

ระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่
MOVING-OBJECT TRACKING SYSTEM



โดย
นายชนพล กุลนันทนนท์
นายวัชชัย มีมงคลเกียรติ
นายปกรณ์ สິงห์เรือง

ปี พ.ศ.
๒๕๖๕
๑๖๓๓

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46273
วัน, เดือน, ปี 21 ส.ค. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคำนำไปใช้

ระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่
MOVING-OBJECT TRACKING SYSTEM



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่ (MOVING-OBJECT TRACKING SYSTEM)

ผู้จัดทำ

1. นายชนพล กุลนันทนนท์ 41014168
2. นายรัชชัย มีมงคลเกียรติ 41014180
3. นายปกรณ์ สิงห์เรือง 41014238



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการเรื่อง (ภาษาไทย) ระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่
(ภาษาอังกฤษ) MOVING-OBJECT TRACKING SYSTEM
จัดทำโดย

1. นายธนพล กุลนันทนนท์ 41014168
2. นายรัชชัย มีมงคลเกียรติ 41014180
3. นายปกรณ์ สິงห์เรือง 41014238

รายงานฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่

นายชนพล กุณันทนนท์

นายรัชชัย มีมงคลเกียรติ

นายปรกรณ์ สิงห์เรือง

อาจารย์พลศาสตร์ เกษประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้แสดงการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ติดตามวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องบันทึกภาพระบบดิจิทัล สเต็ปมอเตอร์ และเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล กล้องบันทึกภาพระบบดิจิทัลจะยึดติดกับมอเตอร์ที่ถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์เพื่อเคลื่อนไหวติดตามและบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุอย่างอัตโนมัติหรือโดยการควบคุมด้วยผู้ใช้งาน ในแนวระดับตลอด 180 องศา และ 90 องศาสำหรับแนวตั้งฉาก แล้วแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOVING-OBJECT TRACKING SYTEM

Mr.Tanapon Kunnuntanon

Mr.Tawatchai Meemongkolkiat

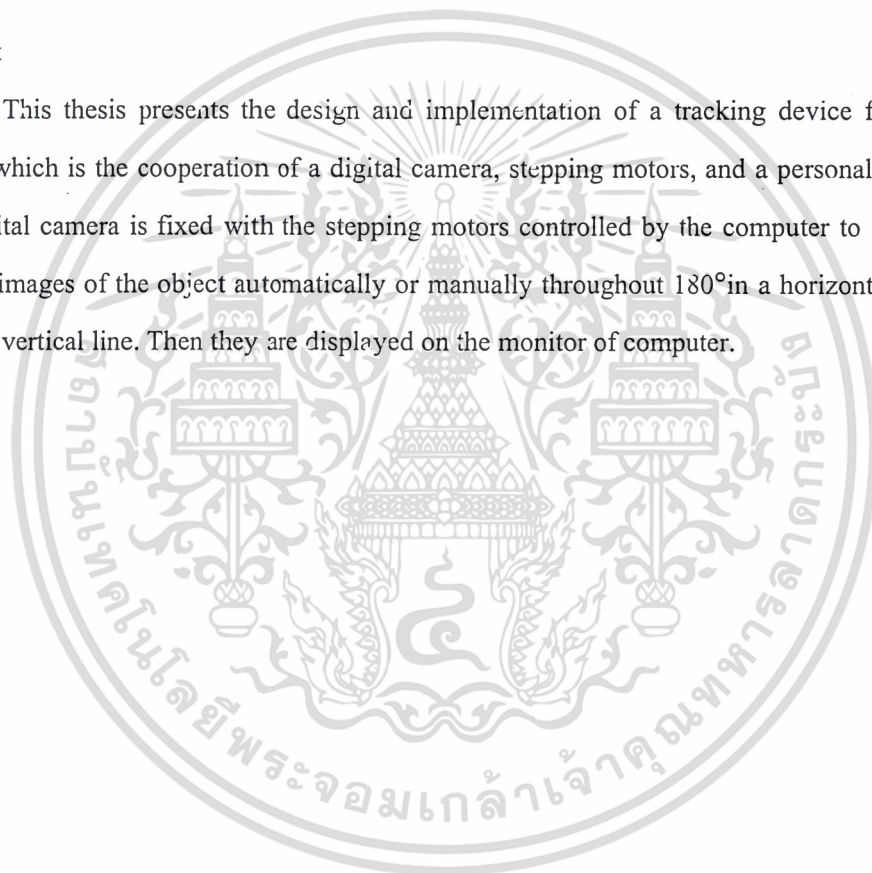
Mr.Pakorn Singharuang

Mr.Polsart Lertprasert (advisor)

2nd Semester, Educational Year 2001

Abstract

This thesis presents the design and implementation of a tracking device for moving object, which is the cooperation of a digital camera, stepping motors, and a personal computer. The digital camera is fixed with the stepping motors controlled by the computer to follow and capture images of the object automatically or manually throughout 180° in a horizontal line and 90° in a vertical line. Then they are displayed on the monitor of computer.



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

Abstract

สารบัญ

สารบัญรูปภาพ

สารบัญตาราง

บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่	1
	1.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบติดตามวัตถุเคลื่อนที่	1
	1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
	1.4 โครงสร้างของปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2	ทฤษฎีพื้นฐาน	4
	2.1 การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข (Digital image processing)	4
	2.2 สเต็ปมอเตอร์ (Stepping motor)	15
	2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84	23
	2.4 การสื่อสารแบบอนุกรม	32
	2.5 วงจรจ่ายแรงดันไฟตรง (DC supply)	37
บทที่ 3	การออกแบบระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่	41
	3.1 การออกแบบวงจรถ่ายแรงดันไฟตรง (DC supply)	41
	3.2 การออกแบบวงจรในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์	44
	3.3 การออกแบบวงจรในส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์	45
	3.4 การออกแบบวงจรในส่วนการติดต่อแบบอนุกรม	46
	3.5 การออกแบบโปรแกรมควบคุมด้วย Visual Basic	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์	51
3.7 การออกแบบทิศทางการทำงานของสเต็ปมอเตอร์	51
บทที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติการทำงาน	78
4.1 การทดสอบวงจรจ่ายไฟตรง	78
4.2 การทดสอบส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์	79
4.3 การทดสอบการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรม	82
4.4 การทดสอบโปรแกรมควบคุม	86
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	95
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า	
รูปที่ 1.1	โครงสร้างการทำงานพื้นฐาน	2
รูปที่ 2.1	การแทนสัญญาณอนาลอกด้วยสัญญาณเชิงตัวเลข	4
รูปที่ 2.2	ฮิสโตแกรมระดับความเข้มของภาพที่มีเหมาะสมสำหรับการทำ เทรชโซลด์แบบครอบคลุม	6
รูปที่ 2.3	ฮิสโตแกรมระดับความเข้มของภาพที่มีเหมาะสมสำหรับการทำเทรชโซลด์ แบบปรับค่า	8
รูปที่ 2.4	การแบ่งภาพออกเป็นภาพย่อย ๆ และหาค่าเทรชโซลด์ในแต่ละภาพย่อย	8
รูปที่ 2.5	แนวความคิดในการคำนวณค่าเทรชโซลด์โดยวิธีพิจารณาจากฮิสโตแกรม	10
รูปที่ 2.6	หน้าต่างขนาด 3×3 ที่บรรจุค่าคงที่ไว้	12
รูปที่ 2.7	การกรองภาพแบบมัลติฐาน	13
รูปที่ 2.8	แสดงรูปลูกบาศก์สีของโมเดลแบบ RGB	14
รูปที่ 2.9	โครงสร้างของไฮบริดสเต็ปมอเตอร์ที่มีจำนวนสเต็ปต่อรอบเท่ากับ 12	15
รูปที่ 2.10	ขั้นตอนการทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบเต็มสเต็ปหนึ่งเฟส	16
รูปที่ 2.11	แสดงขั้นตอนการทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบเต็มสเต็ปสองเฟส	17
รูปที่ 2.12	ขั้นตอนการทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป	18
รูปที่ 2.13	ภาพตัดขวางของสเต็ปมอเตอร์แบบ 3 เฟส	18
รูปที่ 2.14	ตำแหน่งสมดุขัย เมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งของสเต็ปมอเตอร์ถูกกระตุ้น	19
รูปที่ 2.15	แรงภายนอกที่มีผลต่อเส้นแรงแม่เหล็ก	19
รูปที่ 2.16	ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของ โรเตอร์เมื่อสเต็ปมอเตอร์ถูกกระตุ้น	19
รูปที่ 2.17	การเปรียบเทียบเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างช่องว่างที่แคบและกว้าง	20
รูปที่ 2.18	มอเตอร์ที่มีมุมการสเต็ปที่แคบ	21
รูปที่ 2.19	โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	21
รูปที่ 2.20	การทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส	22
รูปที่ 2.21	สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84	24
รูปที่ 2.22	การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84	26
รูปที่ 2.23	การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้คริสตอล	26

รูปที่ 2.24 การจัดสรรหน่วยความจำใน PIC16F84	28
รูปที่ 2.25 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ใน ลักษณะต่าง ๆ	33
รูปที่ 2.26 การจัดขาของคอนเน็คเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232	34
รูปที่ 2.27 โครงสร้างทาง Hardware ของพอร์ตอนุกรม	35
รูปที่ 2.28 การต่อ IC 3 ขา โดยทั่วไป	39
รูปที่ 3.1 วงจรจ่ายแรงดันไฟตรง	53
รูปที่ 3.2 ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรขับสเต็ปมอเตอร์	54
รูปที่ 3.3 โปรแกรมย่อย Form_Load	55
รูปที่ 3.4 โปรแกรมย่อย Form_Unload	55
รูปที่ 3.5 โปรแกรมย่อย ปุ่ม Start	56
รูปที่ 3.6 ฟังก์ชัน Find_Average	57
รูปที่ 3.7 ฟังก์ชัน Color_RGB	58
รูปที่ 3.8 ฟังก์ชัน FirstTimer_Timer	59
รูปที่ 3.9 ฟังก์ชัน Random_Scan	59
รูปที่ 3.10 ฟังก์ชัน Find_Centroid	61
รูปที่ 3.11 การหาขอบเขตของวัตถุ	61
รูปที่ 3.12 โปรแกรมย่อย RunTimer_Timer	63
รูปที่ 3.13 ฟังก์ชัน Run_Centroid	64
รูปที่ 3.14 โปรแกรมย่อย CONTROL X AND Y AXIS	65
รูปที่ 3.15 โปรแกรมย่อย CLICK PRESS DOWN BUTTON	66
รูปที่ 3.16 โปรแกรมย่อย CLICK PRESS LEFT BUTTON	67
รูปที่ 3.17 โปรแกรมย่อย CLICK PRESS RIGHT BUTTON	68
รูปที่ 3.18 โปรแกรมย่อย CLICK PRESS UP BUTTON	69
รูปที่ 3.19 โปรแกรมย่อย PRESS DOWN BUTTON TO STAND	70
รูปที่ 3.20 โปรแกรมย่อย PRESS LEFT BUTTON TO STAND	71
รูปที่ 3.21 โปรแกรมย่อย PRESS RIGHT BUTTON TO STAND	72
รูปที่ 3.22 โปรแกรมย่อย PRESS UP BUTTON TO STAND	73
รูปที่ 3.23 การออกแบบหน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.24 โปรแกรมย่อย MICROCONTROLLER	75
รูปที่ 3.25 โปรแกรมย่อย MICROCONTROLLER (2)	76
รูปที่ 3.26 โปรแกรมย่อย MICROCONTROLLER (LIMIT SWITCH)	77
รูปที่ 3.27 การออกแบบทิศทางการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกนตั้ง	51
รูปที่ 3.28 การออกแบบทิศทางการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกนนอน	52
รูปที่ 4.1 การทดสอบคุณสมบัติทาง Load Regulation	78
รูปที่ 4.2 การทดลองวัดมุมการสเต็ปของมอเตอร์ในแนวแกน X	81
รูปที่ 4.3 การทดลองวัดมุมการสเต็ปของมอเตอร์ในแนวแกน Y	81
รูปที่ 4.4 การเรียกใช้โปรแกรมในการส่งค่าแบบอนุกรมและการกำหนดค่าต่าง ๆ ในการส่งค่า	84
รูปที่ 4.5 การทดลองส่งค่า " A " เพื่อให้สเต็ปมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา 4 สเต็ป และส่งค่ากลับมา	85
รูปที่ 4.6 การทดลองส่งค่า " B " เพื่อให้สเต็ปมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา 4 สเต็ป และส่งค่ากลับมา	85
รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบ โปรแกรมในส่วนการหาจุด Centroid และขอบเขตของวัตถุ แบบที่ 1	86
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบ โปรแกรมในส่วนการหาจุด Centroid และขอบเขตของวัตถุ แบบที่ 2	87
รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบ โปรแกรมในส่วนการหาจุด Centroid และขอบเขตของวัตถุ แบบที่ 3	87
รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการจับเวลาการทำงานของฟังก์ชัน Find_Average (หาพื้นที่หลัง)	88
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการจับเวลาการทำงานของฟังก์ชัน Find_Centroid	89
รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบ โปรแกรมในส่วน Auto Tracking ในขั้นตอนต่าง ๆ	94

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของขาที่ต่อใช้งานทั้งหมดของ PIC16F84	25
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของรีจิสเตอร์ไฟล์ทั้งหมดของ PIC16F84	29
ตารางที่ 2.3 สรุปคุณสมบัติที่สำคัญของวงจรเรียงกระแสแบบต่าง ๆ	38
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทาง Load Regulation ภาคแรงดัน ไฟตรง + 12 V	79
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทาง Load Regulation ภาคแรงดัน ไฟตรง + 5 V	79
ตารางที่ 4.3 ผลการวัดมุมการสลับของมอเตอร์	82
ตารางที่ 4.4 ผลการจับเวลาการทำงานของฟังก์ชัน Find_Average และ ฟังก์ชัน Find_Centroid	89
ตารางที่ 4.5 ผลการจับเวลาการทำงานของฟังก์ชัน Run_Centroid ที่ขนาดวัตถุแตกต่างกัน	90

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่

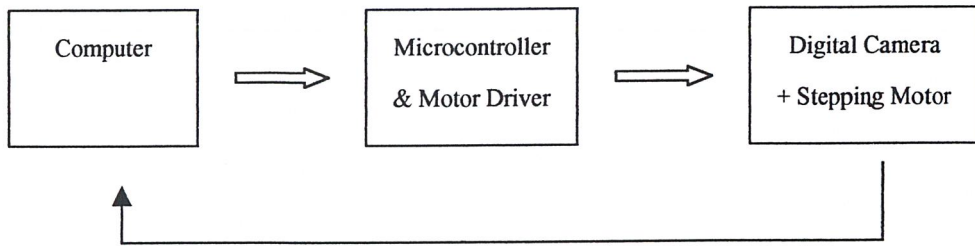
ในระบบรักษาความปลอดภัยโดยทั่วไป มักมีการใช้งานกล้องโทรทัศน์วงจรปิดสำหรับการบันทึกภาพเหตุการณ์ในแต่ละช่วงเวลา เพื่อตรวจสอบความเคลื่อนไหวของบุคคลและสิ่งของในสถานที่ต่าง ๆ หากแต่การใช้กล้องโทรทัศน์เพียงตัวเดียวติดตั้งไว้ในที่ใดที่หนึ่งอย่างคงที่นั้น ย่อมทำให้สามารถมองเห็นภาพได้ในมุมมองที่จำกัดและไม่ทั่วถึง จึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้กล้องโทรทัศน์หลายตัววางในจุดต่าง ๆ เพื่อให้สามารถเก็บภาพรายละเอียดได้ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณที่ต้องการ

ในกรณีที่เราให้ความสนใจเป็นพิเศษกับสิ่งที่มีการเคลื่อนที่ในบริเวณจำกัดหนึ่ง ๆ นั้น เราสามารถสร้างระบบการติดตามจับภาพขึ้นมาได้ โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของกล้องบันทึกภาพระบบดิจิทัลซึ่งมีราคาไม่แพงมาก เพียง 1 ตัว , สเต็ปมอเตอร์ และคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยสามารถให้มุมมองของภาพที่ทั่วถึงได้เช่นกันเมื่อติดตั้งกล้องตัวนี้ไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสม อีกทั้งยังมีความสามารถและประโยชน์ในแง่อื่น ๆ อีกนอกเหนือจากความประหยัดในการใช้อุปกรณ์ (กล้อง) และค่าใช้จ่ายแล้ว อาทิ ความคงทนและการประหยัดเนื้อที่ในการเก็บบันทึกข้อมูลด้วยการบันทึกลงใน Hard disk แทนการบันทึกลงในม้วนเทปแบบเดิม ความสะดวกสบายในการควบคุมติดตามการเคลื่อนที่อย่างอัตโนมัติผ่านทางโปรแกรมที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์ ตลอดจนถึงความเหมาะสมที่จะพัฒนารูปแบบการทำงานเพิ่มเติมได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ได้อย่างหลากหลาย เป็นต้น

ปริญญาบัตรฉบับนี้จึงได้นำเสนอการศึกษาและออกแบบสร้างระบบการติดตามวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ดังกล่าว โดยได้อาศัยการประยุกต์ใช้ความรู้ที่จำเป็นและเกี่ยวข้องคือ ความรู้ทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น การเขียน โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ และความรู้ทางด้านการประมวลผลภาพเชิงเลข เป็นสำคัญ

1.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบติดตามวัตถุเคลื่อนที่

จากความสำคัญของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น สามารถออกแบบสร้างตามรูปแบบการทำงานพื้นฐานได้ดังรูป



รูปที่ 1.1 โครงสร้างการทำงานพื้นฐาน

จากรูปจะเห็นได้ว่ามีส่วนการทำงานหลักเพียง 3 ส่วนที่ทำงานสัมพันธ์กันคือ

1. ภาคคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ทำหน้าที่แสดงและประมวลผลสัญญาณภาพที่ส่งมาจากภาคกล้องบันทึกภาพ โดยจะทำการเปรียบเทียบเพื่อหาความแตกต่างระหว่างภาพที่บันทึกมาต่างเวลากัน 2 ภาพแล้วแปลงเป็นข้อมูลตัวเลขเพื่อเป็นผลตอบสนองส่งไปควบคุมการทำงานของส่วนถัดไป หรือทำหน้าที่รับคำสั่งการควบคุมการหมุนของกล้องจากผู้ใช้ได้โดยตรงโดยไม่ต้องประมวลผลสัญญาณภาพ
2. ภาคควบคุมการหมุนของกล้อง ประกอบด้วยวงจรมอเตอร์คอมพิวเตอร์ วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ และสเต็ปมอเตอร์ ทำหน้าที่รับข้อมูลจากภาคคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อกำหนดตำแหน่งการเคลื่อนไหวของมอเตอร์ให้ตอบสนองกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ
3. ภาคกล้องบันทึกภาพ ทำหน้าที่จับภาพวัตถุในเวลาต่าง ๆ เพื่อส่งกลับไปให้ภาคคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลประมวลผล แล้วควบคุมการเคลื่อนไหวของกล้องต่อไป

1.3 ขอบเขตของปริญญาณิพนธ์

ศึกษา ออกแบบ และสร้างระบบการติดตามวัตถุที่

1. วัตถุนั้นมีการเคลื่อนที่ ในบริเวณจำกัดที่มีแสงสว่างคงที่ตลอดเวลา
2. ระบบนี้มีการควบคุมการเคลื่อนที่ของกล้องบันทึกภาพอย่างอัตโนมัติโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผ่านทางสเต็ปมอเตอร์ในแนวระดับตลอด 360 องศา และ 90 องศาสำหรับแนวตั้งฉาก แล้วแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์
3. ผู้ใช้งานสามารถควบคุมคุณสมบัติการทำงานบางอย่างได้โดยผ่านทางโปรแกรมควบคุมการทำงานที่ออกแบบไว้เรียบร้อยแล้วบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

1.4 โครงสร้างของปฏิญญานิพนธ์

ปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการนำเสนอการสร้างระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่ โดย

บทที่ 1 จะกล่าวถึงความสำคัญ โครงสร้างพื้นฐานในการสร้างระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่ พร้อมด้วยขอบเขตของการศึกษาและออกแบบสร้างชิ้นงาน และ โครงสร้างทั้งหมดของปฏิญญานิพนธ์

บทที่ 2 ได้อธิบายถึงรายละเอียดของทฤษฎีและหลักการที่สำคัญของระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่ ไว้โดยละเอียดเพื่อความเข้าใจในการใช้สมการที่สำคัญ ในการคำนวณค่าต่าง ๆ ในบทต่อไป

บทที่ 3 ได้นำเสนอขั้นตอนการออกแบบระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่

บทที่ 4 ได้ทำการแสดงผลการทดสอบการทำงานของระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้น ว่ามีประสิทธิภาพตรงกับความต้องการเริ่มต้นหรือไม่

บทที่ 5 ได้แสดงการสรุปและวิจารณ์ถึงผลการทดสอบที่เกิดขึ้นในบทที่ 4 และแจกแจง ปัญหา หรือจุดบกพร่องต่าง ๆ ที่พบขณะทำการออกแบบและทดสอบ ในประเด็นต่าง ๆ

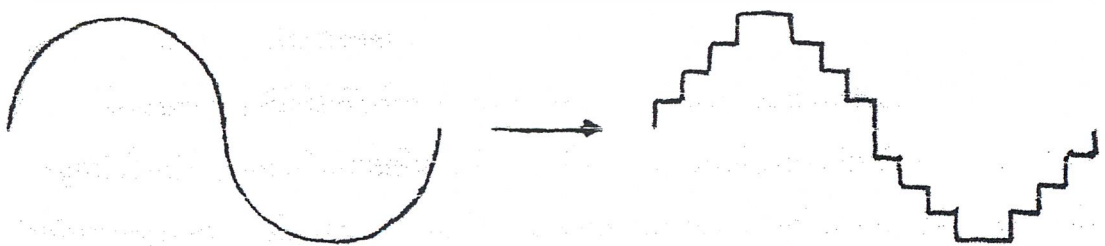


บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข (Digital image processing)

การเกิดภาพโดยใช้เลนส์เป็นวิธีการพื้นฐานและพบทั่วไปในการถ่ายภาพ แสงที่กระทบวัตถุ และสะท้อนกลับไปที่เลนส์จะถูกรวมและนำมาแสดงยังจุดที่สอดคล้องกันกับวัตถุ ดังนั้นกระบวนการถ่ายภาพจึงเป็นการเปลี่ยนข้อมูลของวัตถุอย่าง 3 มิติ มาเป็นข้อมูลภาพ 2 มิติ โดยที่การบันทึกหรือประมวลผลรูปแบบของแสงที่สะท้อนมาจากวัตถุทำได้โดยการใส่เซ็นเซอร์ที่ให้สัญญาณทางไฟฟ้าออกมาในรูปแบบที่ต่อเนื่อง ในขั้นตอนนี้เซ็นเซอร์จะทำการสแกนหรือทำการวัดผลรวมความเข้มของแสงที่จุดเล็ก ๆ ทีละจุดไปเรื่อย ๆ ตามแนวทางที่กำหนดไว้ หรือตามแนวราสเตอร์ (Raster scan) ซึ่งปกติจะไล่จากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง ค่าที่เซ็นเซอร์วัดได้นี้ถือว่าเป็นค่าความเข้มภาพ $f(x,y)$ ที่พิกัด (x,y) และก็มีค่าต่อเนื่องด้วย ดังนั้นในการที่จะนำภาพนี้มาประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์จึงจำเป็นต้องทำให้ภาพที่มีลักษณะต่อเนื่องนี้กลายเป็นภาพดิจิทัลหรือภาพเชิงตัวเลขเสียก่อน โดยทำการดิจิไทซ์ (digitization) ค่าความเข้ม $f(x,y)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง ไปเป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง $g(x,y)$ โดยการแบ่ง $f(x,y)$ ออกเป็นช่วง ๆ นี้สามารถแทนได้ด้วยค่าตัวเลขค่าใดค่าหนึ่งจาก L ระดับ ซึ่งโดยทั่วไปจุดภาพแต่ละจุด (pixel) จะเป็นสมาชิกของเมตริกซ์ของจุดภาพที่มีขนาด M แถว N หลัก เพราะฉะนั้น x, y จะมีค่าอยู่ในช่วง $(1 \leq y \leq M, 1 \leq x \leq N)$ และจำนวนช่วงระดับความเข้มของจุดภาพ L ระดับนี้ จะบ่งบอกถึงความละเอียด (resolution) ของภาพเชิงตัวเลขด้วย ปกติแล้วนิยามกำหนดให้ L มีค่าเท่ากับ 256 ระดับ ซึ่งจะทำให้ระดับความเข้มของภาพอยู่ในช่วง $(0 - 255)$ โดยใช้ 8 บิตของเลขฐานสองในการเก็บข้อมูลภาพแต่ละจุดนั่นเอง แต่ก็ยังมีการเก็บข้อมูลที่มากกว่านี้ได้ คือ อาจจะเป็น 16 หรือ 24 บิต ซึ่งจะทำให้ระดับความเข้มของจุดภาพเป็นไปได้ถึง 2^{16} หรือ 2^{24} ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 การแทนสัญญาณอนาลอกด้วยสัญญาณเชิงตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่นำภาพเชิงตัวเลขไปใช้ในการประมวลผลในรูปแบบต่าง ๆ มากมายนั้น สามารถที่จะแบ่งรูปแบบของการประมวลผลภาพเหล่านั้นออกเป็น 2 ระดับด้วยกัน คือ การประมวลผลภาพในระดับต่ำ (Low - level Image Processing) และการประมวลผลภาพในระดับสูง (High - level Image Processing)

การประมวลผลภาพในระดับต่ำนั้นเป็นการประมวลผลเชิงตัวเลขเกือบทั้งหมดเพื่อหาตัวแปรต่าง ๆ มาอธิบายข้อมูลภาพ และมีจุดประสงค์ที่จะนำตัวแปรเหล่านั้นไปใช้ในการประมวลผลภาพในระดับสูงต่อไป แต่การประมวลผลภาพในระดับสูง คือการทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักและเข้าใจภาพได้ เช่น การจดจำรูปแบบของตัวเลข ตัวอักษร เป็นต้น ในขณะที่การประมวลผลภาพในระดับต่ำโดยทั่วไปจะประกอบด้วย การกำจัดสัญญาณรบกวน , การทำให้ภาพคมชัด , การหาขอบเขตของภาพ , การทำเซกเมนต์ภาพหรือการแบ่งแยกวัตถุภายในภาพ , การสร้างภาพไบนารี เป็นต้น

ความแตกต่างที่สำคัญอีกข้อหนึ่งของการประมวลผลภาพใน 2 ระดับ คือ ข้อมูลที่จะนำมาใช้ประมวลผล ซึ่งการประมวลผลในระดับต่ำจะใช้ค่าความสว่างหรือระดับความเข้มของจุดภาพโดยตรง ส่วนการประมวลผลภาพในระดับสูงข้อมูลที่จะมาประมวลจะถูกแสดงในรูปของสัญลักษณ์ โดยสัญลักษณ์เหล่านั้นจะแสดงถึงสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ในภาพ และใช้ตัวแปรที่ได้จากการประมวลผลในระดับต่ำมาอธิบายถึงสัญลักษณ์เหล่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการประมวลผลภาพในระดับต่ำนี้มีความสำคัญมากสำหรับที่จะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและรู้จักภาพได้

2.1.1 การทำเทรชโฮลด์ (Thresholding technique)

การทำเทรชโฮลด์ถือว่าเป็นเทคนิคที่สำคัญในการประมวลผลภาพในส่วนของการทำเซกเมนต์ภาพ ซึ่งจุดประสงค์ของการทำเซกเมนต์ภาพ คือ การแยกองค์ประกอบของภาพออกไปเป็นส่วนประกอบย่อย ๆ ที่มีความสัมพันธ์กันทางกายภาพของภาพนั้น และส่วนประกอบที่ถูกแยกออกมานั้นอาจถูกนำไปประมวลผลภาพในส่วนอื่นได้ต่อไป ซึ่งการทำเซกเมนต์ภาพจะมีหลักการทำงานในแนวเดียวกันกับสายตาของคน คือ สามารถแยกลักษณะเด่นออกมาจากภาพที่มองเห็นได้ และเทคนิคการทำเทรชโฮลด์ซึ่งถือว่าเป็นเทคนิคในการแยกองค์ประกอบของภาพที่ง่ายเทคนิคหนึ่ง มีหลักการว่าจุดภาพที่มีคุณสมบัติอยู่ในบางช่วงใด ๆ จะถูกจัดเป็นกลุ่มได้โดยที่ระดับความเข้มหนึ่งนั้นสามารถที่จะแบ่งแยกกลุ่มของจุดภาพออกเป็น 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน คือ กลุ่มของวัตถุ (object) ซึ่งจะมีระดับความเข้มของภาพ $g(x,y)$ ก่อนข้างต่ำ (มืด) กับกลุ่มของส่วนที่เป็นพื้นหลัง (background) ที่จะมีระดับความเข้มของภาพ $g(x,y)$ ก่อนข้างสูง (สว่าง) ดังเช่นภาพที่ 2.2 ซึ่งแสดงฮิสโตแกรมของระดับความเข้มของภาพที่ถูกแบ่งออกเป็น 256 ระดับ จะเห็นได้ว่าการที่จะแยกกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน

ย่อมสามารถทำได้โดยการเลือกค่าเทรชโซลด์ที่มีค่าความเข้มอยู่ระหว่างกลุ่มทั้งสองบนฮิสโตแกรม ระดับความเข้มของภาพ แล้วทำการตรวจสอบแต่ละจุดภาพว่าถ้ามีค่า $g(x,y)$ น้อยกว่าค่าเทรชโซลด์ถือว่าเป็นจุดภาพของวัตถุที่แสดงได้ด้วยจุดดำ แต่หากว่าจุด $g(x,y)$ นั้นมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโซลด์ก็ถือว่าเป็นจุดภาพในส่วนพื้นหลังที่แสดงได้ด้วยจุดขาว ดังนั้นข้อมูลภาพ $g_{thr}(x,y)$ ที่ผ่านการทำเทรชโซลด์สามารถนิยามได้ดังนี้

$$g_{thr}(x,y) = \begin{cases} 0 & \text{if } g(x,y) < T \\ 1 & \text{if } g(x,y) \geq T \end{cases} \quad \dots(2.1)$$

