สำหรับการสื่อสารมีอยู่สองสัญญาณได้แก่

- สายสัญญาณสำหรับข้อมูลจาก DTE → DCE
- สายสัญญาณสำหรับ Signal Ground (SG) ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงร่วมสำหรับขั้วและ

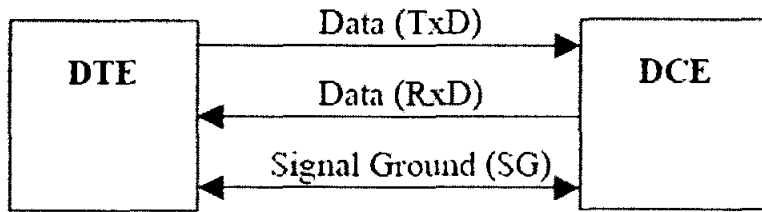
แรงดันไฟฟ้าของสายอื่น



รูปที่ 2.25 การเชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารทางเดียว

#### 2.9.3.2 การสื่อสารสองทาง

ในกรณีที่ข้อมูลถูกส่งผ่านในสองทิศทาง โดยเฉพาะเมื่อคอมพิวเตอร์สองตัวสื่อสารกัน จำนวนสายที่น้อยที่สุดในการสื่อสารสองทางคือ 3 เส้น ได้แก่ สายข้อมูลในแต่ละทิศทางและ Signal Ground ดังรูป



รูปที่ 2.26 การเชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารสองทาง

## 2.9.4 การต่อสายเพื่อทำการรับ-ส่ง

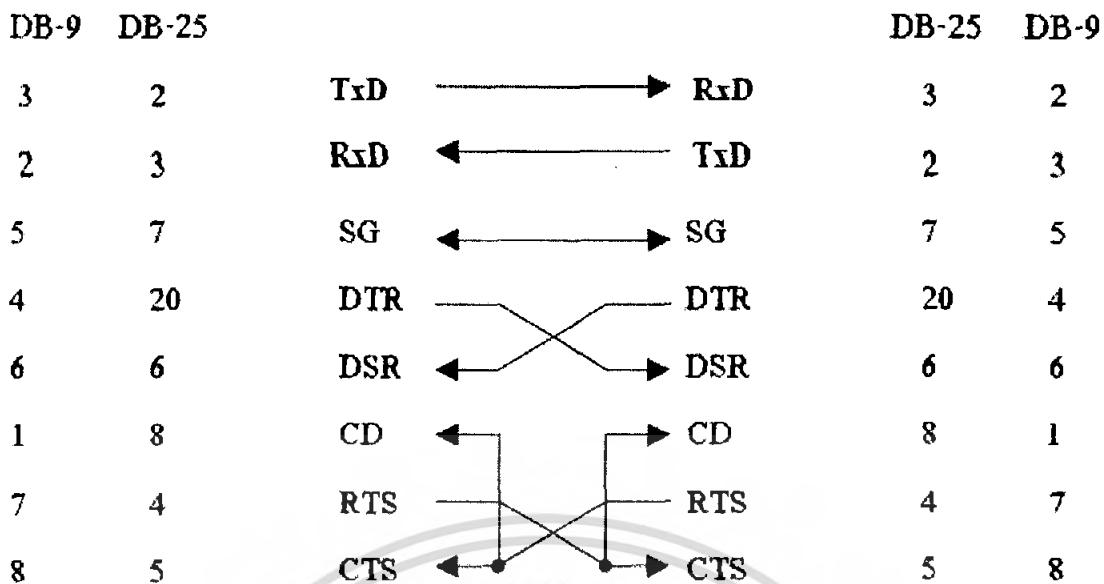
### 2.9.4.1 การต่อแบบ Hardware Handshaking

ในหลายๆกรณีอุปกรณ์ฝ่ายส่งต้องรู้ว่าอุปกรณ์ฝ่ายรับพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ ตัวอย่างเช่นการส่งข้อมูลไปยัง Modem ความเร็วของการสื่อสารอาจจะเร็วกว่าความเร็วของ Modem ดังนั้น Modem จะต้องระงับการส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์จนกว่ามันพร้อมที่จะรับข้อมูล กรณีเช่นนี้จะต้องมีสัญญาณส่งจากฝ่ายรับบอกไปยังอุปกรณ์ฝ่ายส่ง เพื่อแจ้งสถานะการทำงานต่างๆว่าพร้อมหรือไม่ สัญญาณนี้เรียกว่า Flow Control หรือ Handshaking ซึ่งมีอยู่สองแบบคือ Hardware flow control และ Software flow control

สำหรับ Software flow control มักจะเรียกว่า Xon / Xoff flow control ซึ่งใช้รหัส ASCII 17 เป็นสัญญาณ Xon และใช้รหัส ASCII 19 เป็นสัญญาณ Xoff หลักการทำงานคือ Modem จะมี Buffer อยู่ เมื่อ Modem รับข้อมูลจาก Computer จน Buffer ใกล้เคียงเต็ม มันก็จะส่งสัญญาณ Xoff ไปให้ Computer เพื่อให้ Computer หยุดส่งข้อมูลให้มันชั่วคราว และเมื่อ Buffer มีที่ว่างถึงระดับหนึ่ง Modem ก็จะส่งสัญญาณ Xon ไปให้ Computer เพื่อให้ Computer ส่งข้อมูลให้มันต่อ การควบคุมโดยวิธีนี้ประหยัดสายสัญญาณ เพราะรับส่งผ่าน TxD และ RxD แต่อาจทำให้การสื่อสารช้าลงอย่างเห็นได้ชัดในกรณีที่ใช้กับการสื่อสารที่มี speed ต่ำเพราะแต่ละตัวอักษร ASCII ที่รับส่งจะมีขนาด 10 Bit (1 start bit + 8 data bits + 1 stop bit ไม่รวม Parity bit)

ส่วน Hardware flow control มักจะเรียกว่า RTS/CTS flow control จะใช้สายสัญญาณของ Serial Port ในการควบคุม ทำให้ไม่บั่นทอนความเร็วของข้อมูล หลักการทำงานคือ เมื่อ Modem มีที่ว่างเพื่อรับข้อมูล มันก็จะส่งสัญญาณ CTS ไปให้ Computer และเมื่อมันใกล้จะเต็ม มันก็จะหยุดส่งสัญญาณ CTS ไปให้ Computer

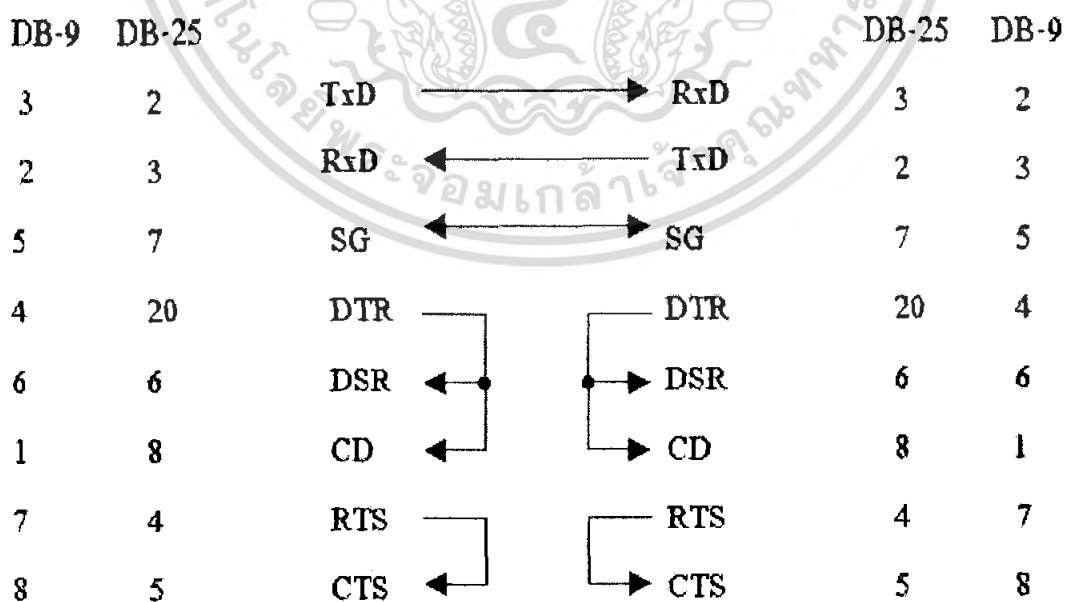
การใช้ Hardware Handshake จะต้องมีสายสัญญาณต่อเพิ่มขึ้นเพื่อที่ใช้เป็นสายในการส่งสัญญาณ flow control จึงทำให้สายสัญญาณแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ Data, Handshake และ Signal Ground



รูปที่ 2.27 การต่อแบบ Handshaking

2.9.4.2 การต่อแบบ Null Modem

Null Modem ใช้สำหรับเชื่อมโยงระหว่าง DTE 2 ตัวเข้าด้วยกันโดยตรง ซึ่งโดยมากใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลระหว่าง Computer หรือใช้ในการพัฒนาระบบ Microprocessor หรือ Microcontroller ต่าง ๆ จะเห็นว่าใช้สายเพียง 3 เส้นคือ TxD, RxD และ SG และมีการต่อ Jump ที่หัวต่อแต่ละข้างอีกเล็กน้อยเท่านั้น เพื่อหลอกให้ Computer คิดว่ามันกำลังคุยกับ DCE อยู่

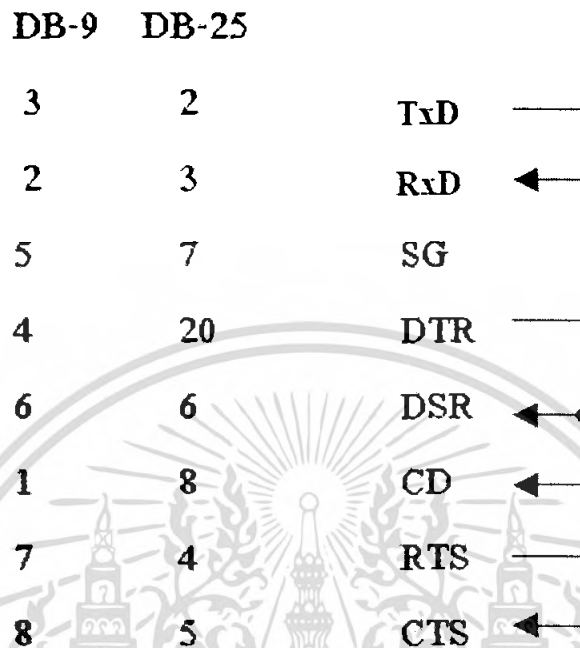


รูปที่ 2.28 การต่อแบบ Null Modem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.4.3 การต่อแบบ Loopback Plug

จากรูปที่ 2.29 จะเป็นการต่อเพื่อทำการรับส่งค่าใน Port เดียวกัน เหมาะสำหรับการตรวจสอบ Port และตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 2.29 การต่อแบบ Loopback Plug

### 2.9.4.4 สัญญาณทางไฟฟ้า

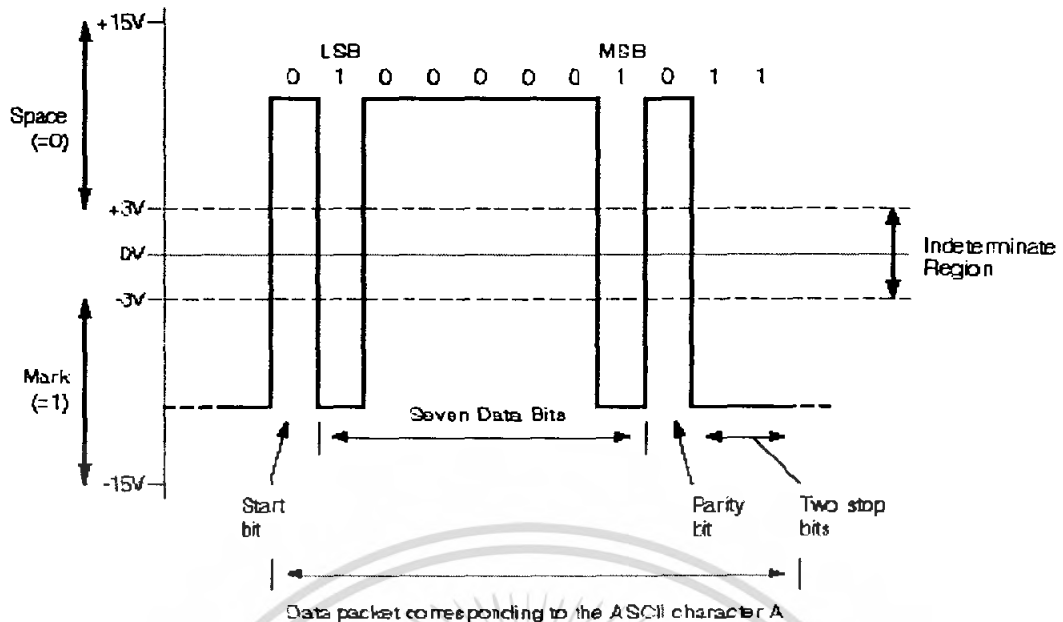
มาตรฐาน RS-232C ได้กำหนดลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบอนุกรมนี้มี 2 ลักษณะคือ Space หมายถึง logic '0' และ Mark หมายถึง logic '1' โดย

Space จะเป็นแรงดันไฟฟ้าบวก Output อยู่ในช่วง +5 ถึง +15 Volt  
Input อยู่ในช่วง +3 ถึง +15 Volt

Mark จะเป็นแรงดันไฟฟ้าลบ Output อยู่ในช่วง -5 ถึง -15 Volt  
Input อยู่ในช่วง -3 ถึง -15 Volt

ค่าระหว่าง -3 Volt ถึง 3 Volt จะเป็นค่า undefined

ความแตกต่างของ Output และ Input มีไว้เพื่อกรณีที่แรงดันไฟฟ้าสูญหายเนื่องจากความยาวของสายสัญญาณ และจะพบว่าเมื่อให้สายสัญญาณยาวเกินไป ระดับแรงดันไฟฟ้าจะตกลงเกินขอบเขตที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีผลกับคุณภาพของสัญญาณทำให้สถานะจากแรงดันไฟฟ้าบวกและลบไม่ชัดเจน ทำให้การติดต่อไม่ได้ระยะไกลนัก แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์อื่นเพิ่มเติม เช่น Line driver



รูปที่ 2.30 RS-232C Wave form

### 2.9.5 รีจิสเตอร์ของพอร์ตอนุกรม

ค่า Serial Port Register สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมพอร์ตอนุกรมมีดังนี้

#### ตารางที่ 2.8 Serial Port Setting

Name	I/O Address	IRQ	Interrupt Vector	Programmable Interrupt Controller	Mask IRQ Value
COM 1	3F8	4	0x0C	0xEF	0x10
COM 2	2F8	3	0x0B	0xF7	0x08
COM 3	3E8	4	0x0C	0xEF	0x10
COM 4	2E8	3	0x0B	0xF7	0x08

### 2.10 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกล้องดิจิทัล

กล้องดิจิทัลมีลักษณะเหมือนกล้องถ่ายรูปธรรมดาทั่วไปคือใช้ในการถ่ายภาพ แต่ กล้องดิจิทัลมีคุณลักษณะพิเศษคือไม่ต้องใช้ฟิล์ม ดังนั้นจึงไม่ต้องล้างและอัดภาพเพียงแค่นับที่เก็บข้อมูลภาพที่ถ่ายในหน่วยความจำ แล้วจึงนำตัวกล้องนำมาพ่วงต่อกับคอมพิวเตอร์ก็สามารถจัดเก็บรูปภาพเหล่านั้นเป็นไฟล์รูปภาพได้ นอกจากนั้นยังสามารถนำรูปภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัลไป

ตกแต่งให้สวยงามได้ ด้วยโปรแกรมตกแต่งภาพต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น PhotoShop, CorelDraw ตลอดจนโปรแกรมต่างๆที่แถมมากับกล้อง

### 2.10.1 ประเภทของกล้องดิจิทัล

หากนำมาเปรียบเทียบตามลักษณะการใช้งาน จะได้ออกมา 3 ประเภท ดังนี้

1 กล้องถ่ายภาพดิจิทัลระดับต่ำหรือกล้องดิจิทัลสำหรับบุคคลทั่วไป

เป็นกล้องที่ใช้งานง่าย ไม่จำเป็นต้องปรับแต่งค่าใดๆ กล้องถ่ายภาพดิจิทัลประเภทนี้มักมีขนาดเล็ก ราคาไม่แพง มีระบบการทำงานอัตโนมัติและตายตัว แต่ความละเอียดของภาพที่ได้มีน้อยมาก สามารถแสดงเป็นภาพถ่ายขนาดเพียงประมาณ 4 x 6 นิ้ว ซึ่งความละเอียดของภาพเหมาะที่จะใช้ใน เว็บเพจ (Webpage) หรือจดหมายอิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น

2 กล้องถ่ายภาพดิจิทัลระดับปานกลาง

ลักษณะตัวกล้องยังคงมีลักษณะของกล้องถ่ายภาพประเภทแรก แต่มีระบบการทำงานในบางอย่างที่สามารถเลือกปรับได้ และที่สำคัญคือมีความละเอียด สูงขึ้น คืออยู่ในระดับที่มากกว่า 1,000,000 Pixels ซึ่งสามารถแสดงเป็นภาพถ่ายขนาด 8 x 10 นิ้วได้ พอเพียงพอการนำภาพถ่ายไปใช้ในงานต่าง ๆ

3 กล้องถ่ายภาพดิจิทัลระดับสูง

ลักษณะกล้องถ่ายภาพ SLR มีการทำงานเช่นเดียวกับกล้องถ่ายภาพธรรมดาประเภท SLR ทั่วไปที่สามารถเลือกปรับตั้งการทำงานได้เองทุกอย่าง รวมทั้งยังสามารถถอดเปลี่ยนเลนส์ได้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะกล้องประเภทนี้สร้างขึ้นจากการนำกล้องถ่ายภาพธรรมดาแบบ SLR มาดัดแปลงเพื่อเพิ่มเติมโดยประกอบฝาหลังดิจิทัลเข้าไป กล้องประเภทนี้จะมีรายละเอียดสูงมาก คือ มากกว่า 2,000,000 Pixels ขึ้นไป แต่ราคาก็สูงมากเช่นเดียวกัน

### 2.10.2 หลักการทำงานของกล้องดิจิทัล

เมื่อทำการถ่ายภาพที่ถ่ายจะตกบน CCD (Charge Coupled Device) ซึ่งเป็นอุปกรณ์รับภาพที่ประกอบด้วยเซลล์ไวแสงจำนวนมาก และเซลล์เหล่านี้จะทำหน้าที่แปลงภาพซึ่งเป็นสัญญาณ Analog ไปเป็นสัญญาณ Digital โดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า ATD (Analog to Digital converter) จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบความคมชัดของภาพและทำการบีบอัดเพื่อลดพื้นที่ในการจัดเก็บภาพก่อนจะส่งไปเก็บที่หน่วยความจำของกล้อง ดังนั้นยังกล้องมีเซลล์ใน CCD (Charge Coupled Device) มากเท่าไร ภาพที่ได้ก็จะยิ่งมีความละเอียดมากขึ้นเท่านั้น

### 2.10.3 CCD (Charge Coupled Device)

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวต่อแสงหรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอิมเมจเซ็นเซอร์ และมีความสำคัญเกี่ยวกับความละเอียดของภาพที่ได้จากการถ่ายรูปด้วยกล้องดิจิทัล อันเนื่องจากยิ่ง CCD มีพื้นที่ในการรับภาพมากเท่าไรความละเอียดของภาพที่ได้ก็จะสูงมากขึ้นเท่านั้น แต่ในขณะเดียวกันราคาของกล้องก็จะสูงขึ้นเช่นเดียวกัน กล้องดิจิทัลส่วนใหญ่จะมี CCD เพียง 1 ตัวและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ฟิลเตอร์เพื่อกรองแสง ซึ่งแตกต่างจากกล้องวิดีโอดิจิทัลที่มี CCD ถึง 3 ตัวเพื่อทำหน้าที่รับแสงให้ครบทั้ง 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ( RGB )

#### 2.10.4 การจัดเก็บภาพของกล้องดิจิทัล

ภายในกล้องดิจิทัลจะประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า CCD Array ซึ่งจะประกอบไปด้วยตัวเซ็นเซอร์นับล้านตัวในส่วนที่ทำหน้าที่เก็บความสว่างของสี (แดง,เขียว,น้ำเงิน) ข้อมูลเกี่ยวกับความสว่างจะถูกอ่านเข้ามาประมวลผลครั้งละ 1 แถวโดยไอซีที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณ แอนาล็อกเป็นดิจิทัล และจะทำการเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลความสว่างเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าที่ แตกต่างกันไปตามระดับความสว่างของแสง กล้องดิจิทัลแบบเก่าจะทำการเก็บข้อมูลรูปภาพ ลงในหน่วยความจำ หรือ Memory Chip ที่บรรจุอยู่ในตัวกล้อง ซึ่งหากหน่วยความจำเต็มจะทำให้ไม่สามารถที่จะบันทึกภาพได้อีกต่อไป ดังนั้นจึงต้องลบภาพที่ไม่จำเป็นออกหรือทำการถ่ายโอนภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะล้างหน่วยความจำ แต่สำหรับกล้องดิจิทัลรุ่นใหม่สามารถเก็บรูปภาพไว้ในหน่วยความจำที่เรียกว่า Flash Memory ซึ่งเป็น RAM หรือหน่วยความจำชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ RAM ที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไป และสามารถจัดเก็บรูปภาพได้หลายรูปมากกว่าด้วยหน่วยความจำของตัวกล้อง นอกจากนั้นยังสามารถเปลี่ยนหน่วยความจำแบบ Flash นี้ได้เมื่อเก็บภาพจนเต็มแล้ว เพราะหน่วยความจำชนิดนี้สามารถถอดออกจากตัวกล้องได้

#### 2.10.5 Pixel (Picture element หรือ Pel )

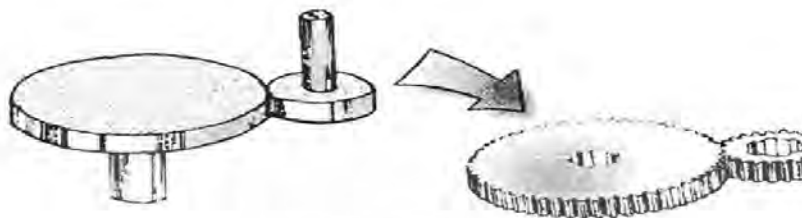
คือส่วนที่เล็กที่สุดที่อุปกรณ์สามารถแสดงผลออกมาได้ จุดภาพนี้รู้จักกันว่าเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดหรือจุด(dots) ที่ประกอบกันเป็นภาพ เรียกว่า picture element หรือเรียกสั้นๆ ว่า pel หรือกล่าวอย่างง่าย ๆ ก็คือ จอภาพคอมพิวเตอร์นี้เป็นตารางที่ประกอบด้วยจุดเล็กจิ๋วหลายพันจุด เรียกว่า จุดภาพ (pixels) เมื่อใดก็ตามที่เราพิมพ์อักขระหรือวาดเส้นลงบนจอภาพ คอมพิวเตอร์จะแปลงจุดเหล่านี้ให้เป็นรูปแบบเพื่อแสดงสิ่งที่เราพิมพ์หรือวาดให้ปรากฏขึ้นมาให้เห็น โดยในแต่ละจุดนั้นจะมีค่าตัวเลขกำกับ ซึ่งตัวเลขเหล่านี้จะมาจากค่าของแม่สีสามสี R (สีแดง) G (สีเขียว) B (สีฟ้า) ใช้บอกระดับความเข้มของแต่ละเฉดสี หากมี Pixel หลายๆจุดมาต่อกันจะกลายเป็นภาพซึ่งมีขนาดจำนวน Pixel ด้านกว้าง X จำนวน Pixel ด้านยาว ยกตัวอย่าง เช่น รูปภาพขนาด 800 x 600 pixels หมายความว่า รูปภาพนี้มีความกว้าง 800 pixels และมีความยาว 600 pixels เป็นต้น

## 2.11 ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟือง

### 2.11.1 หลักการของเฟือง

การถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังนั้น ทำได้หลายวิธี เช่น ด้วยการใส่สายพาน โซ่ ล้อความฝืด เป็นต้น ล้อความฝืดก็คือ ล้อสองล้อที่ถูกกดให้ติดกัน เมื่อล้อหนึ่งหมุน หรือเป็นล้อขับก็จะทำให้อีกล้อหนึ่งหมุนตาม เพราะผิวหน้าของล้อทั้งสองเกิดความฝืด เนื่องจากการสัมผัส แต่ถ้าหากมีภาระ