โดยที่

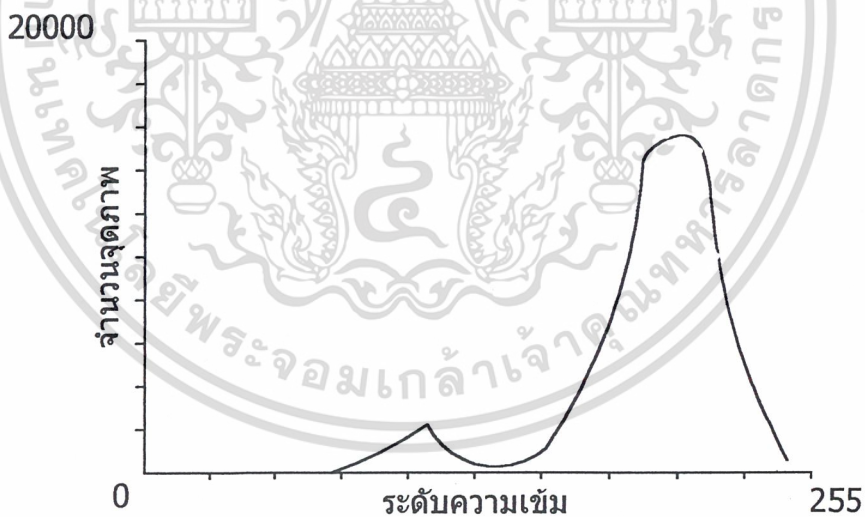
$g_{thr}(x,y)$ คือ ข้อมูลภาพผลลัพธ์เป็น ไบนารี

$g(x,y)$ คือ ข้อมูลภาพอินพุทที่มีระดับความเข้ม 0 ถึง L ระดับ

T คือ ค่าเทรชโซลด์ เป็นค่าคงที่ที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง L

0 คือ จุดดำ (ส่วนที่เป็นวัตถุ)

1 คือ จุดขาว (ส่วนที่เป็นพื้นหลัง)



รูปที่ 2.2 ฮิสโตแกรมระดับความเข้มของภาพที่มีเหมาะสมสำหรับการทำเทรชโซลด์แบบครอบคลุม

จะเห็นได้ว่า การทำเซกเมนต์ภาพโดยใช้เทคนิคการทำเทรชโซลด์เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องเหมาะสมนั้นสิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ค่าเทรชโซลด์ที่ใช้นั่นเอง เนื่องจากถ้าเลือกค่าเทรช

โชนด์ที่ไม่วะสมแล้วภาพผลลัษที่ได้อาจไม่วูกต้อง ดังนั้นปัญหาวองการท่วะกเมนคัภาพโดยวิธี การท่วะทรว โชนด์นี้ก็คือท่วะย่วะไรจึงจะสามารถค่วะนวหาค่วะทรว โชนด์ที่วะะสมหรับภาพค่วะละ ภาพที่นำม่วะท่วะการชวกเมนคัได้ ซึ่งได้มีผู้เสนอวิธีการในกรค่วะนวหาค่วะทรว โชนด์ไว้หลายวิธี ซึ่งค่วะละวิธีย่วะม่วะความวะะสมกับภาพที่ค่วะกค่วะงกันไป

2.1.1.1 รูปเบบในการท่วะทรว โชนด์

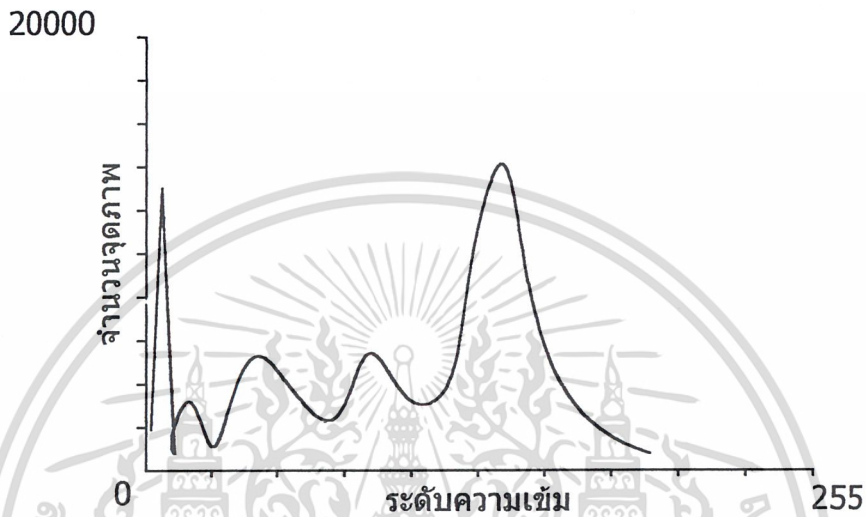
ภาพที่มีระดับความเข้มของจุดภาพของส่วนที่เป็นวัตถุและจุดภาพของส่วนที่เป็นพื้นหลัง ค่วะกค่วะงกันอย่วะงชัดเจนและมีความสม่วะเสมอลลค่วะงท่วะงภาพ สามารถใช้ค่วะทรว โชนด์เพียงค่วะเดียวใน การท่วะชวกเมนคักับค่วะละจุดภาพท่วะท่วะงภาพได้ เรียกว่วะการท่วะทรว โชนด์เบบนี้ว่า การท่วะทรว โชนด์เบบ ครอบค่วะลุม (Global Thresholding) ค่วะถ่ถ้าภาพนั้นมีระดับความเข้มไม่วะสม่วะเสมอลค่วะงขึ้นในส่วนของวัตถุ หรือพื้นหลัง หรือในท่วะงสองส่วน การใช้ค่วะทรว โชนด์เพียงค่วะเดียวลลค่วะงท่วะงภาพย่วะม่วะไม่วะสมกับ ภาพนั้น ในกรณีนี้อ่วะทรว โชนด์ที่ค่วะควรมีการปรบเปลี่งนค่วะไปค่วะตามค่วะน่วะงของจุดภาพนั้นได้ คือ การ ใช้ค่วะทรว โชนด์ที่ค่วะกค่วะงกันสำหรับจุดภาพที่ค่วะน่วะงค่วะกค่วะง และเรียกว่วะการท่วะทรว โชนด์ในลัค่วะษณะค่วะง กล่วะนี้ว่า การท่วะทรว โชนด์เบบปรบค่วะ (Adaptive Thresholding)

การท่วะทรว โชนด์เบบครอบค่วะลุม (Global Thresholding)

สำหรับชั้นตอนการหาค่วะทรว โชนด์ที่ครอบค่วะลุมลลค่วะงท่วะงภาพ โดยอัตโนมัติ ปกค่วะจะมีพื้น ฐานวองการค่วะน่วะนการอย่วะงนฮิสโตแกรมวองระดับความเข้มของจุดภาพ ซึ่งฮิสโตแกรมระดับความ เข้มนี้สามารถสร้างได้จวากการนับจนวนวองจุดภาพที่มีระดับความเข้มท่วะกกับค่วะความเข้มที่จุดนั้นท่วะง หมดท่วะงภาพนั้นเอง จวากนั้นจึงท่วะการหาค่วะทรว โชนด์ในรูปเบบค่วะง ๆ ที่สามารถแบ่งฮิสโตแกรมนี้ ออกเป็น 2 ส่วน (ส่วนที่เป็นระดับความเข้มวองวัตถุ กับส่วนที่เป็นระดับความเข้มวองพื้นหลัง) ได้ อย่วะงถูกต้องตรงตามค่วะต้องการ โดยเฉพาะอย่วะงยิ่ง ในกรณีนวองภาพที่มีอัตราความค่วะกค่วะงวอง ระดับความเข้มระหว่างส่วนที่เป็นวัตถุกับส่วนที่เป็นพื้นหลังมีค่วะสูง (ค่วะกค่วะงกันมวาก) และยังมีระดับ ความเข้มที่ค่วะกค่วะงขึ้นในค่วะละส่วนมีความสม่วะเสมอ ย่วะม่วะวะะสมที่จะใช้ระดับความเข้มที่มีจนวนวอง จุดภาพที่ค่วะสุดซึ่งอย่วะงระหว่างกลุ่มระดับความเข้มที่มีค่วะสูงที่สุด (peak) ท่วะงสองกลุ่มบนฮิสโตแกรมเป็น " ค่วะทรว โชนด์ " ค่วะงช่นค่วะย่วะงในรูปที่ 2.2 หรือในกรณีนวอ ๆ ไป ค่วะทรว โชนด์อาจจ่วะพิจารณจวาก ค่วะระดับความเข้มที่สามวองแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็น 2 กลุ่ม แล้วท่วะให้ความแปรปรวนที่ค่วะกค่วะงขึ้น ระหว่างกลุ่มมีค่วะมวากที่สุด ค่วะความแปรปรวนที่ค่วะกค่วะงขึ้นระหว่างกลุ่มมีค่วะค่วะต่ำที่สุด หลังจากนั้นนำค่วะ ทรว โชนด์ที่ค่วะน่วะนหาได้ไปท่วะทรว โชนด์กับค่วะละจุดภาพท่วะท่วะงภาพเพื่อให่วะได้ภาพผลลัษที่เป็น ไบ นารีในที่สุด

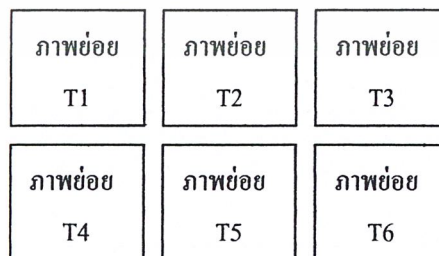
การทำเทรชโวลต์แบบปรับค่า (Adaptive Thresholding)

ในกรณีที่ข้อมูลภาพมีความไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้นในส่วนของวัตถุ หรือส่วนของพื้นหลัง หรือในทั้งสองส่วน ซึ่งภาพในลักษณะเช่นนี้ ฮิสโตแกรมระดับความเข้มของภาพที่เกิดขึ้นอาจมีลักษณะดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.3 ฮิสโตแกรมระดับความเข้มของภาพที่มีเหมาะสมสำหรับการทำเทรชโวลต์แบบปรับค่า

การใช้ค่าเทรชโวลต์แบบครอบคลุมเพียงค่าเดียวกับภาพทั้งภาพนี้ อาจทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้ไม่ถูกต้อง จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สามารถแก้ไขได้โดยการแบ่งข้อมูลของภาพทั้งภาพออกเป็นภาพย่อย ๆ ที่แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งแต่ละภาพย่อยก็จะมีค่าเทรชโวลต์ในรูปแบบที่กำหนดเพื่อหาค่าเทรชโวลต์ที่เหมาะสมสำหรับภาพย่อยนั้น และใช้ค่าเทรชโวลต์ที่ได้ทำการเซกเมนต์กับแต่ละภาพย่อยนั้น ขึ้นตอนสุดท้ายคือนำแต่ละภาพย่อยที่ผ่านการทำเซกเมนต์แล้วมารวมกันตามพิกัดเดิม



รูปที่ 2.4 การแบ่งภาพออกเป็นภาพย่อย ๆ และหาค่าเทรชโวลต์ในแต่ละภาพย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 วิธีการหาค่าเทรชโซลด์

ขั้นตอนในการทำเซกเมนต์ภาพโดยใช้เทคนิคเทรชโซลด์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและคมชัดนั้น สิ่งสำคัญที่สุด คือการหาค่าเทรชโซลด์ เนื่องจากถ้าเลือกค่าเทรชโซลด์ที่ไม่เหมาะสม (ค่าเทรชโซลด์มีค่ามากหรือน้อยเกินไป) หรือภาพที่ได้มีสิ่งรบกวน (noise) เกิดขึ้น แล้วย่อมเป็นผลทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้ไม่ตรงตามความต้องการ ดังนั้นปัญหาของการสร้างภาพไบนารีโดยวิธีเทรชโซลด์นี้ก็คือ ทำอย่างไรจึงจะสามารถคำนวณหาค่าเทรชโซลด์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละภาพที่จะนำมาทำการเซกเมนต์ ซึ่งได้มีผู้เสนอวิธีการในการคำนวณหาค่าเทรชโซลด์นี้ไว้หลายวิธี โดยแต่ละวิธีก็เหมาะสมกับลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันไป เช่น การหาค่าเทรชโซลด์โดยการกำหนดค่าล่วงหน้า (Preassigned threshold value) , การหาค่าเทรชโซลด์จากค่ากลาง (Mid - range threshold value) , และการหาค่าเทรชโซลด์โดยพิจารณาจากฮิสโตแกรม (Histogram threshold value) โดยที่แต่ละวิธีสามารถอธิบายได้ดังนี้

การหาค่าเทรชโซลด์โดยการกำหนดค่าล่วงหน้า (Preassigned threshold value)

การหาค่าเทรชโซลด์ด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด เพราะสามารถหาค่าเทรชโซลด์ได้จากการกำหนดค่าเองจากผู้ใช้ (user) ซึ่งการกำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้นั้น ๆ โดยการเลือกค่าคงที่ค่าหนึ่งที่อยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระดับความเข้มของข้อมูลภาพอินพุท เช่น ข้อมูลภาพอินพุทมีระดับเทา 256 ระดับ (0 - 255) ค่าเทรชโซลด์ที่สามารถเลือกได้ก็คือค่าที่อยู่ระหว่างค่า 0 ถึง 255 เมื่อเลือกค่าเทรชโซลด์ได้แล้วก็สามารถทำเซกเมนต์ภาพได้โดยใช้สมการที่ 2.1 ทั้งนี้การกำหนดค่าเทรชโซลด์ขึ้นมาเช่น 50 , 100 , 200 อาจนำมาทดลองทำการเซกเมนต์ภาพก่อน แล้วดูผลลัพธ์ที่ได้ จากนั้นจึงเลือกใช้ค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้งาน

การหาค่าเทรชโซลด์จากค่ากลาง (Mid - range threshold value)

การหาค่าเทรชโซลด์โดยพิจารณาจากค่ากลาง เป็นการหาค่าเทรชโซลด์ที่แตกต่างจากวิธีแรก เนื่องจากการหาค่าเทรชโซลด์โดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องให้ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด โดยการหาค่าเทรชโซลด์วิธีนี้ได้อาศัยการคำนวณพื้นฐานทางสถิติในเรื่องของการหาค่ากลางแบบที่เป็นค่าเฉลี่ย (Mean) มาประยุกต์ใช้ ค่าเทรชโซลด์ที่คำนวณได้จะเป็นค่าที่ได้จากค่ากลางที่อยู่ระหว่างค่าระดับความเข้มสูงสุด (Maximum level) และค่าระดับความเข้มต่ำสุด (Minimum level) ของข้อมูลภาพอินพุท สำหรับการคำนวณค่ากึ่งกลางนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$T = \frac{\text{Max}[g(x, y)] + \text{Min}[g(x, y)]}{2} \quad \dots(2.2)$$

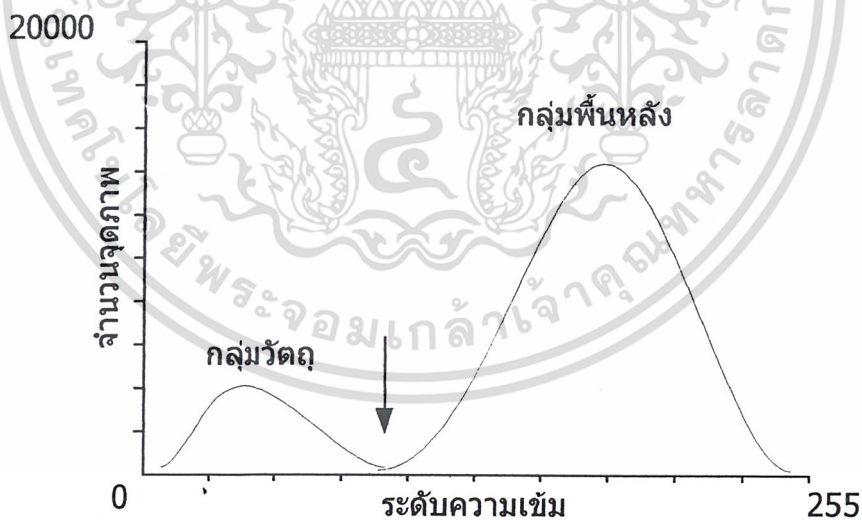
โดยที่

T	คือ ค่าเทรชโซลต์
$g(x,y)$	คือ ข้อมูลภาพอินพุท ที่มีระดับความเข้ม 0 ถึง L ระดับ
$\text{Max}[g(x,y)]$	คือ ค่าสูงสุดของระดับเทาของข้อมูลอินพุท
$\text{Min}[g(x,y)]$	คือ ค่าต่ำสุดของระดับเทาของข้อมูลอินพุท

เมื่อคำนวณค่าเทรชโซลต์ได้แล้ว ก็สามารถทำการเซกเมนต์ภาพได้โดยนำค่าเทรชโซลต์ที่ได้มาแทนค่าในสมการที่ 2.1

การหาค่าเทรชโซลต์โดยพิจารณาจากฮิสโตแกรม (*Histogram threshold value*)

การหาค่าเทรชโซลต์โดยวิธีพิจารณาจากฮิสโตแกรมระดับเทาของข้อมูลอินพุท โดยที่การหาค่าเทรชโซลต์วิธีนี้ ข้อมูลภาพอินพุทที่เหมาะสมต้องมีลักษณะที่สามารถแบ่งแยกเป็นสองกลุ่มได้อย่างชัดเจน คือ กลุ่มหนึ่งจะเป็นกลุ่มของวัตถุ และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นพื้นหลัง ซึ่งแนวคิดในการคำนวณค่าเทรชโซลต์โดยวิธีนี้สามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.5 แนวความคิดในการคำนวณค่าเทรชโซลต์โดยวิธีพิจารณาจากฮิสโตแกรม

สำหรับการคำนวณหาค่าเทรชโซลต์โดยวิธีพิจารณาจากฮิสโตแกรม สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ข้อมูลภาพอินพุทมีระดับความเข้ม 0 ถึง L ระดับ
2. คำนวณหาฮิสโตแกรมระดับความเข้มของภาพนี้เอกสาร โดยการนับจำนวนจุดภาพที่ระดับความเข้มแต่ละระดับ
3. จากฮิสโตแกรมจะพบว่าจะเกิดกลุ่มของระดับความเข้มสูงสุด (Peak) 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งคือกลุ่มของวัตถุ และอีกกลุ่มหนึ่งคือกลุ่มของพื้นหลัง
4. เลือกค่าที่ต่ำที่สุด (Valley) ที่อยู่ระหว่างสองกลุ่มนั้น กำหนดค่านี้เป็นค่าเทรชโซลด์
5. ทำการเซกเมนต์ภาพ โดยนำค่าเทรชโซลด์ที่ได้มาแทนค่าในสมการที่ 2.1

จากขั้นตอนการทำงานข้างต้น ถ้าได้ทดลองทำกับภาพ 256 ระดับเทาที่เป็นภาพตัวอักษรบนพื้นกระดาษที่สีอ่อนกว่า ซึ่งเมื่อทำการสร้างฮิสโตแกรมระดับเทาของภาพแล้วจะปรากฏกลุ่มของข้อมูลสูงสุด (Peak) 2 กลุ่ม คือกลุ่มของข้อความ และกลุ่มของพื้นหลัง จากนั้นทำการเลือกค่าต่ำสุด (Valley) ระหว่าง 2 กลุ่มนั้นเป็นค่าเทรชโซลด์ ซึ่งค่าที่ได้จากวิธีนี้จะมีค่าที่เที่ยงตรงที่สุด แต่อย่างไรก็ดีวิธีนี้ก็ไม่เหมาะสมกับภาพที่ไม่สามารถแยกกลุ่มของสิ่งที่อยู่ในภาพได้อย่างชัดเจนระหว่างกลุ่มของวัตถุและกลุ่มของพื้นหลัง เนื่องจากถ้าหากภาพอินพุทไม่สามารถแยกแยะได้แล้วจะทำให้ค่าเทรชโซลด์ที่คำนวณได้ผิดไปจากความเป็นจริง คืออาจจะมากหรือน้อยเกินไป อันเป็นผลทำให้ได้ภาพที่ไม่เหมาะสม รายละเอียดบางส่วนขาดหายไป

2.1.2 การกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise reduction)

การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพ เป็นกระบวนการส่วนแรกก่อนที่จะทำการประมวลผลภาพจริง (Preprocessing) เพื่อกำจัดภาพที่ไม่พึงประสงค์ออกจากภาพนั้น สัญญาณรบกวนบนภาพอาจเกิดจากขั้นตอนการเก็บภาพ หรือขั้นตอนการส่งผ่านข้อมูลภาพจากที่หนึ่ง ไปอีกที่หนึ่ง เป็นต้น

การกำจัดสัญญาณรบกวนนั้น เป็นการกรองสัญญาณภาพแบบความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filtering) ซึ่งภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าองค์ประกอบที่ราบเรียบ (Smoothing) มากขึ้น ซึ่งตรงกับจุดประสงค์ของการลดสัญญาณรบกวนนั่นเอง โดยการกรองภาพใด ๆ นั้นเราจะอาศัยตัวดำเนินการซึ่งมีลักษณะเป็นตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดจำกัด หรือบางครั้งเรียกว่าหน้าต่าง (Window) หรือหน้ากาก (Mask) เคลื่อนที่ไปกระทำการบางอย่างกับทุกจุดภาพในภาพที่ต้องการลดสัญญาณรบกวนนั้นเพื่อคำนวณหาค่าใหม่ของจุดภาพในตำแหน่งที่อยู่กึ่งกลางของหน้าต่างในการกระทำกับแต่ละจุดภาพนั้น สำหรับขนาดของหน้าต่างที่นิยมใช้คือ ขนาด 3×3 แต่ทั้งนี้ก็ยังสามารถใช้ขนาดอื่น ๆ ได้อีก เช่น $5 \times 5, 7 \times 7$ หรือ 15×15 ก็ได้

การดำเนินการกรองภาพด้วยหน้าต่างนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ตามลักษณะของหน้าต่าง กล่าวคือ ถ้าการกรองนั้นใช้หน้าต่างที่บรรจุค่าคงที่ไว้แล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จากการกรองนี้จะเกิดจากการคำนวณร่วมกันระหว่าง ค่าระดับความเข้มของจุดภาพที่อยู่ภายใต้หน้าต่างและค่าคงที่ของหน้าต่างนั้นทุกค่า แล้วจะเรียกว่า การกรองแบบเป็นเชิงเส้น (Linear filtering) แต่ถ้าการกรองนั้นใช้หน้าต่างที่ไม่ได้บรรจุค่าใด ๆ ไว้โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการกรองจะเกิดจากการคำนวณค่าของจุดภาพทุกจุดที่อยู่ภายในหน้าต่างเท่านั้นแล้วจะเรียกว่า การกรองแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear filtering)

2.1.2.1 การกรองแบบหาค่าเฉลี่ย (Average filtering)

การกรองภาพด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ยนี้เป็น การกรองแบบเป็นเชิงเส้นซึ่งมีวิธีการคำนวณหาค่าความเข้มใหม่ (R) ของจุดภาพที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ภายใต้หน้าต่างขนาด 3 × 3 ที่แสดงเป็นกรณีทั่วไป ดังรูปที่ 2.7 ตามสมการ

$$R = W_1z_1 + W_2z_2 + \dots + W_9z_9 \quad \dots(2.3)$$

โดย z_1, z_2, \dots, z_9 คือ ค่าระดับความเข้มของจุดภาพภายใต้หน้าต่างและมีตำแหน่งที่ตรงกับหน้าต่างนี้

W_1	W_2	W_3
W_4	W_5	W_6
W_7	W_8	W_9

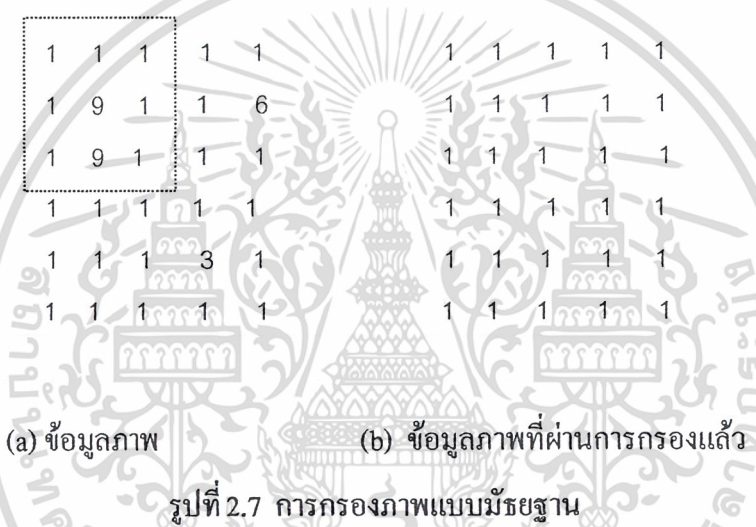
รูปที่ 2.6 หน้าต่างขนาด 3 × 3 ที่บรรจุค่าคงที่ไว้

ในกรณีที่เป็นกรกรองแบบหาค่าเฉลี่ยจะต้องมีหลักการเพิ่มเติมเฉพาะคือ หน้าต่างที่ใช้ต้องบรรจุค่าที่เป็นบวก และ ผลรวมของค่าสมาชิกทุกตัวในแต่ละหน้าต่างจะต้องเท่ากับ 1 เช่น W ทุกตัวที่อยู่ในรูปที่ 2.6 จะมีค่าเป็น 1/9 เป็นต้น แล้วค่าความเข้มใหม่ (R) ที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.3 ก็จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการกรองแบบหาค่าเฉลี่ยของแต่ละจุดภาพนั่นเอง

2.1.2.2 การกรองแบบมัธยฐาน (Median filtering)

การกรองแบบมัธยฐานเป็นการกรองแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีหลักการสำคัญคือ การครอบหน้าต่างที่มีได้บรรจุค่าใด ๆ ไว้ลงบนข้อมูลภาพ แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาเรียงลำดับจากค่าต่ำสุดไปหา

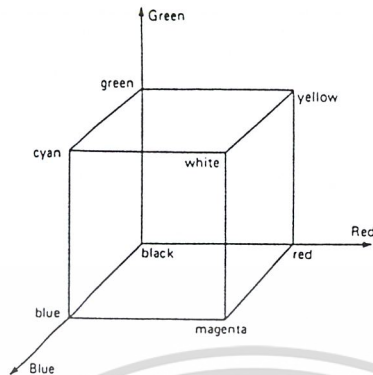
ค่าสูงสุดจากนั้นก็เลือกค่าที่อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางข้อมูลที่เรียงลำดับนั้นมาเป็นค่าความเข้มใหม่ (R) ของจุดภาพที่ตำแหน่งกึ่งกลางภายใต้หน้าต่างนั้น เช่น ใช้หน้าต่างขนาด 3×3 กับข้อมูลภาพดังรูปที่ 2.7 (a) จากนั้นนำค่าความเข้มภายในตารางมาเรียงลำดับเป็น 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 9 แล้วเลือกเอาค่าลำดับที่ 5 ซึ่งในที่นี้เป็นค่า 1 เป็นค่าความเข้มใหม่ของจุดภาพที่ตำแหน่งกึ่งกลางหน้าต่างขณะนี้ ทำเช่นนี้ไปจนตลอดทั้งข้อมูลภาพจะได้รูปที่ 2.7(b) เป็นข้อมูลที่ได้ผ่านการกรองแล้ว จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการกรองแบบนี้ อาจจะได้ค่าข้อมูลเดิมหรือค่าใหม่ก็ได้ ถ้าหากข้อมูลตัวใดที่มีค่าแตกต่างไปจากค่าของจุดภาพรอบข้างมาก ก็จะถือว่าเป็นสัญญาณรบกวนและถูกกำจัดออกไป วิธีนี้มีข้อดีกว่าวิธีการกรองแบบหาค่าเฉลี่ย คือ สามารถลดสัญญาณรบกวนได้ดีและยังรักษาความคมชัดของขอบภาพไว้ได้ด้วย



2.1.3 โมเดลสีแบบ RGB

โมเดลสีชนิดนี้ประกอบด้วยการรวมกันของแม่สีหลักซึ่งได้แก่ แดง (Red:R), เขียว (Green:G) และน้ำเงิน (Blue:B) ซึ่งค่าสีต่าง ๆ ในแถบสเปกตรัมของสีจะได้มาจากการผสมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกันของแม่สีทั้งสาม

โมเดลสี RGB นี้จะแสดงด้วยแกนของลูกบาศก์สามแกนในระนาบ 3 มิติ ซึ่งค่าสีแดง เขียว และน้ำเงินจะอยู่ที่มุมทั้งสามของแต่ละแกนดังแสดงด้วยรูปที่ 2.8 ซึ่งจะเห็นว่าค่าสีค่าจะอยู่ที่จุดกำเนิด (origin) สีขาวจะอยู่ที่มุมตรงข้ามกับสีดำ ค่าของสีในช่วงระดับเทาจะอยู่ตามเส้นที่เชื่อมระหว่างค่าสีดำและค่าสีขาว จากรูปถ้าเป็นในระบบการแสดงสีแบบ 24 บิต (แบ่งออกเป็น 8 บิตต่อแม่สีหนึ่งสี) นั้น ค่าสีแดงจะถูกแทนด้วยค่า (255,0,0) เป็นต้น



รูปที่ 2.8 แสดงรูปลูกบาศก์สีของ โมเดลแบบ RGB

โมเดลสี RGB ง่ายต่อการออกแบบและใช้งานในระบบคอมพิวเตอร์กราฟิก แต่ไม่เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานอื่น ๆ ค่าของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน จะมีความสัมพันธ์กันอย่างมากซึ่งจะเป็นการยากที่จะนำไปประมวลผลเกี่ยวกับภาพ ดังนั้นหลายครั้งที่มีความจำเป็นที่จะต้องทำการแปลงภาพจากโมเดลสี RGB ให้อยู่ในรูปแบบของภาพแบบระดับเทา (Gray scale image) เพื่อความสะดวกดังกล่าว

ในการแปลงภาพจากโมเดลสี RGB ให้อยู่ในรูปแบบภาพระดับเทานั้น สามารถทำได้โดยการใช้สมการการแปลงดังนี้

$$\text{Gray scale intensity} = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad \dots(2.4)$$

ซึ่งเป็นสมการที่ใช้สำหรับการแปลงภาพจากมาตรฐาน NTSC

$$\text{Gray scale intensity} = 0.333R + 0.333G + 0.333B \quad \dots(2.5)$$

ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการแปลงจาก RGB ไปเป็น HIS

ในระบบบิตดิจิทัลวิดิโอ นั้น เรากล่าวถึงจำนวนบิตที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างสัญญาณแต่ละครั้งเป็นตัววัดความละเอียดของภาพที่ได้เป็นจำนวนบิตต่อพิกเซล (bit per pixel : bpp)

เนื่องจากในการสุ่มตัวอย่างสัญญาณแต่ละครั้งนั้นจะได้เป็นหนึ่งพิกเซล โดยในระบบ monochrome ที่มีคุณภาพสูงนั้นจะใช้ 8 bpp ซึ่งหมายถึงจำนวนระดับเทา (gray level) ของภาพเท่ากับ 256 ระดับ แต่ในระบบการแสดงผลแบบสีนั้นเราต้องการหนึ่งช่องสัญญาณแบบ monochrome

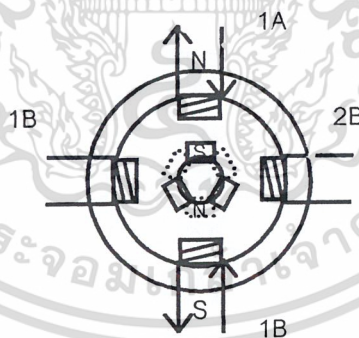
ค่อแม่สีแต่ละสี (แดง, เขียว และน้ำเงิน) ซึ่งจะต้องใช้จำนวนบิตทั้งหมดเป็น 24 บิต ซึ่งจะได้ค่าระดับสีที่เป็นไปได้คือ 16,777,216 สี ในระบบบิตดิจิทัลโอบางระบบซึ่งจะใช้ 24 บิตต่อพิกเซล

2.2 สเต็ปมอเตอร์ (Stepping motor)

สเต็ปมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับงานที่ควบคุมการหมุนผ่านทางคอมพิวเตอร์ เพราะมันสามารถควบคุมให้หมุนได้โดยใช้สถานะเพียง 2 สถานะ (ON-OFF) ซึ่งสัญญาณที่เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถสร้างขึ้นมาได้

2.2.1 หลักการทำงานของสเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์สามารถแบ่งโครงสร้างทางกายภาพออกได้เป็น 2 ส่วน คือ สเตเตอร์ (Stator) และ โรเตอร์ (Rotor) ตัวสเตเตอร์เป็นส่วนที่อยู่กึ่งที่ ประกอบด้วยขดลวดทองแดงซึ่งพันอยู่รอบแกนเหล็ก เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเมื่อมีการจ่ายกระแสผ่านขดลวด ส่วนโรเตอร์เป็นส่วนที่เคลื่อนที่มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กทรงกระบอก และที่ผิวรอบนอกมีลักษณะเป็นซีกฟันซึ่งทำจากแม่เหล็กถาวรดังรูป

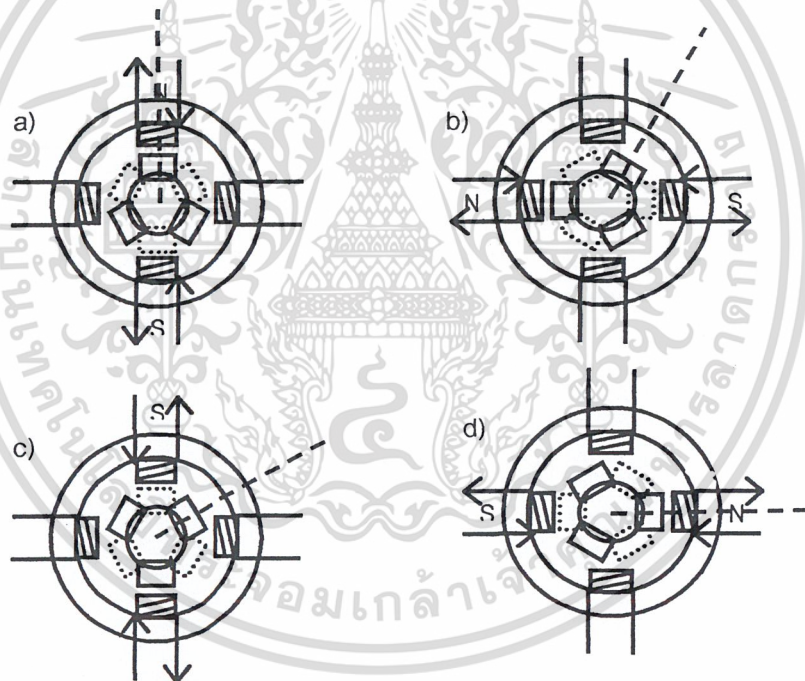


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของไฮบริดสเต็ปมอเตอร์ที่มีจำนวนสเต็ปต่อรอบเท่ากับ 12

เมื่อยังไม่มีกระแสจ่ายให้กับขดลวดของมอเตอร์ ซีกฟันอันใดอันหนึ่งของโรเตอร์จะอยู่ในตำแหน่งที่ตรงกันกับซีกฟันของอันใดอันหนึ่งของสเตเตอร์ ทั้งนี้เป็นเพราะแม่เหล็กถาวรที่ตัวโรเตอร์พยายามที่จะทำให้ค่าความต้านทานทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Reluctance) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่ง ณ จุดที่ซีกฟันของตัวโรเตอร์และสเตเตอร์ตรงกันนั้นจะมีค่าความต้านทานแม่เหล็กไฟฟ้าน้อยที่สุด ทำให้เกิดเส้น

แรงแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุด และจากรูปที่ 2.9 เส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กเหนือและใต้ขึ้นมา 2 คู่ ทั้งที่ตัวสเตเตอร์และตัวโรเตอร์ ค่าทอร์ก (Torque) ที่ทำให้ตัวโรเตอร์สามารถยึดอยู่ในตำแหน่งดังกล่าวนี้เรียกว่า คีเท็นท์ทอร์ก (Detent torque) หมายความว่า การที่จะทำให้มอเตอร์เคลื่อนที่ในขณะที่ไม่ได้จ่ายกระแสให้กับขดลวดของมอเตอร์จะต้องออกแรงมากกว่าค่าคีเท็นท์ทอร์กนี้ รูปที่ 2.9 นั้น มี 12 ตำแหน่งที่ทำให้สามารถเกิดคีเท็นท์ทอร์กได้

เมื่อจ่ายกระแสให้กับขดลวดที่อยู่ในสเตเตอร์คู่ใดคู่หนึ่ง ดังรูปที่ 2.10(a) จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กเหนือใต้ที่ซีกฟันของตัวสเตเตอร์ ซึ่งจะดึงดูดซีกฟันของตัวโรเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็กที่มีสัณฐานต่างกันที่อยู่ใกล้ที่สุดเข้าไว้ ตำแหน่งนี้เรียกว่า สเตเบิลโพสชัน (Stable position) ของโรเตอร์ ซึ่งจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนซีกฟันของโรเตอร์ และแรงที่จะทำให้โรเตอร์เปลี่ยนตำแหน่งไปจากตำแหน่งสเตเบิลโพสชันได้นี้เรียกว่า โฮลดิ้ง ทอร์ก (Holding torque)

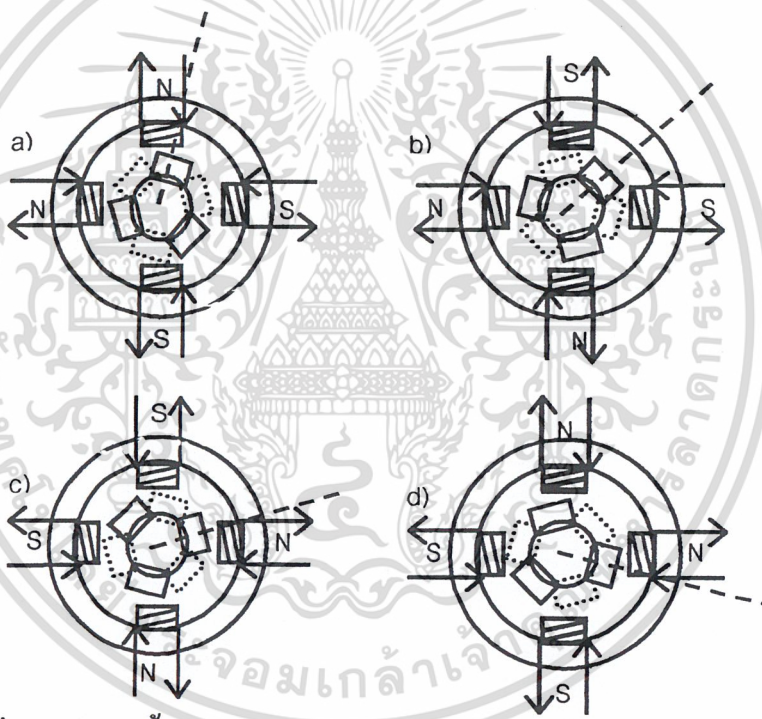


รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบเต็มสเต็ปหนึ่งเฟส

เมื่อสลับเปลี่ยนการจ่ายกระแสให้แก่ขดลวด จากขดหนึ่ง ไปยังอีกขดหนึ่ง เนื่องจากขดลวดวางอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน 90° ก็จะทำให้ตัวสเตเตอร์ดึงดูดซีกฟันของตัวโรเตอร์อีกซีกหนึ่งที่ใกล้ที่สุดเข้าไว้ ซึ่งจะทำให้ตัวโรเตอร์เคลื่อนที่ไป 1 สเต็ปหรือ 30° ดังรูปที่ 2.10 (b) จากนั้นก็เปลี่ยนไปจ่ายกระแสให้กับขดลวดชุดแรกโดยในคราวนี้เปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสให้ตรงข้ามกับครั้งแรก ซึ่งจะทำให้ตัวโรเตอร์เคลื่อนที่ไปอีก 1 สเต็ป ดังรูปที่ 2.10 (c) หลังจากนั้นก็จ่ายกระแสให้กับขดลวดชุดที่สอง โดยกลับทิศทางการกระแสที่ป้อนให้อีกเช่นกันทำให้โรเตอร์หมุนไป 90° ดังรูปที่ 2.10 (d)

และถ้าหากเราป้อนกระแสให้กับมอเตอร์เหมือนที่เราป้อนในครั้งแรกแล้ว ชีกฟันซีกถัดไปของตัวโรเตอร์ก็จะอยู่ในตำแหน่งที่เหมือนกับในรูปที่ 2.10 (a) อีกครั้งหนึ่ง ถ้าหากเราต้องการเคลื่อนที่หนึ่งรอบ เราต้องทำการกระตุ้นให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปจนครบ 12 สเต็ป และถ้าต้องการให้โรเตอร์หมุนไปอีกทิศทางหนึ่ง ก็ทำการสลับลำดับการจ่ายกระแส จากรูปที่ 2.10 (a) , (b) , (c) และ (d) ไปเป็น (a) , (d) , (c) และ (b) ตามลำดับ

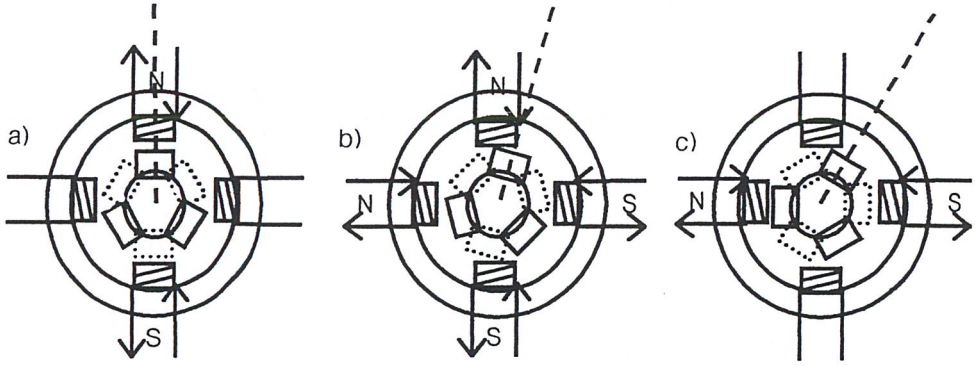
ถ้าจ่ายกระแสให้แก่ขดลวดทั้งสองขดพร้อม ๆ กัน ชีกฟันของโรเตอร์จะอยู่ที่ตำแหน่งระหว่างชีกฟันของสเตเตอร์ เพราะฉะนั้นการจ่ายกระแสให้แก่มอเตอร์แบบนี้จะให้ทอร์คมากกว่าแบบที่จ่ายกระแสในเวลาขณะใดขณะหนึ่งเพียงขดเดียว ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งแสดงการป้อนกระแสให้กับขดลวดแต่ละขดเพื่อให้สเต็ปมอเตอร์เคลื่อนที่



รูปที่ 2.11 แสดงขั้นตอนการทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบเต็มสเต็ปสองเฟส

แต่ถ้าในตอนแรกจ่ายกระแสให้กับขดลวดเพียงขดเดียวแล้วสเต็ปต่อไปจ่ายกระแสให้กับขดลวดทั้งสองพร้อม ๆ กันสองขดทำอย่างนี้สลับกันไปจะทำให้โรเตอร์เคลื่อนที่ไปสเต็ปละ 15° ดังรูปที่ 2.12 และในการขับเคลื่อนแบบนี้จะทำให้สเต็ปต่อรอบ เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าตัว การขับสเต็ปมอเตอร์แบบนี้เรียกว่า การขับแบบครึ่งสเต็ป (Half stepping) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก แม้ว่าในบางครั้งจะทำให้ทอร์คน้อยกว่า แต่ก็ดีกว่าการขับแบบเต็มสเต็ป (Full stepping) ก็คือ การเคลื่อนที่เป็นไปอย่างราบเรียบ (ที่ความเร็วไม่สูงมากนัก) อีกทั้งมีความแม่นยำสูงและสิ้นเสที่ือนน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



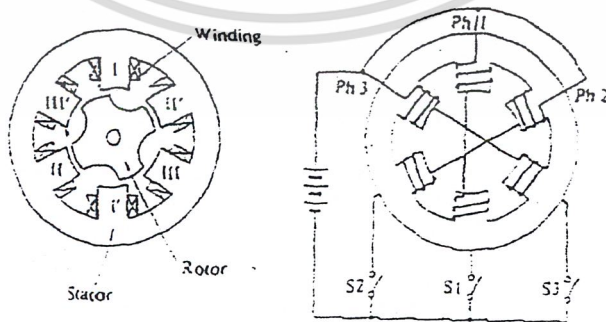
รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป

2.2.2 ชนิดของสเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์ สามารถแบ่งออกได้หลายชนิดตามลักษณะ โครงสร้างและการใช้งานดังนี้

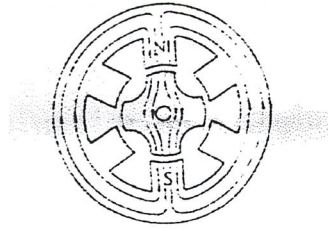
สเต็ปมอเตอร์ชนิดปรับค่าความเหนี่ยวนำได้ (Variable reluctance stepping motor)

สเต็ปมอเตอร์ชนิดนี้สามารถปรับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดได้ ซึ่งรูปที่ 2.13 แสดงภาพตัดขวางของสเต็ปมอเตอร์แบบ 3 เฟส โดยที่สเต็ปมอเตอร์มีฟันทั้งหมด 6 ซี่ ซี่ที่อยู่ตรงข้ามกันหรือทำมุม 180° ซึ่งกันและกันจะเป็นเฟสเดียวกัน ขดลวดที่ฟันของสเตเตอร์ในแต่ละเฟสจะต่ออนุกรมหรือขนานกันก็ได้ จากรูปที่ 2.13 เป็นการต่อแบบอนุกรม ส่วนโรเตอร์นั้นมีฟัน 4 ซี่ ทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์ทำมาจากโลหะซิลิกอน ซึ่งมีสภาพซึมซับทางแม่เหล็กสูงและยอมให้สนามแม่เหล็กจำนวนมากไหลผ่านได้ ฟันของสเตเตอร์ในเฟสเดียวกันจะมีขั้วต่างกันโดยซี่ฟันซี่ที่ I , II , III เป็นขั้วเหนือและซี่ที่ I' , II' , III' เป็นขั้วใต้หลังจากถูกระดุน



รูปที่ 2.13 ภาพตัดขวางของสเต็ปมอเตอร์แบบ 3 เฟส

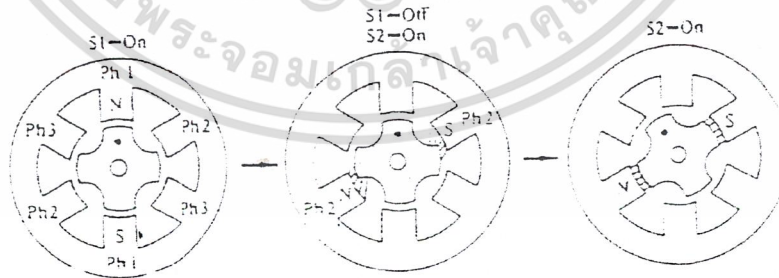
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ตำแหน่งสมดุลย์ เมื่อเฟลตไคเฟลหนึ่งของสเต็ปมอเตอร์ถูกกระตุ้น



รูปที่ 2.15 แรงภายนอกที่มีผลต่อเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโรเตอร์เมื่อสเต็ปมอเตอร์ถูกกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

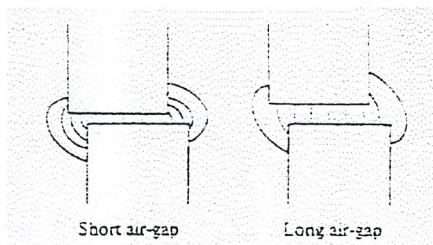
กระแสที่ไหลในแต่ละเฟสถูกควบคุมโดยสวิตช์ปิด/เปิด ถ้าเฟส I ถูกกระตุ้นให้มีกระแสไหล และเกิดฟลักซ์แม่เหล็กดังแสดงในรูป 2.14 แกนโรเตอร์จะอยู่ตำแหน่งเดียวกับซี่ I และ I' ทำให้ทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์อยู่ในแนวเดียวกัน กรณีนี้จะทำให้ค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุดซึ่งเป็นตำแหน่งที่สมดุลย์ พอเฟส II ถูกกระตุ้นก็พิจารณาเสมือนกับว่าโรเตอร์ถูกกระทำจากแรงภายนอกก่อนหน้าการกระตุ้นนี้ทำให้มีลักษณะการวางตำแหน่งของโรเตอร์และสเตเตอร์ดังรูปที่ 2.15 มีผลทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนออกจากซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในเฟส II เมื่อโรเตอร์และสเตเตอร์ไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกันแล้วค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าจะมีค่ามาก เป็นผลให้สเต็ปมอเตอร์จะต้องทำตัวให้มีค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้าน้อยที่สุด จึงเกิดแรงบิดที่ตัวโรเตอร์ให้เคลื่อนที่ไป 30° ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาดังรูปที่ 2.16

สำหรับการทดสอบว่าเป็นสเต็ปมอเตอร์ชนิดนี้หรือไม่ทำได้โดยทดลองหมุนเพลลาของมอเตอร์ที่ต้องการทดสอบ โดยมีจุดสังเกตว่าโรเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์แบบปรับค่าความเหนี่ยวนำได้นี้จะไม่เกิดปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กขณะที่ยังไม่มีกระแสกระตุ้นใด ๆ เนื่องจากตัวโรเตอร์ทำมาจากเหล็กอ่อนซึ่งไม่มีสภาพเป็นแม่เหล็ก จึงสามารถหมุนเพลลาได้ตลอดโดยไม่ติดขัด ต่างจากชนิดแม่เหล็กถาวรและแบบไฮบริดจ์ซึ่งมีสนามแม่เหล็กเกิดที่โรเตอร์ตลอดเวลา เมื่อหมุนเพลลาจึงรู้สึกติดขัด เหมือนเป็นฟันเฟือง

คุณสมบัติพื้นฐานของสเต็ปมอเตอร์แบบปรับค่าความเหนี่ยวนำได้

1. ช่องว่าง (Air gap) ต้องมีขนาดเล็กที่สุด

ช่องว่างระหว่างฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อให้ทอร์คที่เกิดขึ้นมีค่ามากและมีความแม่นยำทางตำแหน่งมากขึ้น รูปที่ 2.17 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างช่องว่างที่กว้างและแคบในขณะที่ใช้แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กแหล่งเดียวกันหรือมีระดับความแรงเท่ากัน โดยช่องอากาศที่เล็กจะให้ทอร์คมากกว่าและทำให้เคลื่อนที่จากจุดสมดุลน้อยกว่า ช่องว่างขนาดใหญ่เมื่อมีแรงบิดจากภายนอกมากกระทำต่อโรเตอร์

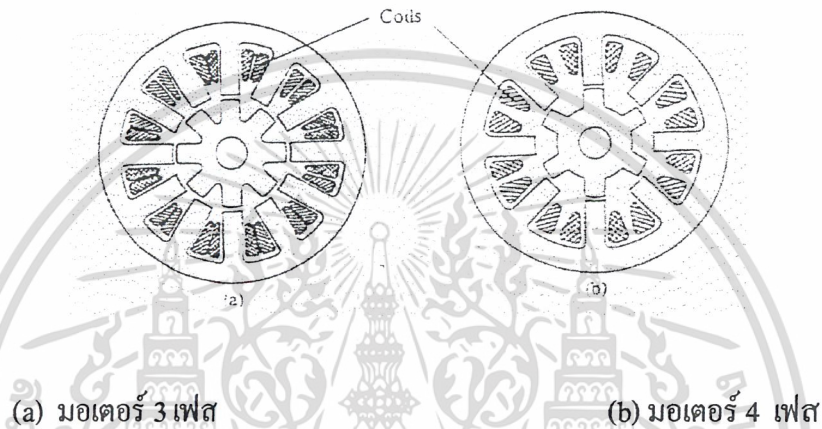


รูปที่ 2.17 การเปรียบเทียบเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างช่องว่างที่แคบและกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มุมของการสตีปแคบ

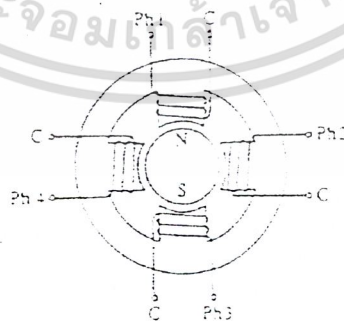
คุณสมบัติอีกประการหนึ่งของสตีปมอเตอร์คือจะต้องมีมุมของการสตีปเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ มุมที่แสดงในรูปที่ 2.14 ยังไม่ถือว่าเป็นมุมที่เล็ก แต่รูปที่ 2.18(a) แสดงมอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งมีจำนวนฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์เป็น 2 เท่าของรูปที่ 2.14 ส่วนรูปที่ 2.18(b) แสดงมอเตอร์ 4 เฟส มุมของการสตีปของทั้งสองโครงสร้างนี้เท่ากับ 15° นอกจากนี้ยังมีบางชนิดที่มุมของการสตีปเป็น 7.5° โดยฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์มี 12 และ 16 ซี่ตามลำดับ



รูปที่ 2.18 มอเตอร์ที่มีมุมการสตีปที่แคบ

สตีปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (*Permanent magnet stepping motor*)

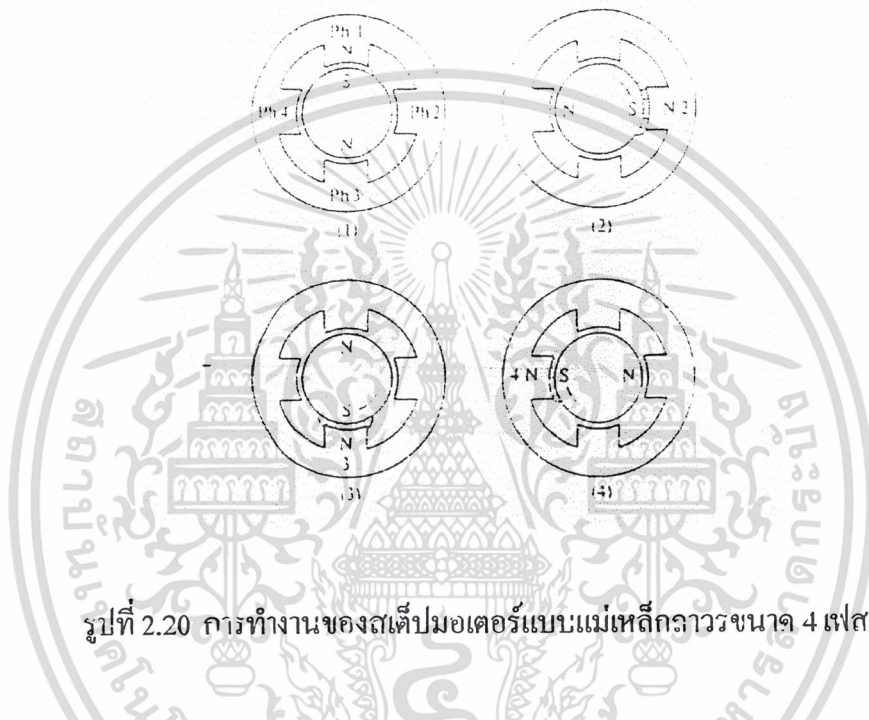
สตีปมอเตอร์ชนิดนี้ใช้แม่เหล็กถาวรเป็นโรเตอร์แบบเรียบไม่มีซี่ฟัน และมีซี่ฟันของสเตเตอร์ล้อมรอบ ซี่ฟันของสเตเตอร์ถูกพันด้วยขดลวดสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของสตีปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติว่าสเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ขนาด 4 เฟสมีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรทรงกระบอกและสเตเตอร์มีฟัน 4 ซึ่งขั้วรอบ ๆ ถูกพันด้วยขดลวด มีรูปแบบพื้นฐานของการทำงานคือ เมื่อสร้างสัญญาณกระตุ้นตามลำดับเฟส โรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางของการกระตุ้นนั้นดังรูป



รูปที่ 2.20 การทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส

ข้อดีของสเต็ปมอเตอร์แบบนี้คือความถูกต้องของตำแหน่งและความเร็วที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น ส่วนข้อเสียคือ มีขนาดของมุมการสเต็ปขนาดใหญ่ทำให้ความละเอียดของสเต็ปต่อรอบน้อยเนื่องจากการทำให้มุมของสเต็ปเล็กลงจะต้องเพิ่มขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์และเพิ่มจำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องการเพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ที่มีโครงสร้างเป็นแม่เหล็กถาวรทำให้การสร้างให้มีขั้วแม่เหล็กหลายขั้วทำได้ยากและไม่สามารถสร้างสเต็ปขนาดเล็กได้

สเต็ปมอเตอร์แบบไฮบริด (Hybrid stepping motor)

สเต็ปมอเตอร์ชนิดนี้มีแกนโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร โดยมีการทำงานร่วมกันของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและแบบปรับค่าความเหนียวน่าได้ สำหรับโครงสร้างมีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์แบบปรับค่าความต้านทานได้แต่มีแม่เหล็กถาวรอยู่ตรงกลางระหว่างเฟสด้วย ทำให้ได้สนามแม่เหล็กซึ่งสร้างจากสเตเตอร์เป็นแบบผสม (Heteropolar field) จากสนามแม่เหล็ก 2 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กถาวร และสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดจากการกระตุ้นของขดลวด โครงสร้างของซีพินของสเตเตอร์จะใหญ่กว่าซีพินของโรเตอร์เล็กน้อยเพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งของการเคลื่อนที่

หลักการทำงานของไฮบริดสเต็ปมอเตอร์ที่แตกต่างจากสเต็ปมอเตอร์แบบปรับค่าความเหนี่ยวนำได้คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กจะไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเพียงอย่างเดียวแต่จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของซีพินด้วย ซึ่งซีพินถูกออกแบบเพื่อให้ได้โครงสร้างขนาดเล็ก และใช้แม่เหล็กถาวรเป็นแกนกลางเพื่อลดผลการออสซิลเลททางแมคคานิกส์

ข้อดีของไฮบริดสเต็ปมอเตอร์คือ มีขนาดสเต็ปขนาดเล็ก มีความละเอียดของสเต็ปต่อรอบสูง มีค่าทอร์คสูงกว่าแบบปรับค่าความเหนี่ยวนำได้ แต่มีแรงเฉื่อยทางแมคคานิกส์สูงกว่าเป็นข้อเสีย

2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

2.3.1 คุณสมบัติที่สำคัญของ PIC16F84

คุณสมบัติของ PIC16F84 จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. หน่วยประมวลผลกลางภายใน PIC16F84

- มีคำสั่ง 35 คำสั่ง ขนาด 14 บิต
- ทุกคำสั่งใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 1 ไซเคลของสัญญาณนาฬิกา หรือประมาณ 250 นาโนวินาทีที่ 4 MHz
- มีสเต็ก 8 ระดับ
- หน่วยความจำเป็นแบบ EEPROM
- มีขนาดหน่วยความจำซึ่งเป็นแบบเฟลชขนาด 1 K Word (สำหรับ 16F84 1 word มี 14 บิต) หน่วยความจำ EEPROM 64 byte หน่วยความจำแรม 68 byte ที่เป็น register

2. คุณสมบัติภายนอก

- มีขา input และ output ทั้งหมด 13 ขา
- กระแสซิงค์สูงสุด 25 mA ต่อขา
- กระแส source สูงสุด 20 mA ต่อขา
- มีไทมเมอร์ เคนต์เตอร์ ขนาด 8 บิต