มากๆ เช่น มีการส่งกำลังสูงๆ จะทำให้เกิดการลื่นไถล การส่งกำลังจึงไม่แม่นยำ เพื่อที่จะแก้ไขข้อเสียเหล่านี้จึงได้มีการนำเอาฟันเฟืองมาคิดไว้ที่ผิวของล้อโดยรอบล้อ จึงมีลักษณะเป็นล้อฟันเฟือง ซึ่งต่อๆมาเราจึงเรียกว่า "เฟือง" ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สามารถส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนได้แม่นยำเที่ยงตรง และ ไม่มีการลื่นไถล ดังรูป



รูปที่ 2.31 ลักษณะการหมุนของเฟือง

### 2.11.2 เฟืองแบบ Spur

เป็นเฟืองที่มีลักษณะเป็นล้อตรงกระบอก มีฟันขนานกับแกนของตัวเฟือง มีหน้าตัดของฟันเฟืองขนานเท่ากัน และเหมือนกันตลอดทั้งเฟือง ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 Spur gear

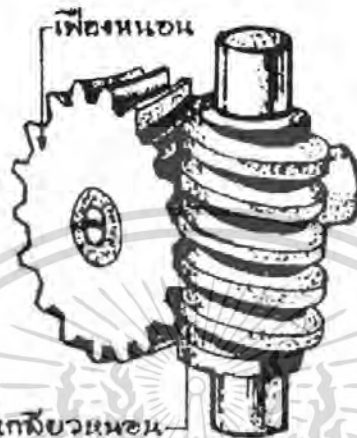
#### 2.11.2.1 Involute Spur Gears

เมื่อผิวโค้งสองผิวสัมผัสกันโดยตรง ความเร็วเชิงมุมจะเป็นสัดส่วนกลับกับส่วนของเส้นเชื่อมจุดศูนย์กลางที่ถูกตัดโดยเส้นส่งผ่านการเคลื่อนที่ และถ้าเส้นส่งผ่านการเคลื่อนที่ และถ้าเส้นส่งผ่านการเคลื่อนที่ที่ตัดเส้นเชื่อมจุดศูนย์กลางที่จุดคงที่ จะได้อัตราส่วนความเร็วเชิงมุมคงที่ หลักการนี้เป็นสิ่งที่นำมาใช้ในกรณีเฟือง 2 เฟืองขบกัน (Meshing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.3 เฟืองแบบ Worm

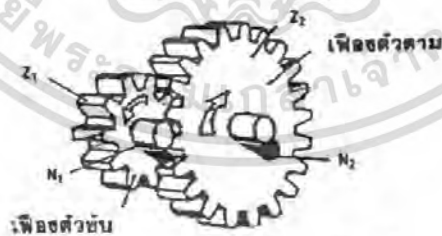
เฟืองชุดนี้จะประกอบด้วยตัวเกิลียวหนอนและเฟืองหนอน โดยเกิลียวหนอนจะส่งกำลังหมุนไปขับให้เฟืองหนอนหมุนตาม ดังรูปที่ 3 เฟืองชนิดนี้นิยมใช้กับการทอความเร็วสูงๆ ให้เป็นความเร็วต่ำมากๆ เช่น ในกรณีของการทอจากมอเตอร์ซึ่งมีความเร็วสูง เป็นต้น



รูปที่ 2.33 Worm Gear

### 2.11.4 ความเร็วของเฟือง

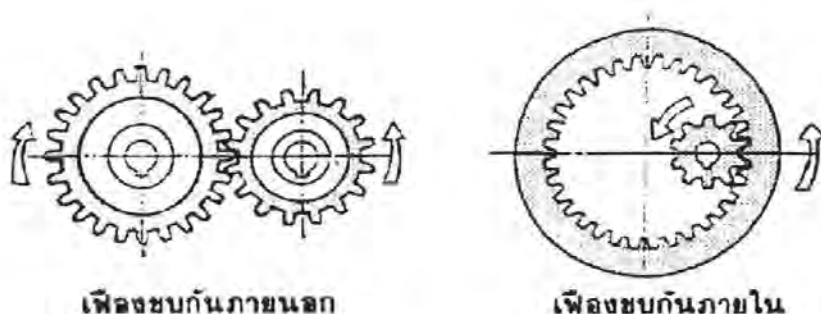
การส่งกำลังจากเฟืองตัวขับไปยังเฟืองตัวตามนั้น ต้องมีการขบกันของเฟือง ส่วนอัตราเร็วของเฟืองจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนฟันเฟืองของเฟือง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และการเคลื่อนที่ของเฟืองตัวขับ จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่สวนกันดังรูป



รูปที่ 2.34 การหมุนของฟันเฟือง

เมื่อเฟืองตัวขับเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟัน ฟันของเฟืองตัวก็จะขับให้เฟืองตัวตามเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟันด้วย และการขบกันของเฟืองอาจขบกันภายนอกหรือภายในก็ได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 แสดงการชบกันของเฟือง

เฟืองเป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกลที่ถ่ายทอดกำลังจากเพลานั่นหนึ่ง ไปยังอีกอันหนึ่ง การถ่ายทอดกำลังนั้นขึ้นอยู่กับอัตราเร็วและจำนวนฟันฟันของเฟืองจำเป็นจะต้องทราบ คือ ชนิดของเฟือง ความสัมพันธ์ของจำนวนฟันเฟือง ( $Z$ ) และอัตราเร็วของเฟือง ( $N$ ) โดยทั่วไปหน่วยอัตราเร็วของเฟือง มักนิยมบอกเป็นจำนวนรอบต่อนาที

สิ่งเหล่านี้มีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าสมมติให้

$$\text{อัตราเร็วของเฟืองตัวขับ} = N_1$$

$$\text{อัตราเร็วของเฟืองตัวตาม} = N_2$$

$$\text{จำนวนฟันของเฟืองตัวขับ} = Z_1$$

$$\text{จำนวนฟันของเฟืองตัวตาม} = Z_2$$

ดังนั้นอัตราเร็วของเฟืองตัวขับคูณด้วยจำนวนฟันของเฟืองตัวขับเท่ากับอัตราเร็วของเฟืองตัวตามคูณด้วยจำนวนฟันของเฟือง หรือเขียนง่ายได้ดังนี้

$$N_1 Z_1 = N_2 Z_2 \quad (2.11)$$

นอกจากนี้ยังมีชุดเฟืองหนอน ซึ่งเป็นเฟืองที่มีอัตราทดสูง จะประกอบด้วยเกลิวยหนอน หรือเฟืองตัวหนอนเป็นตัวขับและเฟืองล้อเป็นเฟืองตัวตามเฟืองตัวหนอนอาจจะมีจำนวนเกลิวยแบบเกลิวยหนึ่งปากหรือมีจำนวนเกลิวยสองปากหรือมากกว่า

ถ้าสมมติให้

$$\text{จำนวนเกลิวยที่อยู่บนเฟืองตัวหนอน} = G$$

$$\text{จำนวนสันเกลิวยที่อยู่บนเฟืองตัวหนอน} = Z$$

$$\text{อัตราเร็วของเฟืองตัวหนอน} = N_1$$

$$\text{อัตราเร็วของเฟืองตัวตาม} = N_2$$

$$\text{ดังนั้น จำนวนเกลิวยที่เฟืองตัวหนอนหมุนไป} = \text{จำนวนฟันเฟืองบนล้อตัวตาม}$$

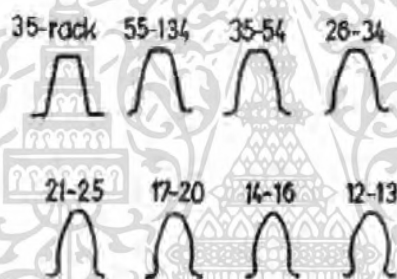
นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$NG1 = N2Z \tag{2.12}$$

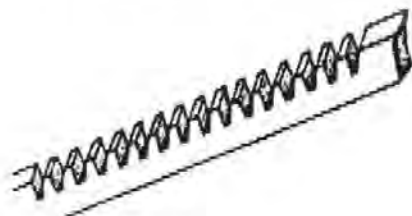
### 2.11.5 วิธีการผลิตเฟือง

การผลิตเฟืองเพื่อใช้ในการคำนวณค่านั้น ทำได้หลายวิธี เช่น การหล่อ การปั๊มขึ้นรูป การแปรรูปด้วยเครื่องจักรและการทำโบลด์พลาสติก เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีนั้นผู้ผลิตจะต้องคำนึงถึงต้นทุนของการผลิต จำนวนที่ผลิต และชนิดของเฟือง แล้วมาเลือกกว่าวิธีไหนจึงจะเหมาะสมและประหยัดที่สุด ส่วนการผลิตเฟืองเพื่อทำต้นแบบซึ่งจะผลิตเป็นจำนวนไม่มาก ดังเช่นที่ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งผลิตเฟืองเพื่อทำต้นแบบอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์นั้น ถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่องประสิทธิภาพของเครื่องจักรและเรื่องชนิดของโบลด์กัดเฟือง แต่อย่างไรก็ตามก็ได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือต่างๆ ที่มีอยู่ผลิตเฟืองขึ้นใช้ โดยมีขั้นตอนการผลิตดังจะได้กล่าวต่อไปก่อนที่จะทราบขั้นตอนการผลิตเฟืองนั้น ควรจะได้รู้จักลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง และระบบของเฟืองเสียก่อนว่า ฟันเฟืองที่จะผลิตนั้นมีลักษณะอย่างไรมีฟันกี่ฟันเฟือง เพราะลักษณะรูปร่างของฟันเฟืองนั้นมีหลายชนิด ดังรูป



รูปที่ 2.36 ลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนของฟันเฟือง เช่น เฟืองที่มีจำนวน 12 -13 ฟัน ก็จะมีลักษณะเป็นฐานคอคด และฐานฟันเฟืองจะตรงเมื่อจำนวนฟันมีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ จนมากที่สุด คือ เฟืองสะพาน (Rack gear) ซึ่งเป็นเฟืองที่มีฟันเรียงเป็นแนวเส้นตรงดังรูป



รูปที่ 2.37 เฟืองที่มีฟันเรียงเป็นแนวเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟืองที่จะสามารถขบกันได้ต้องมีขนาดของฟันเฟืองเท่ากันเท่านั้น ซึ่งขนาดของฟันนี้มีการวัดเป็น 2 ระบบ คือ ระบบเมตริกและระบบอังกฤษ ระบบเมตริกนั้นจะวัดขนาดเป็นมิลลิเมตร เราเรียกเฟืองระบบนี้ว่า เฟืองโมดูล(Module) ขนาดของโมดูลเฟือง จะมีค่าซึ่งกำหนดไว้เป็นมาตรฐาน ส่วนระบบอังกฤษจะวัดขนาดเป็นนิ้ว เรียกเฟืองระบบนี้ว่า เฟืองดีพี(DP=Diameter Pitch) ฉะนั้น การซื้อหาเฟือง หรือผลิตเฟืองนั้นต้องทราบลักษณะรูปร่างของเฟืองและระบบของเฟืองเสียก่อนว่า ใช้ชนิดไหน และรูปร่างเป็นอย่างไร ส่วนในด้านการผลิตนั้น จะต้องทราบอีกว่าถ้าจะกัดเฟืองขึ้นใช้วัสดุควรเป็นอะไรจึงจะเหมาะสม และประการสุดท้ายคือ การเลือกมีดกัดเฟือง(Gear Cutter) จะต้องเป็นมีดกัด ที่มีรูปทรงเหมือนร่องของฟันเฟืองในระบบนั้นๆด้วยสำหรับขั้นตอนการผลิตเฟืองโดยวิธีกัดเฟืองด้วยเครื่องกัดนั้น พอจะสรุปวิธีการต่างๆได้ดังต่อไปนี้

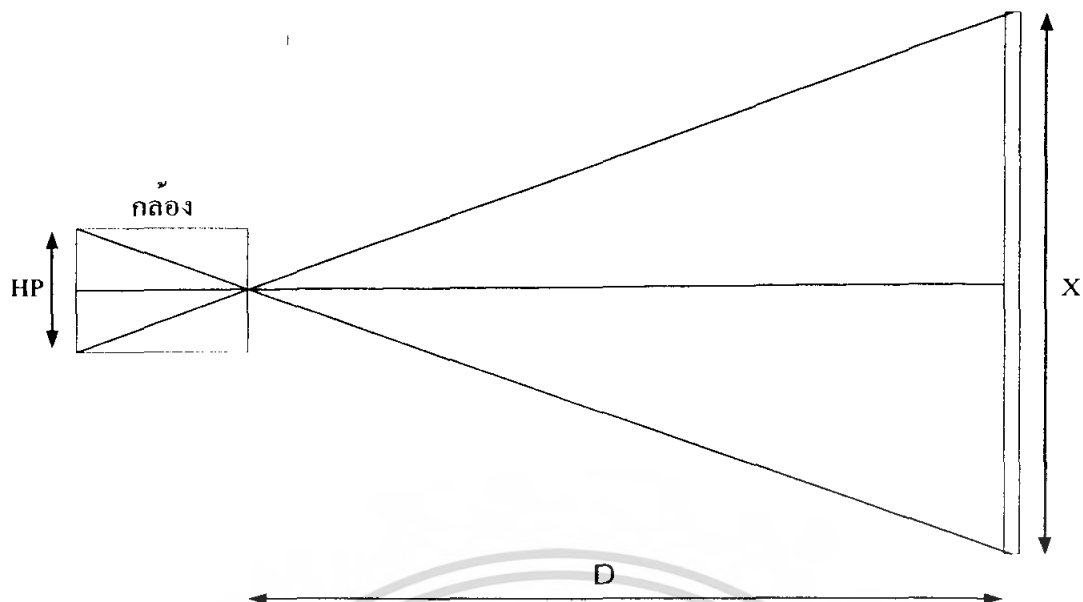
- 1.การนำชิ้นงานไปกลึงปอก เพื่อให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตามต้องการ
- 2.นำชิ้นงานที่ปอกแล้วไปเข้าเครื่องกัดเฟือง เพื่อกัดเซาะฟันเฟืองตามระบบของเฟืองนั้นๆ
- 3.นำชิ้นงานที่ได้ถูกเซาะฟันเฟืองแล้วมาตัดเพื่อให้ได้ขนาดความหนาของเฟืองตามที่เรา

ต้องการ

วิธีการดังกล่าวนี้เป็นวิธีที่ผลิตเฟืองชนิดเฟืองตรงเท่านั้น ส่วนเฟืองชนิดอื่น ๆ นั้น จะมีวิธีแตกต่างออกไป อย่างไรก็ตามเฟืองตรงนี้จะเป็เฟืองที่รู้จักและใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ และของเล่นเด็กจะใช้เฟืองตรงเป็นส่วนประกอบ เมื่อทราบแล้วว่าเฟืองเป็นอย่างไร ท่านคงจะนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างง่ายๆ เช่น เมื่อของเล่นบุตรหลานท่านเกิดขัดข้องเสียหาย แทนที่จะโยนทิ้งไป ท่านอาจช่วยตรวจสอบก่อน หากพบว่าเป็นปัญหาที่เกี่ยวกับเฟือง เช่น เฟืองขบกันไม่สนิทหรือติดขัด ท่านอาจจะไปหาซื้อเฟืองที่มีระบบ และขนาดเฟืองเหมือนของเดิมมาเปลี่ยนได้ เป็นการประหยัดเงิน นอกจากนี้การร่วมกับบุตรหลานช่วยกันตรวจสอบ หรือเปลี่ยนแปลงแก้ไข ยังสามารถช่วยกระตุ้นให้บุตรหลานได้รู้จักการสังเกตและลงมือกระทำด้วย ซึ่งอาจจะนำไปสู่การพัฒนาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการประดิษฐ์คิดค้น และซ่อมแซมตลอดจนมีนิสัยประหยัดด้วย

## 2.12 การคำนวณอัตราส่วนการเกิดภาพของกล้อง

การคำนวณอัตราส่วนการเกิดภาพของกล้องนั้นทำได้โดยใช้วิธีให้กล้องถ่ายภาพไปยังฉากหนึ่งแล้วเราจึงทำการวัดค่าบริเวณที่กล้องเรานั้นถ่ายได้มีขนาดเท่าไร (จุดศูนย์กลางภาพไปยังขอบด้านบนมีความยาว X) แล้วทำการวัดค่าจากจุดหน้ากล้องไปถึงฉากที่กล้องถ่าย(ให้เป็นตัวแปร D)



รูปที่ 2.38 ภาพจำลองการหาอัตราภาพ

สูตรในการคำนวณหาอัตราส่วนจริง

Hp คือ ความสูงของขอบด้านบนสุดของภาพที่ปรากฏในกล้องวัดจากจุดกึ่งกลางตามแนวตั้งของภาพ

X คือ ระยะความสูงจริงจากภาพวัดจากเส้นตรงในแนวระดับที่ผ่านจุดกึ่งกลางของกล้อง

$$Hp / X = \text{Pixel/cm} \quad (2.13)$$

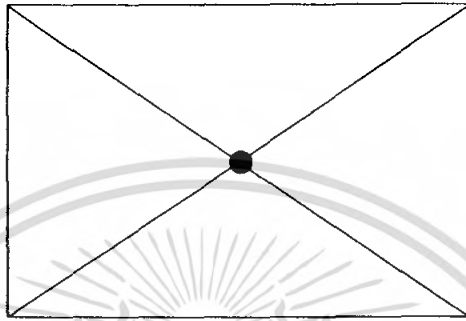
โดยปกติแล้วภาพจะต้องมีขนาดความกว้างและความยาวไม่เท่ากันดังนั้นในการหาอัตราส่วนของภาพจะต้องทำการหาทั้งทางด้านความกว้างและความยาวทั้งสองด้านเพื่อที่จะนำเอาขนาดของ Pixel ของด้านกว้างและด้านยาวไปใช้งาน

## บทที่ 3

### การออกแบบ

#### 3.1 การคำนวณเกี่ยวกับภาพ

ขั้นตอนแรกนำกล้องไปถ่ายภาพ โดยภาพที่ถ่ายได้กับภาพที่จะถ่ายจะต้องตั้งกล้องให้ตรงกับจุดศูนย์กลางพอดี



รูปที่ 3.1 ภาพจำลองจุดศูนย์กลางภาพ

จากนั้นใช้โปรแกรมที่ได้ถ่ายภาพได้ทำการหาจุดศูนย์กลางของภาพเมื่อได้ โดยการปรับจุดของภาพที่ได้ทำการถ่ายให้ตรงกับตำแหน่ง (0, 0) จากนั้นเมื่อทำการถ่ายภาพเสร็จ ทำการวัดตำแหน่งของภาพที่ถ่ายได้คือภาพจริงก็จะได้ อัตราของ ด้านกว้างและด้านยาว pixel / ซม.

วิธีการแปลงระบบพิกัด

จะใช้คลาส Matrix เมททอด Scale เพื่อทำการสะท้อนบนแกน x จากนั้นจึงใช้เมททอด Transform เพื่อแปลงให้อยู่ตรงกลางของพื้นที่ไคลเอนต์ เราสามารถเขียนในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

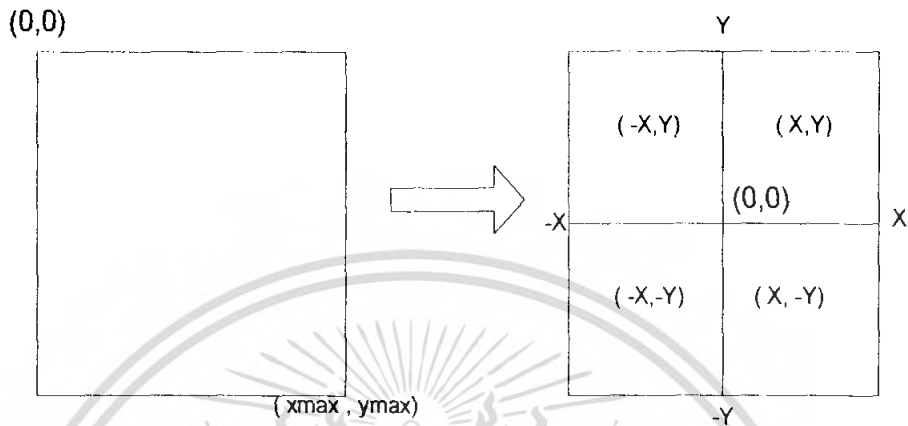
$$\begin{matrix} [A] & [B] \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ Width/2 & Height/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ Width/2 & Height/2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$[C] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ Width/2 & Height/2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \\ (x + Width)/2 & (-y + Height)/2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

ในการคูณเมตริกซ์นั้นเมตริกซ์ [A] ต้องคูณกับเมตริกซ์ [B] ก่อนเมื่อได้ผลลัพธ์แล้วจึงจะนำเมตริกซ์ [C] มาคูณ ด้วยเหตุนี้เราจึงต้องใช้ค่าอินัม MatriOrder เป็น Append ในเมททอด Translate Transform โดยปกติแล้วความกว้างในที่นี้คือ ความกว้างในพื้นที่ไคลเอนต์ ซึ่งเท่ากับ

ค่าพรีอเพอร์ดี Width ของโครงสร้าง Rectangle และความสูงในที่นี้คือ ความสูงของพื้นที่ ไคลเอนต์ซึ่งเท่ากับค่าพรีอเพอร์ดี Height ของโครงสร้าง Rectangle

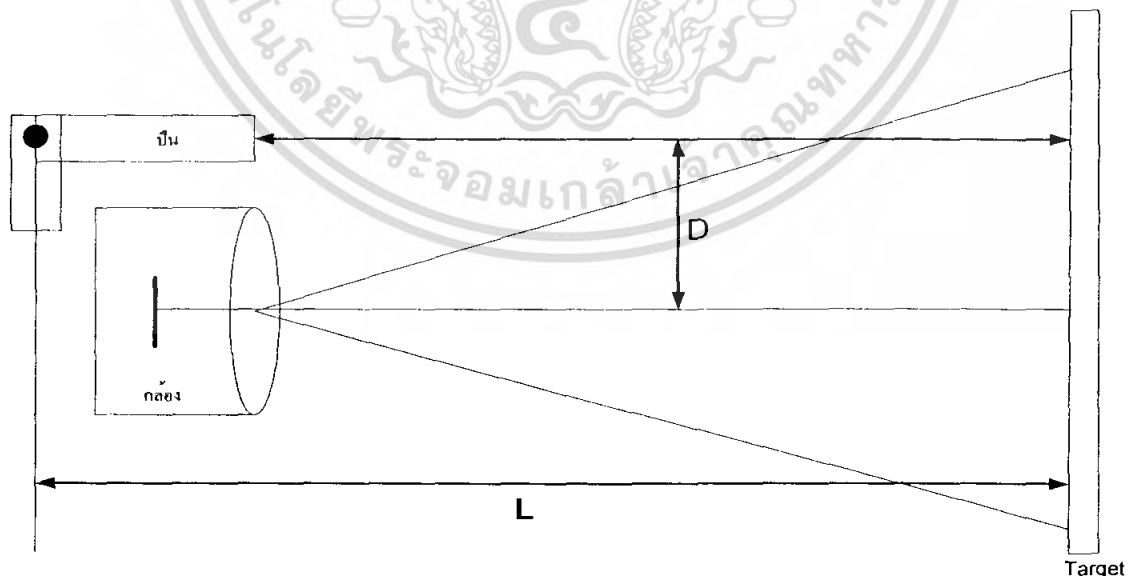
เมื่อแปลงพิกัดเป็น Cartesian หรือมีสี่ก๊วคเเรนท์แล้ว การพรีอคกราฟจะเริ่มที่จุดตรงกลางพื้นที่ไคลเอนต์เราสามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.2 รูปการแบ่งขอบเขตภาพ

กรอบของภาพที่เราได้ถ่ายจะมี ขนาด 320 x 240 ก็จะทำให้ 1 Pixel / ซม. ทำการหาความกว้าง ความยาวออกมา เพื่อที่จะหาดำแหน่งที่จะยิงเป้าหมาย ยกตัวอย่างถ้าต้องการยิงตำแหน่งที่ (2,5) ก็จะทำให้ทราบตำแหน่งที่ต้องการยิงมีความกว้างและยาวว่ามีขนาดเท่าไรออกมา

### 3.1.1 ลักษณะการคำนวณหาดำแหน่ง



รูปที่ 3.3 รูปจำลองการถ่ายภาพจากกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$D$  = ระยะห่างระหว่างกล้องกับปืน ( ซม. )