2.3.3 การจัดขาของ PIC16F84

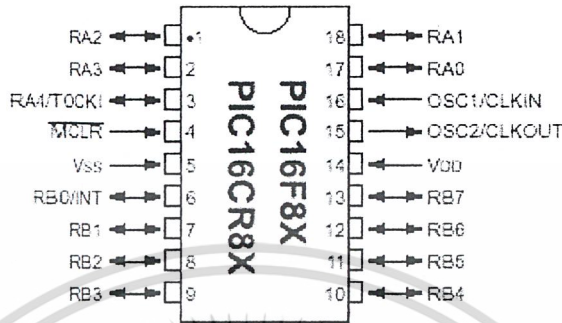
ไมโครคอนโทรลเลอร์บรรจุในตัวถัง 2 แบบ คือ PDIP ซึ่งมีลักษณะเดียวกับไอซีแบบ ตีนตะขาที่พบกันทั่วไป และ SOIC ซึ่งเป็นตัวถังแบบที่ใช้ติดตั้งบนผิวหน้าของแผ่นวงจรพิมพ์ โดย ตัวถังทั้ง 2 แบบนี้มีขาทั้งสิ้น 18 ขา มีตำแหน่งและหน้าที่ของขาต่าง ๆ ดังตารางและรูปต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของขาที่ต่อใช้งานทั้งหมดของ PIC16F84

ชื่อขา	ขาที่	ชนิดของขา	ชนิดของบัพเฟอร์ ที่ต่ออยู่	รายละเอียด
OSC1/CLKIN	16	อินพุต	ขมิตต์ทริกเกอร์/ซิมอส ⁽¹⁾	-เป็นขาสำหรับรับสัญญาณนาฬิกาจากคริสตัลหรือจาก แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
OSC2/CLKOUT	15	เอาต์พุต	-	-เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณนาฬิกาออก -หากทำงานในโหมดคริสตัลให้ต่อกับขาหนึ่งของคริสตัล หรือเซรามิกเรโซเนเตอร์ -หากทำงานในโหมด RC ขานี้ปล่อยลอยไว้ -สัญญาณนาฬิกาที่ออกจากขานี้จะมีความถี่เท่ากับ 1/4 ของ ความถี่ที่ขา OSC1
$\overline{\text{MCLR}}$	4	อินพุต	ขมิตต์ทริกเกอร์	-เป็นขาสำหรับรับสัญญาณรีเซ็ต โดยทำงานที่ลอจิก "0" -เป็นขาปรับแรงดันสำหรับโปรแกรมหรือเขียนข้อมูลลงใน ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย
ขาสัญญาณพอร์ต A				
RA0	17	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	-เป็นขาอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางทุกขา -เฉพาะขาที่ใช้เป็นขารับสัญญาณนาฬิกาให้แก่ TMR0 ด้วย
RA1	18	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	
RA2	1	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	
RA3	2	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	
RA4/T0CKI	3	อินพุต/เอาต์พุต	ขมิตต์ทริกเกอร์	
ขาสัญญาณพอร์ต B				
RB0/INT	6	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/ขมิตต์ทริกเกอร์ ⁽¹⁾	-เป็นขาอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางทุกขา -ขา RB0/INT ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ด้วย -ขา RB4-RB7 ยังใช้เป็นขาที่ทำให้เกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ ได้ โดยการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกที่ขานี้ -ขา RB6 ยังใช้เป็นขารับสัญญาณนาฬิกาของการโปรแกรม แบบอนุกรมด้วย ในขณะที่ขา RB7 ใช้เป็นขารับข้อมูลของการโปรแกรมแบบอนุกรม
RB1	7	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	
RB2	8	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	
RB3	9	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	
RB4	10	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	
RB5	11	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	
RB6	12	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/ขมิตต์ทริกเกอร์ ⁽²⁾	
RB7	13	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/ขมิตต์ทริกเกอร์ ⁽²⁾	
ขาไฟเลี้ยง				
Vss	5	ขาต่อไฟเลี้ยง	-	-ต่อกับกราวด์
VDD	14	ขาต่อไฟเลี้ยง	-	-ต่อกับไฟเลี้ยงบวก ตั้งแต่ 2-6 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PDIP, SOIC



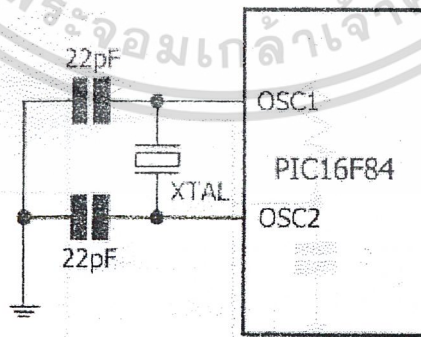
รูปที่ 2.22 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

2.3.4 การป้อนสัญญาณนาฬิกา PIC16F84

มี 4 แบบ คือ

- RC เป็นการ ใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุร่วมกับแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์เอง
- XT ใช้คริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์
- HS ใช้คริสตอลความถี่สูง
- LP ใช้คริสตอลกำลังงานต่ำ

โดยใน project จะป้อนสัญญาณนาฬิกาแบบ XT จะมีการต่อวงจรดังนี้ ตามรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.23 การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้คริสตอล

วงจรชนิดนี้มีความเที่ยงตรงสูงมาก ส่งผลให้การเขียนโปรแกรมสามารถคำนวณการหน่วงเวลาได้แม่นยำมากขึ้นด้วย สัญญาณนาฬิกาจะป้อนเข้าที่ขา OSC1 ถ้าความถี่ที่ป้อนเข้าไปมีค่า 4 MHz PIC16F84 จะทำการหารความถี่ลง 4 เท่าเพื่อให้เกิดสัญญาณนาฬิกาภายในมีค่า 1 MHz และขา OSC2 จะมีความถี่ 1/4 ของขา OSC1

2.3.5 การจัดสรรหน่วยความจำ

หน่วยความจำของ PIC16F84 แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำโปรแกรม

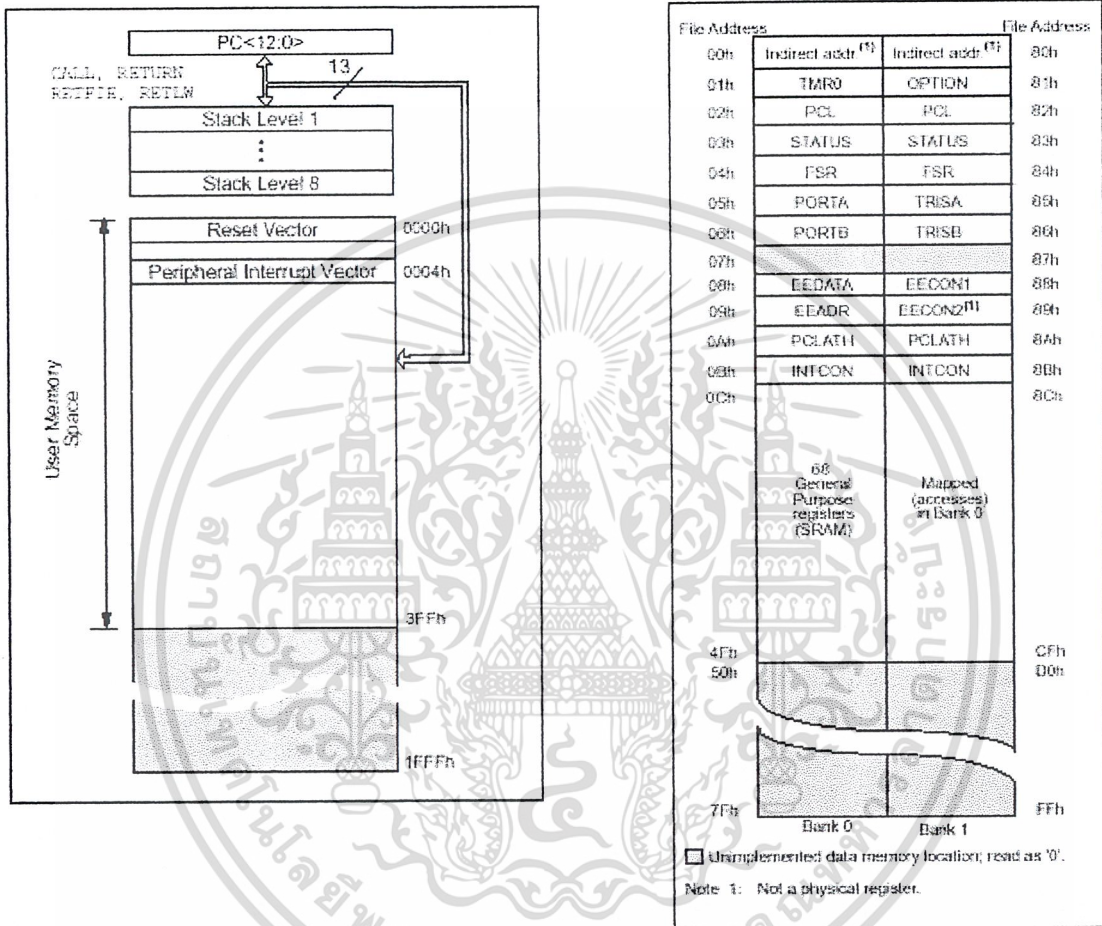
เป็นหน่วยความจำที่ใช้ในการโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ หรือใช้เป็นที่เก็บโปรแกรมมอนิเตอร์นั่นเอง หน่วยความจำโปรแกรมใน PIC16F84 นี้เป็นหน่วยความจำแบบแฟลช ซึ่งในขณะที่ทำงานปกติ หน่วยความจำโปรแกรมนี้จะอ่านได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น และจะสามารถเขียนหรือแก้ไขได้ก็ต่อเมื่อ PIC16F84 อยู่ในโหมดของการโปรแกรมเท่านั้น

หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลจะมีการจัดสรรเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register : SFR) และ รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (General Purpose Register : GPR) การจัดสรรหน่วยความจำจะจัดแบ่งเป็นแบงก์ (Bank) ดังรูป 2.23 การติดต่อในแต่ละแบงก์จะต้องกำหนดค่าของบิตควบคุม RP0 และ RP1 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ STATUS

2.3.6 รีจิสเตอร์ควบคุมของ PIC16F84

รีจิสเตอร์ไฟล์ของ PIC16F84 มีดังตารางที่ 2.2 และสามารถดูรายละเอียดการนำมาใช้ของรีจิสเตอร์แต่ละตัวได้จาก Data Sheet



(a) การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม

(b) การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูล

รูปที่ 2.24 การจัดสรรหน่วยความจำใน PIC16F84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของรีจิสเตอร์ไฟล์ทั้งหมดของ PIC16F84

แอดเดรส	ชื่อรีจิสเตอร์	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0	ค่าที่เกิดขึ้นหากเกิดเฟลวอร์ชอเนรริชิต	ค่าที่เกิดขึ้นหากเกิดการรีเซ็ตในแบบอื่น
แบงก์ 0											
00H	INDF	-ไม่สามารถทำการอ่านหรือเขียนได้โดยตรง -ใช้เก็บค่าที่รีจิสเตอร์ FSR เพื่อสำเนาข้อมูลโดยอ้อม								-----	-----
01H	TMR0	รีจิสเตอร์ถอยกลับและเคาน์เตอร์ขนาด 8 บิต								ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง
02H	PCL	รีจิสเตอร์เก็บค่า 8 บิตล่างของโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)								0000 0000	0000 0000
03H	STATUS ⁽²⁾	IRP	RP1	RP0	T0	PD	Z	DC	C	0001 1xxx	0000 0000
04H	FSR	ใช้แอดเดรสของหน่วยความจำข้อมูลโดยอ้อม								ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง
05H	PORTA	-	-	-	RA4 TOCM	RA3	RA2	RA1	RA0	---x xxxx	---0 0000
06H	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง
07H		ไม่มีการใช้งาน อ่านค่าได้ 0								-----	-----
08H	EEDATA	รีจิสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลของหน่วยความจำอีอีพรอม								ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง
09H	EEADR	รีจิสเตอร์สำหรับเก็บแอดเดรสของหน่วยความจำอีอีพรอม								ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง
0AH	PCLATH ⁽¹⁾	-	-	-	เป็นบัฟเฟอร์สำหรับเก็บค่า 5 บิตบนของ PC				---0 0000	---0 0000	
0BH	INTCON	GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 0000
แบงก์ 1											
80H	INDF	-ไม่สามารถทำการอ่านหรือเขียนได้โดยตรง -ใช้เก็บค่าที่รีจิสเตอร์ FSR เพื่อสำเนาข้อมูลโดยอ้อม								-----	-----
81H	OPTION	RBPU	INTEG	TOCS	TOSE	PS3	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111
82H	PCL	-ไม่สามารถทำการอ่านหรือเขียนได้โดยตรง -ใช้เก็บข้อมูล 8 บิตล่างของโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)								0000 0000	0000 0000
83H	STATUS ⁽²⁾	IRP	RP1	RP0	T0	PD	Z	DC	C	0001 1xxx	0000 0000
84H	FSR	ใช้แอดเดรสของหน่วยความจำข้อมูลโดยอ้อม								ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง
85H	TRISA	-	-	-	รีจิสเตอร์กำหนดทิศทางของพอร์ต A				---1 1111	---1 1111	
86H	TRISB	รีจิสเตอร์กำหนดทิศทางการนำออกข้อมูลของพอร์ต B								1111 1111	1111 1111
87H		ไม่มีการใช้งาน อ่านค่าได้ 0								-----	-----
88H	ECON1	-	-	-	EEIF	WRERR	WREN	WR	RD	---0 x000	---0 0000
89H	ECON2	รีจิสเตอร์ควบคุมหน่วยความจำอีอีพรอม 2 (ไม่สามารถอ่านหรือเขียนได้โดยตรง)								-----	-----
8AH	PCLATH	-	-	-	เป็นบัฟเฟอร์สำหรับเก็บค่า 5 บิตบนของ PC				---0 0000	---0 0000	
8BH	INTCON	GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 0000

หมายเหตุ : x หมายความว่า ไม่ทราบค่า, - หมายถึง บิตที่กีดกันโดยฮาร์ดแวร์, 1 หรือ 0 คือค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์แต่ละตัว - หมายถึง ไม่สามารถเขียนได้
 (1) F-ใน PCLATH บิต 5 บิตบนของรีจิสเตอร์ PC ได้แค่ค่าของ PC 5 บิตบนให้สามารถย้ายค่าให้ PCLATH ได้
 (2) บิต T0 และ PD ไม่ได้รับผลกระทบในกรณีที่เกิดการรีเซ็ตใน MPLCIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 ชุดคำสั่งของ PIC16F84

ตัวแปรที่ควรรู้

f เป็นค่าแอดเดรสของรีจิสเตอร์ไฟล์ ปกติมีค่า 0-127 และต้องเลือกเบงก์ให้ถูกต้องก่อน

เสมอ

d ใช้ระบุปลายทางที่เก็บผลลัพธ์ของการกระทำคำสั่ง มีได้ 2 ค่าคือ 0 และ 1

0 คือหลังจากการกระทำคำสั่งแล้วผลลัพธ์เก็บไว้ที่ รีจิสเตอร์ W

1 คือหลังจากการกระทำคำสั่งแล้วผลลัพธ์เก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ไฟล์

k คือค่าคงที่ในกรณีที่ใช้ คำสั่งในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก และยัง

หมายถึง แอดเดรสที่ต้องการกระโดดไปได้อีกด้วย

b คือข้อมูลระดับ bit ในรีจิสเตอร์ไฟล์

W รีจิสเตอร์ W

X ตำแหน่งที่ไม่สนใจ

Label คือตำแหน่งของ address ที่ต้องการกระโดดไป

 ค่าในระดับ bit

TOS ตำแหน่งบนสุดของ stack

PC โปรแกรมเคาน์เตอร์

[] option หรือส่วนเพิ่มเติม

() ค่าของตัวแปรหรือข้อมูล

การเขียนค่าคงที่ที่ต้องเขียน 0x00 โดย 2 หลักสุดท้ายคือเลขฐาน 16 แต่ถ้าต้องการเขียนเลขฐาน 10 ต้องตามหลังด้วย d เสมอ

ในตารางที่ 2.3 เป็นตารางสรุปชุดคำสั่งทั้งหมดของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ทั้งนี้ยังไม่รวมคำสั่งเทียมที่ใช้ประกอบในการเขียนโปรแกรม ซึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้ซอฟต์แวร์แอสเซมเบลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ควรใช้โปรแกรม MPASM ซึ่งผลิตโดยไมโครชิป เทคโนโลยี ซึ่งเป็นผู้ผลิตตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นี้

สามารถดูตารางการใช้คำสั่งทั้งหมดได้จากภาคผนวกท้ายเล่ม

พื้นฐานการใช้งาน PICBASIC PRO เบื้องต้น

PICBASIC PRO (PBP) เป็น COMPILER ที่ใช้งานได้ง่ายและแก้ไขได้ด้วยความรวดเร็ว ซึ่งเป็นคุณสมบัติโดยทั่วไปของภาษาระดับสูง PBP มีความใกล้เคียงกับ BASIC STAMP โดยมีการพัฒนาให้ดีขึ้นในบางส่วน เช่น IF...THEN...ELSE...ENDIF

PICBASIC PRO สามารถเลือกใช้งานได้กับ PIC หลายรุ่นโดยเฉพาะ PIC16F84 ซึ่งเป็นรุ่นที่ PICBASIC PRO ได้สนับสนุนการทำงานและเหมาะสำหรับการเขียนโปรแกรมทดลองคำสั่งเบื้องต้น แต่เอกสารฉบับนี้จะอ้างอิงการทำงานของ PIC16F628 เป็นหลัก

การโปรแกรม PIC16F628 เพื่อใช้งานนั้นต้องมีการเรียกใช้โปรแกรมดังต่อไปนี้

- TEXT EDITOR เพื่อใช้ในการเขียน CODE โปรแกรม โดยใช้ส่วนขยายเป็น .BAS อาจจะเลือกใช้ EDIT (MS-DOS) , NOTEPAD (WINDOWS) หรือ WORD PROCESSORS อื่นๆ ก็ได้
- PBP สำหรับการ COMPILE CODE โปรแกรม (*.BAS) เป็น HEX FILE (*.HEX)
- EPICWIN สำหรับการ DOWNLOAD โปรแกรม (*.HEX) ลงสู่ PIC

หมายเหตุ

สามารถหาใช้งาน โปรแกรมต่างๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นให้สามารถใช้งานง่าย แก้ไขได้รวดเร็ว เช่น CD-LITE , PIC MATE (สามารถ DOWNLOAD ได้จาก WWW.MELABS.COM)

ถ้าจะใช้งานโปรแกรมเหล่านี้ต้องมีการ SET PATH ซึ่งเป็นที่อยู่ของ SOURCE CODE , COMPILER , PROGRAMMER เมื่อใช้งานได้แล้วจะทำให้ COMPILE ได้เร็วและแก้ไขที่ผิดได้ทันที ภายในหน้าต่างเดียวกัน

รูปแบบการเรียกใช้งาน PBP (MS-DOS)

PBP OPTION FILENAME

OPTION ต้องต้องเริ่มด้วยเครื่องหมาย “-” โดยปกติถ้าหากว่าไม่ได้มีการเขียน OPTION โปรแกรมจะเข้าใจว่าเป็น -P16F84 ซึ่งในที่นี้ต้องใส่ค่าเป็น -P16F628 OPTION ยังมีให้เลือกหลายรูปแบบและสามารถกระทำได้พร้อมๆ กัน

FILENAME เป็นชื่อไฟล์ที่ต้องการ COMPILE โดยปกติโปรแกรมจะเข้าใจว่ามีส่วนขยายเป็น .BAS

สามารถดูคำสั่งทั้งหมดของ PICBASIC PRO COMPILER ได้จากภาคผนวกท้ายเล่ม

2.4 การสื่อสารแบบอนุกรม

ในการรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์แบบอนุกรมเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่ก็สามารถรับส่งคราวละหลาย ๆ บิตได้ หากแต่ต้องมีการตกลงกันระหว่างตัวส่งและตัวรับว่า จะรับส่งข้อมูลกันคราวละกี่บิต ตัวรับจะต้องรอรับข้อมูลให้ครบทุกบิตเสียก่อนจึงทำการประมวลผล ส่งผลการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมอาจมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน แต่ในด้านจำนวนสายสัญญาณแล้วการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะใช้จำนวนสายที่น้อยกว่ามาก ทำให้ระยะทางในการสื่อสารทำได้ไกลกว่า

2.4.1 รูปแบบของการสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส และการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสก็คือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นหนึ่งจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันจะใช้สายอย่างน้อยที่สุด 3 เส้น คือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และกราวด์

การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วยเหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส แต่จะต้องมีการกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งนี้ว่า อัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือ บอดเรต (baudrate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second : bpt) ซึ่งค่าบอดเรตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 ได้แก่ 110 , 150 , 300 , 600 , 1200 , 2400 , 4800 , 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที

2.4.2 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

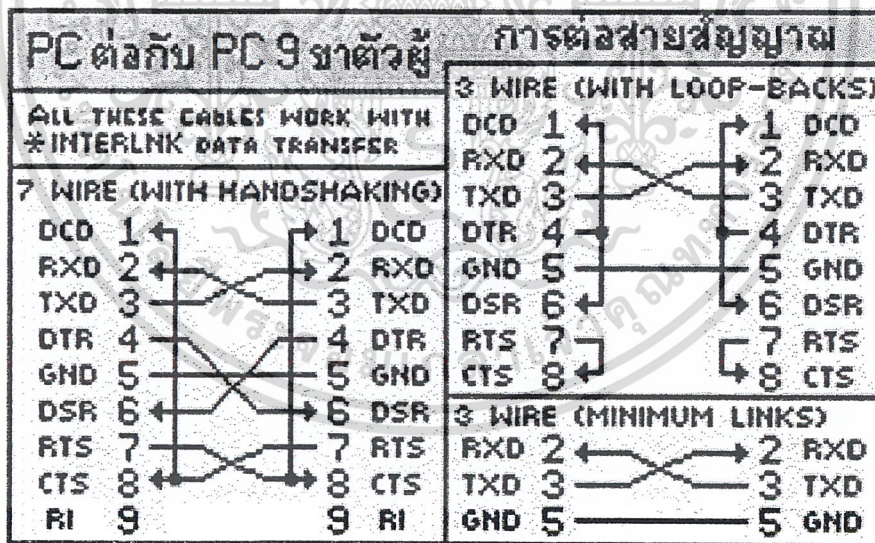
มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่า สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกว่า EIA RS-232

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผล เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะต้องกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

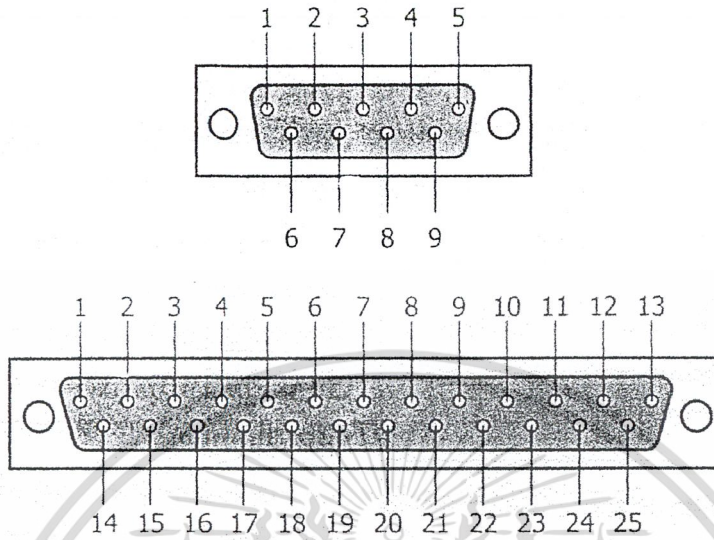
ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และ DCE อย่างหนึ่งที่เราเห็นได้ชัด คือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นตัวผู้นั่นเอง และการรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ที่ความยาวของสายสูงสุดที่ 20 เมตร

2.4.3 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

ช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต ซึ่งปัจจุบันได้เปลี่ยนไปใช้แบบ DB-9 แล้ว ซึ่งสามารถดูขาต่าง ๆ และการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกได้จากรูปด้านล่างนี้



รูปที่ 2.25 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่าง ๆ



รูปที่ 2.26 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 โดยแบ่งตามชนิด DB-9 และ DB-25 ตามลำดับ

หน้าที่ของขาต่างๆ

Data Carrier Detect : DCD ขานี้จะแอกติฟเมื่อมีการส่งสัญญาณจากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น Modem

Receive Data : RxD ขานี้ใช้รับข้อมูลอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บได้ไปไว้ที่รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์

Transmitted Data : TxD ขานี้ใช้ส่งข้อมูลอนุกรมออกจากยังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไป

Dataterminal Ready : DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR นั้นต้องเชื่อมกับ DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง ในกรณีที่เป็น Null Modem ที่ใช้สายในการเชื่อมต่อ 3 สาย จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน

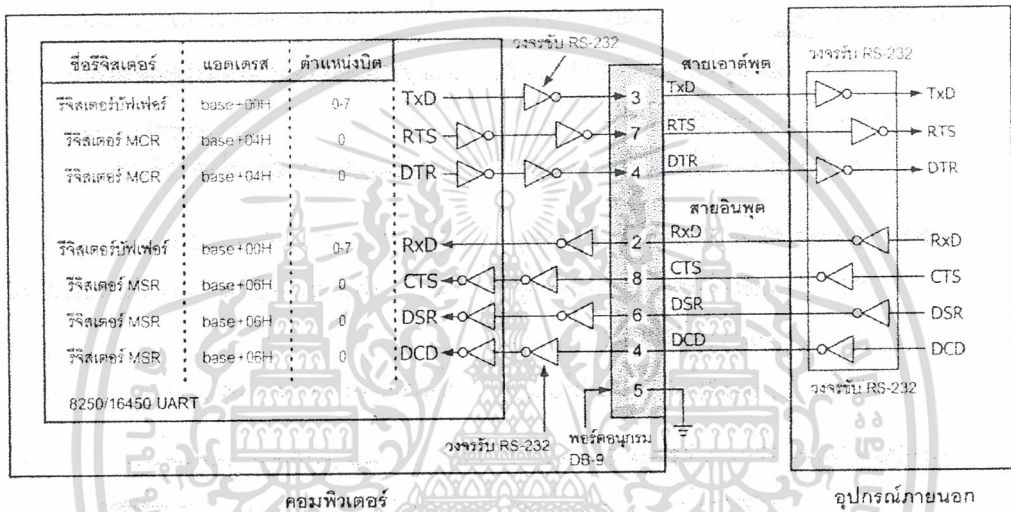
Signal Ground : GND ขากราวน

Data Set Ready : DSR ขานี้ใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขานี้จะใช้รับข้อมูลจากภายนอกที่ถูกส่งออกมาจากขา DTR

Request To Send : RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูล กลับมายังคอมพิวเตอร์ ถ้าต่อแบบ null modem 3 สายต้องต่อ RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน

Clear To Send : CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา Tx/D จะถูกส่งออกไป ขานี้ใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมจะรับข้อมูลหรือไม่

Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะเรียกจากสายโทรศัพท์ ขานี้จะใช้งานก็ต่อเมื่อติดต่อกับ โมเด็มและ โปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น



รูปที่ 2.27 โครงสร้างทาง Hardware ของพอร์ตอนุกรม

2.4.4 การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานพอร์ตอนุกรม

คอนโทรล MSComm

สำหรับ Visual basic จะมี MSCOMM32.OCX ที่ออกแบบมาใช้กับระบบปฏิบัติการ 32 บิต MSComm จัดเตรียมทางเลือกเอาไว้ 2 ทาง ทางแรกคือ การสื่อสารข้อมูลที่กระตุ้นด้วยเหตุการณ์ เป็นรูปแบบการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการตอบสนองแบบทันทีทันใด และอีกทางคือ เป็นการคอยตรวจสอบค่าเหตุการณ์และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วยการดูค่าที่เปลี่ยนแปลงภายในคุณสมบัติ CommEvent หลังจากให้โปรแกรมทำงานในฟังก์ชันต่าง ๆ ไปเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนโทรล MSComm 1 ตัวสามารถควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมได้ 1 พอร์ต ถ้าต้องการควบคุมมากกว่า 1 พอร์ต จะต้องใช้ MSComm มากกว่า 1 พอร์ตจะต้องใช้คอนโทรล MSComm มากกว่า 1 ตัว เพื่อควบคุมพอร์ตในแต่ละพอร์ต แอคเคสของพอร์ตอนุกรมและแอคเคสของการเกิดอินเตอร์รัปต์สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการแก้ไขค่าที่ Control Panel การกำหนดคุณสมบัติของ MSComm Control ให้สามารถติดต่อกับพอร์ตได้

- **CommPort** คือ เลือกคอมพอร์ตที่เราจะต่อใช้งาน มาดูการเขียนโค้ดกัน

รูปแบบ `object.CommPort [= value]`

ตัวอย่าง `MSComm1.CommPort=1`

ในที่นี้เลือกจะใช้ Com1 อยู่ที่ด้านหลังเครื่องคอมฯ

- **Settings** คือ การตั้งค่าของการรับส่งข้อมูล ซึ่งจะต้องรู้ด้วยว่าอัตราบอด ของอุปกรณ์ที่จะติดต่อกันด้วยเป็นเท่าไร โดยมีรายละเอียดการใส่ต่าง ๆ ค่าดังนี้

รูปแบบ `MSComm1.Settings = " Baud(อัตราการรับส่งข้อมูล) , Parity (ถ้าไม่ใช่ใส่ N , จำนวนบิตข้อมูล , บิตสต๊อป) "`

ตัวอย่าง `MSComm1.Settings = " 1200 , N , 8 , 1 "`

- **PortOpen** คือ จะเปิดให้พอร์ตใช้งานหรือไม่ ถ้าเปิด =True ถ้าปิด =False

รูปแบบ `object.PortOpen [= value]`

ตัวอย่าง `MSComm1.PortOpen=True`

- **input** คือ อ่านค่าและลบค่าขบวนข้อมูลจากบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบ `object.input`

คุณสมบัติ InputLen เป็นการกำหนดจำนวนของตัวอักษรที่จะอ่าน โดยคุณสมบัติของ input การกำหนดให้ InputLen เท่ากับ 0 เป็นการกำหนดให้ input อ่านค่าข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูลทั้งหมด

- **InputLen**คือ กำหนดขนาดขณะที่มีข้อมูลเข้ามาให้ไปอ่านข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในบัฟเฟอร์ มาดูการเขียนโค้ดกัน

รูปแบบ `object.InputLen [= value]`

ตัวอย่าง `MSComm1.InputLen = 1`

- **InputMode** คือการกำหนดค่าและคีนค่าชนิดของข้อมูลที่ได้รับ โดยคำสั่ง Input

รูปแบบ `object.InputMode [= value]`

สามารถเลือกได้ 2 ประเภท

1. comInputModetext สำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปข้อความตัวอักษรตามมาตรฐาน ANSI โดยต้องกำหนดค่าเป็น 0 และค่าเริ่มต้นของการรับค่าข้อมูลก็เป็นค่านี้
2. comInputmodeBinary สำหรับข้อมูลที่เก็บในรูปแบบไบนารีรวมกันอยู่เป็นไบต์ข้อมูล

- **Output** ใช้ในการส่งขบวนการข้อมูล

รูปแบบ Object.Output [= value]

Value สามารถเป็นค่าข้อมูลตัวอักษรหรือข้อมูล ไบนารีก็ได้

2.5 วงจรจ่ายแรงดันไฟตรง (DC supply)

2.5.1 ส่วนประกอบที่สำคัญ

โดยวงจรจ่ายแรงดันไฟตรงนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

1. หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าของระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้มีค่าเป็นไปตามการออกแบบหรือคำนวณไว้ ซึ่งหม้อแปลงมีทั้งแบบแปลงขึ้น (Step Up) และแบบแปลงลง (Step Down) โดยแรงดันไฟฟ้าสลับที่ผ่านออกมาจากหม้อแปลงนั้นจะถูกเปลี่ยนระดับเท่านั้น ส่วนรูปร่างสัญญาณ และความถี่ยังคงเหมือนเดิม

2. วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

วงจรเรียงกระแสจะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยจะได้ไฟกระแสตรงในลักษณะที่คล้าย Pulse คือมีการกระเพื่อมสูงมาก สำหรับการหาค่าแรงดันไฟตรงทำโดยหาค่าเฉลี่ยของรูปสัญญาณ และมีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่สำคัญดังตารางที่ 2.3

โดย	V_P	คือแรงดันไฟตรงเอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส (V_P)
	V_{AC}	คือค่าแรงดันไฟสลับที่จ่ายให้กับวงจรเรียงกระแส (V_{RMS})
	F_R	คือความถี่ของการกระเพื่อมของแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส (Hz)
	f_{line}	คือความถี่ของไฟสลับ (Hz)
	$I_{D(DC)}$	คือกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านไดโอดของวงจรเรียงกระแส (A)
	$I_{O(DC)}$	คือกระแสไฟตรงเอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส (A)
	V_{AC}	คือค่าแรงดันไฟสลับที่จ่ายให้กับวงจรเรียงกระแส (V_{RMS})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สรุปคุณสมบัติที่สำคัญของวงจรเรียงกระแสแบบต่าง ๆ

คุณสมบัติ	HW	FWCT	FWB
V_p (V_p)	$V_p = \sqrt{2} V_{AC} - 0.7$	$V_p = \sqrt{2} V_{AC} - 0.7$	$V_p = \sqrt{2} V_{AC} - 1.4$
F_R (Hz)	f_{line}	$2 f_{line}$	$2 f_{line}$
$I_{D(DC)}$ (A)	$I_{O(DC)}$	$I_{O(DC)} / 2$	$I_{O(DC)} / 2$

3. วงจรกรองแรงดันกระเพื่อม (Ripple Filter)

วงจรกรองลดแรงดันกระเพื่อม จะทำหน้าที่กรองแรงดันกระเพื่อมให้ได้ขนาดของแรงดันกระเพื่อมน้อยลง ซึ่งโดยทั่วไปเปอร์เซ็นต์รีปเปิลควรน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

วงจรกรองแรงดันสัญญาณสามารถสร้างขึ้นได้จากอุปกรณ์ที่เป็นรีแอคทีฟ (Reactive) ได้แก่ ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะต่อในลักษณะความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ซึ่งในที่นี้จะใช้ตัวเก็บประจุนำมาต่อขนานกับเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส โดยค่าตัวเก็บประจุและแรงดันไฟตรงที่ได้หาได้จาก

$$C = \frac{I_o}{(F_r \Delta V_{DC})} \dots(2.6)$$

และ

$$V_{\alpha(DC)} = \sqrt{2} V_{AC} - V_D - 0.5 \Delta V_{DC} \dots(2.7)$$

โดยที่

C คือ ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ (F)

I_o คือ กระแสไฟตรงที่ทางออก (A)

ΔV_{DC} คือ ค่าขนาดของแรงดันกระเพื่อม (V_{pp})

$V_{\alpha(DC)}$ คือ ค่าแรงดันไฟตรงที่ทางออก (V)

V_{AC} คือ ค่าแรงดันไฟสลับที่จ่ายให้กับวงจรเรียงกระแส (V_{RMS})

V_D คือ แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด (V) ซึ่งมีค่า 0.7 V สำหรับ HW, FWCT และมีค่า 1.4V

สำหรับ FWB

F_r คือ ความถี่ของการกระเพื่อม (Hz)

ซึ่งจะมีค่า

$$F_r = f_{line} \text{ สำหรับ HW} \quad \text{และ} \quad F_r = 2 f_{line} \text{ สำหรับ FW}$$

เมื่อ f_{line} คือ ความถี่ของไฟสลับ (Hz)

ไฟตรงที่ได้หลังจากวงจรกรองลดแรงดันกระแสเพิ่มแล้ว ยังคงมีการกระเพื่อมอยู่บ้าง เราใช้ค่าตัวประกอบของการกระเพื่อม (Ripple Factor) : R หรือ ร้อยละของการกระเพื่อม (Percent Ripple) : % R เป็นเครื่องบ่งชี้ว่าไฟตรงนั้นมีคุณภาพอย่างไร ค่าของ R และ % R นิยามโดย

$$R = \text{ค่า RMS ของแรงดันกระเพื่อม} / \text{ค่าของแรงดันไฟตรง}$$

$$\% R = 100 R$$

โดยการประมาณว่าแรงดันกระเพื่อมมีรูปคลื่นเป็นสามเหลี่ยม ค่าของ R และ %R จะเป็น

$$R = \frac{\Delta V_{\text{DC}}}{(2\sqrt{3} V_{\text{O(DC)}})} \quad \dots(2.8)$$

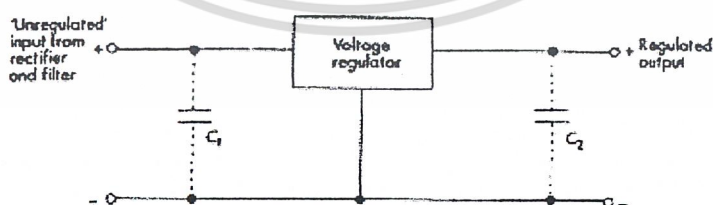
$$\% R = \frac{100 \Delta V_{\text{DC}}}{(2\sqrt{3} V_{\text{O(DC)}})} \quad \dots(2.9)$$

4. วงจรแรงดันไฟตรงคงที่ (Voltage Regulator)

วงจรแรงดันไฟตรงคงที่ที่ใช้สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการไฟตรงที่เรียบมาก ๆ วงจรแรงดันไฟตรงคงที่จะทำหน้าที่กำจัด แรงดันกระเพื่อมที่ยังหลงเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยให้หมดไป แรงดันไฟตรงที่ได้จะมีคุณภาพใกล้เคียงกับแบตเตอรี่มาก สามารถสร้างได้จากอุปกรณ์ทรานซิสต์พื้นฐานหรือใช้วงจรรวม (IC) ได้

2.5.2 วงจรเรกกูเลเตอร์โดยใช้ IC 3 ขา

วิธีการต่อ IC 3 ขา โดยทั่วไปแสดงในรูปที่ 2.28 ทุกตัวจะมีวงจรป้องกันการลัดวงจร วงจรตัดการทำงานอัตโนมัติ และโดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่ม



รูปที่ 2.28 การต่อ IC 3 ขา โดยทั่วไป

ตัวเก็บประจุ C1 ควรจะมีค่าประมาณ 100 – 200 nF สำหรับ ceramic หรือ 2 μF สำหรับ tantalum เพื่อให้วงจรทางด้านอินพุทของ IC มีเสถียรภาพมากขึ้น

ตัวเก็บประจุที่มีค่าประมาณ 1 μF สำหรับ tantalum เพื่อให้การ regulation มี noise rejection ที่ดี และป้องกันการเกิด transient

สิ่งแรกที่เราจะต้องพิจารณาคือ การทนกำลังงานสูงสุดของ IC และความร้อน เพราะถ้า IC มีอุณหภูมิสูงเกินไป วงจรปิดการทำงานอัตโนมัติจะทำงานดังนั้นการระบายความร้อนที่ดีจึงเป็นเรื่องจำเป็น

ต่อไปที่เราพิจารณาคือ drop out voltage ซึ่งคือผลต่างของความต่างศักย์ระหว่างอินพุทและเอาต์พุท ซึ่งขึ้นอยู่กับกระแสโหลด และอุณหภูมิด้วย เพื่อให้วงจรเพียงพอที่จะทำงานได้อย่างปลอดภัย โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 1.5 – 2 V

อีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญก็คือการพิจารณา Ripple ก่อนเข้าอินพุทว่าจะยังสามารถทำให้วงจรทำงานได้อยู่ตลอดช่วงกว้างของอินพุทที่เปลี่ยนแปลงได้หรือไม่ด้วย

บทที่ 3

การออกแบบระบบการติดตามวัตถุเคลื่อนที่

3.1 การออกแบบวงจรจ่ายแรงดันไฟตรง (DC supply)

เนื่องจากวงจรควบคุมมอเตอร์ต้องใช้ไฟเลี้ยง +5 V และ +12 V ดังนั้นจึงออกแบบวงจรจ่ายไฟตรงได้ดังนี้

กำหนดให้

- แรงดันไฟตรงเอาต์พุตทั้งสอง มีขนาด +5 V และ +12 V
- กระแสไฟตรงเอาต์พุตประมาณ 1.5 A (สำหรับ +5 V)
และ 0.5 A (สำหรับ +12 V)
- เปอร์เซ็นตริปเปิ้ล (%R) ที่ทางเข้าส่วนเรกกูเลเตอร์ (regulator) มีค่าประมาณ 5 - 15 %

จากข้อกำหนดทั้งสามสามารถออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.1

3.1.1 ส่วนเรกกูเลเตอร์

จากข้อกำหนดในค่ากระแสและแรงดันเอาต์พุตทำให้สามารถเลือกใช้ ไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ 7805 และ 7812 ซึ่งสามารถจ่ายแรงดันไฟตรงคงที่ที่ +5 V และ +12 V ตามลำดับ และสามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ 1 A พร้อมด้วยตัวเก็บประจุที่ทางเข้าของเรกกูเลเตอร์ $C_{2,5,7}$ 0.33 μF /63 V (polyester) เพื่อป้องกันการออสซิลเลท และต่อตัวเก็บประจุที่ทางออกของเรกกูเลเตอร์ $C_{3,6,8}$ มีค่า 100 μF /16 V (electrolyte) ขนานกับ 0.1 μF /50 V (ceramic) เพื่อปรับปรุงการตอบสนองชั่วขณะ พร้อมทั้งต่อขานวงจรขับ LED ที่ทางออกด้วย เพื่อแสดงผลการทำงานของวงจรทั้งสองส่วน

ในกรณีของเรกกูเลเตอร์ที่จ่าย +5 V ที่ต้องการกระแสไฟตรงเอาต์พุตสูงถึง 1.5 A ซึ่งเกินขีดจำกัดของไอซีเบอร์ 7805 นั้น จำเป็นจะต้องต่ออุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มค่ากระแสที่ทางออกของ วงจรแรงดันคงที่ โดยเลือกใช้วิธีการเพิ่มค่ากระแสที่ทางออกแบบไม่มีอัตราส่วน โดยการต่อทรานซิสเตอร์ (PNP) Q1 โดยให้รอยต่อคอลเลคเตอร์ (BC junction) ต่อคร่อมขาอินพุตและเอาต์พุตของ ไอซี ในขณะที่รอยต่ออิมิตเตอร์ (BE junction) ต่อคร่อมความต้านทาน R3 ที่ต่ออนุกรมที่ทางเข้าของเรกกูเลเตอร์เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานหรือไม่ทำงานของ Q1 ซึ่งในที่นี้จะกำหนดให้ Q1 เริ่มทำงานเมื่อกระแสไหลลดเท่ากับ $I_{TR-ON} = 0.15 \text{ A}$ ทั้งนี้กำหนดจากสมการที่ 3.1 ที่กำหนดให้ $0.1\text{A} \leq I_{TR-ON} \leq 1\text{A}$ ซึ่งจะทำให้หาค่าของ R3 ได้จาก

$$R3 = \frac{0.7V}{I_{TR} - ON} \dots(3.1)$$

$$= \frac{0.7}{0.15} = 4.67 \Omega$$

จึงเลือกใช้ความต้านทาน $R3 = 5 \Omega$ 5 W

และทรานซิสเตอร์ Q1 เบอร์ MJE2955 ตัวถัง TO-3 เพื่อความสามารถทางด้านการระบายความร้อนที่มากขึ้น

3.1.2 ส่วนหม้อแปลงแรงดัน

เนื่องจากต้องการใช้หม้อแปลงเก่ามาปรับปรุงใช้งานให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่มีแทปกวางในขดลวดทุกขดภูมิ แบ่งแรงดันออกเป็น 6, 9, และ 12 Vrms ตามลำดับ จ่ายกระแสรวมได้สูงสุด 3 Arms ซึ่งสามารถใช้ระดับแรงดัน 9 Vrms เป็นอินพุทให้กับส่วน +5 V ในขณะที่สามารถใช้ระดับแรงดัน 12 Vrms เป็นอินพุทให้กับส่วน +12 V ได้เช่นกัน และเมื่อพิจารณากระแสที่ต้องการพบว่า

$$I_{AC(SEC)} = \sqrt{2} (I_{O(DC)})$$

$$= \sqrt{2} (1.5 + 0.5)$$

$$= 2.83 \text{ A} \approx 3 \text{ A}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้หม้อแปลงเก่าที่มีแทป 6, 9, และ 12 Vrms ตามลำดับ จ่ายกระแสรวมได้สูงสุด 3 Arms นี้

3.1.3 ส่วนวงจรเรียงกระแส

เนื่องจากต้องการความราบเรียบของสัญญาณไฟตรงพอสมควรจึงออกแบบให้เป็นวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Full Wave Bridge rectifier : FWB) แบบที่ใช้ไดโอดต่อกัน 4 ตัว โดยค่าแรงดันและกระแสสูงสุดที่ไดโอดแต่ละตัวควรมี ในขณะที่มีการเฟือค่าความปลอดภัยไว้ 2 เท่า สำหรับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำพิจารณาจากตารางที่ 2.1 จะได้

$$\begin{aligned} \text{ค่าการทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด} \quad PIV &\geq 2\sqrt{2} V_{AC} \\ &\geq 25.46 \text{ V (สำหรับ +5 V)} \\ &\geq 42.43 \text{ V (สำหรับ +12 V)} \\ \text{ค่ากระแสที่ไหลผ่านได้สูงสุด} \quad I_{D(bridge)} &\geq I_{O(DC)} \\ &\geq 2 \text{ A (สำหรับ +5 V)} \\ &\geq 1 \text{ A (สำหรับ +12 V)} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงเลือกใช้ไดโอด 1N5402 (200 V 3 A) จำนวน 8 ตัว

3.1.4 ส่วนวงจรกรองแรงดัน

จากส่วนเรกกูเลเตอร์ จะกำหนดให้มีแรงดันตกคร่อมไอซีประมาณ 3 - 4 V ทำให้แรงดันไฟตรงเอาต์พุทของวงจรกรองแรงดัน ($V_{O(DC)}$) มีค่าเป็น 9 V (สำหรับ +5 V) และ 15 V (สำหรับ +12 V) ในขณะที่ใช้แรงดันไฟสลับ 9 Vrms และ 12 Vrms เป็นแรงดันอินพุทของวงจรเรียงกระแสตามลำดับ และพบว่าแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดขณะเรียงกระแสสำหรับ FWB (V_D) มีค่า 1.4 V จากการพิจารณาสมการ

$$V_{O(DC)} = \sqrt{2} V_{AC} - V_D - 0.5 \Delta V_{DC} \quad \dots(2.5)$$

จัดรูปใหม่จะได้

$$\Delta V_{DC} = 2 \left[\sqrt{2} V_{AC} - V_{O(DC)} - V_D \right]$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} \Delta V_{DC+5V} &= 2 \left[\sqrt{2} (9) - (9) - (1.4) \right] \\ &= 4.65 \text{ V}_{PP} \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} \Delta V_{DC+12V} &= 2 \left[\sqrt{2} (12) - (15) - (1.4) \right] \\ &= 1.14 \text{ V}_{PP} \end{aligned}$$

พบว่าแรงดันกระเพื่อมที่เกิดขึ้น สำหรับภาค +5 V และ +12 V เท่ากับ 4.65 V_{PP} และ 1.14 V_{PP} ตามลำดับ และสามารถหาค่าร้อยละของการกระเพื่อม (Percent Ripple) ได้จากสมการ

$$\% R = 100 \Delta V_{DC} / (2 \sqrt{3} V_{O(DC)}) \quad \dots(2.7)$$

แทนค่าจะได้

$$\% R_{+5V} = 100 (4.65) / (2 \sqrt{3} (9)) = 14.9 \%$$

$$\text{และ} \quad \% R_{+12V} = 100 (1.14) / (2 \sqrt{3} (15)) = 2.20 \%$$

ซึ่งค่าทั้งสองอยู่ในช่วงที่ต้องการเบื้องต้น จึงใช้ค่าแรงดันกระเพื่อมทั้งสองนี้หาค่าตัวเก็บประจุได้จากสมการที่ 2.4 โดยแทนค่า F_r 100 Hz เนื่องจากใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นบริดจ์ (FWB)

$$C = I_O / (F_r \Delta V_{DC}) \quad \dots(2.4)$$

แทนค่าจะได้

$$C_{+5V} = 1.5 / [(100)(4.65)]$$

$$\begin{aligned}
 &= 3218.88 \mu\text{F} \approx 3300 \mu\text{F} \\
 \text{และ} \quad C_{+12\text{V}} &= 0.5 / [(100)(1.14)] \\
 &= 4385.5 \mu\text{F} \approx 3300 \mu\text{F}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุกรองแรงดัน $C_{+5\text{V}}$ และ $C_{+12\text{V}}$ ค่า $3300 \mu\text{F}$ 16 V

3.1.5 ฟิวส์

คำนวณได้จากกฎการอนุรักษ์พลังงานที่หม้อแปลง โดยการประมาณว่า หม้อแปลงมีการสูญเสีย 20% ทำให้ได้

$$\begin{aligned}
 \frac{P_{\text{IN}}}{P_{\text{O}}} &= \frac{125}{100} \\
 I_{\text{FUSE}} &= \frac{1.25 \sum (V_{\text{ODC}} \times I_{\text{ODC}})}{V_{\text{AC}}} \\
 I_{\text{FUSE}} &= \frac{1.25 \times (5 \times 1.5 + 12 \times 0.5)}{220} \\
 I_{\text{FUSE}} &= 76.70 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

แทนค่าจะได้

ดังนั้นจึงใช้ฟิวส์ขนาด 0.1 A แบบขาดซ้ำ

3.2 การออกแบบวงจรในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการออกแบบวงจรในส่วนนี้ เราจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 เป็นตัวประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์อีกทีหนึ่ง สามารถออกแบบได้ดังรูปที่ 3.2 โดยกำหนดให้

- ขา RA0 เป็นขารับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม
- ขา RA1 เป็นขาส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์กลับไปยังคอมพิวเตอร์
- ขา RA1-4 เป็นขารับข้อมูลที่ส่งมาจากลิวิตสวิทช์ ตรวจสอบตำแหน่งของมอเตอร์
- ขา RB0-3 เป็นขาส่งข้อมูลพัลส์ไปควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกน Y (step motor 1)
- ขา RB4-7 เป็นขาส่งข้อมูลพัลส์ไปควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกน X (step motor 2)

ทั้งนี้ยังมีอุปกรณ์พื้นฐานการทำงานที่จำเป็นต้องต่อกับขาต่างของไมโครคอนโทรลเลอร์อีกดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา OSC1 , OSC2 ต่อพร้อมด้วยคริสตอลกำเนิดความถี่ 4 MHz พร้อมด้วยตัวเก็บประจุ C6 และ C7 ค่า 22 pF
- ขา $\overline{\text{MCLR}}$ ต่ออยู่กับวงจรรีเซ็ต ที่ประกอบด้วยความต้านทาน R6 ค่า 4.7 k Ω ต่อจากไฟเลี้ยง 5 V กับ สวิตช์รีเซ็ต S5 ลงสู่กราวด์
- ขา V_{CC} และ GND ต่อกับไฟเลี้ยง 5 V และ กราวด์ ตามลำดับ

3.3 การออกแบบวงจรในส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์

3.3.1 ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ L293D

เนื่องจากสแต็ปมอเตอร์ที่ใช้เป็นตัวหมุนกลิ้งในทิศทางแกน Y นั้นเป็นสแต็ปมอเตอร์ชนิดไบโพลาร์ (Bipolar) ซึ่งมีโครงสร้างและการทำงานรวมทั้งการใช้งานแตกต่างจากสแต็ปมอเตอร์โดยทั่วไปที่เป็นแบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) เราจึงต้องใช้วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ชนิดนี้แตกต่างจากทั่ว ๆ ไป โดยที่หลักการที่สำคัญสำหรับไบโพลาร์ (Bipolar) ก็คือ วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์จะต้องสามารถป้อนไฟให้ขดลวดของมอเตอร์ได้ 2 ทิศทางหมายถึงสามารถกลับขั้วได้ และจะต้องใช้วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ แบบนี้ทั้งหมด 2 ชุด เพื่อให้สามารถขับสแต็ปมอเตอร์ แบบนี้ได้ 1 ตัว สำหรับมอเตอร์ที่เราใช้เป็นสแต็ปมอเตอร์ 12 V 50 Ω เราจึงเลือก IC 2293D ซึ่งเป็น IC Driver มาใช้เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สามารถรองรับกับมอเตอร์ชนิดนี้ได้ โดย IC นี้สามารถรองรับแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ได้ถึง 36 V และสามารถรองรับ กระแสของมอเตอร์ได้ถึง 0.6 A (Continuous Current แต่สามารถใช้ Peak Current ได้ถึง 1.2 A) โดยภายใน IC จะมีวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์อยู่ 2 ชุด นั่นคือสามารถใช้ IC เบอร์นี้เพียงตัวเดียวเท่านั้น ด้วยราคาที่เหมาะสมและสะดวกในการใช้งาน โดยเวลาเรานำไปใช้จะสังเกตเห็นว่า มี V_{CC} (Supply) อยู่ 2 ขา ซึ่ง V_{CC} ที่ 1 เป็น แรงดันไฟฟ้า ที่ใช้ในการ Enable วงจรทั้ง 2 ชุด ให้ทำงานได้ (1 ทำงาน และ 0 ไม่ทำงาน) ในที่นี้เราต้องการให้วงจรทั้ง 2 ชุด ทำงานตลอดเวลา จึงป้อนค่า " 1 " (5V) ให้กับ EN1 และ EN2 ส่วน V_{CC} ที่ 2 เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการขับสแต็ปมอเตอร์ เราป้อนไฟให้ 12 V

3.3.2 ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ ULN 2067

สแต็ปมอเตอร์ที่ใช้เป็นตัวหมุนกลิ้งในทิศทางแกน X นั้นเป็นสแต็ปมอเตอร์ชนิดยูนิโพลาร์ (Unipolar) แบบ 4 เฟส ซึ่งมีโครงสร้างหลัก ๆ คือ จะมีขาคอนทักอยู่ 4 เส้น 4 เฟส และขา Common อีกอย่างน้อย 1 เส้น เวลาจะทำให้สแต็ปมอเตอร์หมุนก็จะต้องป้อนอินพุทให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดทีละเฟสเรียงกันไปเรื่อย ๆ

IC ULN 2067 เป็นตัวขับมอเตอร์ซึ่งภายในเป็น Transistor Array มีลักษณะเป็น Open Collector ให้ผลเป็น Not gate (อินพุต 0 ให้เอาต์พุตเป็น 1) และมีตัวขับมอเตอร์ทั้งหมด 4 ชุด ซึ่งเราสามารถใส่ IC ตัวเดียวในการขับสเต็ปมอเตอร์ 1 ตัว เหตุที่เลือก IC เบอร์นี้เพราะเนื่องจากตัวสเต็ปมอเตอร์ที่เราใช้ควบคุมในแนวแกน X นั้น เป็นมอเตอร์ 5 V 1 A ซึ่ง IC ตัวนี้สามารถรับ แรงดัน ไฟฟ้า ได้สูงสุด 36 V และสามารถรับกระแสได้ถึง 1.5 A (Sink Current) และยังมีขา Common ที่ไว้ต่อกับ V_{CC} เมื่อใช้ Diode ที่มีอยู่ในตัว IC อยู่แล้วเป็น Diode Suppressor ป้องกันกระแสย้อนกลับจากผลของ Back EMF ของขดลวดในมอเตอร์ ถึงแม้จะมีผลน้อยในสเต็ปมอเตอร์ก็ตามแต่ควรจะต้องไว้ด้วย เมื่อเวลาจะนำไปใช้งานเราก็นำขาของ Common ของสเต็ปมอเตอร์ไปต่อกับ V_{CC} 5 V และแต่ละเฟสของมอเตอร์ต่อกับเอาต์พุตของ IC Driver สาเหตุที่ต้องต่ออย่างนี้เพราะ 1.5 A ของ IC นั้นเป็น Sink Current เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถจ่าย Source Current ได้ เพราะโครงสร้างเป็น Open Collector แล้วนำขา Common ไปต่อกับไฟ V_{CC} ส่วนอินพุตของ IC ก็ไปต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการหมุนของ สเต็ปมอเตอร์ ต่อไป

3.4 การออกแบบวงจรในส่วนการติดต่อแบบอนุกรม

3.4.1 IC MAX-232 เชื่อมต่อแบบอนุกรม

เราใช้ IC MAX-232 ซึ่งภายใน IC MAX-232 จะมีชุดในการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมอยู่ทั้งหมด 2 ชุด แต่ละชุดมี 2 ทิศทางคือ รับและส่ง เราใช้ IC เบอร์นี้เพื่อเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมระหว่างคอมพิวเตอร์กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตที่เป็นส่วนของการควบคุมตัวกล้อง เพราะเป็นการแปลงสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ให้สามารถใช้ได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากคอมพิวเตอร์จะอยู่ที่ระดับสัญญาณ -15 V ถึง +15 V แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์จะอยู่ที่ระดับ 0 ถึง 5 V ซึ่งการนำไปใช้งานเราจะต่อขา Tin ของ IC เข้ากับขา Tx ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และ Tout ของ IC เข้ากับ ต่อเข้ากับ Rx ของคอมพิวเตอร์ส่วนอีกชุดเราจะต่อขา Rin ของ IC จะต่อเข้ากับ Rx ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และต่อตัวเก็บประจุที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตาม Data sheet เราก็จะสามารถเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์โดยผ่านพอร์ตอนุกรมได้

3.4.2 IC 74LS249 Buffer

เราใช้ IC 74LS249 เพื่อเป็น Buffer ในจุดต่างๆ ในวงจรเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ตัวสำคัญๆ ส่วนแรกเราจะนำตัว Buffer ไปต่อระหว่าง MAX-232 กับไมโคร

คอนโทรลเลอร์ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากวงจรไปกระทบกับคอมพิวเตอร์ และต่อใช้ในส่วนระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับวงจรภาคขับเคลื่อนเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากวงจรในภาคขับเคลื่อนและมีผลกระทบต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งค่อนข้างสำคัญ และเป็นการช่วยลดภาระในการจ่ายไฟของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้กับภาค Drive ด้วย

3.5 การออกแบบโปรแกรมควบคุมด้วย Visual Basic

สำหรับการออกแบบโปรแกรมประมวลผลด้วย Visual Basic เพื่อควบคุมสเตปมอเตอร์ให้ติดตามจับภาพวัตถุที่เคลื่อนที่แบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วน Auto tracking และ Manual control พร้อมด้วย การออกแบบในส่วนหน้าต่างที่ติดต่อกับผู้ใช้ที่รองรับการทำงานในทั้งสองแบบข้างต้นด้วย