$L$  = ระยะทางจากปืนถึงเป้าหมาย ( ซม. )

หาค่าแห่งทางแนวแกน X

$$\tan \theta = \frac{\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}}{L} \quad (3.3)$$

$$\text{มุมตามแนวแกน X} = \tan^{-1} \frac{\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}}{L} \quad (3.4)$$

หาค่าแห่งทางแนวแกน Y

$$\tan \theta = \frac{(\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}) - D}{L} \quad (3.5)$$

$$\text{มุมตามแนวแกน Y} = \tan^{-1} \frac{(\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}) - D}{L} \quad (3.6)$$

เมื่อได้มุมของแต่ละแนวแกนก็จะหาจำนวน Step ในการหมุนเพื่อที่จะให้ stepping motor ทำการหมุนว่ากี่ รอบเพื่อใช้ส่งจำนวนรอบให้ MCS-51

$$\text{จำนวนรอบ} = \frac{\text{มุมตามแนวแกน}}{\text{มุม / step}} \quad (3.7)$$

คำนวณหาอัตราส่วนของภาพ

ขนาดความยาวทางด้านแกน X ซึ่งวัดจากภาพจริงได้ 142 ซม. ซึ่งกำหนดให้ขนาดของภาพถ่ายทางด้านแนวแกน X มีขนาด 320 Pixel หาอัตราส่วนจริงทางด้านแนวแกน X คำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนของภาพ แกน X} &= \text{ขนาดภาพจริง} / \text{ขนาดของภาพถ่าย} & (3.8) \\ &= 142 / 320 \\ &= 0.44 \text{ ซม./Pixel} \end{aligned}$$

ขนาดความยาวทางด้านแกน Y ซึ่งวัดจากภาพจริงได้ 107 ซม. ซึ่งกำหนดให้ขนาดของภาพถ่ายทางด้านแนวแกน Y มีขนาด 240 Pixel หาอัตราส่วนจริงทางด้านแนวแกน Y ซึ่ง คำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราส่วนของภาพ แกน } Y &= \text{ขนาดภาพจริง / ขนาดของภาพถ่าย} & (3.9) \\
 &= 107 / 240 \\
 &= 0.45 \text{ ซม./Pixel}
 \end{aligned}$$

คำนวณหาค่ามุม  $\theta$  จากพิกัด (+X, +Y)

คำนวณหาค่ามุม  $\theta$  แนวแกน X จากสมการ ( 3.3 )และ ( 3.4 ) ซึ่งกำหนดให้ค่า L ค่าเท่ากับ 500 ซม.

$$\text{Tan } \theta = \frac{\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}}{500} \quad (3.10)$$

$$\text{มุม } \theta \text{ ตามแนวแกน X} = \text{Tan}^{-1} \frac{\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}}{500} \quad (3.11)$$

คำนวณหาค่ามุม  $\theta$  แนวแกน Y จากสมการ ( 3.5 )และ ( 3.6 ) ซึ่งกำหนดให้ค่า L เท่ากับ 500 ซม. และค่า D เท่ากับ 22 ซม.

$$\text{Tan } \theta = \frac{(\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}) - 22}{500} \quad (3.12)$$

$$\text{มุม } \theta \text{ ตามแนวแกน Y} = \text{Tan}^{-1} \frac{(\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}) - 22}{500} \quad (3.13)$$

คำนวณหาค่ามุม  $\theta$  จากพิกัด (-X, +Y)

คำนวณหาค่ามุม  $\theta$  แนวแกน X จากสมการ ( 3.3 )และ ( 3.4 ) ซึ่งกำหนดให้ค่า L ค่าเท่ากับ 500 ซม.

$$\text{Tan } \theta = \frac{-\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}}{500} \quad (3.14)$$

$$\text{มุม } \theta \text{ ตามแนวแกน X} = \text{Tan}^{-1} \frac{-\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}}{500} \quad (3.15)$$

คำนวณหาค่ามุม  $\theta$  แนวแกน Y จากสมการ ( 3.5 )และ ( 3.6 ) ซึ่งกำหนดให้ค่า L เท่ากับ 500 ซม. และค่า D เท่ากับ 22 ซม.

$$\text{Tan } \theta = \frac{(\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}) - 22}{500} \quad (3.16)$$

$$\text{มุม } \theta \text{ ตามแนวแกน Y} = \text{Tan}^{-1} \frac{(\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}) - 22}{500} \quad (3.17)$$

คำนวณหาค่ามุม  $\theta$  จากพิกัด (-X, -Y)

คำนวณหาค่ามุม  $\theta$  แนวแกน X จากสมการ ( 3.3 )และ ( 3.4 ) ซึ่งกำหนดให้ค่า L ค่าเท่ากับ 500 ซม.

$$\text{Tan } \theta = \frac{-\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}}{500} \quad (3.18)$$

$$\text{มุม } \theta \text{ ตามแนวแกน X} = \tan^{-1} \frac{\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}}{500} \quad (3.19)$$

คำนวณหาค่ามุม  $\theta$  แนวแกน Y จากสมการ ( 3.5 )และ ( 3.6 ) ซึ่งกำหนดให้ค่า L เท่ากับ 500 ซ.ม. และค่า D เท่ากับ 22 ซ.ม.

$$\tan \theta = \frac{-(\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}) - 22}{500} \quad (3.20)$$

$$\text{มุม } \theta \text{ ตามแนวแกน Y} = \tan^{-1} \frac{-(\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}) - 22}{500} \quad (3.21)$$

คำนวณหาค่ามุม  $\theta$  จากพิกัด (+X , -Y )

คำนวณหาค่ามุม  $\theta$  แนวแกน X จากสมการ ( 3.3 )และ ( 3.4 ) ซึ่งกำหนดให้ค่า L ค่าเท่ากับ 500 ซ.ม.

$$\tan \theta = \frac{\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}}{500} \quad (3.22)$$

$$\text{มุม } \theta \text{ ตามแนวแกน X} = \tan^{-1} \frac{\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}}{500} \quad (3.23)$$

คำนวณหาค่ามุม  $\theta$  แนวแกน Y จากสมการ ( 3.5 )และ ( 3.6 ) ซึ่งกำหนดให้ค่า L เท่ากับ 500 ซ.ม. และค่า D เท่ากับ 22 ซ.ม.

$$\tan \theta = \frac{-(\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}) - 22}{500} \quad (3.24)$$

$$\text{มุม } \theta \text{ ตามแนวแกน Y} = \tan^{-1} \frac{-(\text{length per pixel} * \text{จำนวน pixel}) - 22}{500} \quad (3.25)$$

กำหนดให้

Length Per Pixel = อัตราส่วนของภาพแต่ละแกน

จำนวน Pixel = ตำแหน่งพิกัดที่ต้องการยิง

### 3.2 การออกแบบวงจรผลิตสัญญาณ PWM

ได้ออกแบบวงจรผลิตสัญญาณ PWM โดยได้แบ่งออกเป็น 2 โมดูลย่อยโดยประกอบด้วย

#### 3.2.1 ภาคจ่ายไฟ

ภาคจ่ายไฟจะเป็นตัวแปลงความต่างศักย์ให้ได้เท่ากับความต้องการของวงจร และทำการปรับกระแสให้สม่ำเสมอขึ้น โดยวงจรส่วนของการควบคุมต้องการกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 5 โวลต์ ซึ่งนำไปเลี้ยง ไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.2.2 ภาคควบคุมการทำงานและการติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์

โดยวงจรจะประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ชิพ Max232 ซึ่งใช้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยส่วนของวงจรมีจะเป็นตัวส่งการคำสั่งไปที่ชิพ MCS-51 ผลิตสัญญาณ PWM ให้กับวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์ทำงาน

### 3.3 การออกแบบและจัดทำวงจร (PCB)

ขั้นตอนการออกแบบและจัดทำวงจร (PCB) ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

#### 3.3.1 การศึกษาข้อมูลของอุปกรณ์

ศึกษาข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ จากเอกสารตามเว็บไซต์ และเลือกอุปกรณ์ต่างๆ ที่ตรงตามคุณสมบัติที่ต้องการ การศึกษาข้อมูลนับเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะถ้าเราไม่ได้ศึกษาข้อมูลก่อนออกแบบ อาจจะมีปัญหาเรื่องการหาอุปกรณ์ไม่ได้ในภายหลัง ข้อดีของการศึกษาข้อมูลคือ ทำให้สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการจัดทำได้เพราะการจัดทำโครงการต่างๆ ต้องมีงบประมาณที่จำกัด ทำให้ต้องวางแผนการใช้จ่ายให้ละเอียด

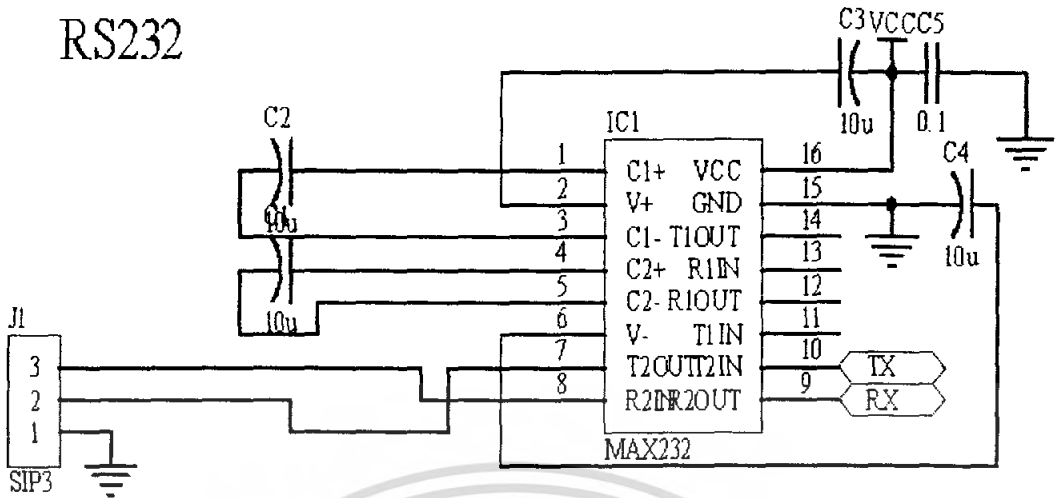
#### 3.3.2 การออกแบบ Schematic

เมื่อได้ข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆแล้ว จะนำข้อมูลของตัวถังอุปกรณ์รวมถึงการวางขาของอุปกรณ์ต่างๆมาออกแบบ โดยการออกแบบจะทำในโปรแกรมโดยเชื่อมต่อขาต่างๆเข้าด้วยกันตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยโปรแกรมจะมีเครื่องมือช่วยตรวจสอบการเชื่อมต่อของขาอุปกรณ์ โดยหลักการวางอุปกรณ์จะวางให้ดูง่ายไม่ซ้อนทับกัน

โดยการออกแบบ Schematic ต้องมีการกำหนด Footprint ให้กับอุปกรณ์แต่ละตัวเพื่อที่จะนำ schematic นี้ไปสร้างเป็นลายวงจรต่อไป สิ่งที่ต้องตรวจสอบความถูกต้องในขั้นตอนนี้ เพราะถ้าผิดพลาดจะส่งผลถึงการทำลายวงจรคือ

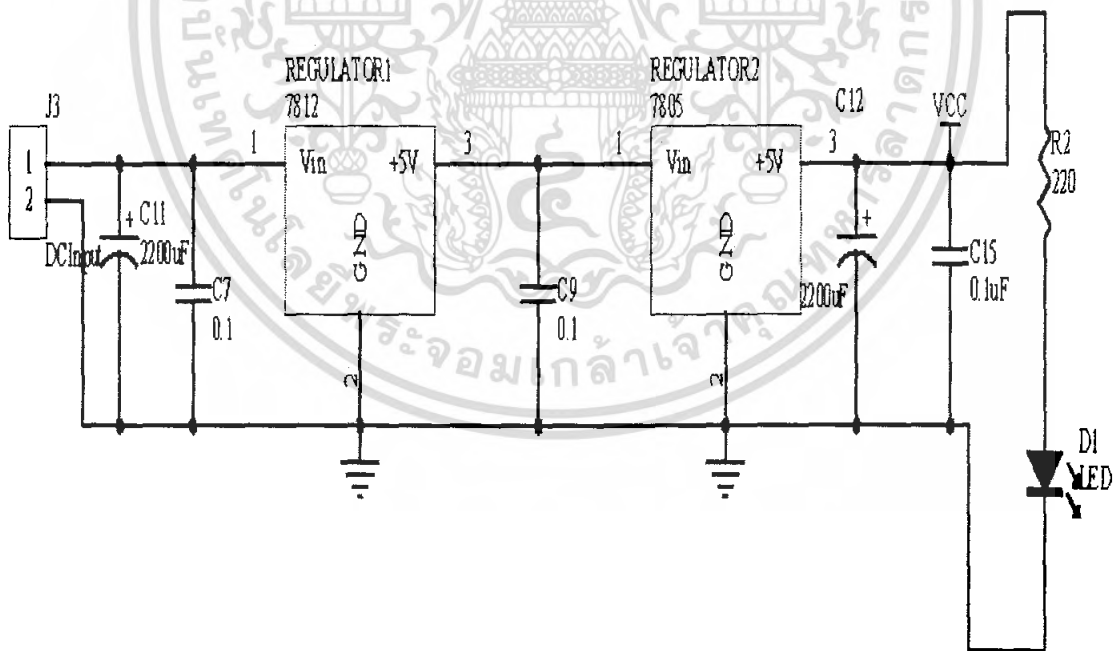
1. การกำหนด Footprint ให้แก่อุปกรณ์แต่ละตัวถูกต้องหรือไม่
2. ตำแหน่งขาของอุปกรณ์และ Footprint ตรงกันหรือไม่
3. มีขาที่ยังไม่ถูกต้องหรือไม่

RS232



รูปที่ 3.4 Schematic ของวงจรผลิตสัญญาณ PWM โดยใช้ AT89S52 ฝั่ง RS232

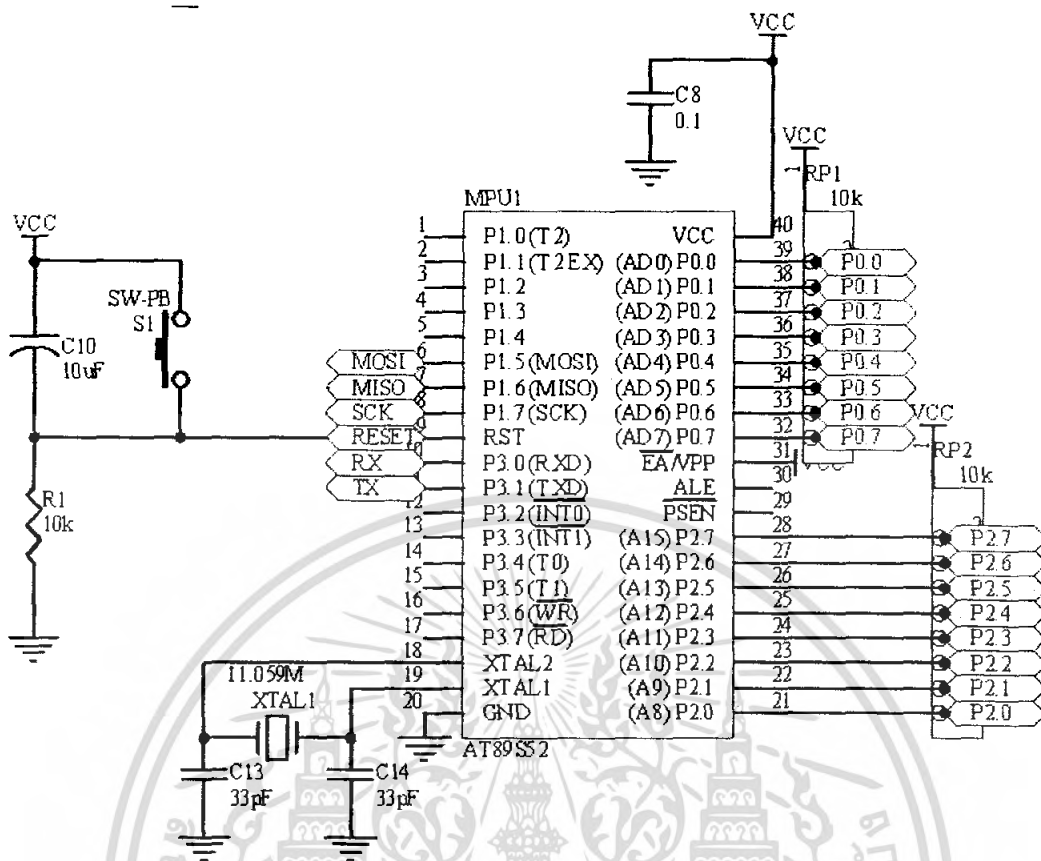
Supply 5V



รูปที่ 3.5 Schematic ของวงจรผลิตสัญญาณ PWM โดยใช้ AT89S52 ฝั่ง Supply

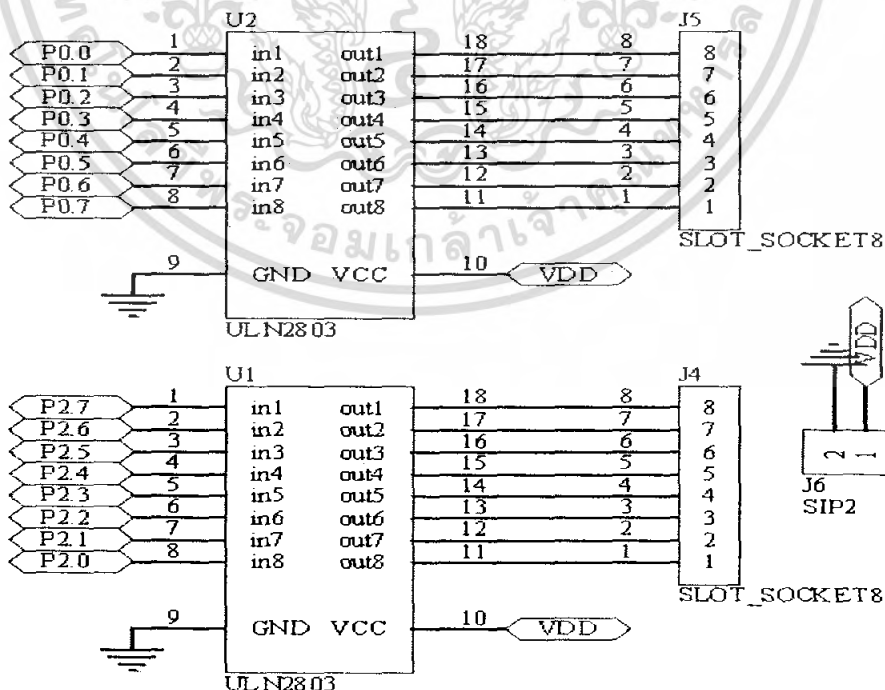
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MasTer\_Control



รูปที่ 3.6 Schematic ของวงจรผลิตสัญญาณ PWM โดยใช้ AT89S52 ฝั่ง master control

# DRIVE\_motor



รูปที่ 3.7 Schematic ของวงจรผลิตสัญญาณ PWM โดยใช้ AT89S52 ฝั่ง Drive motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การออกแบบส่วนที่ใช้ติดต่อกับฮาร์ดแวร์

การออกแบบส่วนของการติดต่อระหว่างโปรแกรมกับฮาร์ดแวร์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ โปรแกรมภายในตัวฮาร์ดแวร์ และ โปรแกรมที่ใช้บนคอมพิวเตอร์ โดยการออกแบบต่างๆ และการเขียนโปรแกรมมีรายละเอียดได้ดังนี้

- ขั้นตอนการออกแบบทางด้าน Hardware

ลักษณะทั่วไป ระบบควบคุมอาวูธิป็น ประกอบด้วย

- ชุดขับเคลื่อน ซึ่งจะมีสเต็ปป์มอเตอร์
- ชุดเฟืองทรอบแนวแกน Y ซึ่งจะมีเฟืองตัวหนอน (Worm Gear)
- ชุดเฟืองทรอบแนวแกน X ซึ่งจะมีชุดเฟืองฟันตรง (Spur Gear)

การคำนวณหาชุดทรอบเฟืองตัวหนอน ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

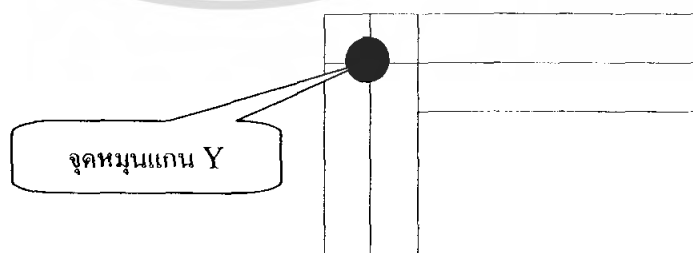
- อัตราทรอบของเฟืองตัวหนอน = 20:1
- อัตราทรอบของเฟืองตรง = 6:1

การเลือกชุดเฟืองตัวหนอน , เฟืองตรง และขนาดของสเต็ปป์มอเตอร์ที่ใช้ขับ

- มุมในการเคลื่อนที่จะมีความละเอียดสูงจะใช้สเต็ปป์มอเตอร์แบบ 5 เฟส
- ลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากจะใช้เฟืองตัวหนอน (Worm Gear)
- ลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวขนานจะใช้ฟันตรง (Spur Gear)

การออกแบบ

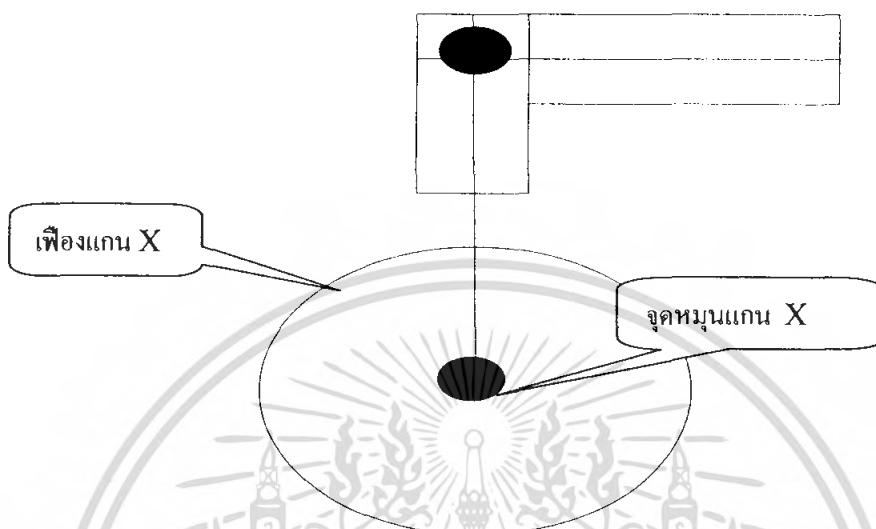
ขั้นตอนที่ 1 หาจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่ของปืนในแนวแกน Y โดยใช้วิธีการลากเส้นตัดทางด้านแนวตั้งและแนวนอนหลังจากนั้นใช้จุดตัดระหว่างเส้นแนวแกน X และแนวแกน Y เป็นจุดเคลื่อนที่ทางด้านแนวแกน Y



รูปที่ 3.8 แสดงการหาจุดหมุนแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 หาจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่ของปืนในแนวแกน X โดยใช้วิธีการลากเส้นตัดทางด้านแนวตั้งให้เป็นแนวเดียวกับจุดเคลื่อนที่แนวแกน Y ซึ่งจะต้องอยู่ในตำแหน่งเดียวกันซึ่งแนวแกน X จะใช้เพียงในการขับเคลื่อนทางด้านแนวแกน X



รูปที่ 3.9 แสดงการหาจุดหมุนแกน X

ขั้นตอนที่ 3

กำหนดปืนที่มีการเคลื่อนที่ทางด้านแกน Y จะต้องอยู่ในลักษณะตั้งฉาก กับแนวอ้างอิงอยู่ตลอดนั้นจำเป็นต้องใช้ชุดครอบเฟืองตัวหนอนในการเคลื่อนที่ทางด้านแกน Y ซึ่งเฟืองตัวหนอนจะเป็นเฟืองที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากโดยเฉพาะ

ขั้นตอนที่ 4

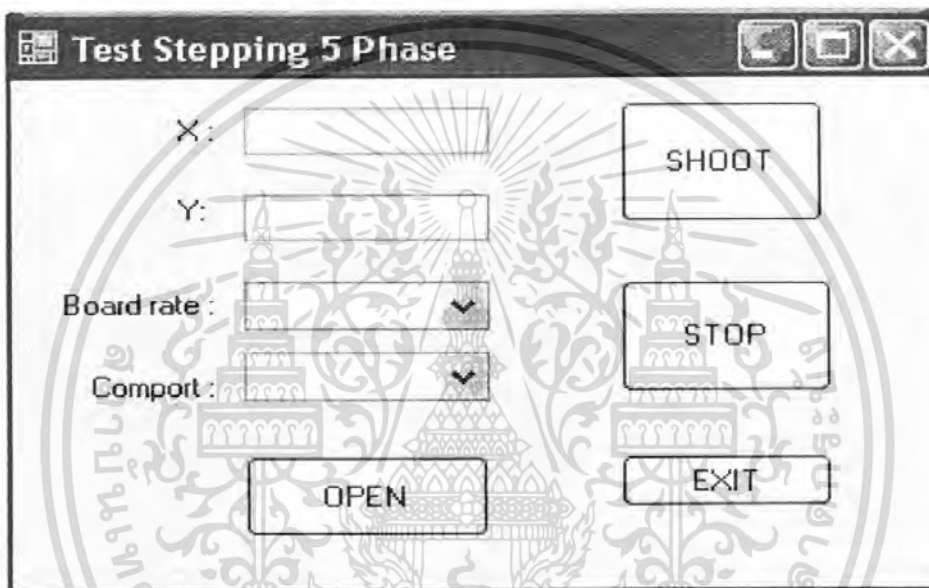
การเคลื่อนที่ทางด้านแนวแกน X จะใช้ชุดเฟืองตรงในการเคลื่อนที่ซึ่งจะมีลักษณะการเคลื่อนที่ที่จะการเคลื่อนที่ในแนวขนานจึงเหมาะกับการใช้ชุดเฟืองตรงเป็นอย่างมาก และยังป้องกันการเคลื่อนที่ไม่ให้เกิดการสะดุดขึ้นในการเคลื่อนที่

#### 3.4.1 การออกแบบและเขียนโปรแกรมบนฮาร์ดแวร์

โปรแกรมที่เขียนบนฮาร์ดแวร์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนควบคุมการทำงาน และส่วนที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อรับคำสั่ง โดยส่วนแรกจะเป็นโปรแกรมที่ทำงาน โดยจะทำการผลิตสัญญาณ PWM ตามจำนวนที่คอมพิวเตอร์ได้ส่งออกมา ส่วนที่ 2 เป็น ส่วนที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อรับคำสั่ง โดยที่โปรแกรมส่วนนี้จะทำงานเมื่อมีการรับค่าเข้ามาทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งคอมพิวเตอร์จะต้องมีการ Connect ก่อนทุกครั้ง

### 3.4.2 การออกแบบและเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ส่วนของโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งานเป็นส่วนที่รับตำแหน่งที่ต้องการอิงจากผู้ใช้งาน โดยได้เขียน โปรแกรมควบคุมการทำงาน โดยที่โปรแกรมจะทำหน้าที่ส่งค่าจำนวน Step ให้ฮาร์ดแวร์ โดยฮาร์ดแวร์จะทำการผลิตสัญญาณ PWM ให้กับ Board Drive Stepping Motor 5 Phase ซึ่ง Board นี้จะสามารถขับ Stepping Motor 5 Phase ให้มีการหมุนตามองศาที่ต้องการตั้งแต่ 0.72 องศา / Step – 0.00288 องศา / Step โดยการกำหนดองศาของการหมุนเราใช้การปรับตามความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งในการทดสอบStepการหมุนของ Stepping Motor 5 Phase ตามรูปโปรแกรม



รูปที่ 3.10 ลักษณะโปรแกรมที่ใช้ทดสอบStepการหมุน

โดยการทำงานจะต้องป้อนค่าต่างๆที่จำเป็น เช่นต้องใส่จำนวนสเต็ปที่ต้องการหมุน ส่วนทิศทางของการหมุนจะหมุนตามค่าที่เราเลือก โดยมีทิศทางการหมุนจะเป็นการใส่เครื่องหมาย (+) หน้าจำนวนสเต็ปจะเป็นการหมุน CW ถ้าใส่เครื่องหมาย (-) หน้าจำนวนสเต็ปจะเป็นการหมุนCWW โดยการป้อนจำนวนสเต็ปให้แก่สเต็ปปีงมอเตอร์ซึ่งจะมีการกำหนดองศาในการหมุนตามตารางที่ ยกตัวอย่างเช่น โดยจะกำหนดองศาของการหมุนไว้ที่ 0.72 องศาต่อสเต็ปซึ่งเราสามารถตั้งองศาในการหมุนต่อหนึ่งสเต็ปตามภาคผนวก จากตารางที่เป็นการหมุน 1 สเต็ปจะทำให้มอเตอร์หมุนไป 0.72 องศา

ตารางที่ 3.1 แสดงจำนวนสเต็ปต่อองศา

องศา	0.72	7.2	36	72	144	216	288	360
จำนวนสเต็ป	1	10	50	100	200	300	400	500
องศา	0.36	3.6	18	36	72	108	144	180
จำนวนสเต็ป	1	10	50	100	200	300	400	500
องศา	0.18	1.8	9	18	36	54	72	90
จำนวนสเต็ป	1	10	50	100	200	300	400	500

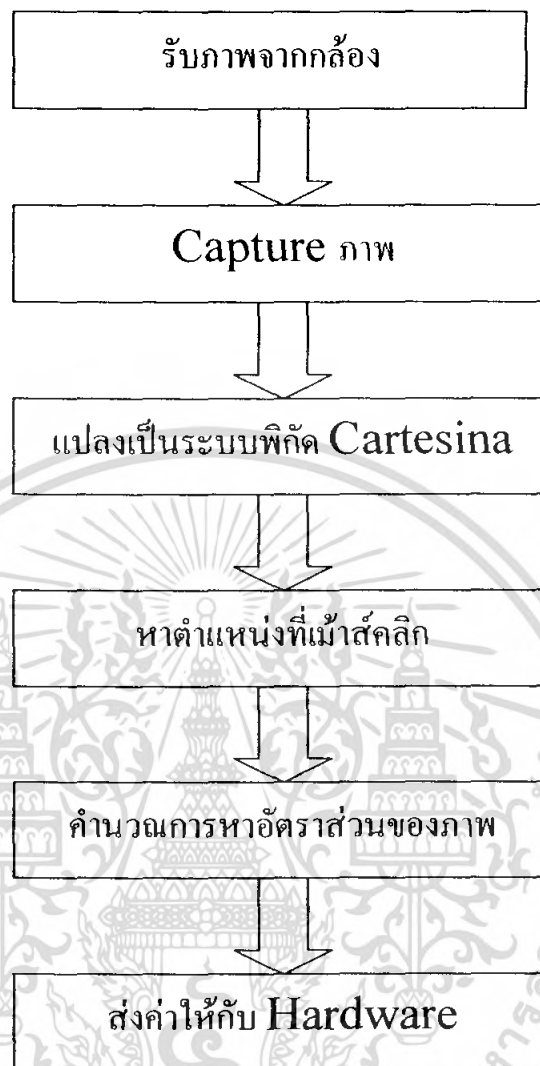
ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบสเต็ปต่อองศา

Step Angle	Resolution	Step Angle Select Switch (Common to DATA 1 and DATA 2)
0.72°	1	0
0.36°	2	1
0.288°	2.5	2
0.18°	4	3
0.144°	5	4
0.09°	8	5
0.072°	10	6
0.036°	20	7
0.0288°	25	8
0.018°	40	9
0.0144°	50	A
0.009°	80	B
0.0072°	100	C
0.00576°	125	D
0.0036°	200	E
0.00288°	250	F

ส่วนของโปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ใช้ได้ออกแบบตัวโปรแกรมให้มีการใช้งานง่ายโดยสามารถป้อนค่าต่างๆ ได้อย่างสะดวก โดยสามารถใส่ค่า ทิศทาง และจำนวนสเต็ปของการหมุนเพื่อให้ได้องศาในการเคลื่อนที่ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลักษณะการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.11 โครงสร้างของโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์

ค่าตำแหน่ง X เมื่อต้องการให้มีการเคลื่อนที่ขึ้นลง โดยจะทำการใส่เครื่องหมาย + และตามด้วยจำนวน step ที่ต้องการเคลื่อนที่ขึ้นไปตามองศาที่ต้องการ ใส่เครื่องหมาย - และตามด้วยจำนวน step ที่ต้องการเคลื่อนที่ลงไปตามองศาที่ต้องการ ค่าตำแหน่ง Y เมื่อต้องการให้มีการเคลื่อนที่ซ้าย-ขวา โดยจะทำการใส่เครื่องหมาย + และตามด้วยจำนวน Step ที่ต้องการเคลื่อนที่ไปทางขวาไปตามองศาที่ต้องการ ใส่เครื่องหมาย - และตามด้วยจำนวน Step ที่ต้องการเคลื่อนที่ไปทางซ้ายไปตามองศาที่ต้องการ คลิกปุ่ม SHOOT สเต็ปปีงมอเตอร์จะเคลื่อนที่ตามที่เรากำหนดจำนวน Step ให้กับตำแหน่ง X และ Y เมื่อคลิกปุ่ม STOP จะเป็นการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตรงข้ามกับตำแหน่งเมื่อเราคลิกที่ปุ่ม SHOOT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใส่จำนวนสเต็ป เข้าไปในตำแหน่ง X และ Y สามารถดูได้จากการปรับจำนวน Step ใน Board Drive Stepping 5 Phase ซึ่งใน Board นั้นจะมี จำนวนสเต็ป / 360 องศาเอาไว้เมื่อต้องการหมุนไปที่องศาที่ต้องการนำจำนวนมุมที่ต้องการเคลื่อนที่ออกไปหารด้วยการเคลื่อนที่ของ มุม 1 สเต็ปจะได้จำนวนสเต็ปออกมา

### 3.5 การออกแบบโครงสร้างการทำงานทางโปรแกรม

การออกแบบโครงสร้างหน้าตาของโปรแกรมนี้นี้ จะเป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้ โดยตรงโดยประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

#### 3.5.1 ปุ่มที่ใช้ในการทำงาน

ปุ่มที่ใช้ในการทำงานจะมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 7 ปุ่มด้วยกันคือ

##### 1. ปุ่ม Start Video

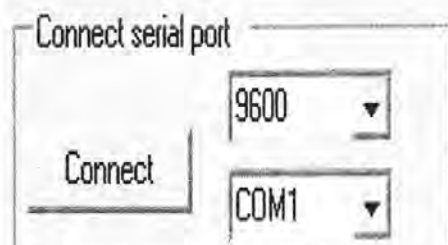
เป็นปุ่มที่ใช้ในเป็นอันดับแรก โดยมีหน้าที่ติดต่อกับกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพ เมื่อทำการ กดปุ่ม โปรแกรมก็จะทำการดึงภาพที่ถ่ายได้ขึ้นมาแสดงบนหน้าจอ



รูปที่ 3.12 ปุ่มที่ทำหน้าที่ติดต่อกับกล้อง

##### 2. ปุ่ม Connect

จะทำหน้าที่ติดต่อกับพอร์ตที่เชื่อมต่อกับกล้องที่ใช้ในการทดลอง โดยจะมีส่วนที่ปรับค่าอยู่ สองส่วนคือ อัตราบอดและส่วนของพอร์ตที่ใช้ในการติดต่อ




รูปที่ 3.13 ปุ่มที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อพอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ปุ่ม Add

เป็นปุ่มที่คอยรับค่าจากผู้ใช้งาน โปรแกรมว่าจะใส่ระยะทางในการยิงจำนวนเท่าไรเมื่อผู้ใช้งานกรอกตัวเลขแล้วก็ทำการกดปุ่ม Add เพื่อจะใส่ค่าระยะทางให้กับโปรแกรมในคำนวณ



Add

รูปที่ 3.14 ปุ่มที่ทำหน้าที่รับค่าระยะทาง

### 4. ปุ่ม Capture

เป็นปุ่มที่คอยทำหน้าที่ capture ภาพที่ถ่ายได้มาไว้ที่ฝั่งหนึ่งเพื่อที่จะทำการคลิกตำแหน่งที่ต้องการยิง



Capture

รูปที่ 3.15 ปุ่มที่ทำหน้าที่ Capture ภาพ

### 5. ปุ่ม Shoot

เป็นปุ่มที่ทำหน้าที่ยิงตำแหน่งที่คลิกเมาส์ เมื่อเราคลิกตำแหน่งที่ต้องการยิงฝั่งภาพที่ถูก capture แล้วจากนั้นเราก็ทำการกดปุ่ม Shoot เพื่อที่จะทำการสั่งให้ปืนยิงเป็นตำแหน่งที่คลิกเมาส์

Shoot

รูปที่ 3.16 ปุ่มที่ทำหน้าที่ยิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6. ปุ่ม Stop

เป็นปุ่มที่ทำหน้าที่สั่งให้โปรแกรมกลับมายังจุดเริ่มต้นใหม่อีกครั้งเมื่อทำการหยุดยั้งหรือรอที่จะยิงในครั้งต่อไป



รูปที่ 3.17 ปุ่มที่ทำหน้าที่เริ่มต้นใหม่

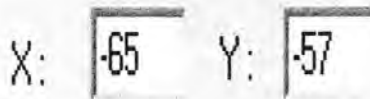
### 7. ปุ่ม Exit

เป็นปุ่มที่ทำหน้าที่สั่งให้โปรแกรมจบการทำงานและออกจากโปรแกรมนั้นเมื่อผู้ใช้เลิกใช้งานโปรแกรมแล้ว



รูปที่ 3.18 ปุ่มที่ทำหน้าที่จบโปรแกรม

นอกจากปุ่มต่างๆ ที่ได้ออกแบบมาแล้ว ยังมีส่วนแสดงหน้าต่าง ส่วนของตำแหน่งพิกเซลที่ผู้ใช้งานทำการคลิก เพื่อแสดงให้ผู้ใช้งานเห็นว่าคลิกที่ตำแหน่งพิกเซลที่เท่าไร และส่วนที่แสดงการเคลื่อนที่ของเมาส์ว่ากำลังเคลื่อนที่ไปตำแหน่งที่เท่าไร

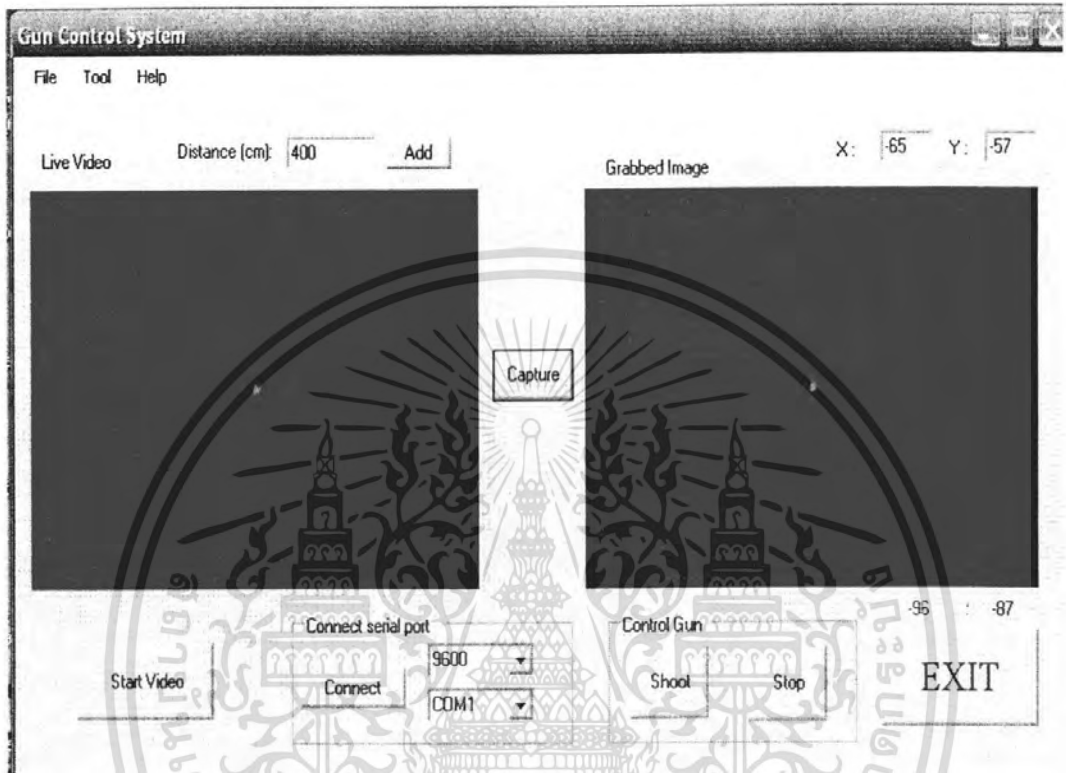


รูปที่ 3.19 ช่องแสดงค่าตำแหน่งพิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

96 : 87

รูปที่ 3.20 ช่องแสดงค่าตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเมาส์



รูปที่ 3.21 ภาพโครงสร้างโปรแกรมโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

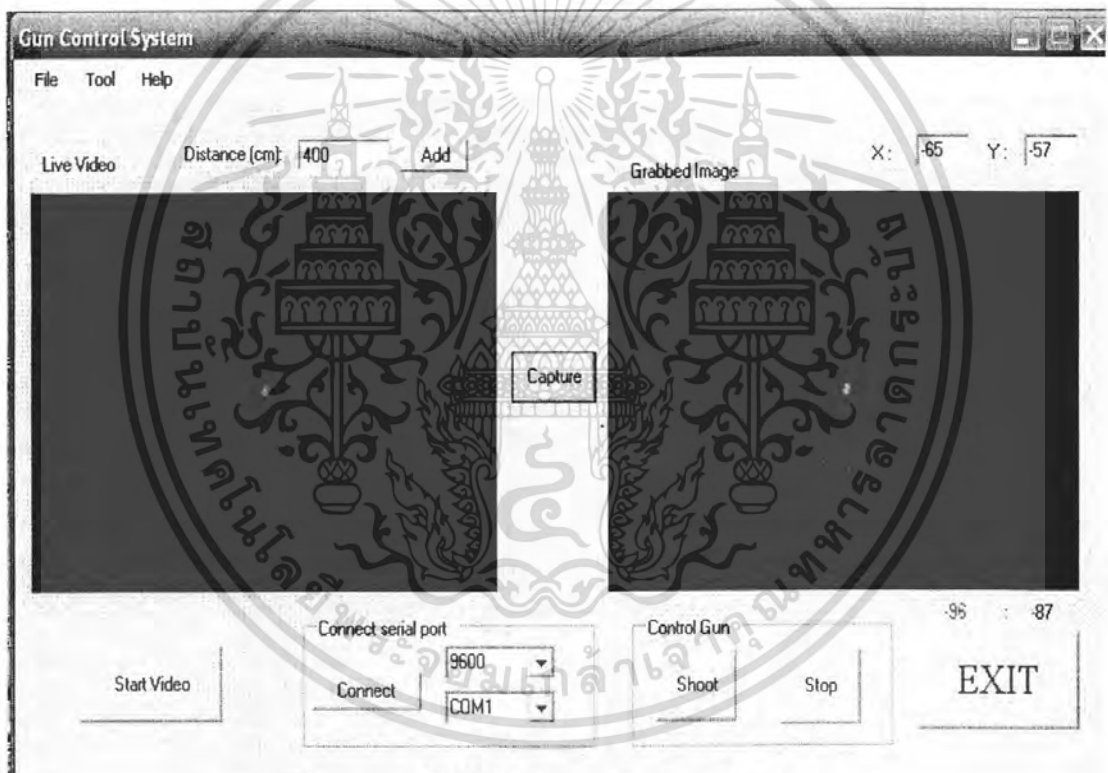
## บทที่ 4

### การทดลองและผลลัพธ์

#### การทดลอง

1. นำกล้องไปถ่ายภาพ แล้วทำการวัดขนาดของภาพจริงที่ถ่ายได้ ผลที่ได้คือ 142\*107 ซม.
2. กำหนดหาอัตราส่วนภาพจริงกับภาพที่ถ่ายได้
3. กำหนดพิกัดที่ต้องการยิงเป้าหมายในภาพที่ถ่ายได้
4. ทำการยิงเป้าหมาย

#### 4.1 การทดลองยิงเป้าจากโปรแกรมควบคุมอาวุธปืน

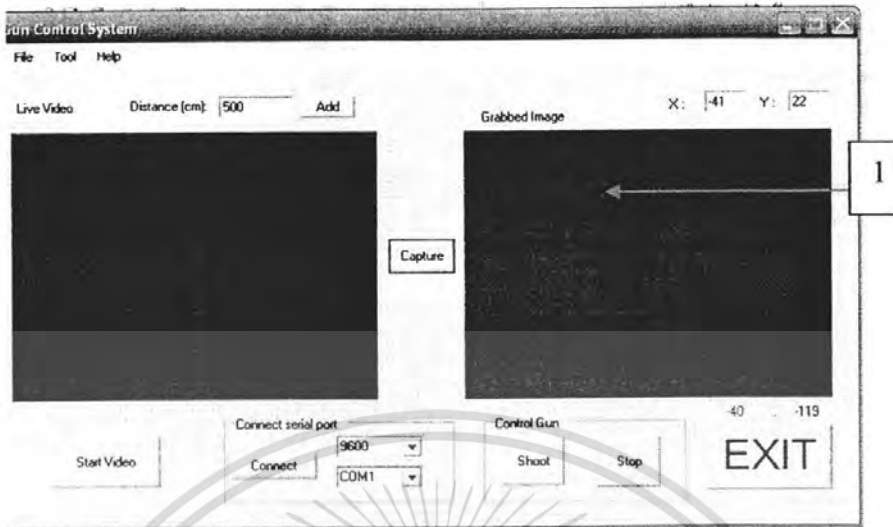


รูปที่ 4.1 การตั้งค่าเริ่มต้นของปืนกับศูนย์กลางภาพ

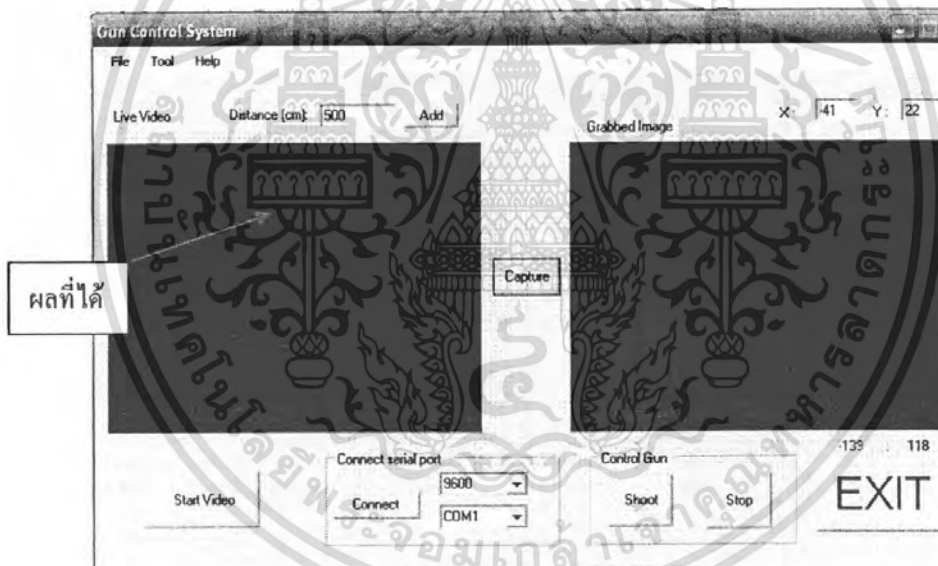
- สีแดงแสดงถึงลำแสงของเลเซอร์
- สีน้ำเงินแสดงถึงจุดศูนย์กลางของภาพที่ถ่ายได้
- สีแดงเล็กหมายถึงตำแหน่งที่เราต้องการยิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทดสอบการยิง



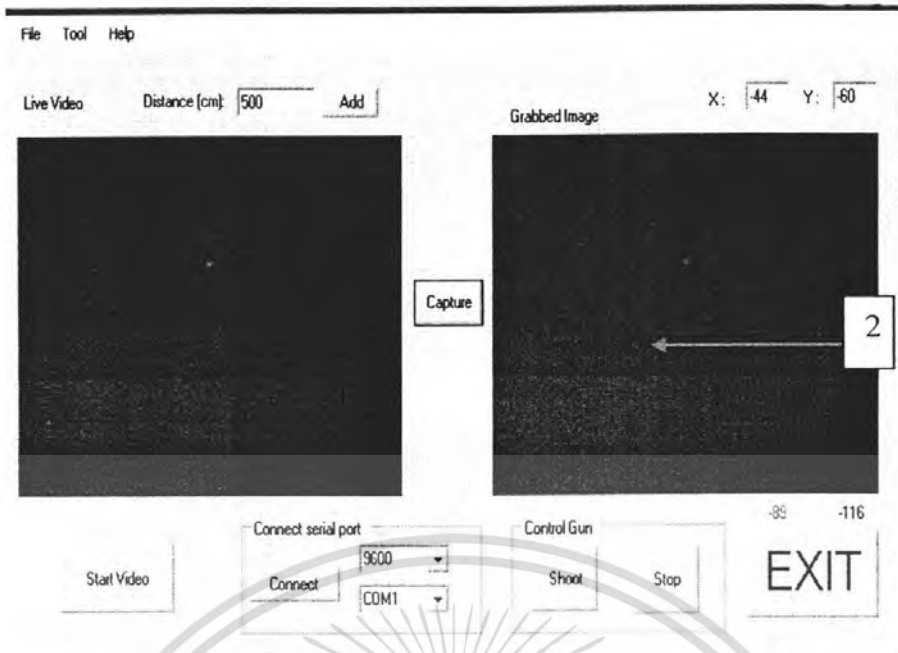
รูปที่ 4.2 การยิงครั้งที่หนึ่ง



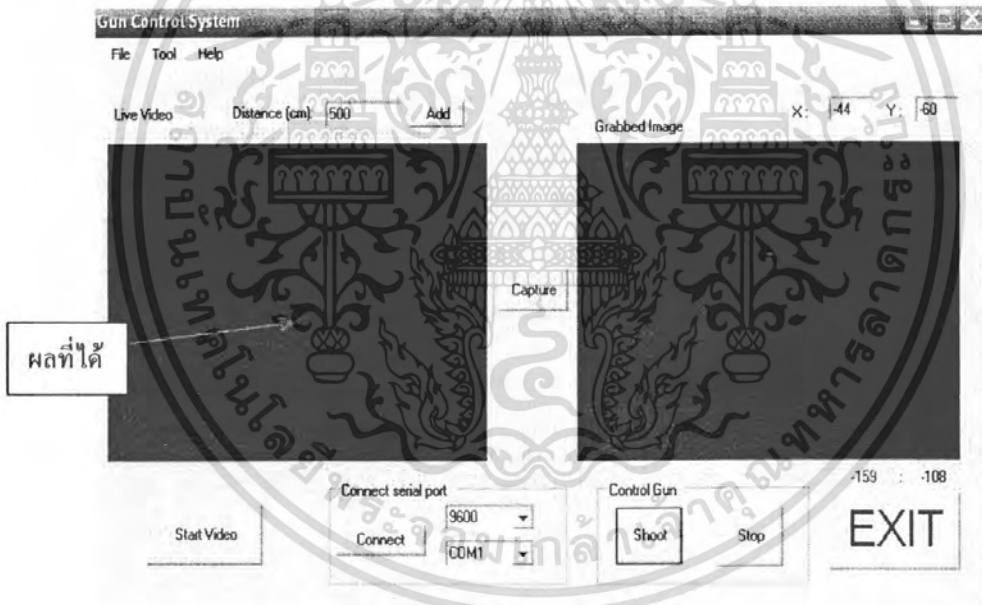
รูปที่ 4.3 ผลการยิงครั้งที่หนึ่ง

จากรูปในการยิงครั้งที่หนึ่งจะเห็นได้ว่าการคลิกที่ตำแหน่งควอดเร้นท์ (-X ,+Y) ซึ่งจุดสีแดงคือตำแหน่งเมาส์คลิกเพื่อจะทำการยิงจะอยู่ในบริเวณเป้าสีน้ำเงินที่ตำแหน่งพิกเซลX=-41,Y=22 ผลลัพธ์ที่ได้คือเลเซอร์สามารถที่จะยิงในตำแหน่งที่ถูกตั้งตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



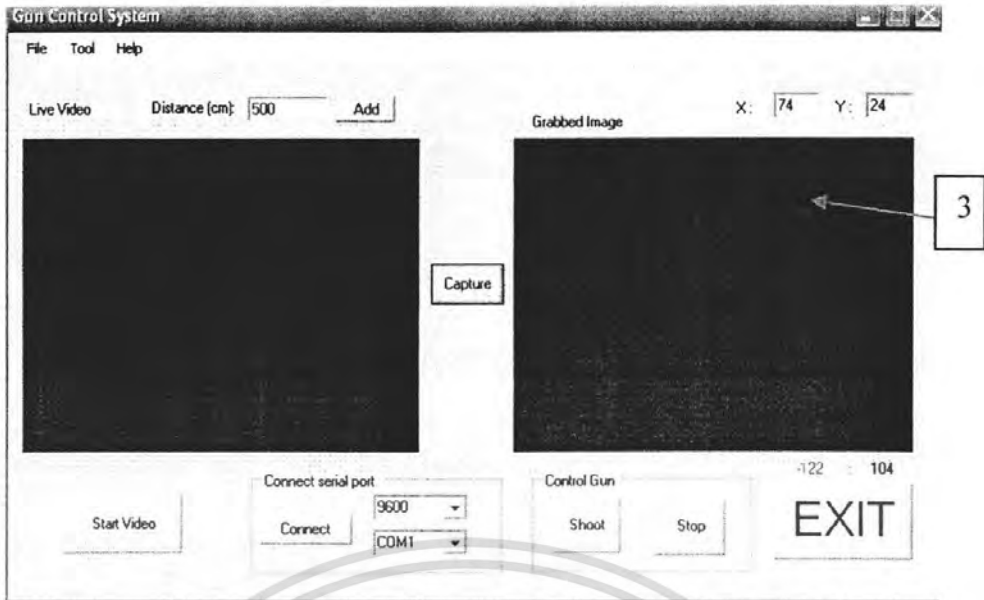
รูปที่ 4.4 การยิงครั้งที่สอง



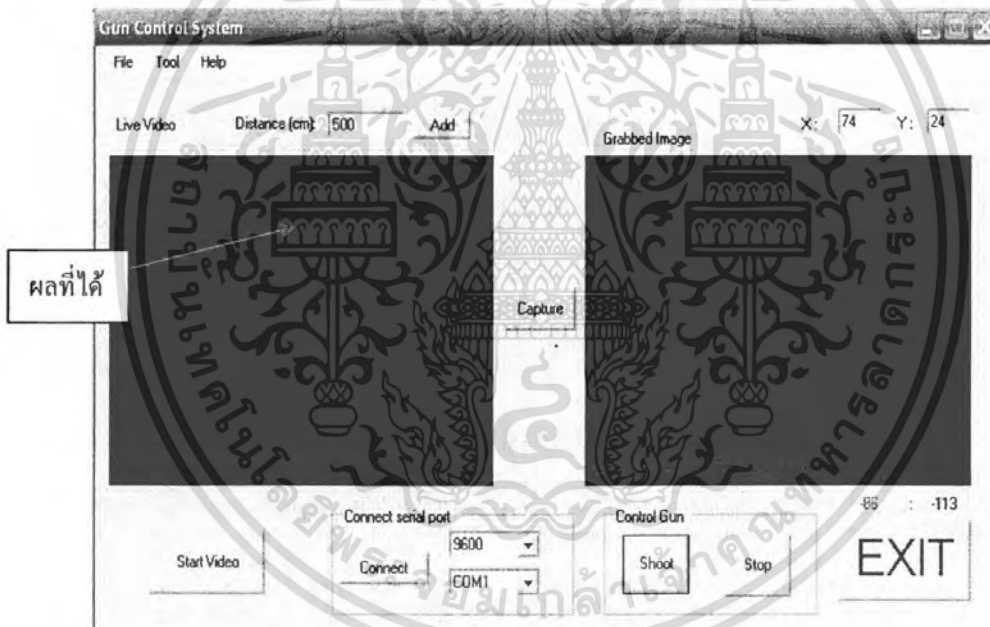
รูปที่ 4.5 ผล การยิงครั้งที่สอง

ในลูกที่สองเป็นการยิงจากจุดเริ่มซึ่งอยู่ในควอดเร้นท์(-X , -Y) ซึ่งตำแหน่งพิกเซลที่ทำการยิงคือ -X=44,-Y=60 ซึ่งตำแหน่งที่ทำการยิงก็ยังเป็นเป้าสีน้ำเงิน และผลลัพธ์ที่ได้จากการยิงถือว่ามีความใกล้เคียงเนื่องจากยังอยู่ในเป้าสีน้ำเงินไม่หลุดออกจากเป้า ค่าความผิดพลาดผิดพลาดในการยิงครั้งนี้คือ X=1 และ Y=5 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



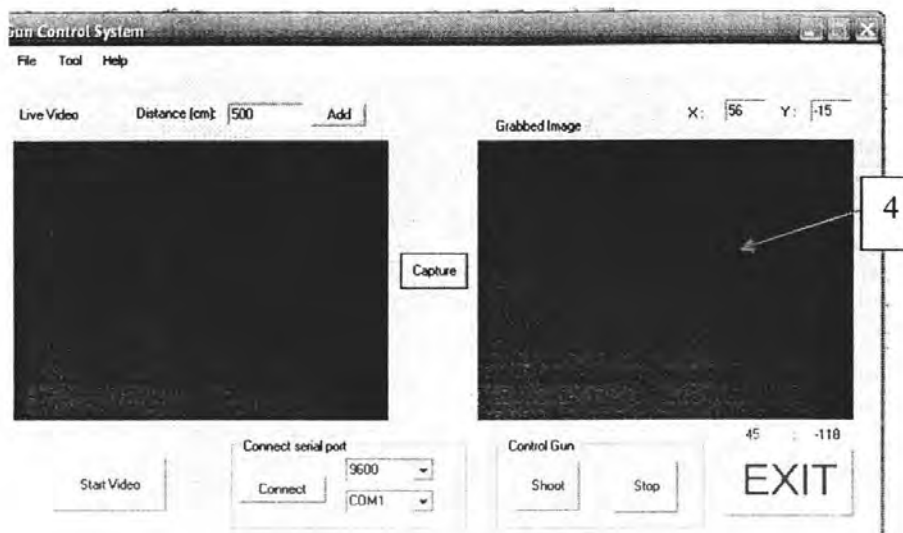
รูปที่ 4.6 การยิงครั้งที่สาม



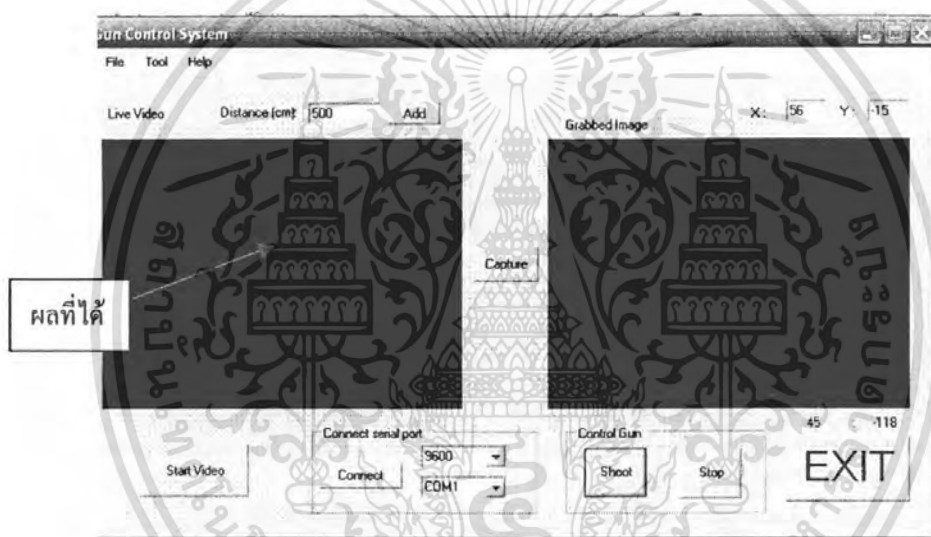
รูปที่ 4.7 ผลการยิงครั้งที่สาม

จากรูปจะเป็นการยิงในควอดเร้นท์(+X ,+Y) ซึ่งตำแหน่งพิกเซลที่ทำการยิงคือ X=74,Y=24 ซึ่งเป้าที่เรายิงก็เป้าสีน้ำเงินและจากผลการทดลองที่ได้คือ ผลการยิงถือว่ามีความถูกต้องแม่นยำตามตำแหน่งพิกเซลที่ทำการคลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



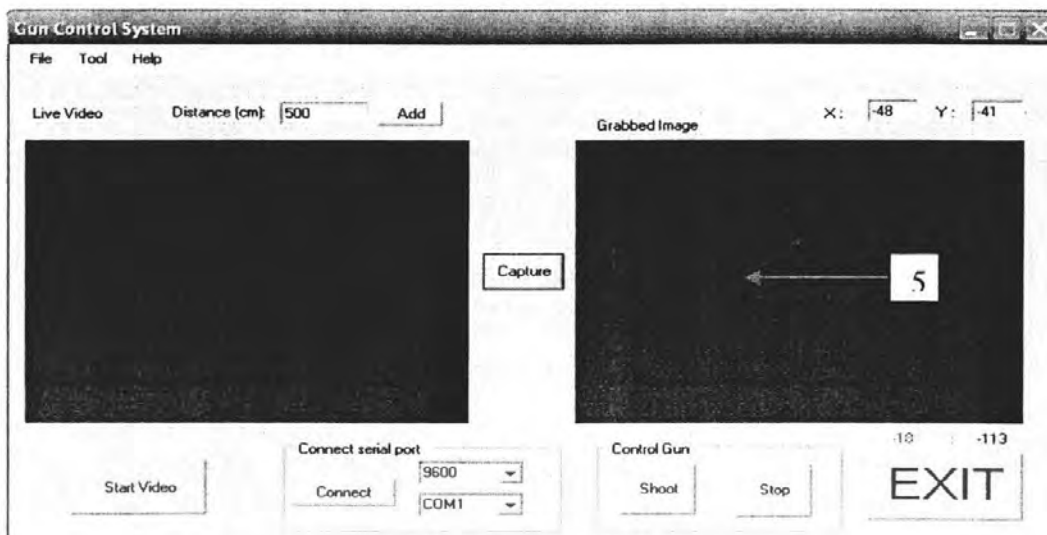
รูปที่ 4.8 การยิงครั้งที่สี่



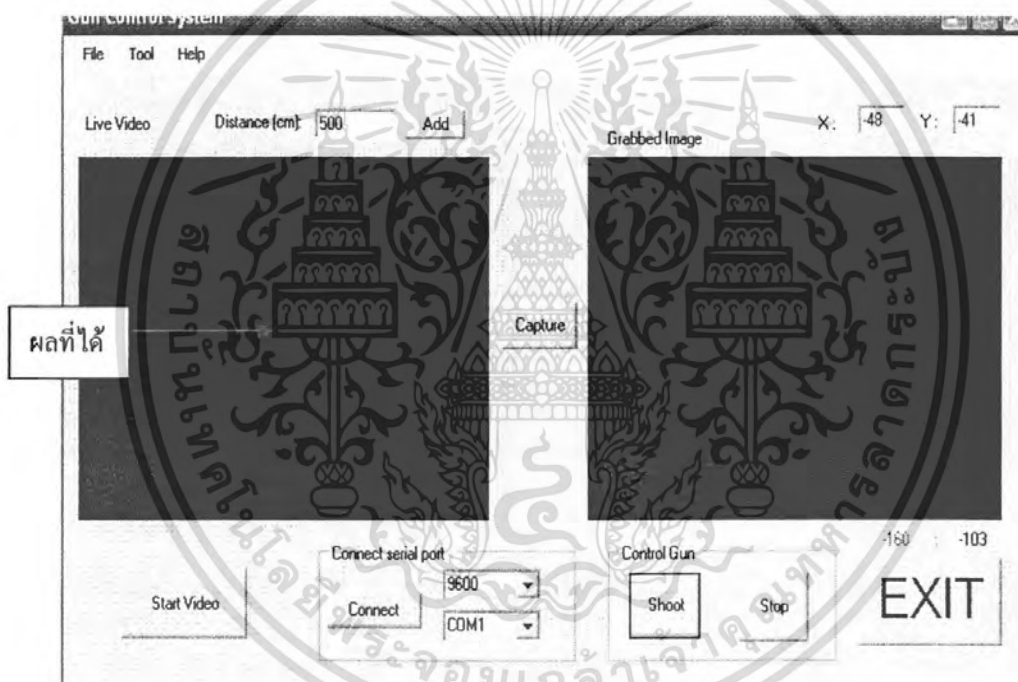
รูปที่ 4.9 ผลการยิงครั้งที่สี่

จากรูปจะเป็นการยิงในพิกัดเรขาคณิต(+X,+Y) และเป็นการยิงในลักษณะต่อเนื่องจากครั้งที่แล้วซึ่งตำแหน่งพิกเซลที่ทำการยิงคือ  $X=56, Y=15$  ซึ่งเป้าที่เรายิงก็เป้าสีน้ำเงินและจากผลการทดลองที่ได้คือ ผลการยิงถือว่ามีความใกล้เคียงเนื่องจากตำแหน่งเลเซอร์ที่ยิงไปยังถูกเป้าสีน้ำเงินอยู่ซึ่งค่าที่ผิดพลาดในการยิงครั้งนี้คือ  $X=3, Y=5$  พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



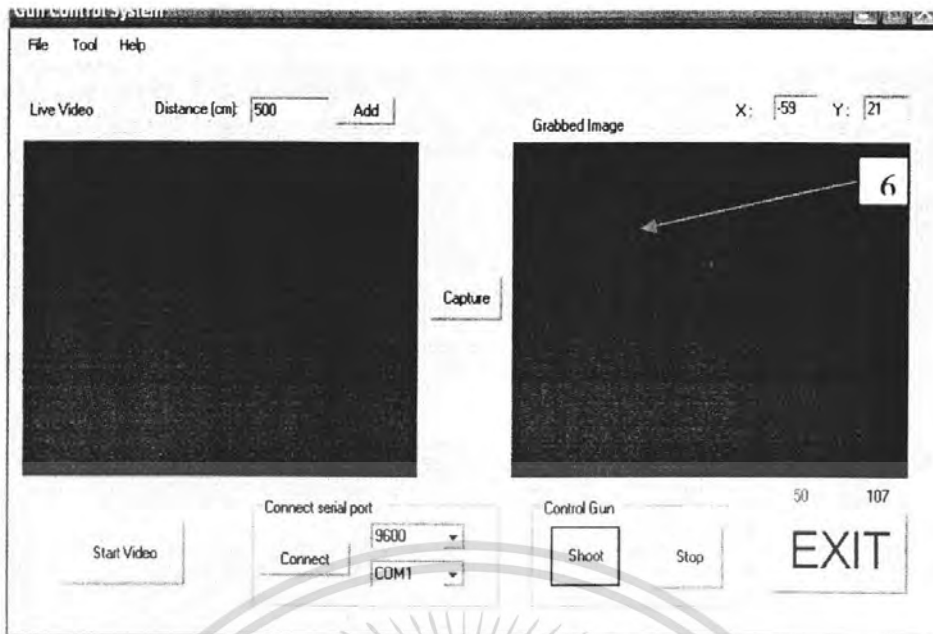
รูปที่ 4.10 การยิงครั้งที่ห้า



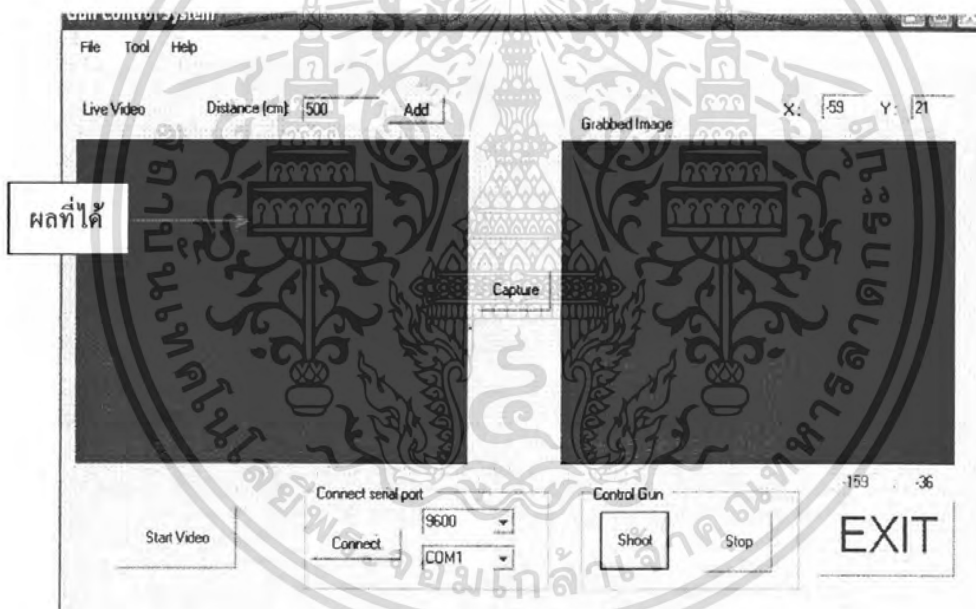
รูปที่ 4.11 ผลการยิงครั้งที่ห้า

จากรูปจะเป็นการยิงในคอร์ดเร้นท์(-X , -Y) และเป็นการยิงในลักษณะจากจุดเริ่มต้นซึ่งตำแหน่งพิกเซลที่ทำการยิงคือ X=-48,Y=-47 ซึ่งเป้าที่เรายิงก็เป้าสีน้ำเงินและจากผลการทดลองที่ได้คือ ผลการยิงถือว่ามีความแม่นยำถูกต้องตามที่ต้องการเนื่องจากตำแหน่งเลเซอร์ที่ยิงไปยังถูกเป้าสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



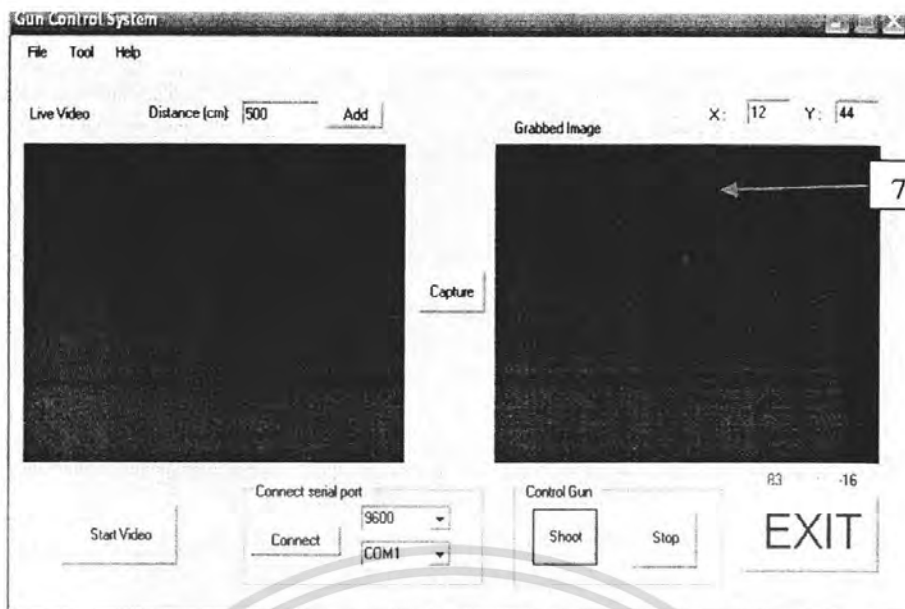
รูปที่ 4.12 การยิงครั้งที่หก



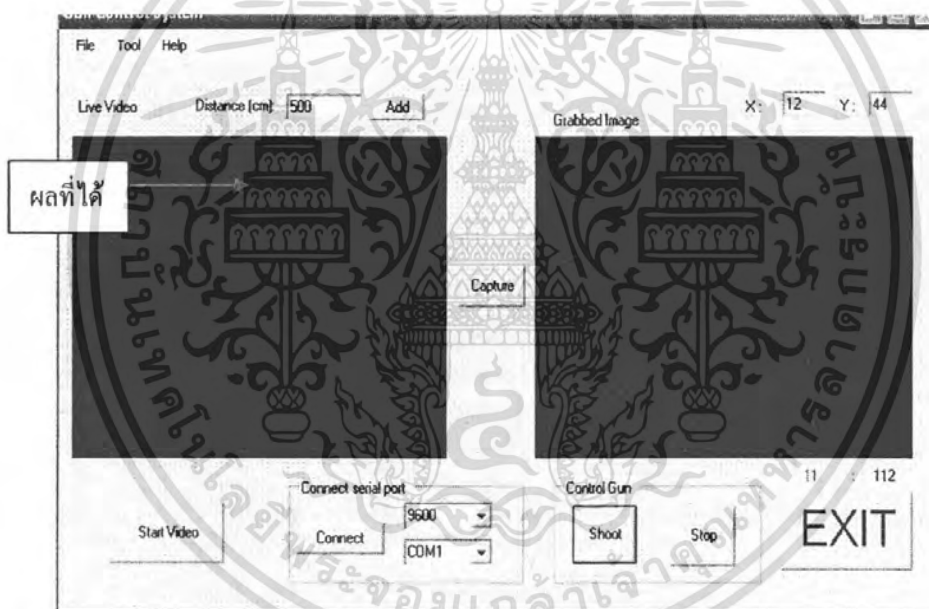
รูปที่ 4.13 ผลการยิงครั้งที่หก

จากรูปจะเป็นการยิงในควอดเร้นท์(-X ,+Y) และเป็นการยิงในลักษณะต่อเนื่องจากครั้งที่แล้วซึ่งตำแหน่งพิกเซลที่ทำการยิงคือ  $X=-53, Y=21$  ซึ่งเป้าที่เรายิงก็เป้าสีน้ำเงินและจากผลการทดลองที่ได้คือ ผลการยิงถือว่ามีความใกล้เคียงเนื่องจากตำแหน่งเลเซอร์ที่ยิงไปยังถูกเป้าสีน้ำเงินอยู่แต่มีลักษณะที่ต่ำลงมาเล็กน้อยทางแกน Y ซึ่งค่าผิดพลาดในการยิงครั้งนี้คือ  $Y = 2$  พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