3.5.1 โปรแกรมส่วน Auto tracking

การควบคุมในส่วนนี้ประกอบขึ้นจาก 5 โปรแกรมย่อย และ 6 ฟังก์ชันการทำงานดังนี้

1. โปรแกรมย่อย Form_Load เป็นโปรแกรมย่อยส่วนแรกสุดในการทำงาน ประกอบด้วย การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรต่าง ๆ ให้กับโปรแกรมย่อยและฟังก์ชันอื่นที่ตามมา กำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรม พร้อมกับทำการจองหน่วยความจำชั่วคราวให้กับภาพที่รับมาจากกล้องดิจิทัลด้วย ดังรูปที่ 3.3
2. โปรแกรมย่อย Form_Unload เป็นโปรแกรมย่อยส่วนสุดท้ายในการทำงานของโปรแกรมในส่วน Auto tracking และเป็นโปรแกรมย่อยที่จะทำหน้าที่ตรงข้ามกับโปรแกรมย่อย Form_Load คือ ยกเลิกการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมและกล้อง พร้อมทั้งทำการคืนหน่วยความจำชั่วคราวทั้งหมด ดังรูปที่ 3.4
3. โปรแกรมย่อย ปุ่ม Start เป็นโปรแกรมส่วนแรกที่จะทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้ โดยหลังจากที่ผู้ใช้กดปุ่ม Start แล้วจะมีการหาค่าเฉลี่ยของพื้นหลังเก็บไว้และแสดงหน้าต่างถามความต้องการของผู้ใช้ว่าต้องการให้กล้องแสกนหาวัตถุหรือไม่ หากผู้ใช้มีความต้องการนั้นก็จะเป็นการส่งการทำงานให้กับโปรแกรมย่อยถัดไป คือ FirstTimer_Timer ดังรูปที่ 3.5
4. ฟังก์ชัน Find_Average เป็นฟังก์ชันที่อยู่ภายในโปรแกรมย่อยปุ่ม Start ทำหน้าที่หาค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบในแต่ละสี (RGB) ของพื้นหลังเพื่อใช้ในการกำหนดค่าเทรชโฮลในการทำเซกเมนต์ภาพต่อไป ดังรูปที่ 3.6

5. ฟังก์ชัน Color_RGB ทำหน้าที่แปลงค่าของพิกเซลที่มี 24 บิต ออกเป็นค่าสี แดง (R), เขียว (G) และ น้ำเงิน (B) สีละ 8 บิต เพื่อใช้ในการคำนวณเพื่อทำเซกเมนต์ภาพ ดังรูปที่ 3.7
6. โปรแกรมย่อย FirstTimer_Timer เป็นโปรแกรมย่อยที่ทำงานต่อจากโปรแกรมย่อยไม่ Start หลังจากที่ใช้ผู้แสดงความต้องการให้กล้องทำการสแกนหาวัตถุจนเจอ จากนั้นจึงทำการหาจุดเซ็นทรอยด์ (Centroid) และเก็บภาพเฟรมถัดไปเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับด้วยโปรแกรมย่อย RunTimer_Timer ดังรูปที่ 3.8
7. ฟังก์ชัน Random_Scan ทำหน้าที่แบ่งหน้าจอแสดงภาพทั้งหมดออกเป็นส่วนย่อย ๆ 12 ส่วนเพื่อทำการตรวจสอบค่าของพิกเซลแบบสุ่มเพื่อป้องกันการพบวัตถุที่มุมใดมุมหนึ่งของจอภาพก่อนได้แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นการลดเวลาในการทำงานจากการที่ต้องตรวจสอบหาวัตถุในทุก ๆ พิกเซลได้ด้วย ดังรูปที่ 3.9
8. ฟังก์ชัน Find_Centroid จะทำการคำนวณหาจุดเซ็นทรอยด์ของวัตถุโดยการสแกนข้อมูลภาพทั้งหมดพร้อมกับทำการหาขอบเขตของวัตถุควบคู่กันไปด้วยดังรูปที่ 3.10 โดยคำนวณหาจุดเซ็นทรอยด์ (X_c, Y_c) ได้ตามสูตรดังนี้

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad \text{และ} \quad Y_c = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} \quad \dots(3.2)$$
 โดยที่ N คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดที่เป็นวัตถุ
9. ฟังก์ชันการหาขอบเขตของวัตถุเป็นฟังก์ชันที่ทำหน้าที่หาค่าสูงสุดและต่ำสุดของทั้งค่าแกน X และ Y เพื่อใช้ในการกำหนดพื้นที่ขอบเขตของการสแกนวัตถุในครั้งต่อไป โดยจะเป็นฟังก์ชันที่ซ่อนอยู่ในฟังก์ชัน Find_Centroid อีกชั้นหนึ่ง มีการทำงานดังรูปที่ 3.11
10. โปรแกรมย่อย RunTimer_Timer จะทำหน้าที่รับภาพวัตถุอีกเฟรมหนึ่งจากกล้องมาทำการหาค่าจุดเซ็นทรอยด์ และทำการเปรียบเทียบกับจุดเซ็นทรอยด์ของเฟรมก่อนหน้านี้เพื่อทำการส่งสัญญาณควบคุมที่สอดคล้องกับความแตกต่างดังกล่าวไปทางพอร์ตอนุกรมเพื่อควบคุมการหมุนของสเตปมอเตอร์อีกทีหนึ่ง มีขั้นตอนการทำงานดังรูป 3.12
11. ฟังก์ชัน Run_Centroid จะทำหน้าที่หาจุดเซ็นทรอยด์เช่นเดียวกับฟังก์ชัน Find_Centroid แต่จะต่างกันตรงที่ฟังก์ชันนี้จะทำการสแกนเฉพาะส่วนของวัตถุเท่านั้น โดยไม่ต้องสแกนภาพทั้งหมด มีการทำงานดังรูปที่ 3.13

3.5.2 โปรแกรมส่วน Manual control

โปรแกรมในส่วนนี้ประกอบด้วยหน้าที่การทำงาน 2 ส่วนหลัก คือ

1. การควบคุมมุมในการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ด้วยการระบุค่าพิกัดในการหมุนที่แน่นอน แสดงได้ด้วยโปรแกรมย่อยรูปที่ 3.14
2. การควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ด้วยการให้ผู้ใช้กดปุ่มควบคุมบนหน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้ให้มีพิกัดในการหมุนตามความต้องการแสดงได้ด้วยการทำงานตามรูปที่ 3.15-3.22

3.5.3 การออกแบบหน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้

รูปที่ 3.23 การออกแบบหน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะประกอบด้วย 10 ส่วน ดังรูปข้างต้น โดยจะแบ่งส่วนหลัก ๆ ออก 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่เป็น Manual control หรือ ควบคุมกล้อง โดยผู้ใช้จะประกอบด้วยตัวเลขที่แสดงข้างต้นคือหมายเลข 1, 4, 5, 7, 8, 9, 10

2. ส่วนที่เป็น Auto Tracking หรือ ส่วนเคลื่อนที่ตามวัตถุจะประกอบด้วยตัวเลขที่แสดงข้างต้นคือหมายเลข 1, 2, 3, 6

โดยแต่ละหมายเลขจะมีการควบคุมดังนี้

1. หน้าจอแสดงภาพของกล้อง
2. หน้าจอแสดงการเปลี่ยนแปลงจุดเซ็นทรอยด์ของวัตถุ
3. ส่วนแสดงคุณสมบัติต่างๆของระบบ auto tracking โดยจะแบ่งได้ 4 ส่วน คือ
 - 3.1 centroid แสดงพิกัดของจุดเซ็นทรอยด์ทั้งแกน x และ y ที่คำนวณได้
 - 3.2 scanblock แสดงขนาดของภาพที่กำลังถูกสแกน
 - 3.3 background color แสดงค่าสีทั้ง 3 ของพื้นหลัง
 - 3.4 centroid color แสดงค่าสีทั้ง 3 ของวัตถุในตำแหน่งของจุดเซ็นทรอยด์
4. ส่วนปิด เปิด การทำงานของระบบ manual
5. ส่วนควบคุมความเร็วของระบบควบคุม Motor แบบ Manual โดยตั้งค่าแรกไว้ที่ 125 ms / step
6. Auto - detecting control จะประกอบด้วยส่วนประกอบทั้งหมด 6 ส่วน
 - 6.1 ส่วนควบคุมความเร็ว motor โดยจะตั้งค่าแรกไว้ที่ 50 ms / step
 - 6.2 ปุ่ม Start ทำหน้าที่เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมในส่วน Auto tracking
 - 6.3 ปุ่ม Pause ทำหน้าที่หยุดการทำงานของโปรแกรมส่วน Auto tracking ชั่วคราว
 - 6.4 ปุ่ม Stop ทำหน้าที่หยุดการทำงานของโปรแกรมส่วน Auto tracking จนกว่าจะมีการกดปุ่ม Start อีกครั้ง
 - 6.5 ปุ่ม Reset ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าต่าง ๆ ที่กำลังใช้ใน โปรแกรมให้เป็นค่าเหมือนที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้น
 - 6.6 ปุ่ม Exit ทำหน้าที่ออกจากโปรแกรมการทำงานทั้งหมด
7. ส่วนควบคุมกล้อง จะมีปุ่มทั้งหมด 4 ปุ่ม โดยปุ่ม Left และ Right จะควบคุมให้ Step หมุนไปทางซ้าย และขวา Step ละ 0.9 องศา ปุ่ม Up และ Down จะควบคุมให้ Step หมุนไปทางด้านบน และล่าง Step ละ 3.75 องศา

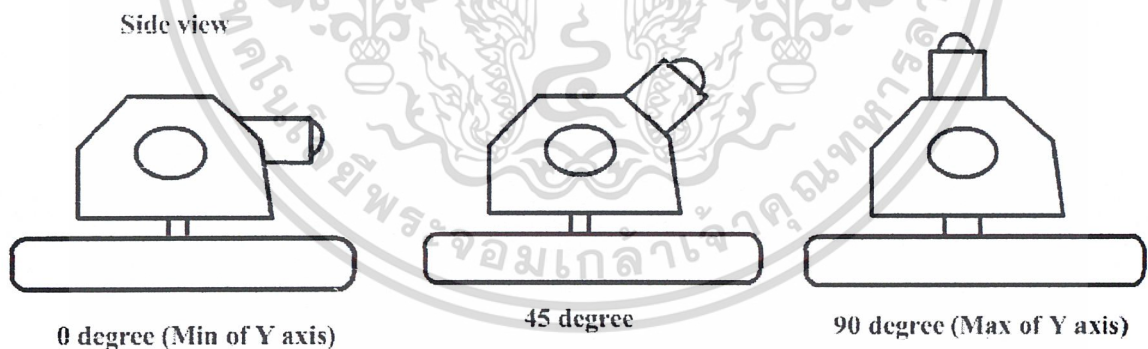
8. สถานะการทำงาน เมื่อ Step หมุน สถานะจะระบุว่าเป็น Busy และเมื่อสถานะปกติไม่หมุนจะเป็น Ready
9. พิกัดของมอเตอร์มีหน่วยเป็นองศา โดยพิกัดในแนวแกนนอนจะมีค่า 0 – 180 องศา โดยค่าแรกจะตั้งไว้ที่ 90 องศา และโดยพิกัดในแนวแกนตั้งจะมีค่า 0 – 90 องศา โดยค่าแรกจะตั้งไว้ที่ 0 องศา
10. ส่วนควบคุมพิกัดของ Motor โดยสามารถเลือกได้ว่าจะควบคุมในแนวแกนตั้ง หรือแกนนอน โดยใส่ค่าพิกัดที่ต้องการให้ Motor ไปถึง ในช่องระบุพิกัดของ Motor

3.6 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

โปรแกรมในส่วนนี้ทำหน้าที่กำหนดค่าและรูปแบบในการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมและการควบคุมของสเต็ปมอเตอร์ด้วยลิมิตสวิทช์ ซึ่งแสดงการทำงานที่ออกแบบได้ดังรูปโปรแกรมน้อยที่ 3.24-2.26

3.7 การออกแบบทิศทางการทำงานของสเต็ปมอเตอร์

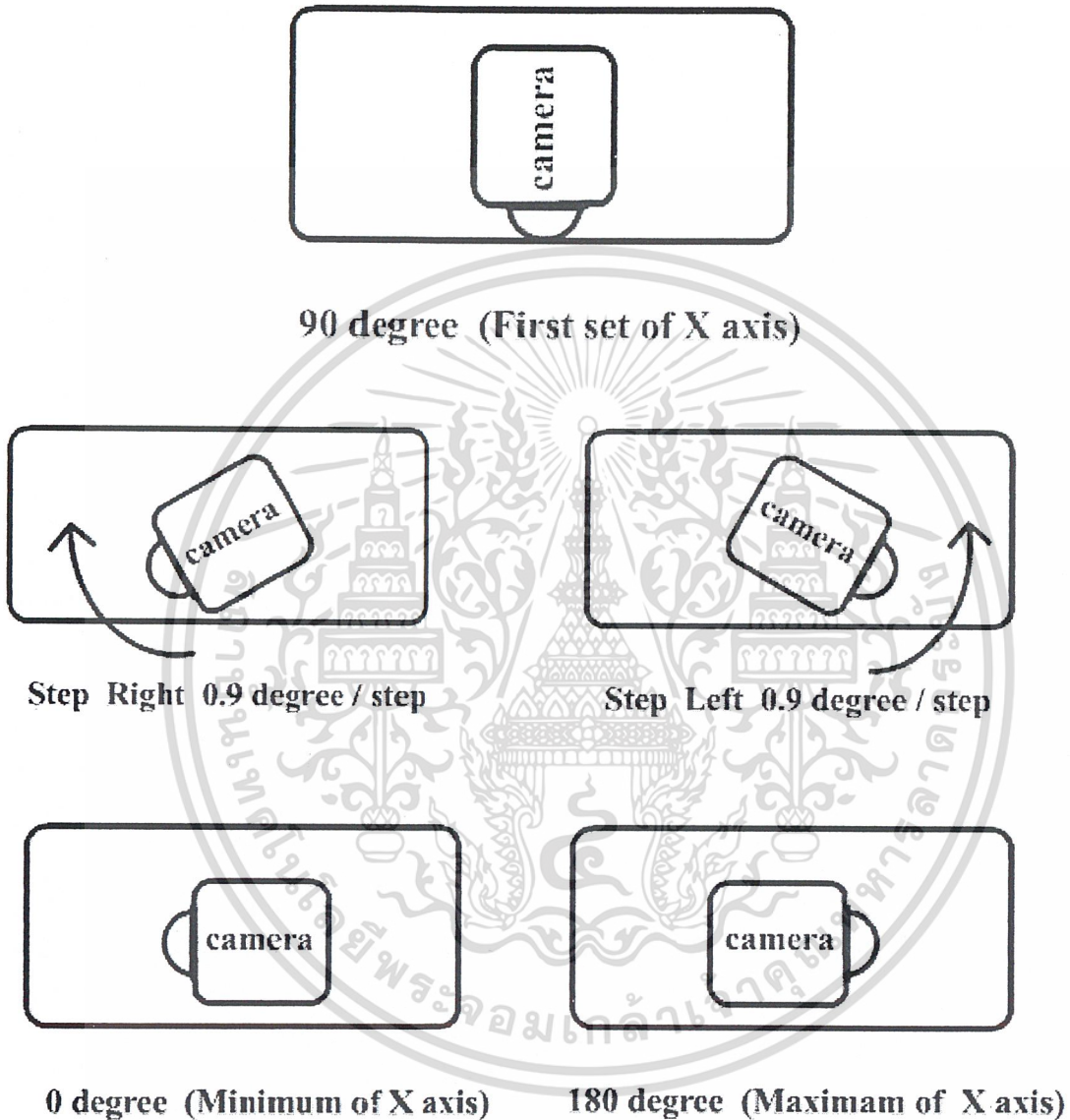
3.7.1 ทิศทางการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกนตั้ง



รูปที่ 3.27 การออกแบบทิศทางการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกนตั้ง

ระบบการทำงานในแนวตั้งจะทำงานในช่วง 0 – 90 องศา และองศาต่างๆ คือค่าพิกัดของมอเตอร์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของมอเตอร์ในแนวแกนตั้ง โดยมอเตอร์ที่ทำงานในแกนนี้จะหมุนได้ 3.75 องศาต่อสเต็ป

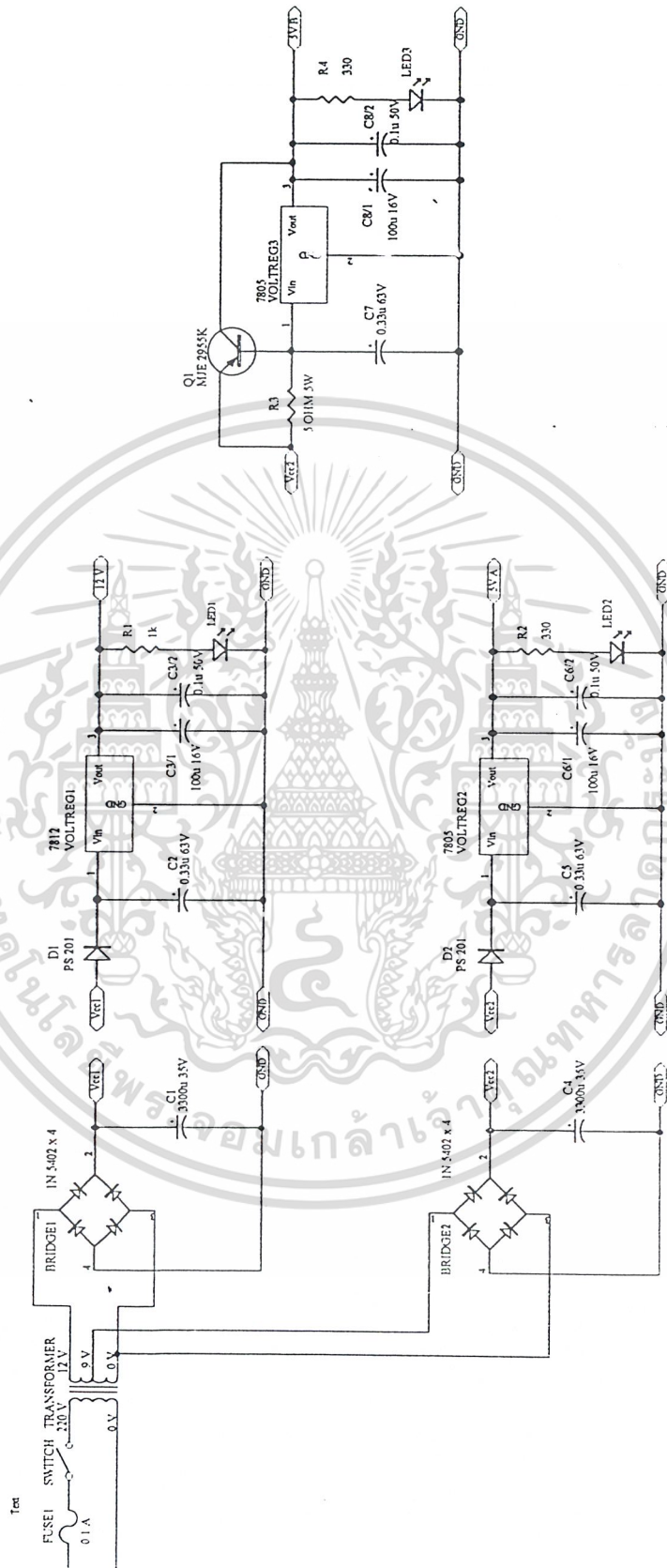
3.7.2 ระบบการทำงานของกล้องในแนวแกนนอน



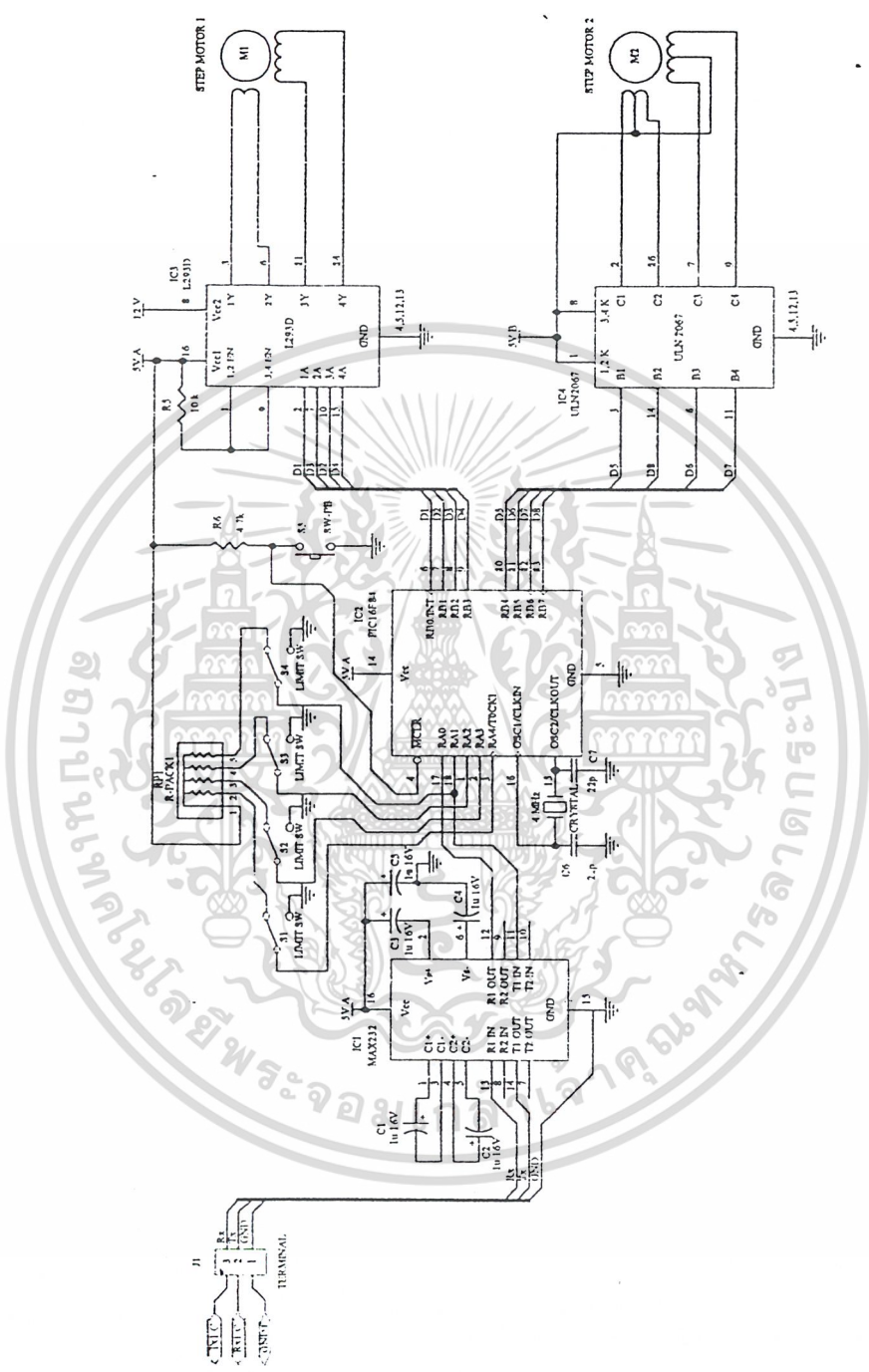
รูปที่ 3.28 การออกแบบทิศทางการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกนนอน

ระบบการทำงานในแนวนอนจะทำงานในช่วง 0 – 180 องศา และองศาต่างๆ บนภาพข้างต้นคือ ค่าพิกัดของมอเตอร์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของมอเตอร์ในแนวแกนตั้ง โดยในแนวนอนจะเริ่มต้นที่พิกัดที่ 90 องศา และมอเตอร์จะหมุนไปทางขวาจนได้พิกัดที่น้อยที่สุดคือ 0 องศา และหมุนไปทางขวาจนได้สเต็ปมากที่สุดคือ 180 องศา โดยมอเตอร์ที่ทำงานในแกนนี้จะหมุนได้ 1.8 องศาต่อสเต็ป แต่จากการทดลองเราจะใช้ Half step ซึ่งจะ ได้ 0.9 องศาต่อสเต็ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

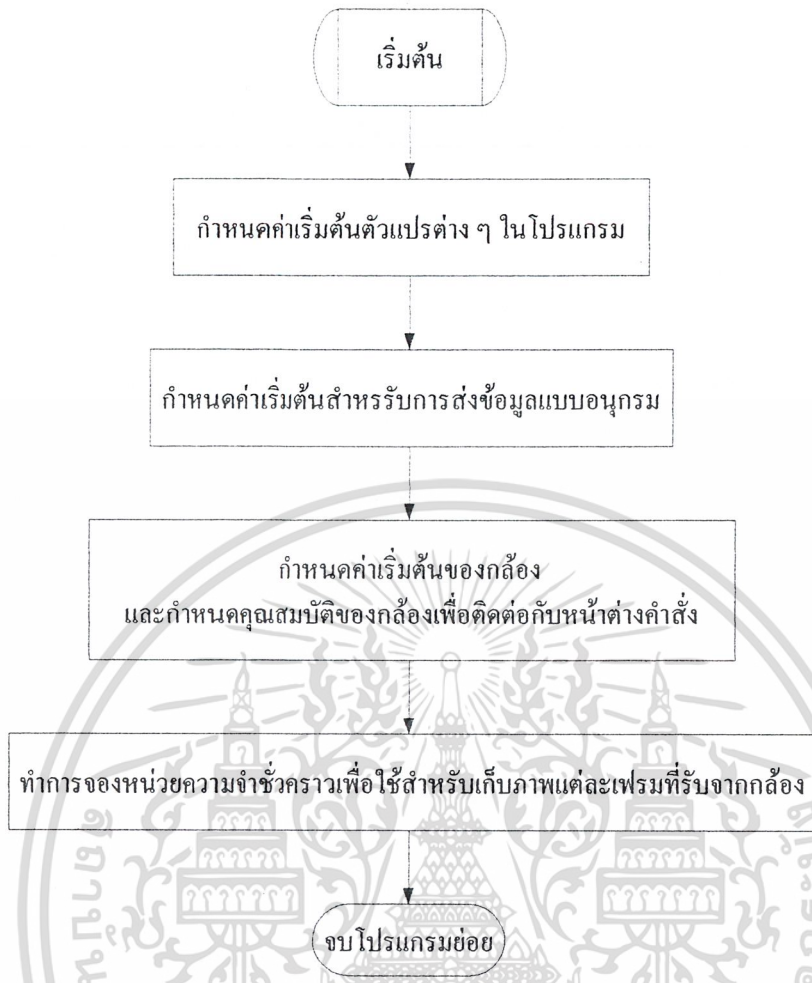


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **รูปที่ 3.1 วงจร Supply** ญาติให้ผ่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

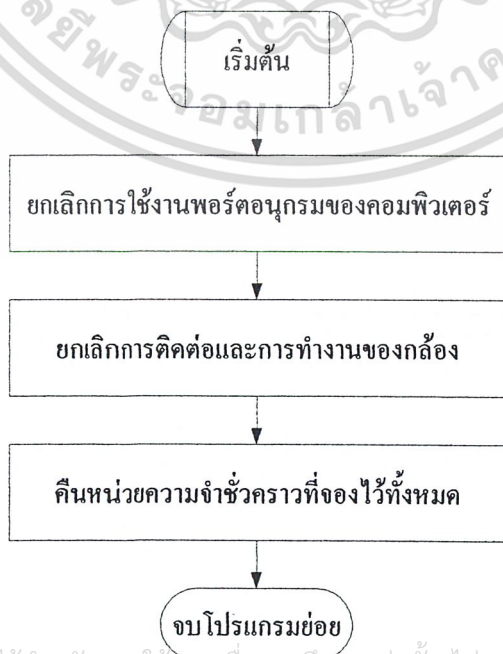


รูปที่ 3.2 วงจร Microcontroller & Driver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 โปรแกรมย่อย Form_Load



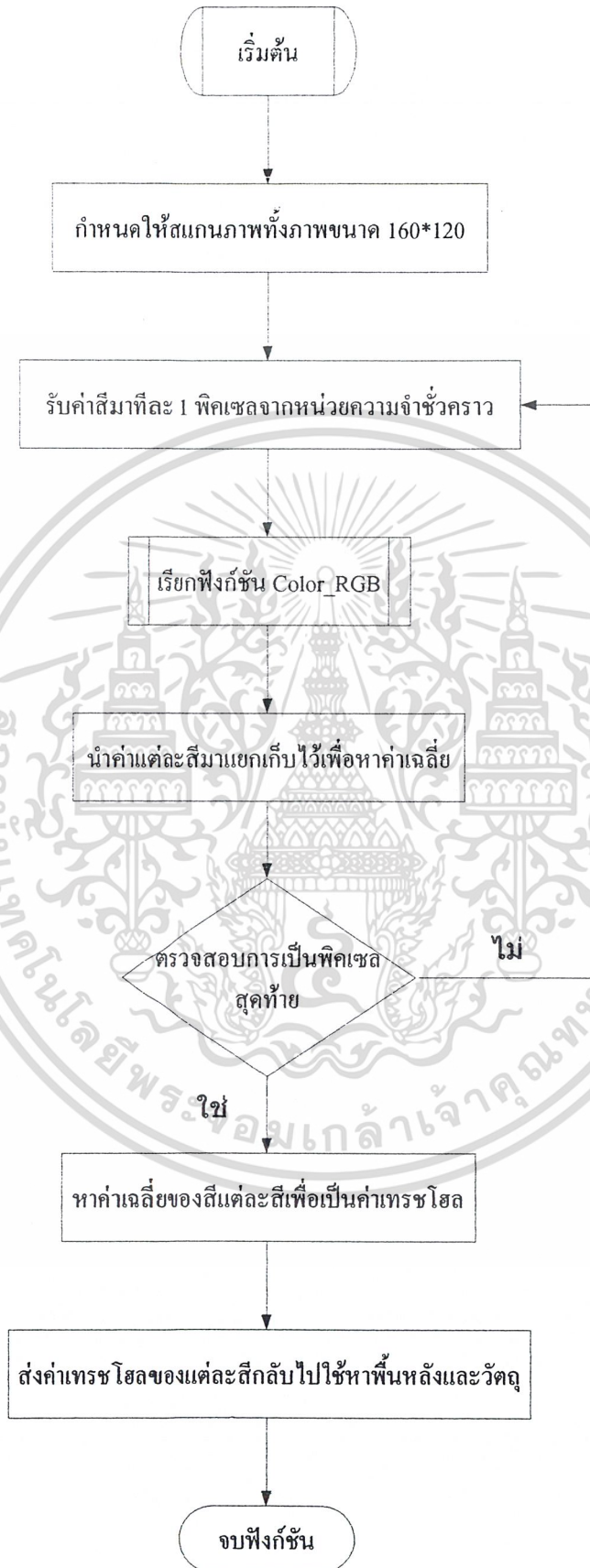
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 โปรแกรมย่อย Form_Unload



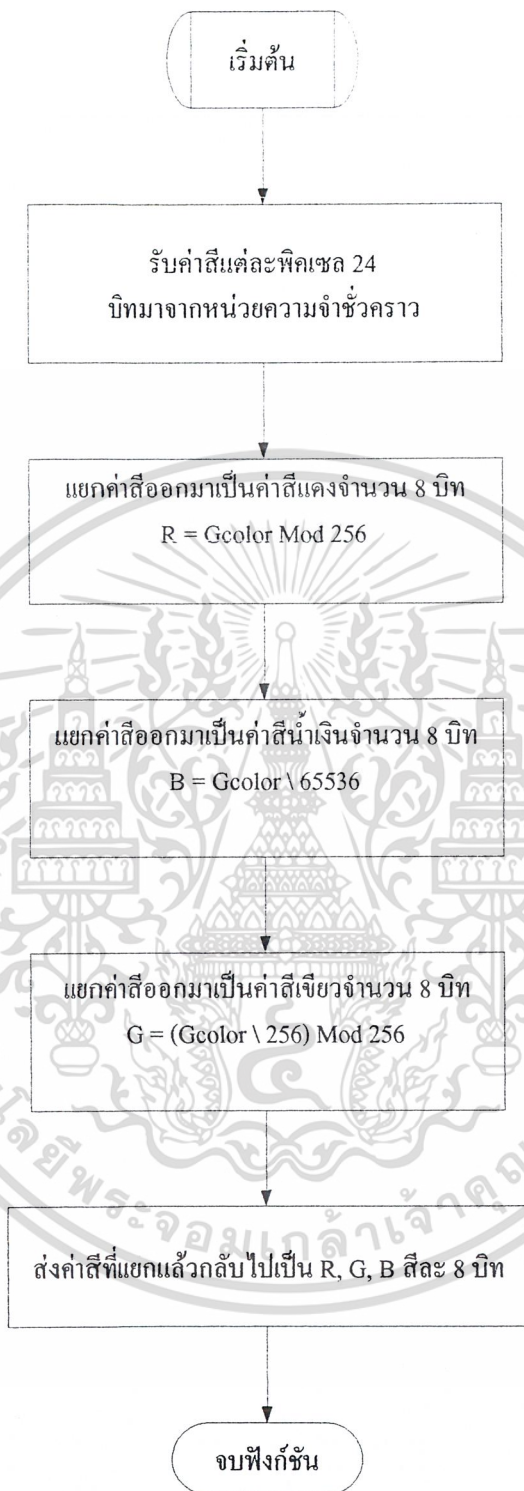
รูปที่ 3.5 โปรแกรมย่อย ปุ่ม Start

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



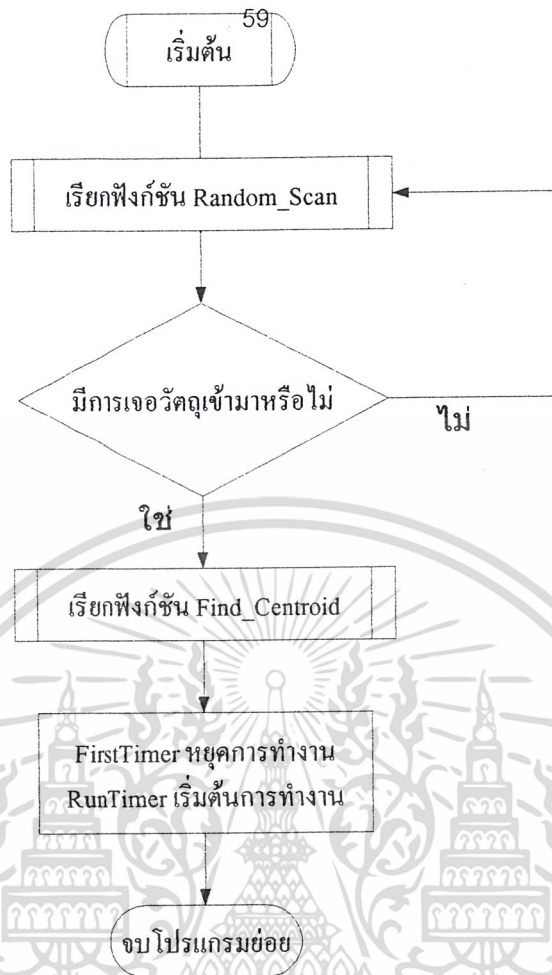
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดก็ตามที่นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 ฟังก์ชัน Find_Average

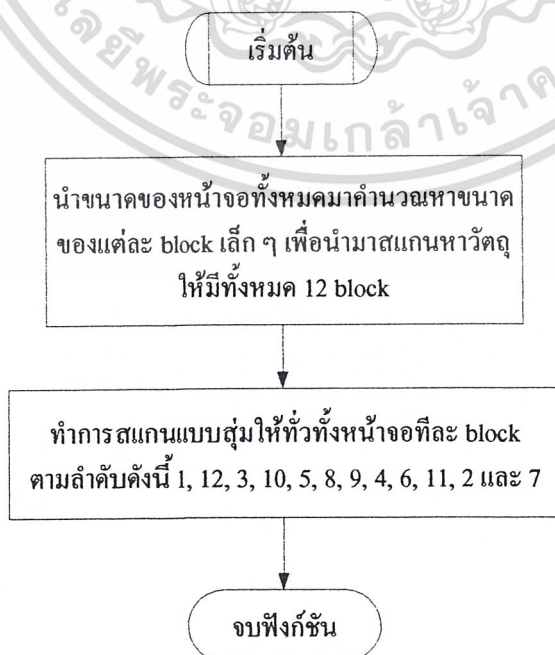


รูปที่ 3.7 ฟังก์ชัน Color_RGB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ฟังก์ชัน FirstTimer_Timer

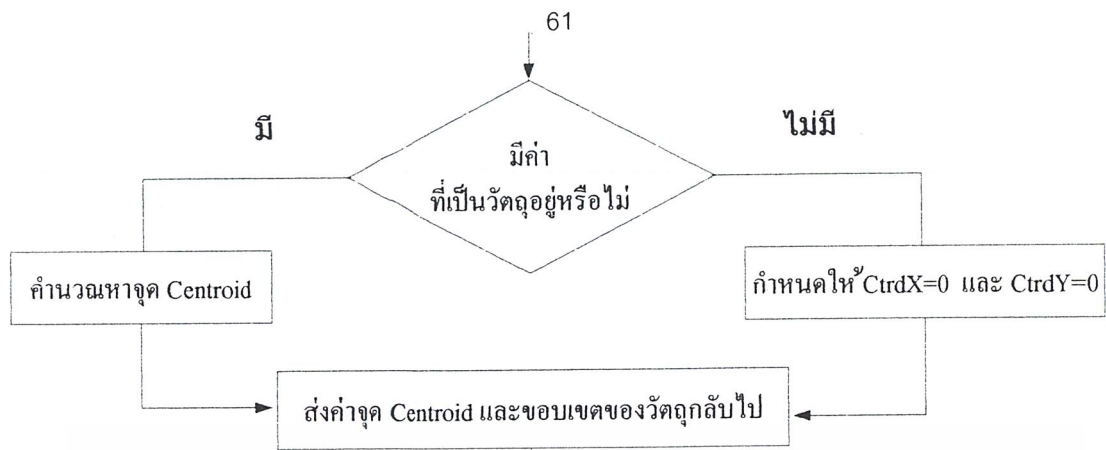


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

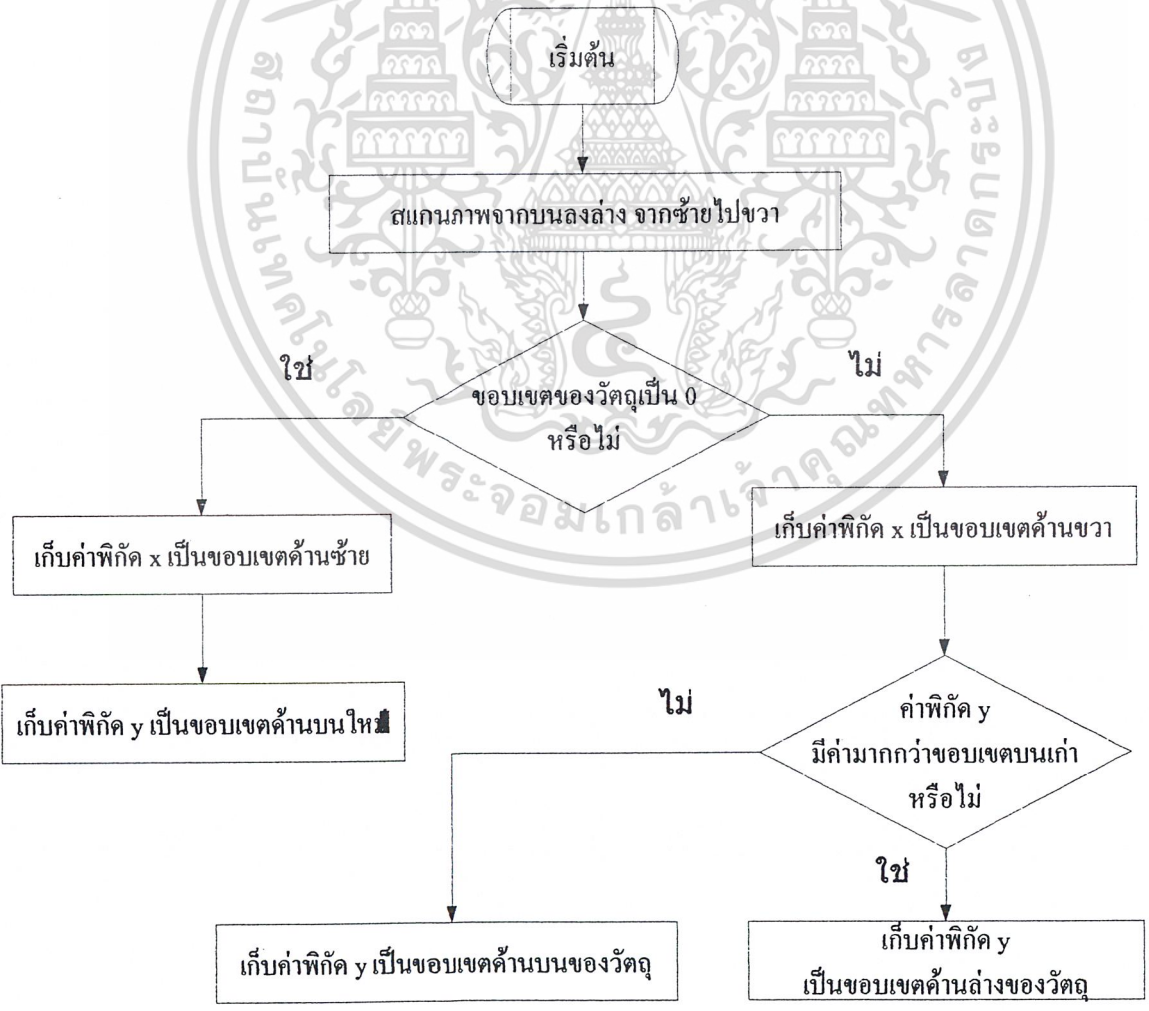
รูปที่ 3.9 ฟังก์ชัน Random_Scan



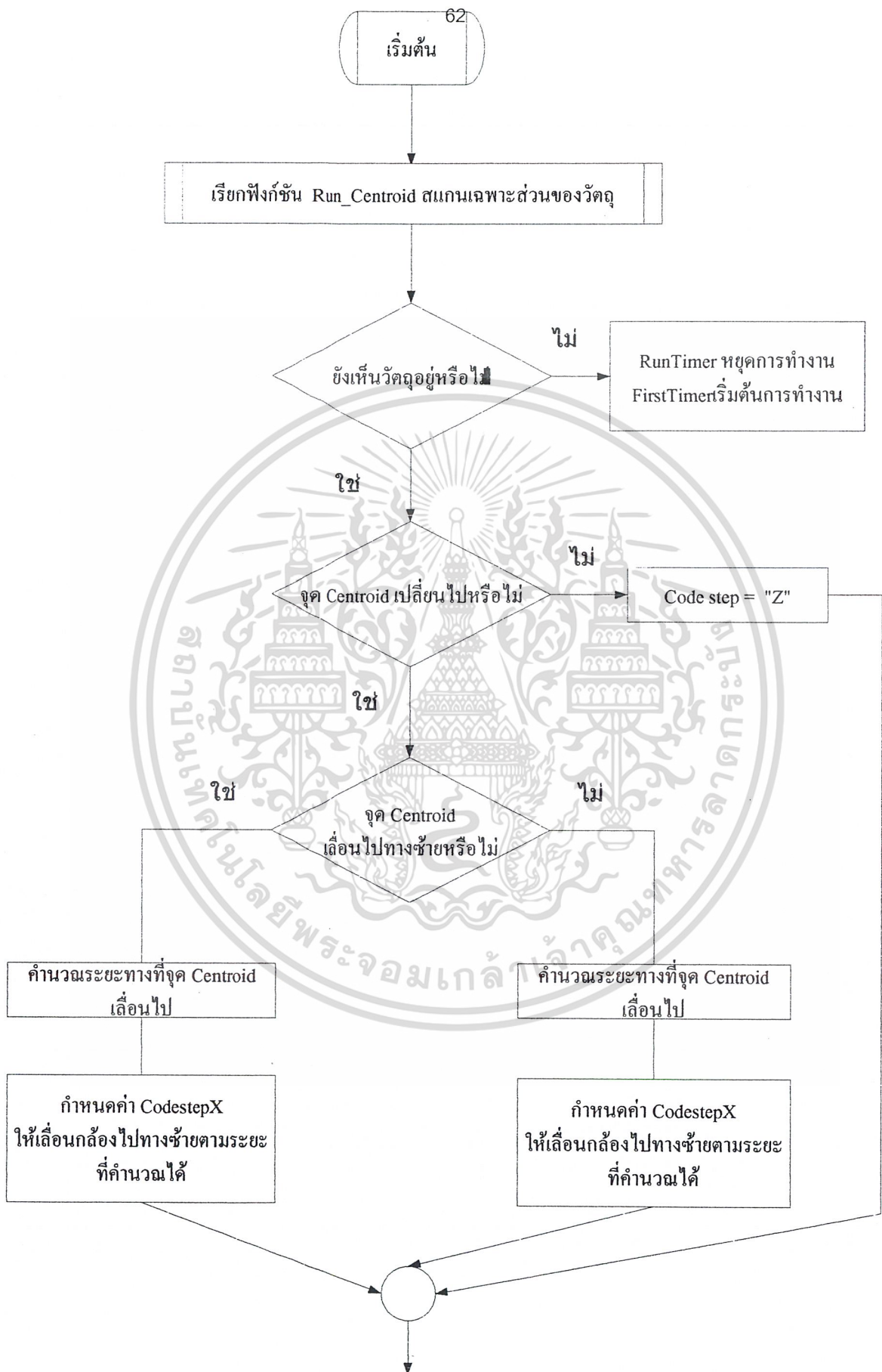
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



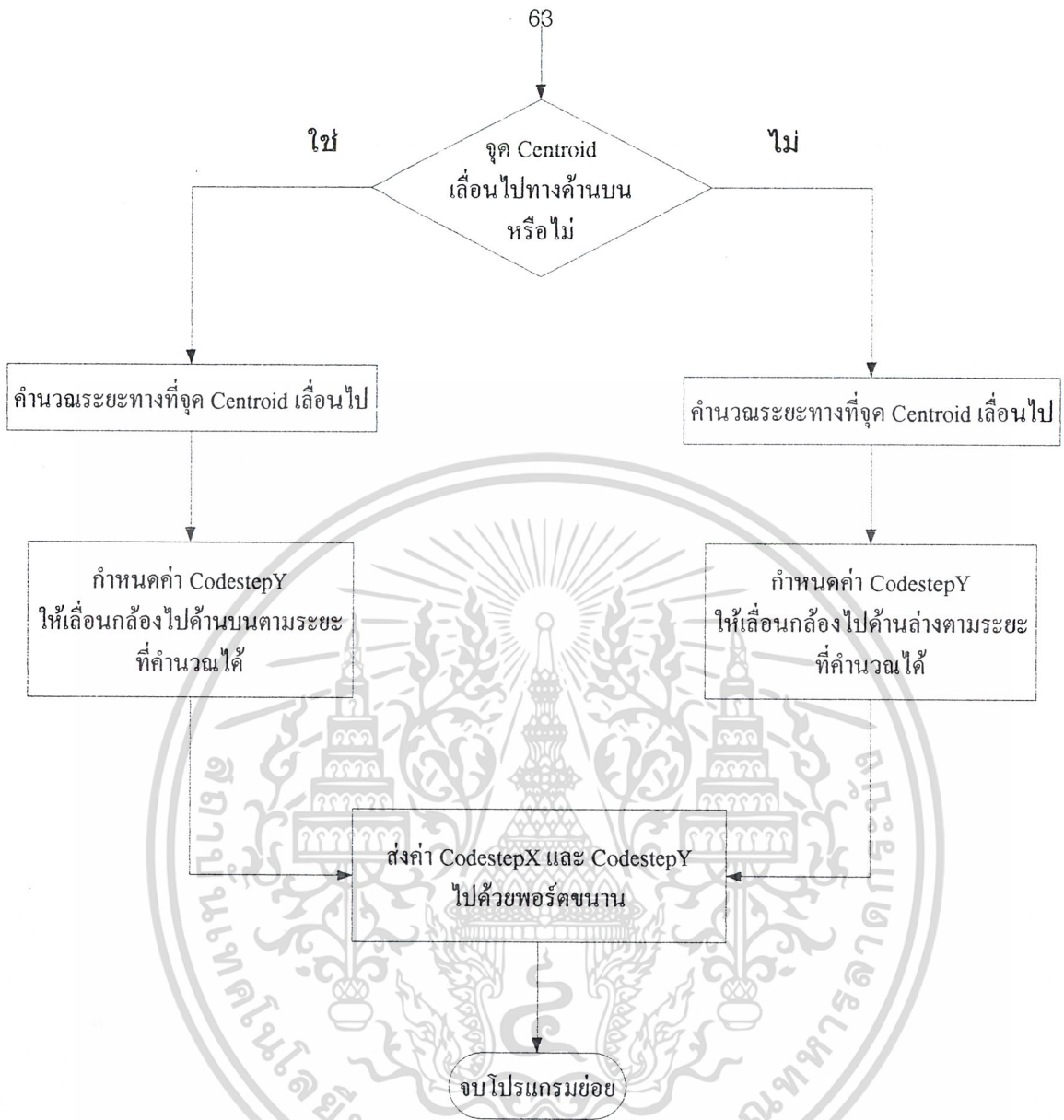
รูปที่ 3.10 ฟังก์ชัน Find_Centroid



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.11 การหาขอบเขตของวัตถุ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

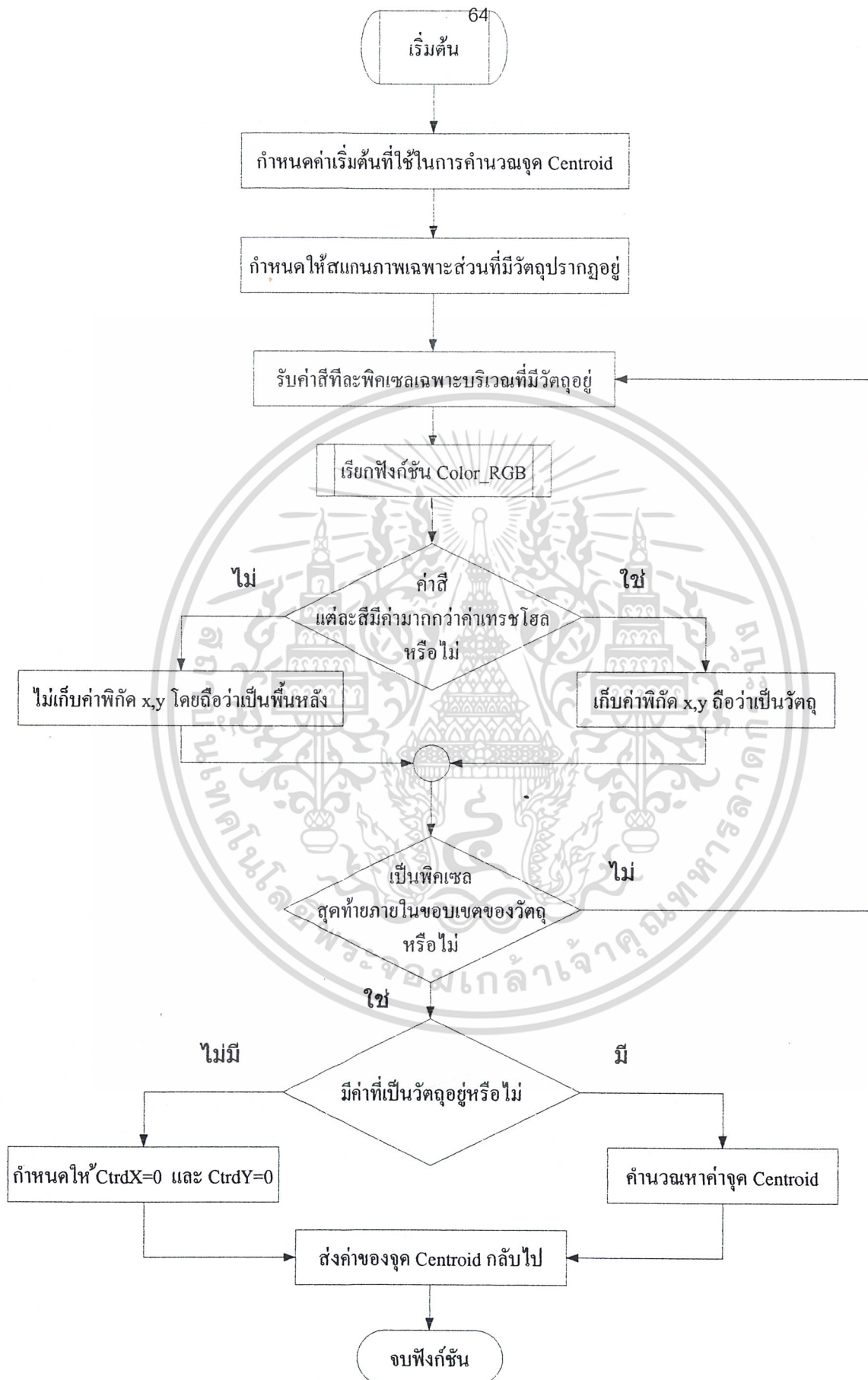


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

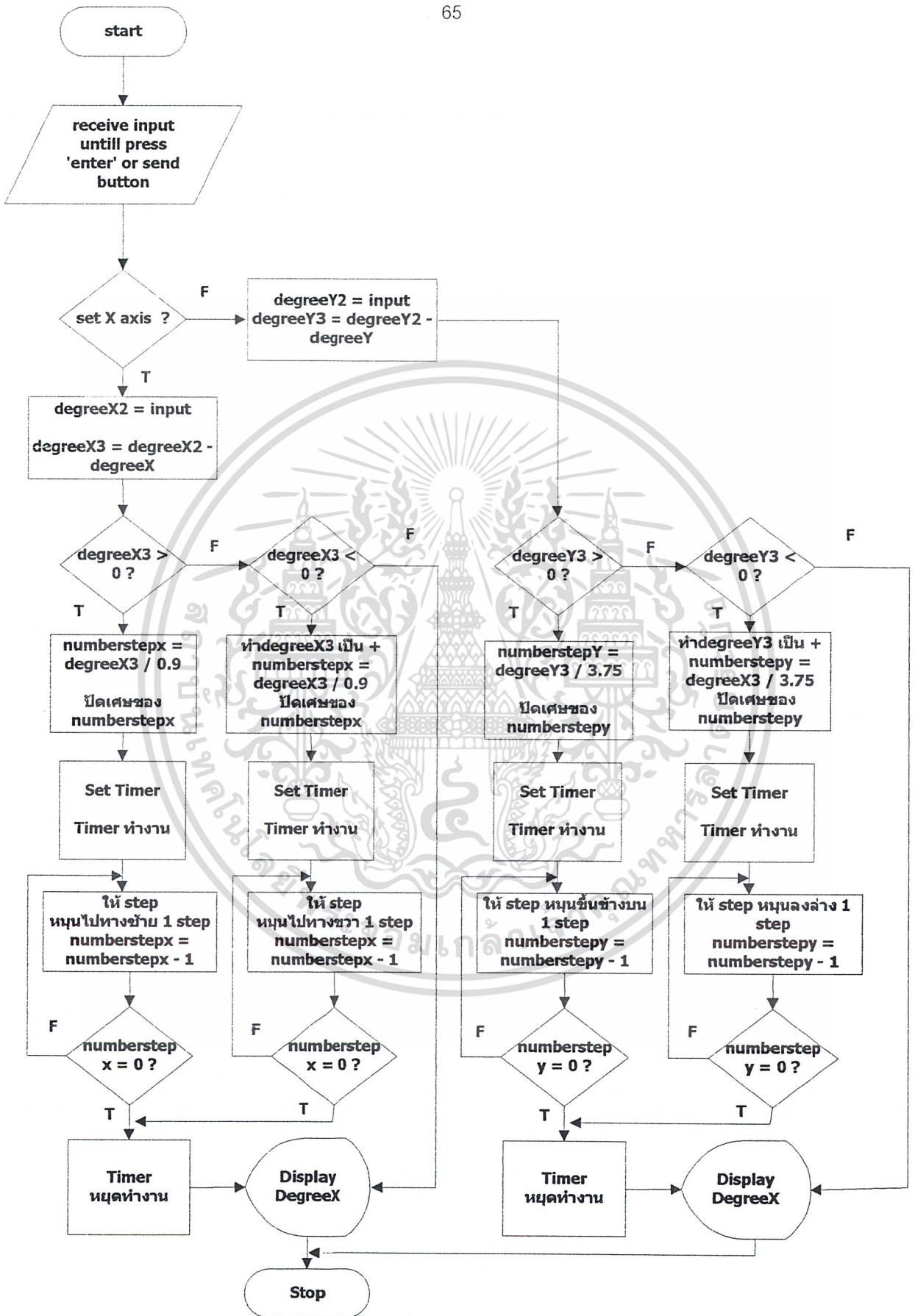


รูปที่ 3.12 โปรแกรมย่อย RunTimer_Timer

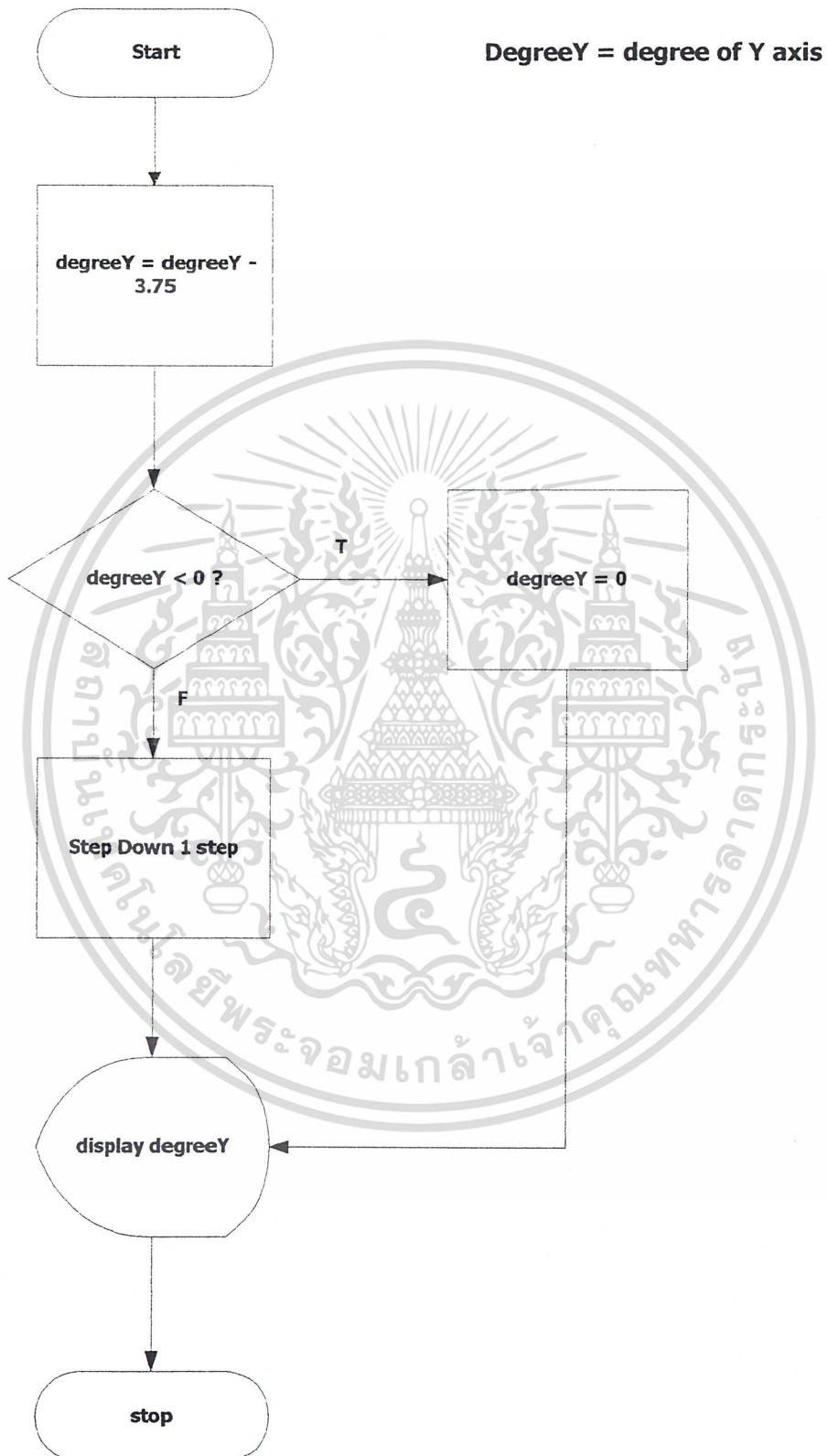
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