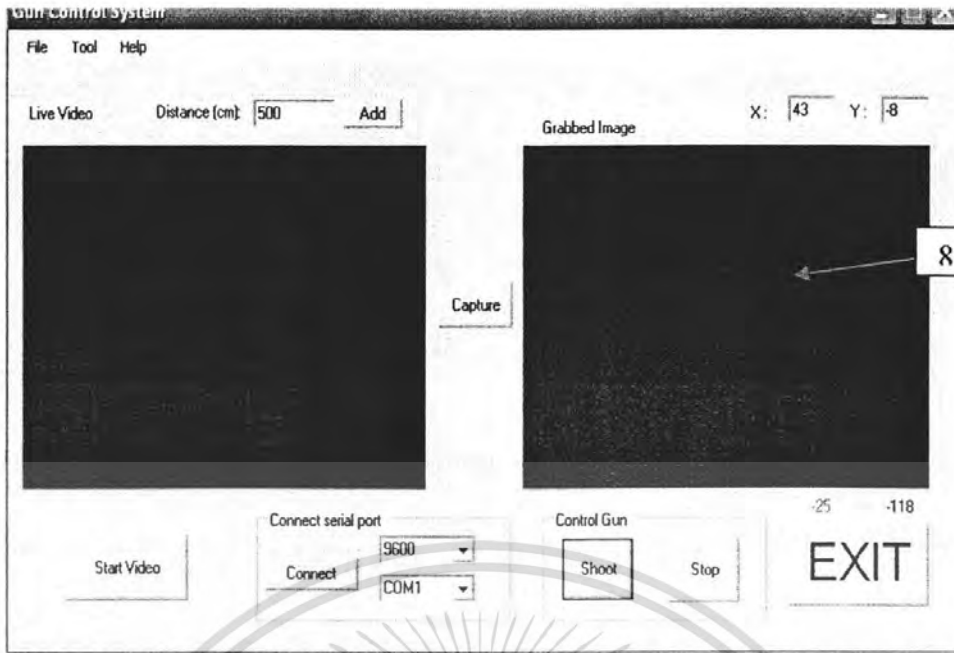
รูปที่ 4.14 การยิงครั้งที่เจ็ด



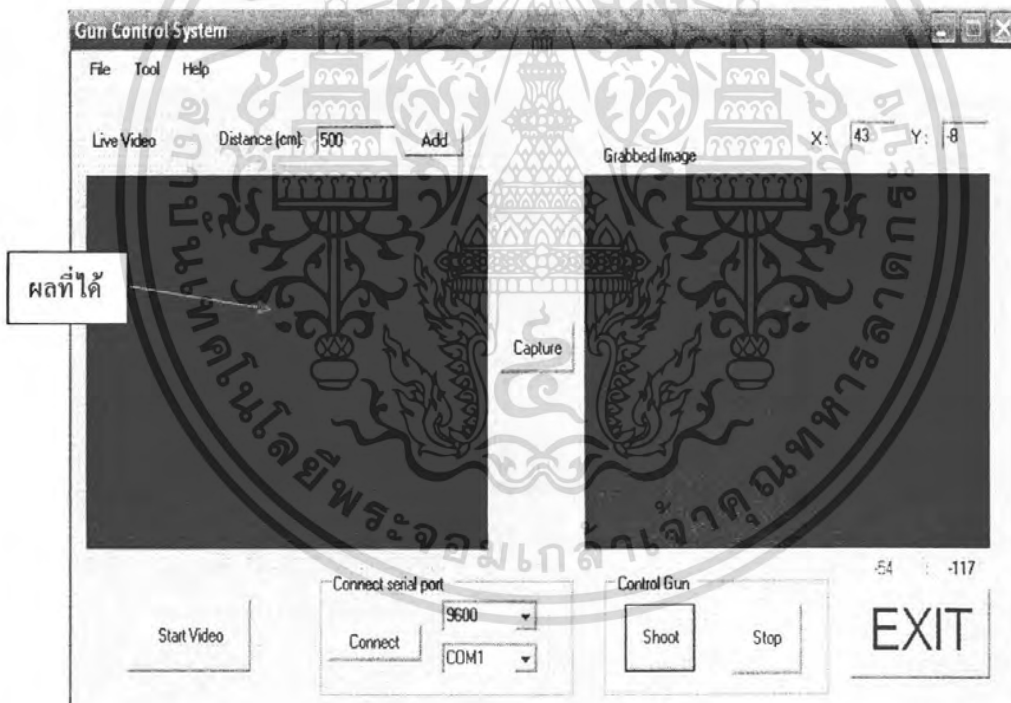
รูปที่ 4.15 ผลการยิงครั้งที่เจ็ด

จากรูปจะเป็นการยิงในควอดเร้นท์(+X ,+Y) และเป็นการยิงในลักษณะต่อเนื่องจากครั้งที่แล้วซึ่งตำแหน่งพิกเซลที่ทำการยิงคือ  $X=12, Y=44$  ซึ่งเป้าที่เรายิงก็เป้าสีน้ำเงินและจากผลการทดลองที่ได้คือ ผลการยิงถือว่ามีความใกล้เคียงเนื่องจากตำแหน่งเลเซอร์ที่ยิงไปยังถูกเป้าสีน้ำเงินอยู่แต่มีลักษณะที่เอียงไปทางแกน X เล็กน้อย ซึ่งค่าความผิดพลาดในการยิงครั้งนี้คือ  $X = 2$  พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



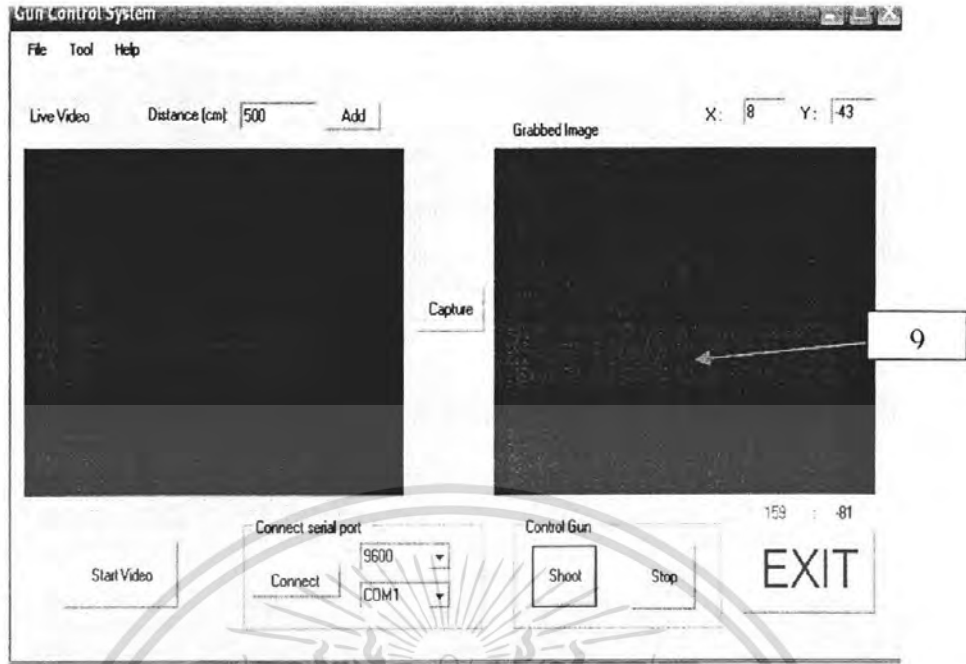
รูปที่ 1.16 การยิงครั้งที่แปด



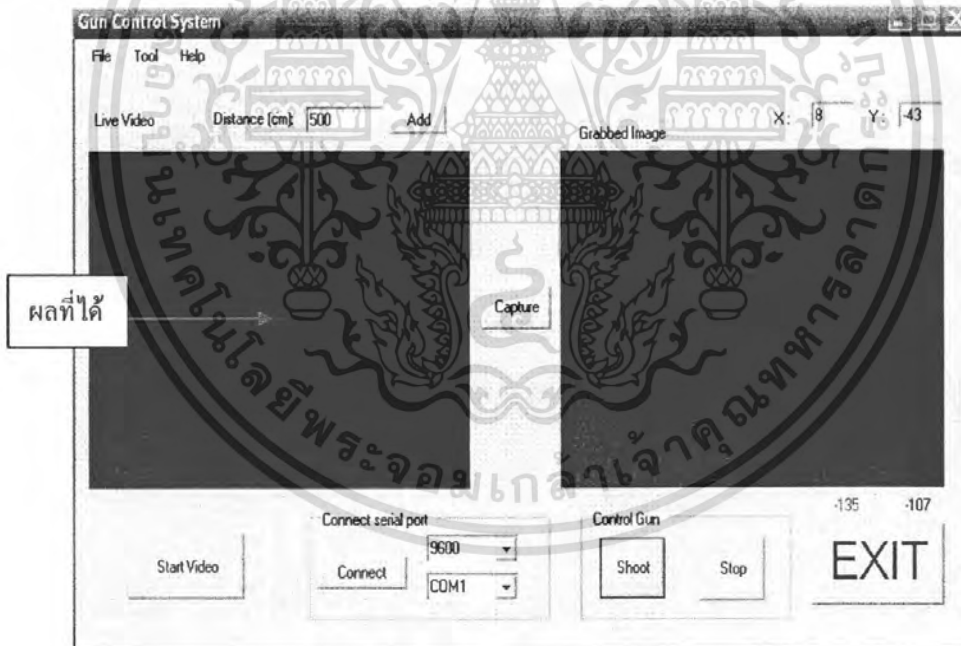
รูปที่ 4.17 ผลการยิงครั้งที่แปด

จากรูปจะเป็นการยิงในคอร์ดเร้นท์(+X ,+Y) และเป็นการยิงในลักษณะต่อเนื่องจากครั้งที่แล้วซึ่งตำแหน่งพิกเซลที่ทำการยิงคือ X=43,Y=8 ซึ่งเป้าที่เรายิงก็เป้าสีน้ำเงินและจากผลการทดลองที่ได้คือ ผลการยิงถือว่ามีความใกล้เคียงเนื่องจากตำแหน่งเลเซอร์ที่ยิงไปยังถูกเป้าสีน้ำเงินอยู่แต่มีลักษณะที่ต่ำลงมาจากแกน Y เล็กน้อย ซึ่งค่าความผิดพลาดในการยิงครั้งนี้คือ Y = 1 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



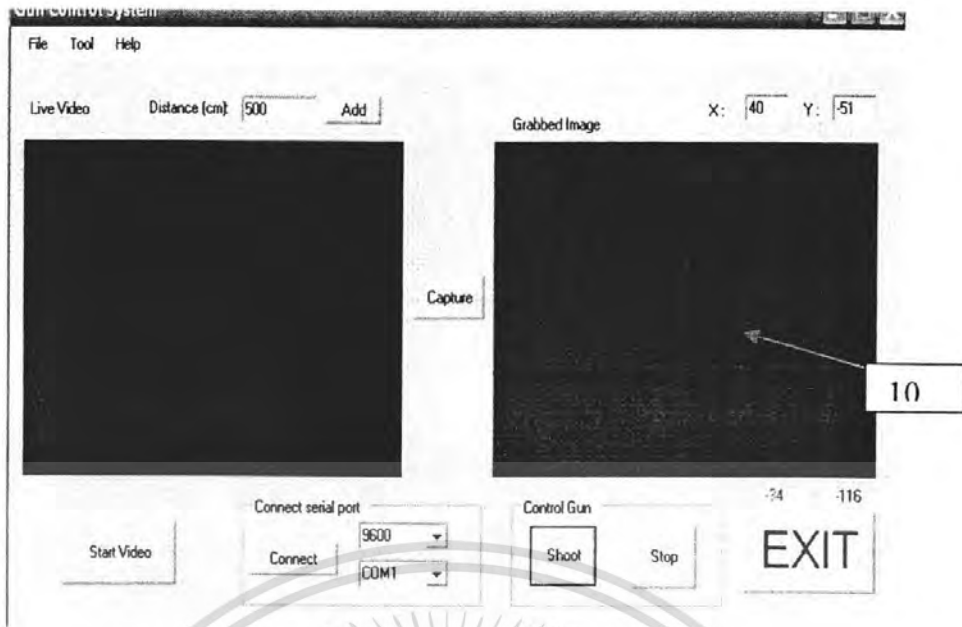
รูปที่ 4.20 การยิงครั้งที่เก้า



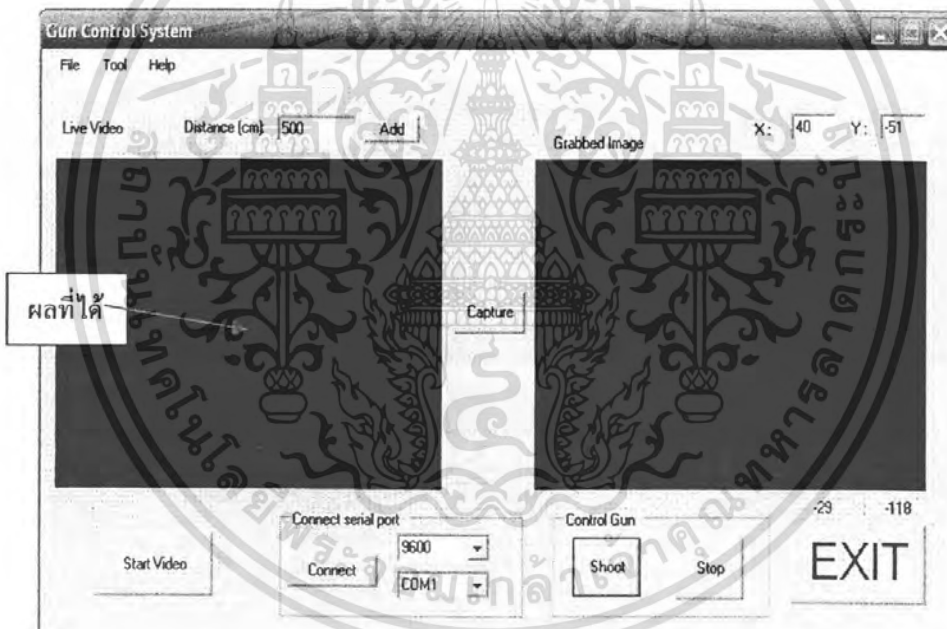
รูปที่ 4.21 ผลการยิงครั้งที่เก้า

จากรูปจะเป็นการยิงในคอร์ดเร้นท์ (+X , -Y) และเป็นการยิงในลักษณะต่อเนื่องจากครั้งที่แล้วซึ่งตำแหน่งพิกเซลที่ทำการยิงคือ  $X=8, Y=-43$  ซึ่งเป้าที่เรายิงก็เป้าสีน้ำเงินและจากผลการทดลองที่ได้คือ ผลการยิงถือว่ามีความใกล้เคียงเนื่องจากตำแหน่งเลเซอร์ที่ยิง ไปยังถูกเป้าสีน้ำเงินอยู่ แต่มีลักษณะที่สูงขึ้นไปทางแกน Y เล็กน้อย ซึ่งค่าความผิดพลาดในการยิงครั้งนี้คือ  $Y = 2$  พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 การยิงครั้งที่สิบ



รูปที่ 4.19 ผลการยิงครั้งที่สิบ

จากรูปจะเป็นการยิงในควอดรนต์ (+X, -Y) และเป็นการยิงในลักษณะที่มีการทำให้ปืนเลเซอร์กลับมาจุดเริ่มต้นก่อนแล้วจึงค่อยเริ่มยิงใหม่ซึ่งตำแหน่งพิกเซลที่ทำกรยิงคือ  $X=40, Y=-51$  ซึ่งเป้าที่เรายิงก็เป้าสีน้ำเงินและจากผลการทดลองที่ได้คือ ผลการยิงถือว่ามีความใกล้เคียงเนื่องจากตำแหน่งเลเซอร์ที่ยิงไปยังถูกเป้าสีน้ำเงินอยู่แต่มีลักษณะที่แกน Y สูงขึ้นไปเล็กน้อย ซึ่งค่าความผิดพลาดในการยิงครั้งนี้คือ  $Y = 3$  พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการทดลอง

จากการที่เราทำการทดสอบการยิงเป้าทั้งสี่ควอดเร้นท์แล้วผลลัพธ์ที่ได้คือ

ในควอดเร้นท์(+X,+Y)

ปืนสามารถที่จะยิงในตำแหน่งเดิมได้โดยที่ในการยิงทุกครั้งก็จะสามารถโดนในตำแหน่งเดิมทุกครั้ง

ในควอดเร้นท์(-X,+Y)

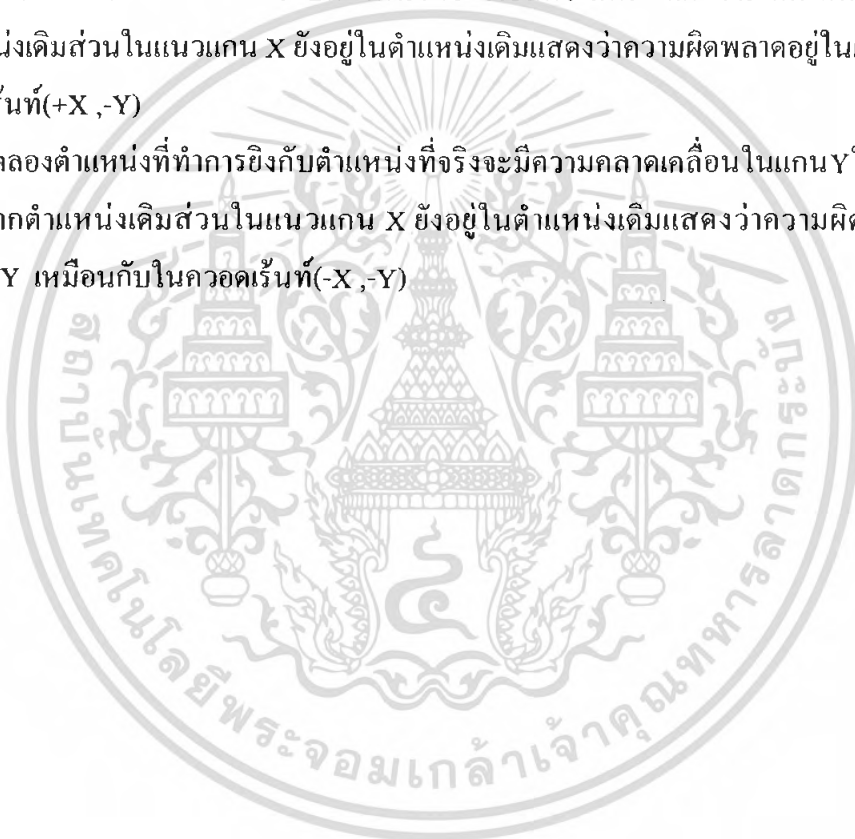
ปืนสามารถที่จะยิงในตำแหน่งเดิมได้โดยที่ในการยิงทุกครั้งก็จะสามารถโดนในตำแหน่งเดิมแต่ยังมีความผิดพลาดเป็นบางครั้งในกรณีที่ทำกรยิงจุดเดิมเป็นจำนวนมากๆ

ในควอดเร้นท์(-X,-Y)

จากการทดลองตำแหน่งที่ทำกรยิงกับตำแหน่งที่จริงจะมีความคลาดเคลื่อนในตำแหน่งที่ต่ำลงมา จากตำแหน่งเดิมส่วนในแนวแกน X ยังอยู่ในตำแหน่งเดิมแสดงว่าความผิดพลาดอยู่ในแนวแกน Y

ในควอดเร้นท์(+X,-Y)

จากการทดลองตำแหน่งที่ทำกรยิงกับตำแหน่งที่จริงจะมีความคลาดเคลื่อนในแกน Y ในตำแหน่งที่ต่ำลงมา จากตำแหน่งเดิมส่วนในแนวแกน X ยังอยู่ในตำแหน่งเดิมแสดงว่าความผิดพลาดอยู่ในแนวแกน Y เหมือนกับในควอดเร้นท์(-X,-Y)



ตารางที่ 4.1 ตารางค่าเฉลี่ยผลการทดลอง

ตารางผลการทดลอง							
พิกัดที่ยิง		ระยะที่คำนวณได้ (ซ.ม)		ระยะจริงที่วัดได้ (ซ.ม)		เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด เปอร์เซ็นต์	
คอร์ดเรนท(+X,+Y)							
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
65	66	29.2	29.7	30	31.5		
45	40	20.2	18	20.2	20.5	2.54	3.25
35	100	15.7	45	16.5	46.2		
คอร์ดเรนท(-X,+Y)							
-96	40	43.2	18	43.8	20.5		
-75	91	33.7	40.9	35	41.5	2.86	3.41
-55	46	24.7	20.7	26.5	22.3		
คอร์ดเรนท(-X,-Y)							
-49	-42	22.0	18.9	23.5	20.3		
-88	-21	39.6	9.4	41	10	3.48	3.93
-68	-89	30.6	40.0	31.5	42.5		
คอร์ดเรนท(+X,-Y)							
70	-27	31.5	12.1	32.2	14.8		
27	-62	12.1	27.9	14	29.3	3.25	4.75
98	-88	44.1	39.6	46.6	41.5		
ค่าเฉลี่ย						3.03	3.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# บทวิจารณ์และสรุป

### 5.1 วิจารณ์สิ่งที่ได้จากโครงการ

สิ่งที่ได้จากโครงการนี้ทำให้เราทราบว่า ในการทำงานเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ นั้นหรือระบบการทำงานที่ใช้ในโครงการ การวิเคราะห์และออกแบบเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก เนื่องจากถ้าออกแบบ โครงสร้างของงาน ไม่ดีก็จะมีผลต่อทางด้านการจัดทำโปรแกรมควบคุมให้เกิดความผิดพลาดได้ การทำโครงการเกี่ยวกับทางด้านฮาร์ดแวร์ต้องใช้ความละเอียดรอบคอบและประสบการณ์อย่างมากในการทำงานเพื่อที่จะลดปัญหาในการผิดพลาดได้ และจากสิ่งที่ได้จากโครงการทำให้ได้รับความรู้ความเข้าใจการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงการ และยังได้รับความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ สามารถที่จะเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานอุปกรณ์ได้ โครงการนี้เป็นโครงการที่เกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิให้มีการยิงที่แม่นยำ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ คือ กล้องเว็บแคม 1 ตัว สเต็ปปีงมอเตอร์ บอร์ดสเต็ปปีงมอเตอร์ 5 เฟส เฟือง ซึ่งอุปกรณ์บางตัวค่อนข้างที่จะแพงและจำเป็นที่จะต้องใช้กับโครงการเพื่อให้เกิดความผิดพลาดต่อโครงการน้อยที่สุด เพราะโครงการนี้ต้องการความแม่นยำในการยิง ยกตัวอย่างเช่น บอร์ดสเต็ปปีงมอเตอร์ 5 เฟส ที่นำมาใช้เนื่องจากเพื่อป้องกันเรื่องแรงดันไฟฟ้าให้มีความราบเรียบไม่มี noise มารบกวน แม้ว่ามีราคาสูงแต่จำเป็นต้องใช้เพื่อลดปัญหาในการยิงให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด

### 5.2 สรุปผลการทดลอง

การนำทฤษฎีพื้นฐานทางด้านตรีโกณมิติ และการขนาดของภาพนั้นสามารถนำมาปรับประยุกต์ใช้งาน ได้ผลจริงตามที่ต้องการ แต่จะทำให้เกิดการผิดพลาดจากผลการทดลองขึ้นบ้างเล็กน้อย เนื่องจากจากคำนวณทางคณิตศาสตร์จะมีเรื่องเกี่ยวกับตัวเลขทางด้านเลขทศนิยมมาเกี่ยวข้อง เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นจะมีค่าความผิดพลาดของตัวเลขสะสมขึ้นไปเรื่อยๆจึงทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นในการทดลองได้ ซึ่งจากการทดลองในแต่ละครั้งจะเห็นได้ว่าการยิงในครั้งแรกจะมีความแม่นยำที่สุดเมื่อเทียบกับการยิงในครั้งต่อไป และตัวเลขระยะทางรวมทั้งการวางอุปกรณ์ของกล้องกับปืนก็มีผลทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ ถ้าระยะที่เราวัดมานั้นมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้นการนำทฤษฎีพื้นฐานทางด้านตรีโกณมิติและตัวเลขการคำนวณต่างมาใช้ในโครงการนี้จะต้องมีความแน่นอนและถูกต้องมากที่สุดเพื่อที่จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มานั้นเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์ก็มีผลต่อการควบคุมชิ้นงาน การที่เราจะสามารถควบคุมระบบให้สามารถทำงานตามต้องการของเราได้นั้น เราจะต้องใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุดหรืออาจจะไม่ผิดพลาดเลยแต่ยังความผิดพลาดน้อยเท่าไรอุปกรณ์จะมีราคาสูงตามไปด้วย จึงทำให้มีการลงทุนสูง ถ้าอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบควบคุมเกิดการผิดพลาดก็จะทำให้ผลการทดลองผิดพลาดเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ในการสร้างโครงงานนั้นจึงต้องมีการออกแบบและวางแผนโครงสร้างที่จะทำให้ดีเพื่อที่จะไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดที่หลัง

ปัญหาและอุปสรรคในที่พบในโครงงาน

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานบางชนิดนั้นมีราคาสูง
2. วัสดุที่ใช้ในโครงงานนั้นมีความคลาดเคลื่อนจึงทำให้ผลการทดลองเกิดความผิดพลาด
3. ระยะทางของเป้าหมายกับระยะตั้งเครื่องยิงเป้าต้องมีความแน่นอนสูง เพราะ โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาเมื่ออัตราการคำนวณที่คงที่
4. ภาพที่ถ่ายได้จากกล้องต้องมีระยะที่ตรงกับภาพจริงมากที่สุดจึงจะได้ผลที่ใกล้เคียงที่สุด
4. ภาพที่ได้จากกล้องยังมีความคมชัดที่ยังไม่เพียงพอ จึงทำให้เห็นความแตกต่างในการยิงกับภาพจริงมีความแตกต่างมากน้อยเพียงใด

แนวทางแก้ไข

1. จะต้องมีการสร้างฐานที่มั่นคงและตายตัวเพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อน
2. ใช้กล้องที่มีลักษณะมุมได้และมีความคมชัดของภาพสูง
3. ระยะห่างจากปืนและกล้องต้องมีระยะที่ใกล้กันมากที่สุดผลที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

แนวทางการพัฒนาต่อ

1. พัฒนาให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น
2. พัฒนาชิ้นงานให้มีความคงทนและสวยงามมากขึ้น
3. พัฒนาให้สามารถใช้งานในรูปแบบอื่นๆ ได้โดยเพิ่มฟังก์ชันในการทำงานอื่นๆ เข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

กฤษฎดา วุฒิเฉลิมศักดิ์ และธิดินทร์ ชาลีสมบัติ. 2548. ระบบติดตามวัตถุในภาพ.

วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิต  
วิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นท.ไพศาล โมลีสกุลมงคล. 2550. คอมพิวเตอร์กราฟฟิกส์ใช้OpenGL. กรุงเทพฯ: หจก.ไทยเจริญ  
การพิมพ์

ยุทธนา ลีลาศวัฒนากุล. 2545. คู่มือการเขียนโปรแกรม Visual C# .NET ฉบับวินโดว์ฟอร์ม.

กรุงเทพฯ: หจก พิมพ์ ดวงกมลสมัย

วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. 2521. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์  
MCS-51 ฉบับ AT89C5x/AT89Sxxxx. กรุงเทพฯ : บริษัท อินโรเวตีฟเอ็ก เพอร์เมนต์  
จำกัด.

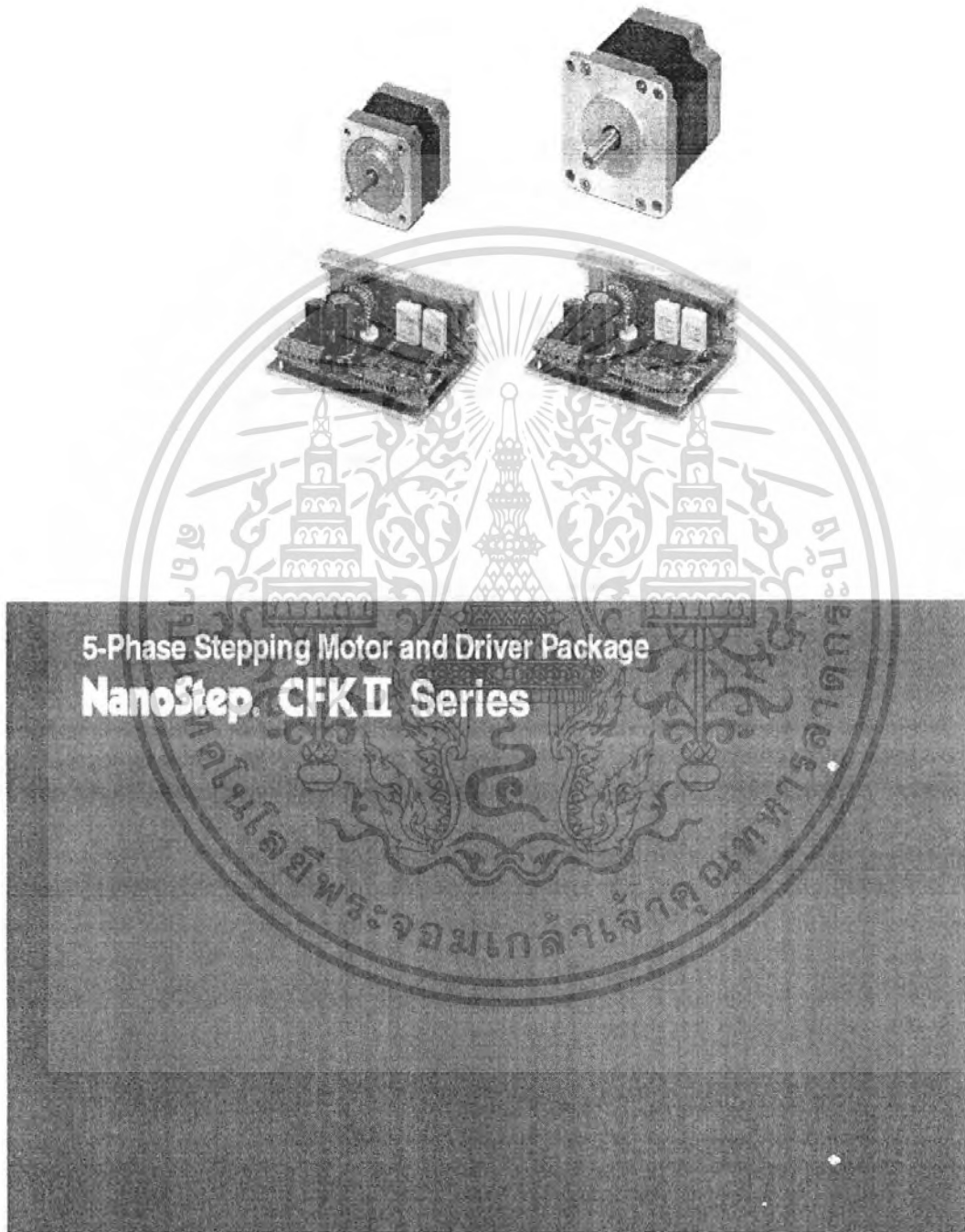
สัจจะ จรัสรุ่งรวีร. 2550. คู่มือ Visual 2005 C# ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ: Infopress Developer  
Book

Micro Research Technology. 2007. MCS-51. [Online].

Available : <http://www.micro-research.co.th/MCS-51-2.htm>.

## ภาคผนวก

### Datasheet Board Drive Stepping Motor 5 Phase



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5-Phase Stepping Motor and Driver Package

### NanoStep, CFK II Series

Offering high performance and simple operation in a compact size, the 5-phase **CFK II** Series microstepping driver and motor package is available in both standard and high speed versions. The **CFK II** Series provides unparalleled resolution and low vibration in an open loop system, as well as high torque in the high speed range.



#### ■ Features

##### ● Extensive Motor Selection

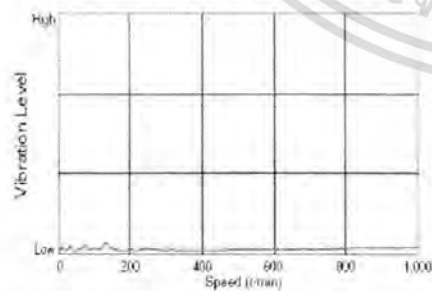
Oriental Motor has expanded the selection of its motors, which are now available in five frame sizes from □0.79 in. (20 mm) to □3.35 in. (85 mm) with torque ranging from 3.2 oz-in (0.0231 N-m) to 890 oz-in (6.3 N-m). The high-torque P-type, 0.79 in. (20 mm) square frame motor features our latest advances in technology providing high torque in a miniature motor, allowing for quick, easy connection.

##### ● Compact, Highly Functional Board-Level Driver

The microstepping driver electronically divides the basic step angle of the motor by up to 250 (0.00288°) without the use of a reduction mechanism or other mechanical element. A total of 16 different step angles can easily be selected with a digital switch on the driver. The 24 VDC input driver has an automatic current cutback function and is capable of switching between two different step angles using a signal input. The excitation-timing signal output is convenient for detecting the mechanical home position. The size of this compact yet highly functional driver is 2.78 in. (70 mm) [W] × 3.94 in. (100 mm) [D] × 1.42 in. (36 mm) [H].

##### ● Enables Low-Vibration Operation in the Low-Speed Range

A typical 2-phase motor vibrates so much at 400 r/min, that it will start to lose synchronization (misstep). However, a typical 5-phase motor can go up to 1000 r/min without any significant increase in vibration.

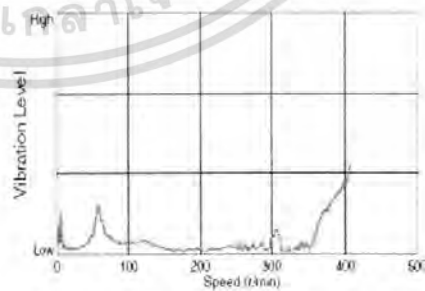
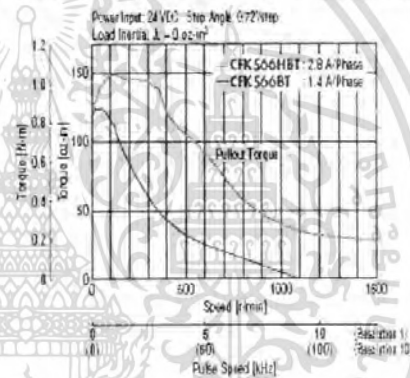


CFK II Series 5-Phase Microstepping Driver and Motor

##### ● High-Speed Versions Available

The high-speed versions provide more accurate positioning in the high-speed range, thereby reducing acceleration time.

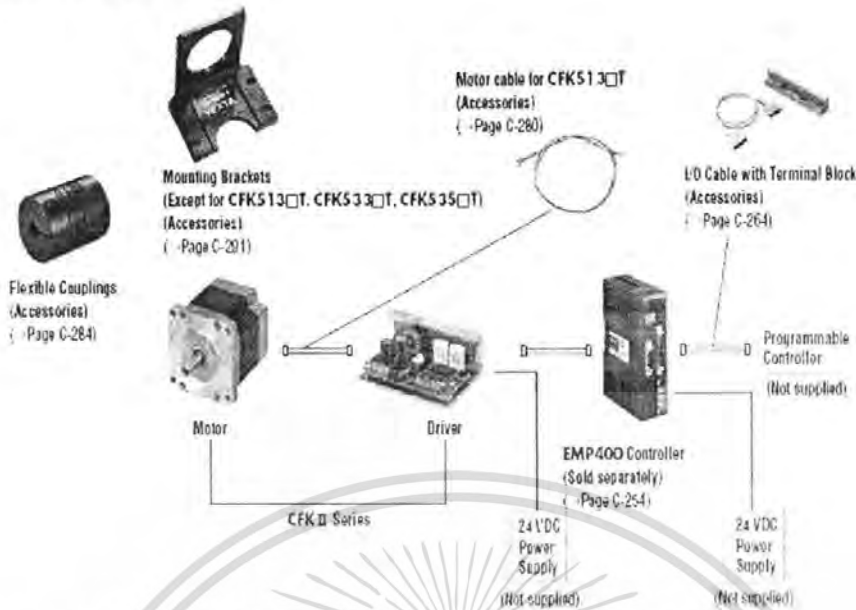
##### ◆ Comparisons of Speed-Torque Characteristics



Comparable 2-Phase Microstepping Driver and Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## System Configuration



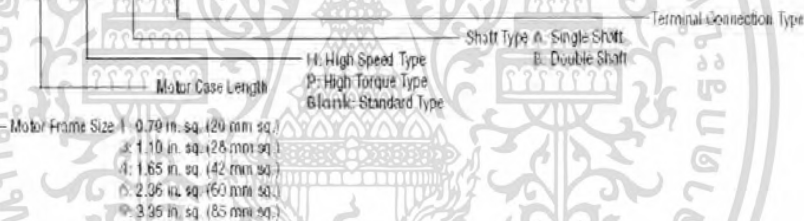
An example of a single-axis system configuration with the EMP400 Series controller.

## Product Number Code

**CFK 5 6 6 H A T**

NanoStep  
CFK II Series

5-Phase



## Product Line

Type	Power Supply Voltage	Maximum Holding Torque				
		□0.79 in. (□20 mm)	□1.10 in. (□28 mm)	□1.65 in. (□42 mm)	□2.36 in. (□60 mm)	□3.35 in. (□85 mm)
High Torque Type	24 VDC	3.2 oz-in (0.0231 N·m)	—	—	—	—
Standard Type		—	4.6~2.5 oz-in (0.033~0.06 N·m)	18.4~24 oz-in (0.13~0.24 N·m)	59~230 oz-in (0.42~1.66 N·m)	—
High-Speed Type		—	—	—	117~230 oz-in (0.83~1.66 N·m)	290~600 oz-in (2.1~6.3 N·m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# High Torque Type Standard Type

Motor Frame Size:  0.79 in. ( 20 mm)

Motor Frame Size:  1.10 in. ( 28 mm)

## Specifications

Model	Single Shaft	CFK513PAT <sup>1)</sup>	CFK533AT	CFK535AT
	Double Shaft	CFK513PBT <sup>1)</sup>	CFK533BT	CFK535BT
Maximum Holding Torque	oz-in (N·m)	32 (0.0231)	4.6 (0.033)	8.5 (0.06)
Rotor Inertia J	oz-in <sup>2</sup> (kg·m <sup>2</sup> )	0.0142 (2.6×10 <sup>-3</sup> )	0.049 (9×10 <sup>-3</sup> )	0.008 (18×10 <sup>-3</sup> )
Rated Current	A/phase	0.35		0.75
Basic Step Angle			0.72°	
Power Source Input		24 VDC ± 10% 0.6 A		24 VDC ± 10% 1 A
Excitation Mode			Microstep: Basic Step Angle/n <sup>2</sup> (step)	
Weight	Motor lb. (kg)	0.11 (0.05)	0.22 (0.1)	0.37 (0.17)
	Driver lb. (kg)		0.44 (0.2)	
Dimension No.	Motor	(1)		(2)
	Driver		(8)	

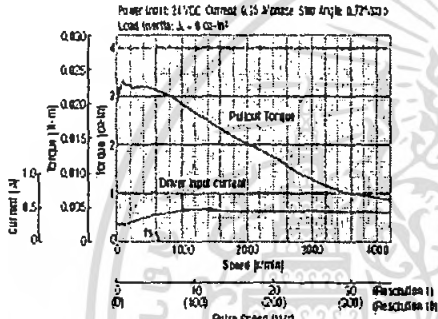
How to Read Specifications Table → Page C-9

\* 1 A motor cable with a connector of 2 ft. (0.6 m) is included with the motor and driver unit of connector type.

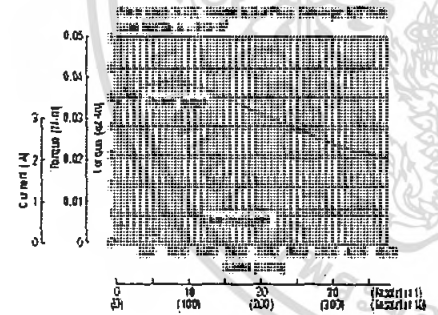
\*\* 2 Sixteen resolutions are available, where n = 1, 2, 2.5, 4, 5, 8, 10, 20, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 200 and 250.

## Speed — Torque Characteristics How to Read Speed-Torque Characteristics → Page C-10

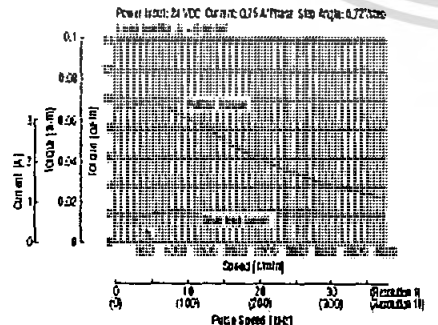
CFK513P□T



CFK533□T



CFK535□T



Note:  
The pulse input circuit responds up to approximately 500 kHz with a pulse duty of 50 %.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Standard Type Motor Frame Size: □ 1.65 in. (□ 42 mm), □ 2.36 in. (□ 60 mm)

## Specifications

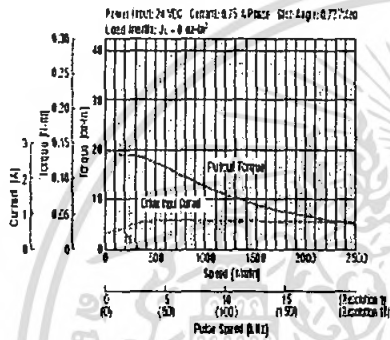
Model	Single Shaft	CFK543AT	CFK544AT	CFK545AT	CFK564AT	CFK566AT	CFK569AT
	Double Shaft	CFK543BT	CFK544BT	CFK545BT	CFK564BT	CFK566BT	CFK569BT
Maximum Holding Torque	oz-in (N-m)	18.4 (0.13)	25 (0.18)	34 (0.24)	59 (0.42)	117 (0.85)	230 (1.66)
Rotor Inertia J	oz-in <sup>2</sup> (kg-m <sup>2</sup> )	0.191 (35×10 <sup>-7</sup> )	0.3 (54×10 <sup>-7</sup> )	0.37 (68×10 <sup>-7</sup> )	0.96 (175×10 <sup>-7</sup> )	1.53 (280×10 <sup>-7</sup> )	3.1 (560×10 <sup>-7</sup> )
Rated Current	Amperes	0.75			1.4		
Basic Step Angle					0.72°		
Power Source Input		24 VDC ± 10% 1 A			24 VDC ± 10% 2 A		
Excitation Mode		Microstep: Basic Step Angle/n (1/step)					
Weight	Motor	lb. (kg)	0.46 (0.21)	0.59 (0.27)	0.77 (0.35)	1.3 (0.6)	2.0 (1.3)
	Driver	lb. (kg)	0.44 (0.2)				
Dimension No.	Motor	[1]			[4]		
	Driver				[6]		

How to Read Specifications Table -- Page C-0

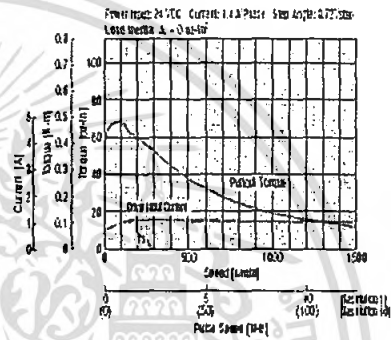
\* Sixteen resolutions are available, where n = 1, 2, 2.5, 4, 5, 8, 10, 20, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 200 and 250.

## Speed - Torque Characteristics How to Read Speed-Torque Characteristics -- Page C-10

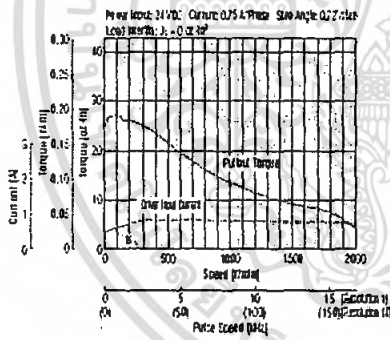
CFK543□T



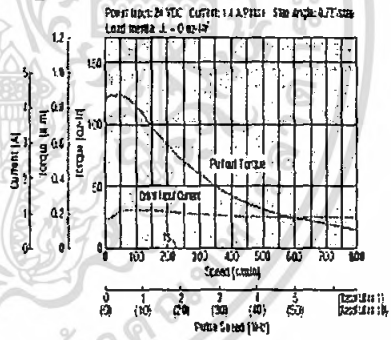
CFK564□T



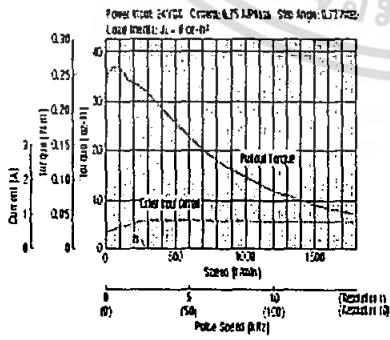
CFK544□T



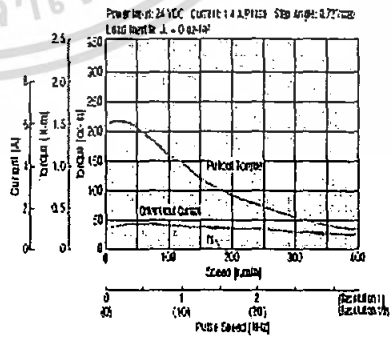
CFK566□T



CFK545□T



CFK569□T



Note:  
The pulse input circuit responds up to approximately 500 kHz with a pulse duty of 50 %.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# High-Speed Type Motor Frame Size: □ 2.36 in. (□ 60 mm), □ 3.35 in. (□ 85 mm)

## Specifications

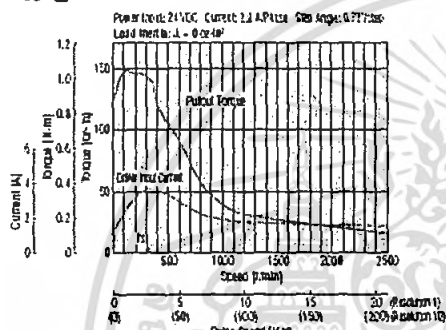
Model	Single Shaft	CFK566HAT	CFK569HAT	CFK596HAT	CFK599HAT	CFK5913HAT
	Double Shaft	CFK566HBT	CFK569HBT	CFK596HBT	CFK599HBT	CFK5913HBT
Maximum Holding Torque	oz-in (N-m)	117 (0.83)	230 (1.66)	290 (2.1)	530 (4.1)	500 (3.6)
Rotor Inertia J	oz-in <sup>2</sup> (kg-m <sup>2</sup> )	1.53 (280×10 <sup>-7</sup> )	3.1 (560×10 <sup>-7</sup> )	7.7 (1400×10 <sup>-7</sup> )	14.8 (2700×10 <sup>-7</sup> )	22 (4000×10 <sup>-7</sup> )
Rated Current	A/phase	2.8				
Basic Step Angle		0.72°				
Power Source Input		24VDC ± 10% 4A				
Excitation Mode		1/6 Microstep: Basic Step Angle/n° (step)				
Weight	Motor lb. (kg)	1.8 (0.8)	2.9 (1.3)	3.7 (1.7)	6.2 (2.8)	8.4 (3.8)
	Driver lb. (kg)	0.48 (0.22)				
Dimension No.	Motor	[4]			[5]	
	Driver	[6]				

How to Read Specifications Table--Page C-0

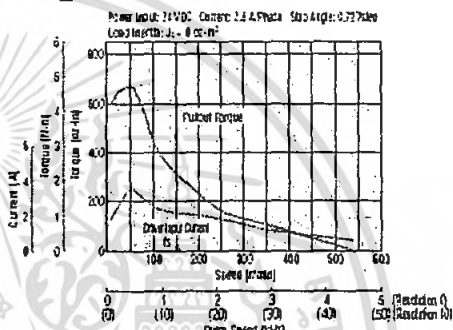
\* Sixteen resolutions are available, where n = 1, 2, 2.5, 4, 5, 8, 10, 20, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 200 and 250.

## Speed — Torque Characteristics How to Read Speed-Torque Characteristics--Page C-10

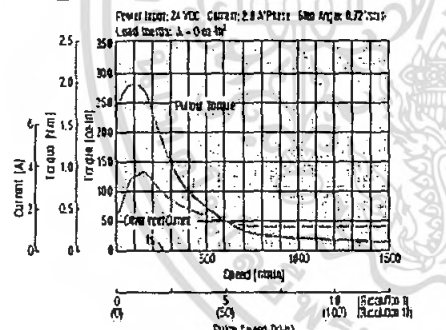
CFK566H□□



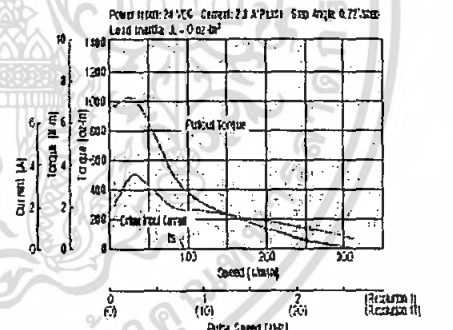
CFK599H□□



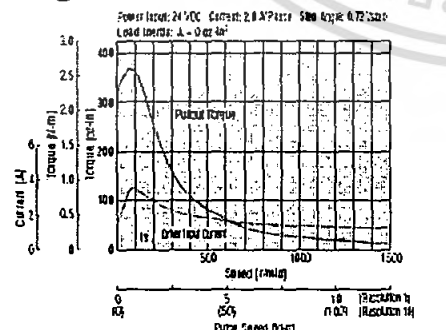
CFK569H□□



CFK5913H□□



CFK596H□□



Note: The pulse input circuit responds up to approximately 500 kHz with a pulse duty of 50 %.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Common Specifications

Input Signal	Input Mode	Photocoupler input Signal Voltage Photocoupler "ON": +4.5~+5V Photocoupler "OFF": 0~+1 V (Voltage between terminals) Pulse, Direction Rotation Input: 20 mA maximum, input resistance 220 Ω All Windings Off, Step Angle Select Input: 15 mA maximum, input resistance 470Ω
	Pulse Signal	Step command pulse signal (CW direction operation command signal is 2-pulse input mode) Pulse width: 1 μs minimum, pulse rise/fall: 2 μs maximum, Pulse duty : Max. 50 % The motor moves one step when the pulse input is switched from photocoupler On to Off. Maximum Input Pulse Frequency 500 kHz (When the pulse duty is 50 %) Negative logic pulse input.
	Rotation Direction Signal	Rotation direction command signal, Photocoupler "ON": CW; Photocoupler "OFF": CCW CCW direction Rotation operation command signal in 2-pulse input mode Pulse width: 1 μs minimum, pulse rise/fall: 2 μs maximum, Pulse duty : Max. 50 % The motor moves one step when the pulse input is switched from photocoupler On to Off. Maximum Input Pulse Frequency 500 kHz (When the pulse duty is 50 %) Negative logic pulse input.
	Step Angle Select Signal	Step angle specified by DATA1 when photocoupler is OFF. Step angle specified by DATA2 when photocoupler is ON.
Output Signal	All Windings Off Signal	When in the "photocoupler Off" state, the output current to the motor is cut off and the motor's shaft can be rotated manually. When in the "photocoupler Off" state, the operating current is supplied to the motor.
	Output Mode	Photocoupler, Open collector output, External usage conditions: 24 VDC maximum, 10 mA maximum.
	Excitation Timing Signal	The signal is output each time the excitation sequence returns to the initial stage '0'. (Photocoupler: Off) e.g. 0.72°/step (resolution 1): Signal output every 10 pulses; or 0.072°/step (resolution 10): Signal output every 100 pulses
	Functions	Step angle switch, Pulse input mode switch, Current check switch, Automatic current cutback
Cooling Method		Natural ventilation

• The input power current supplied to the driver represents the maximum input value (which varies with pulse speed).

## General Specifications

		Motor	Driver
Insulation Resistance		100 MΩ minimum under normal temperature and humidity, when measured by a 500VDC megger between the windings and case.	—
Dielectric Strength		Sufficient to withstand 1.5 kV (CFKS1□□□□: 0.5 kV, CFKS3□□□□: 1.0 kV), 50 Hz power applied between the windings and casing for one minute under normal temperature and humidity.	—
Insulation Class		Class B [266°F (130°C)] Recognized as Class A [221°F (105°C)] by UL and CSA standards.	—
Operating Environment	Ambient Temperature	14°F~122°F (-10°C~+50°C) (nonfreezing)	32°F~104°F (0°C~+40°C) (nonfreezing)
	Ambient Humidity	85% or less (noncondensing)	
	Atmosphere	No corrosive gases, dust, water or oil.	
Temperature Rise		Temperature rise of the coil measured by the Change Resistance Method is 1.44°F (80°C) or less. (at standstill, five phases energized)	—
Static Angle Error*1		±3 arc minutes (±0.05°) [CFKS 1.3: ±10 arc minutes (±0.17°), CFKS 5.3□□: ±5 arc minutes (±0.084°)]	—
Shaft Runout		0.002 inch (0.05 mm) T.I.R.*4	—
Radial Play*2		0.001 inch (0.025 mm) max. (Load torque: 1.12 lb. (5 N))	—
Axial Play*3		0.003 inch (0.075 mm) max. (Load torque: 2.2 lb. (10 N))	—
Concentricity		0.003 inch (0.075 mm) T.I.R.*4	—
Perpendicularity		0.003 inch (0.075 mm) T.I.R.*4	—

\*1 This value is for full step with no load (value changes with size of load).

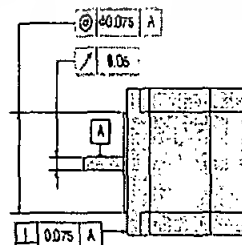
\*2 Radial Play: Displacement in shaft position in the radial direction, when a 1.12 lb. (5 N) load is applied in the vertical direction to the tip of the motor's shaft.

\*3 Axial Play: Displacement in shaft position in the axial direction, when a 2.2 lb. (10 N) load is applied to the motor's shaft in the axial direction.

\*4 T.I.R. (Total Indicator Reading): Total dial gauge reading when the measured section is rotated one revolution centered on a reference axis.

Note:

• Do not measure insulation resistance or perform the dielectric strength test while the motor and driver are connected.

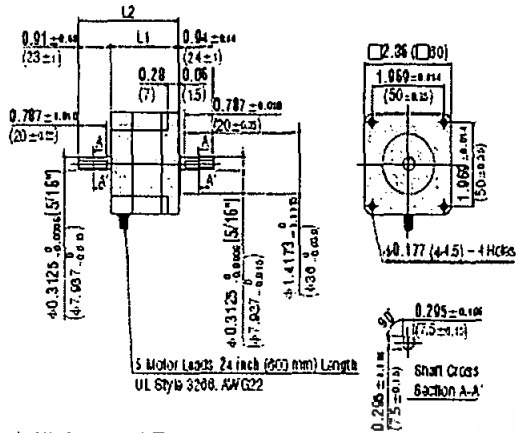


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



◆ Standard Type, High-Speed Type

4 Motor Frame Size: □ 2.36 in. (□ 60 mm)

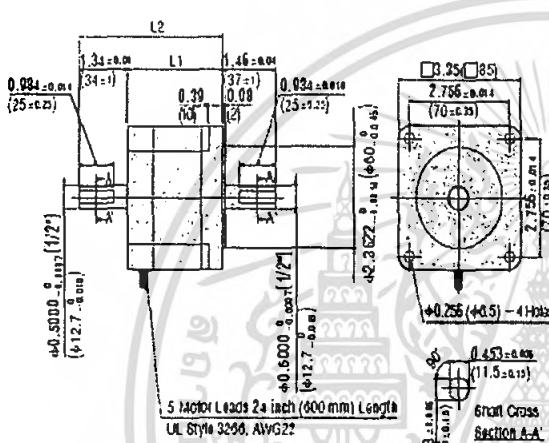


Model	Motor Model	L1 inch (mm)	L2 inch (mm)	Weight lb. (kg)	DXF
CFK564□T	PK564N□WA	1.83 (46.5)	2.74 (69.5)	1.3 (0.6)	B071U
CFK566□T	PK566N□WA	2.26 (57.5)	3.17 (80.5)	1.6 (0.8)	B072U
CFK569□T	PK569N□WA	3.43 (87)	4.23 (107)	2.0 (1.3)	B073U

• Enter the shaft type A or B in the box (□) within the model number.

◆ High-Speed Type

5 Motor Frame Size: □ 3.35 in. (□ 85 mm)



Model	Motor Model	L1 inch (mm)	L2 inch (mm)	Weight lb. (kg)	DXF
CFK596H□T	PK596-N□A	2.6 (66)	3.94 (100)	3.7 (1.7)	B155U
CFK599H□T	PK599-N□A	3.78 (96)	5.12 (130)	6.2 (2.8)	B156U
CFK5913H□T	PK5913-N□A	4.96 (126)	6.3 (160)	8.4 (3.8)	B157U

• Enter the shaft type A or B in the box (□) within the model number.

• These dimensions are for double shaft models.  
 For single shaft models, ignore the shaded areas.

◆ Driver

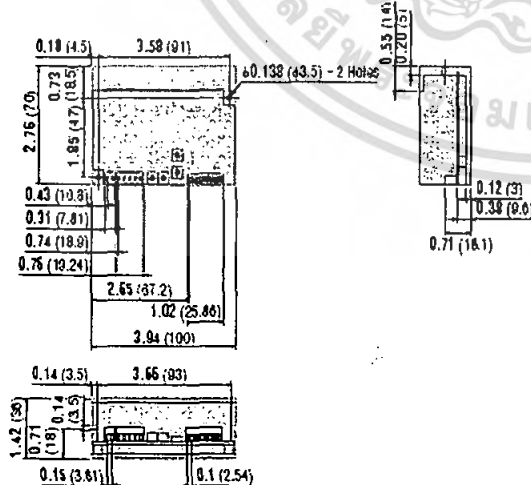
6 Model: DFC5103T, DFC5107T, DFC5114T

Weight: 0.44 lb. (0.2 kg)

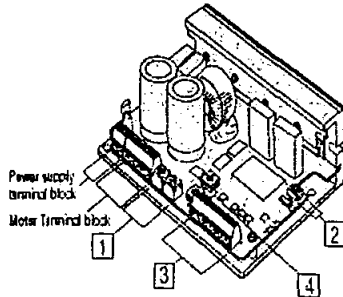
Model: DFC5128T

Weight: 0.49 lb. (0.22 kg)

DXF B285U



## 3 Connection and Operation



### 1 Current Adjustment Potentiometer

Indicator	Potentiometer Name	Function
RUN	Motor run current potentiometer	For adjusting the motor running current
STOP	Motor stop current potentiometer	For adjusting the current at the motor standstill

### 2 Function Select Switches

Indicator	Switch Name	Function
2P/1P	Pulse input mode switch	Switch between 1-pulse input mode and 2-pulse input mode.
C.C./OFF	DC check switch	Adjusts the motor's running current. When running current the motor, always have this switch set to OFF. The factory setting is OFF.

### 3 Input/Output Signal

Indicator	Input/Output	Terminal No.	Signal Name
TB3	Input signal	1	Pulse Signal (CW Pulse Signal)
		2	Pulse Signal (CW Pulse Signal)
		3	Rotation Direction Signal (CCW Pulse Signal)
		4	Rotation Direction Signal (CCW Pulse Signal)
	Output signal	5	All Windings Off Signal
		6	All Windings Off Signal
	Output signal	7	Excitation Timing Signal
		8	Excitation Timing Signal
	Input signal	9	Step Angle Select Signal
		10	Step Angle Select Signal

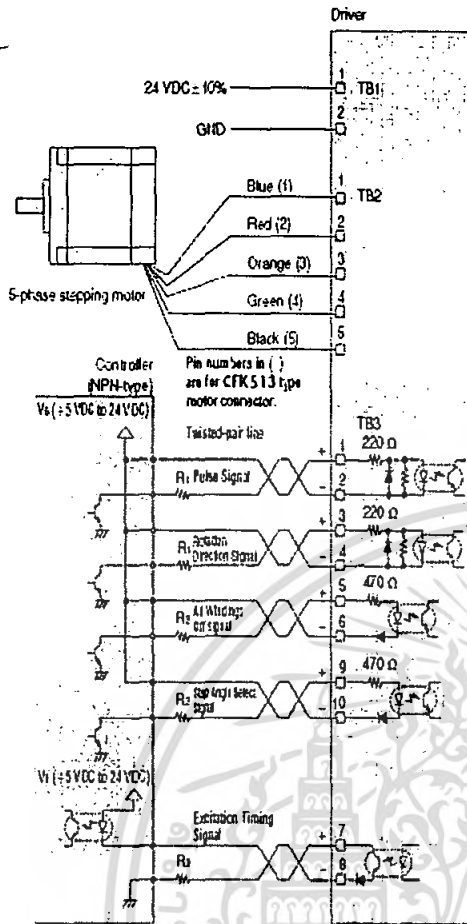
### 4 Resolution Select Switches

Indicator	Switch Name	Function
DATA1	Step Angle Select Switch	Each switch can be set to the desired resolution from the 16 resolution levels.
DATA2		

Step Angle	Resolution	Step Angle Select Switch (Common to DATA 1 and DATA 2)
0.72°	1	0
0.36°	2	1
0.288°	2.5	2
0.18°	4	3
0.144°	6	4
0.09°	8	5
0.072°	10	6
0.036°	20	7
0.0288°	25	8
0.018°	40	9
0.0144°	50	A
0.009°	80	B
0.0072°	100	C
0.0036°	125	D
0.00288°	200	E
0.00144°	250	F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Connection Diagrams



### Notes:

- Keep the input single voltage  $V_o$  between 5 VDC and 24 VDC. When  $V_o$  is equal to 5 VDC, the external resistances  $R_1$  and  $R_2$  are not necessary. When  $V_o$  is above 5 VDC, connect  $R_1$  and  $R_2$  to keep the current as follows:  
Pulse, Rotation Direction: 10 mA to 20 mA max.  
All Windings Off, Step Angle Select: 10 mA to 15 mA max.
- Keep the output signal voltage  $V_o$  between 5 VDC and 24 VDC. When  $V_o$  is equal to 5 VDC, the external resistance  $R_3$  is not necessary. When it is above 5 VDC, connect  $R_3$  to keep the current below 10 mA max.
- Use twisted-pair wire of AWG 24 to AWG 22 and 6.6 feet (2 m) or less in length for the signal line.
- Note that as the length of the pulse signal line increases, the maximum transmission frequency decreases. (→ Technical Reference Page F-35)
- Suitable wire size for the TB1, TB2 and TB3 terminal block is between AWG20 and AWG26. Use AWG 22 to AWG 20 for standard type (DFC5103T, DFC5107T, DFC5114T) and AWG 20 to AWG 18 for high-speed type (DFC5128T) for power supply lines.
- Use spot grounding to ground the driver and external controller.
- Signal lines should be kept at least 3.9 inches (10 cm) away from power lines (power supply lines and motor lines). Do not bind the signal line and power line together.
- If noise generated by the motor lead wire causes a problem, try shielding the motor lead wires with conductive tape or wire mesh.
- Incorrect connection of DC power input will lead to driver damage. Make sure that the polarity is correct before turning the power on.

## Description of Input/Output Signals

### Pulse Input and Rotation Direction Input

#### 1-Pulse Input Mode

##### Pulse Signal

"Pulse" signal is input to the Pulse – terminal. When the photocoupler state changes from "ON" to "OFF", the motor rotates one step. The direction of rotation is determined by the rotation direction signal.

##### Rotation Direction Input

The "Rotation Direction" signal is input to D./CCW – terminal. A "photocoupler ON" signal input commands a clockwise direction rotation. A "photocoupler OFF" signal input commands a counter-clockwise direction rotation.

#### 2-Pulse Input Mode

##### CW Pulse Signal

"Pulse" signal is input to the P/CW – terminal. When the photocoupler state changes from "ON" to "OFF", the motor rotates one step in the clockwise direction.

##### CCW Pulse Signal

"Pulse" signal is input to the D./CCW – terminal. When the photocoupler state changes from "ON" to "OFF", the motor rotates one step in the counterclockwise direction.

#### All Windings Off (A.W. OFF) Input

When the "All Windings Off" (A.W. OFF) signal is in the "photocoupler ON" state, the current to the motor is cut off and motor torque is reduced to zero. The motor output shaft can then be rotated freely by hand. This signal is used when moving the motor by external force or the manual home position.

#### Step Angle Select (C/S) Input

When the "Step Angle Select" signal is in the "photocoupler OFF" state, the step angle set by step resolution select switch DATA1 is selected, and when the "Step Angle Select" signal is in the "photocoupler ON" state, the step angle set by step resolution select switch DATA2 is selected. This signal can be used to change the motor speed or amount of rotation without altering the input pulses.

#### Excitation Timing (TIMING) Output

The Excitation Timing signal is output once each time the excitation sequence returns to step '0' in synchronization with input pulse. The excitation sequence is designed to complete one cycle as the motor shaft rotates 7.2°.

0.72°/step (resolution 1): Signal is output once every 10 pulses.

0.072°/step (resolution 10): Signal is output once every 100 pulses.

## Step Angle Selection

With the CFK II Series, the motor speed and step distance can be changed without changing the input pulse frequency by switching the step angle switch. The step angle is set with step angle setting switches DATA1 and DATA2. DATA1 and DATA2 each have 16 settings from which one step angle each can be selected. The step angles that can be set are shown in the table below.

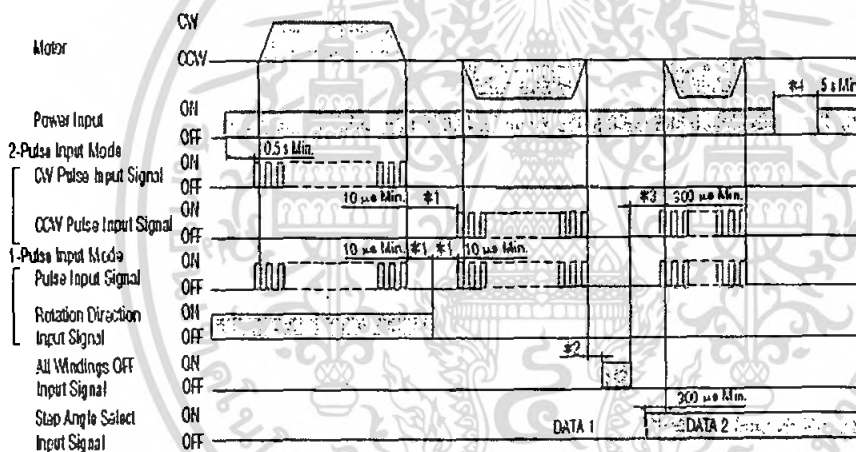
DATA1 and DATA2 are set to the scale corresponding to the step angle selected for each. The step angle is changed with the step angle select signals.

Photocoupler 'OFF': The step angle set with DATA1 is selected.

Photocoupler 'ON': The step angle set with DATA2 is selected.

Step Angle	Resolution	Step Angle Select Switch (Common to DATA 1 and DATA 2)
0.72°	1	0
0.36°	2	1
0.288°	2.5	2
0.18°	4	3
0.144°	5	4
0.09°	8	5
0.072°	10	6
0.036°	20	7
0.0288°	25	8
0.018°	40	9
0.0144°	50	A
0.009°	80	B
0.0072°	100	C
0.00576°	125	D
0.0036°	200	E
0.00288°	250	F

## Timing Chart



The shaded section indicates that the photocoupler is on.

#1 Switching time to change CW, CCW pulse (2-pulse input mode), and switching time to change direction (1-pulse input mode) 10 μ sec is shown as a response time of circuit. The motor may need more time.

#2 Depends on load inertia, load torque, and starting frequency.

#3 Never input a step pulse signal immediately after switching the "All Winding Off" signal to the photocoupler off state. The motor may not start.

#4 Wait at least 5 seconds before turning on the power.

## Adjusting the Current

### Adjusting the Motor Current

Use the "RUN" potentiometer to decrease the current and suppress the temperature rise in the motor/driver, or when there is sufficient motor torque and you want to suppress vibration by lowering the current.

Use the "STOP" potentiometer to readjust the current at motor standstill in relation to the holding-brake force of the motor.

#### Factory settings

Running current:                      Rated current

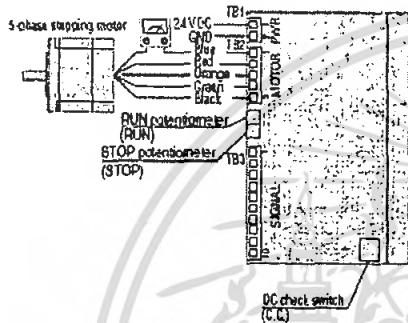
Current at motor standstill: Approx. 50% of rated current

Follow the procedure below to adjust the motor current.

### Connecting an Ammeter

Connect a DC ammeter as illustrated below.

Connect an ammeter between pin ① of TB2 connector and the motor. Set all driver input signals to the 'photocoupler OFF' state.



#### Note:

- Do not input pulse signals.

### Adjusting the Motor Running Current

To adjust the motor running current, follow the procedure below:

- Set the current-checking switch to the "photocoupler ON" state. Keep other signals in the "photocoupler OFF" state.
- Turn on the power to the driver.
- Use the "RUN" potentiometer to adjust the motor's running current.
- When the power is turned on, the value measured by the ammeter represents the total current in two phases through the blue motor lead wire. The current for one phase is equivalent to one-half the ammeter value. (Example: To set the current to 1.0 A/phase, adjust the current level until the ammeter reads 2.0 A.)
- When the running current has been adjusted, set the current-checking switch back to the "photocoupler OFF" state.

#### Notes:

- Be sure to use the motor at the rated current or below.
- Adjusting the running current will also change the current at standstill.

### Adjusting the Current at Motor Standstill

To adjust the current at motor standstill, follow the procedure below:

- Set the current-checking switch to the "photocoupler OFF" state. Keep other signals in the "photocoupler OFF" state.
- Turn on the power to the driver.
- Use the "STOP" potentiometer to adjust the motor's running current.
- When the power is turned on, the value measured by the ammeter represents the total current in two phases through the blue motor lead wire. The current for one phase is equivalent to one-half the ammeter value. (Example: To set the current to 1.0 A/phase, adjust the current level until the ammeter reads 2.0 A.)

$$\text{Holding Torque [oz-in (N-m)]} = \frac{\text{Maximum Holding Torque} \times \text{Current at Standstill [A]}}{\text{Motor rated current [A]}}$$

#### Notes:

- Always set the running current first, turn off the driver power and turn it back on, and then set the current at standstill. Setting the running current after current at standstill may change the current setting at standstill.
- Setting the current at motor standstill too low may affect the starting of the motor or the position-holding action.

## List of Motor and Driver Combinations

Type	Model	Motor Model	Driver Model
High Torque	CFK513P□T	PK513P□	DFC5103T
Standard	CFK533□T	PMM33□H2	DFC5107T
	CFK535□T	PMM35□H2	
	CFK543□T	PK543N□WA	
	CFK544□T	PK544N□WA	
	CFK545□T	PK545N□WA	DFC5114T
	CFK564□T	PK564N□WA	
	CFK566□T	PK566N□WA	
High Speed	CFK569□T	PK569N□WA	DFC5128T
	CFK566H□T	PK566H-N□A	
	CFK569H□T	PK569H-N□A	
	CFK596H□T	PK596-N□A	
	CFK599H□T	PK599-N□A	
	CFK5913H□T	PK5913-N□A	

- Enter the shaft type **A** or **B** in the box (□) within the model number.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้