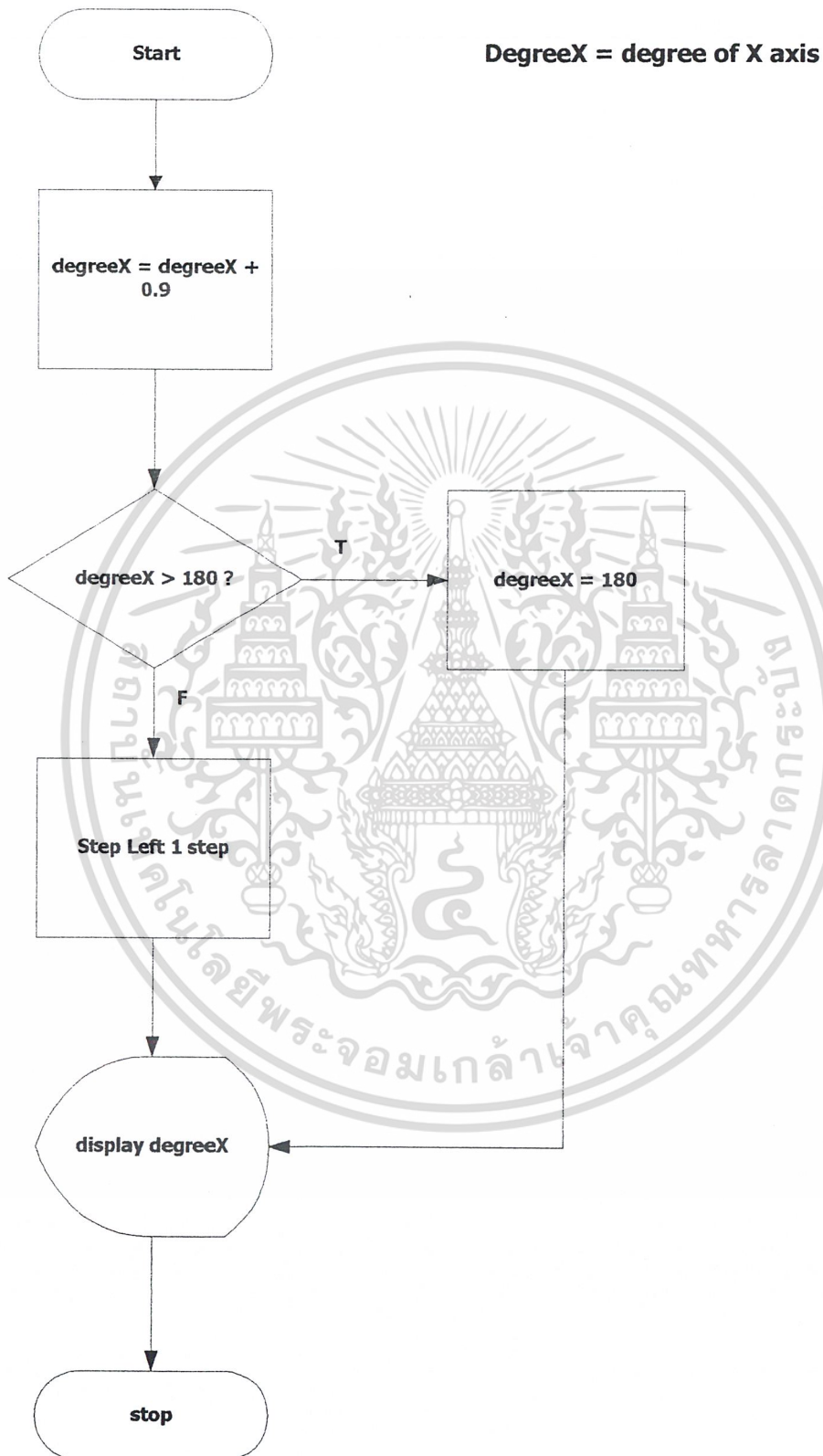
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ 3.13 ฟังก์ชัน Run_Centroid



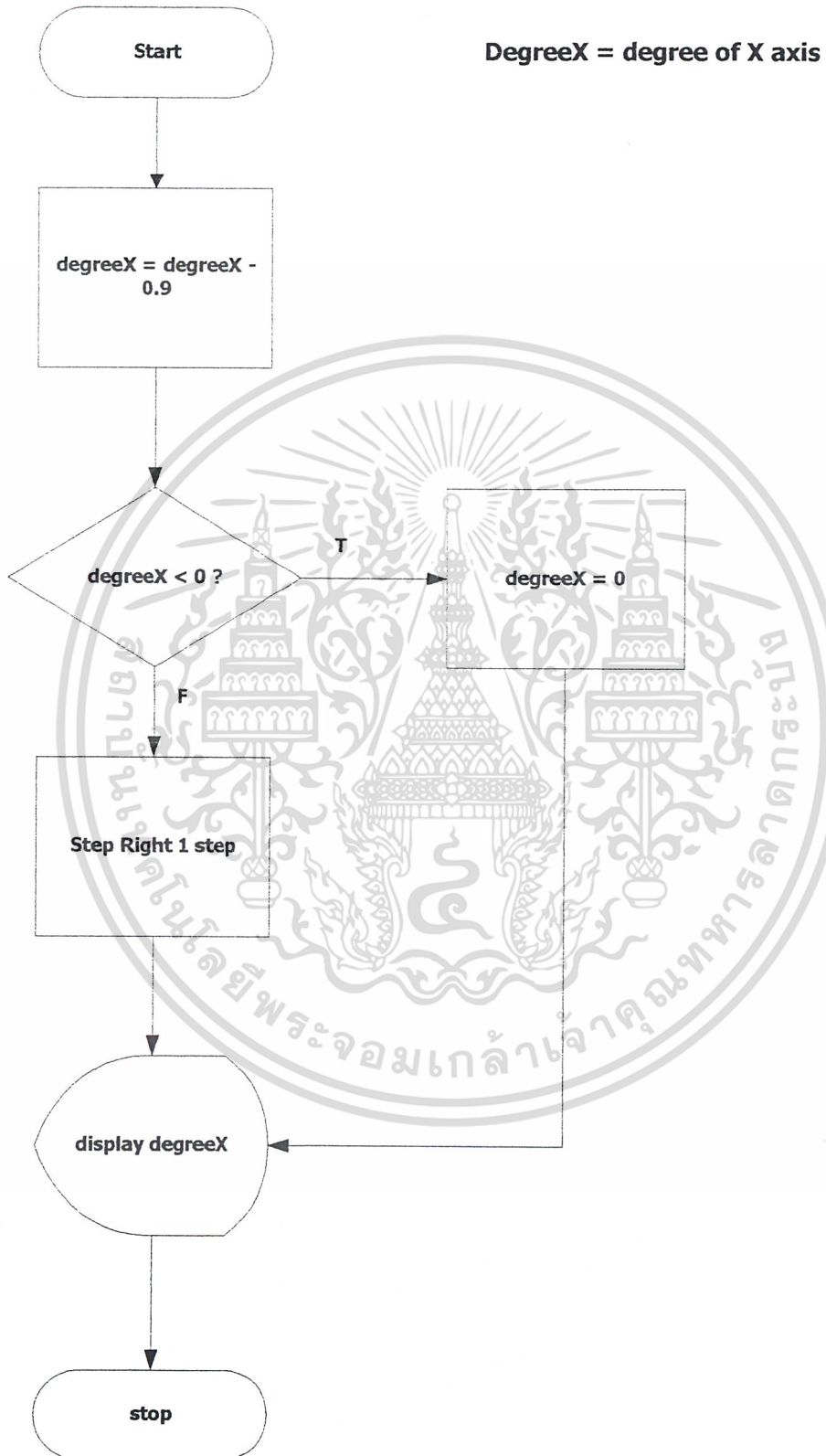
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 3.14 โปรแกรมย่อย CONTROL X AND Y AXIS**



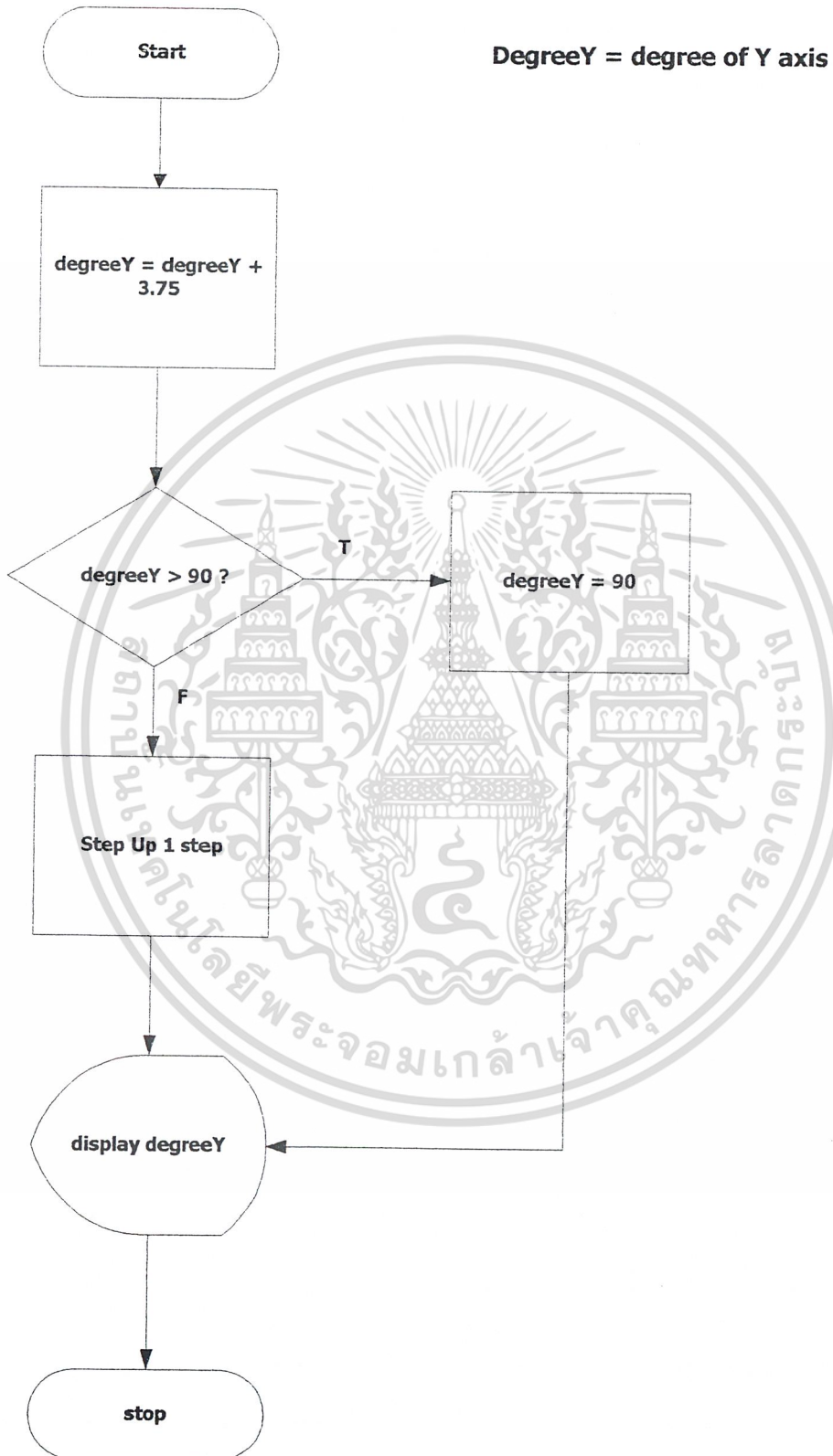
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.15 โปรแกรมย่อย CLICK PRESS DOWN BUTTON
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



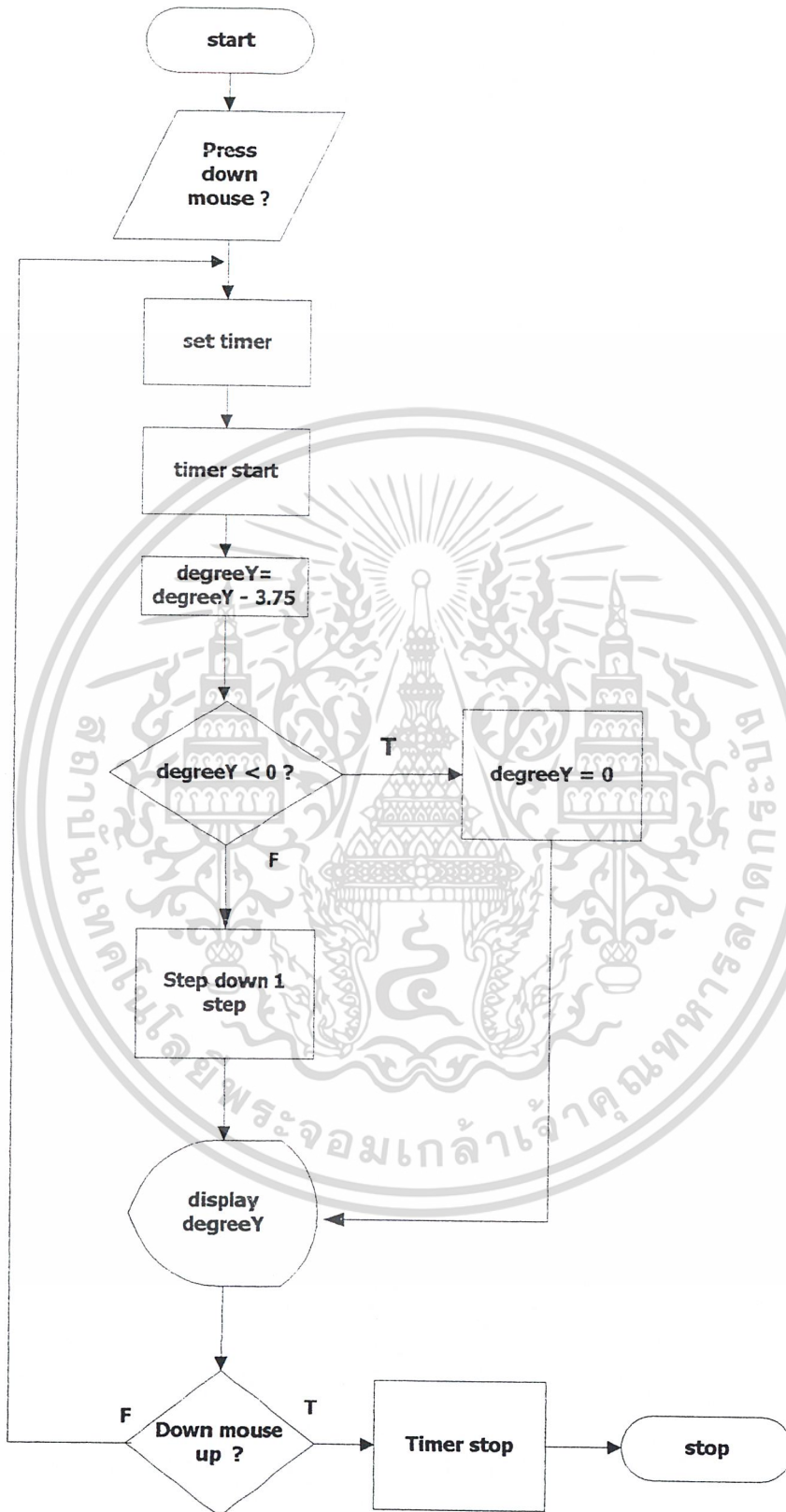
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับผู้ใช้วงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.16 โปรแกรมย่อย CLICK PRESS LEFT BUTTON
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



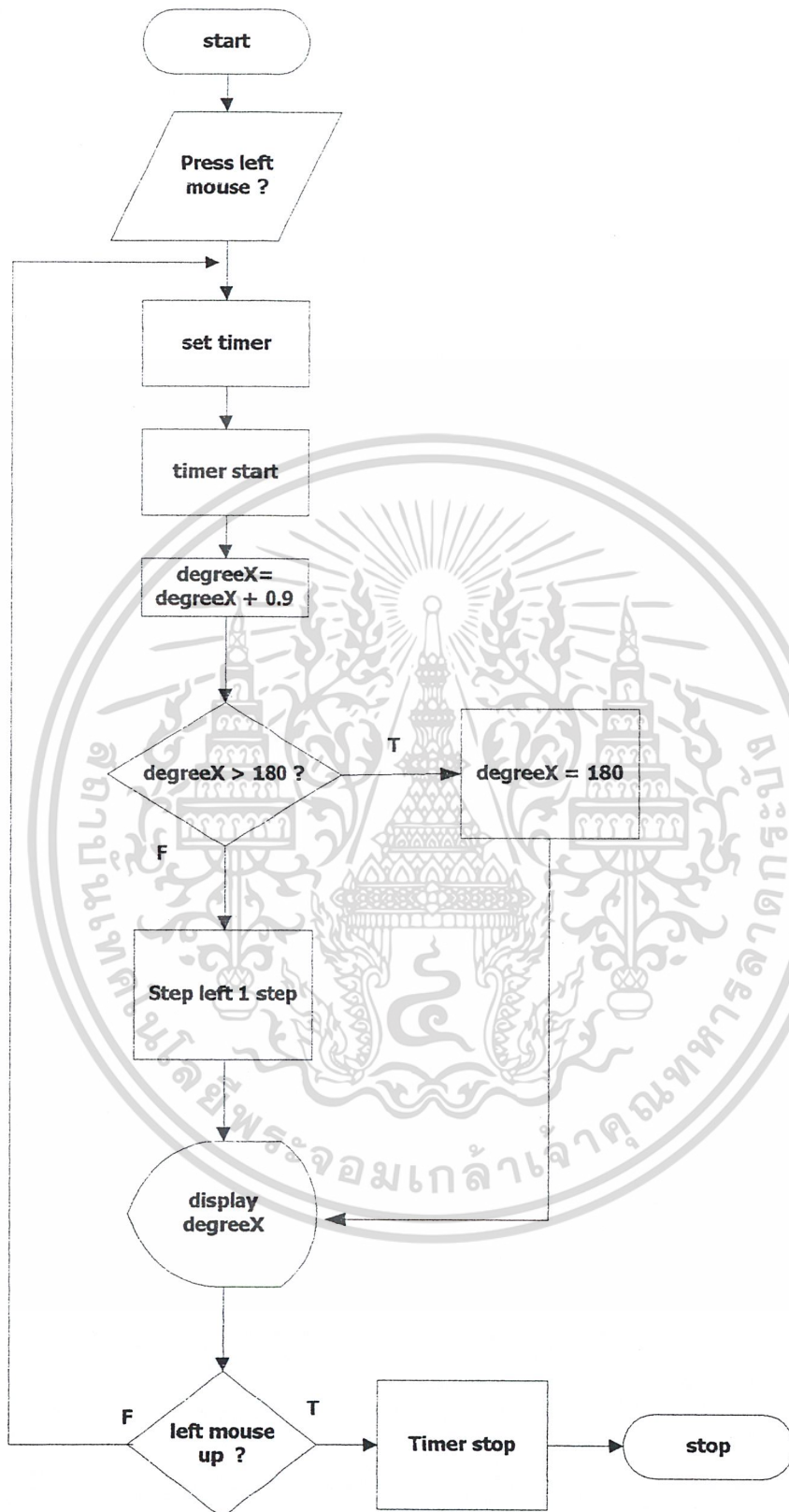
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.17 โปรแกรมย่อย CLICK PRESS RIGHT BUTTON
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในนามของโรงเรียนที่ขอสงวนสิทธิ์ไว้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

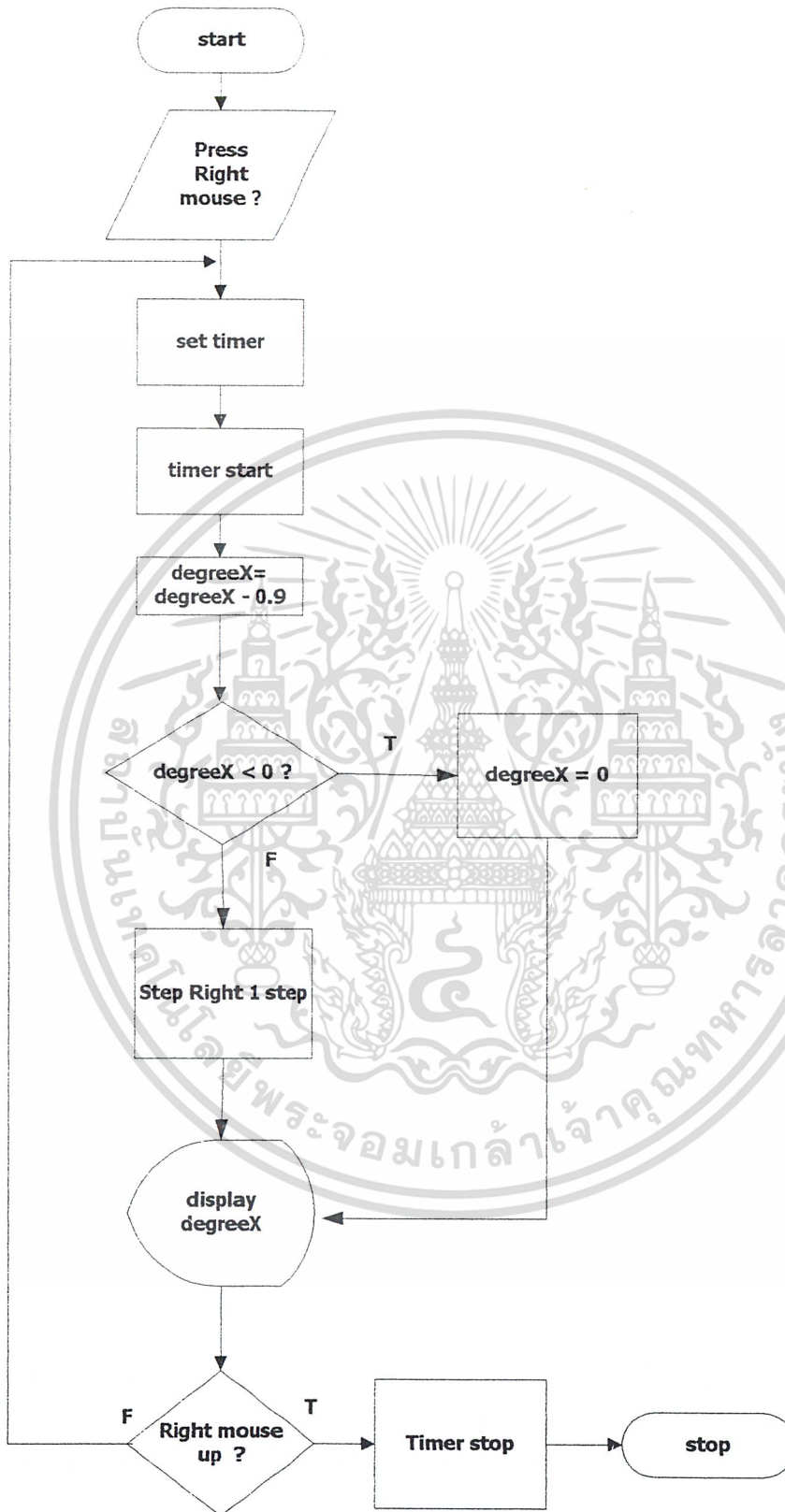


เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.19 โปรแกรมย่อย PRESS DOWN BUTTON TO STAND ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

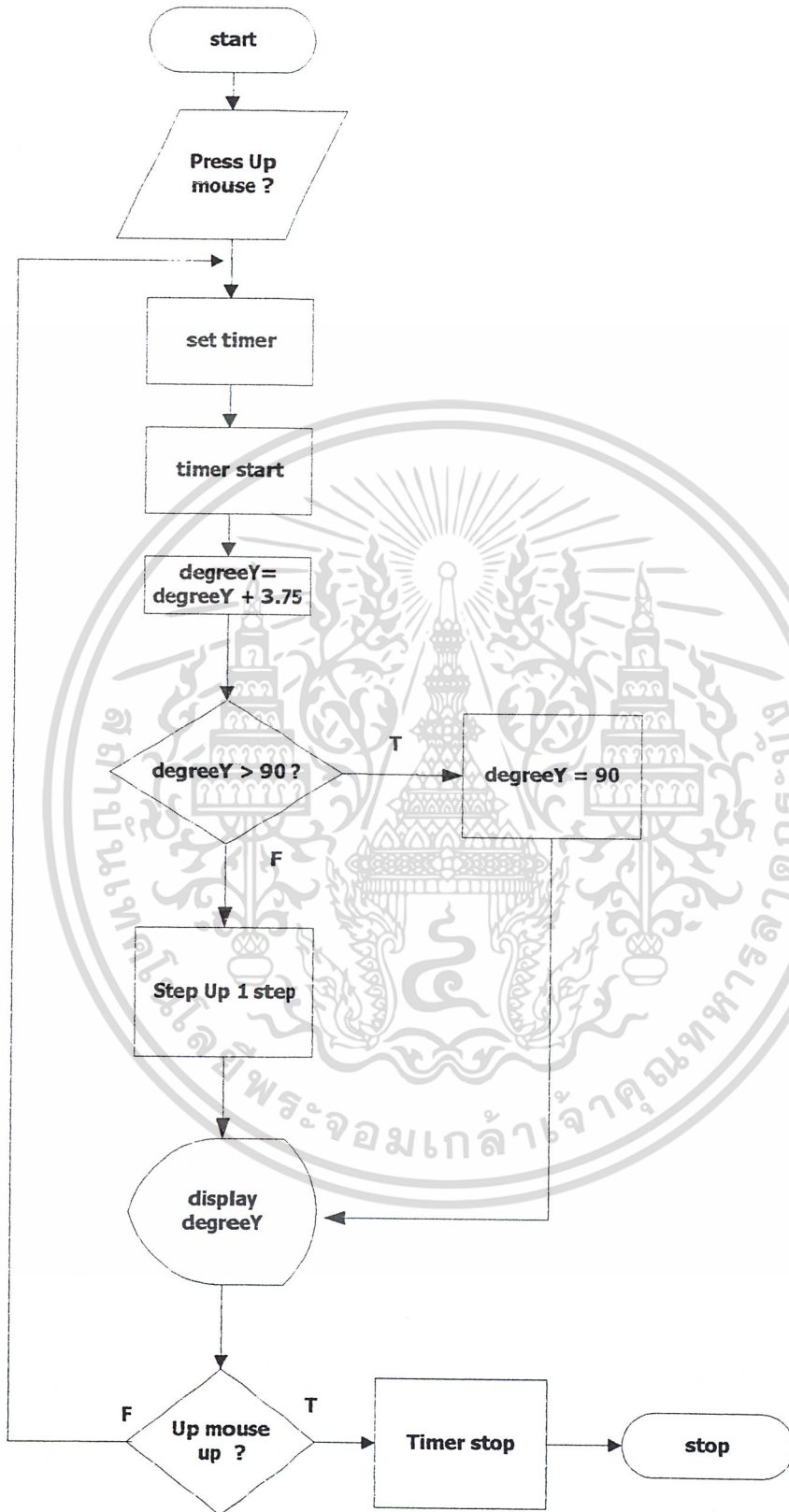


รูปที่ 3.20 โปรแกรมย่อย PRESS LEFT BUTTON TO STAND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

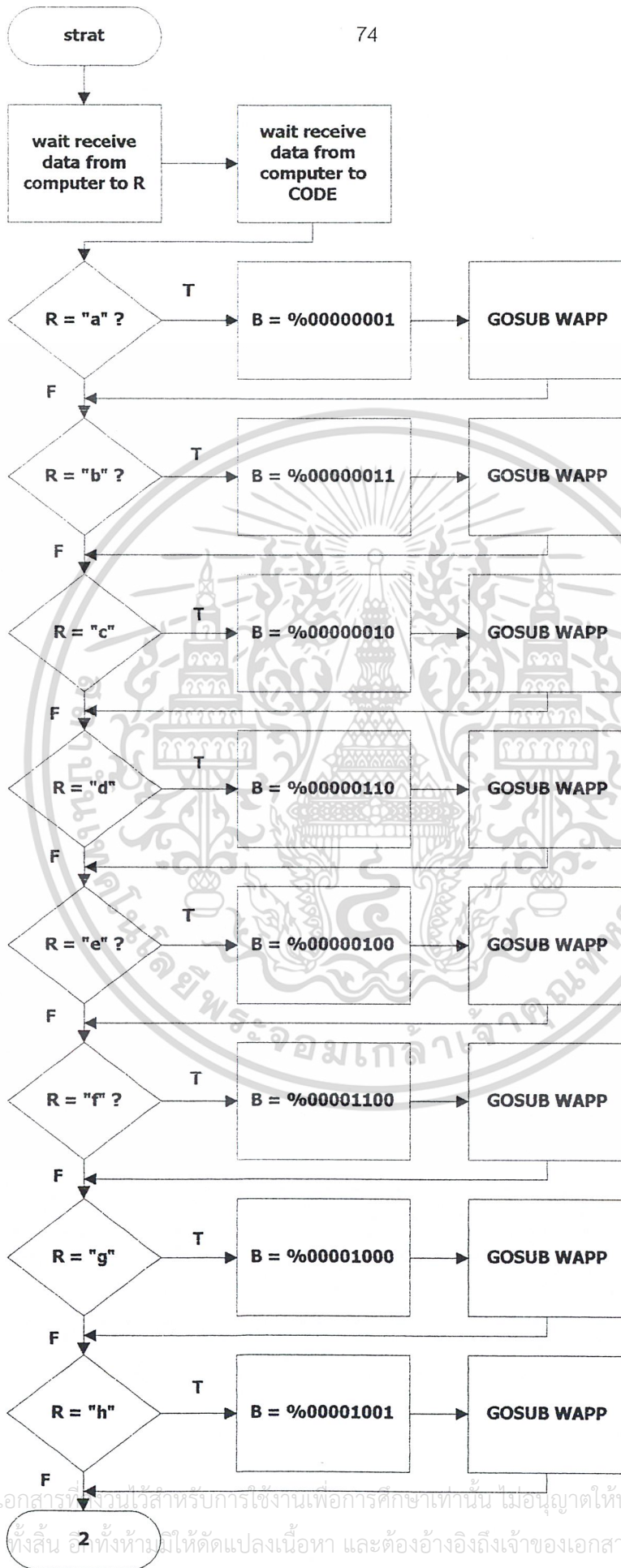


เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.21 โปรแกรมย่อย PRESS RIGHT BUTTON TO STAND ใช้เป็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

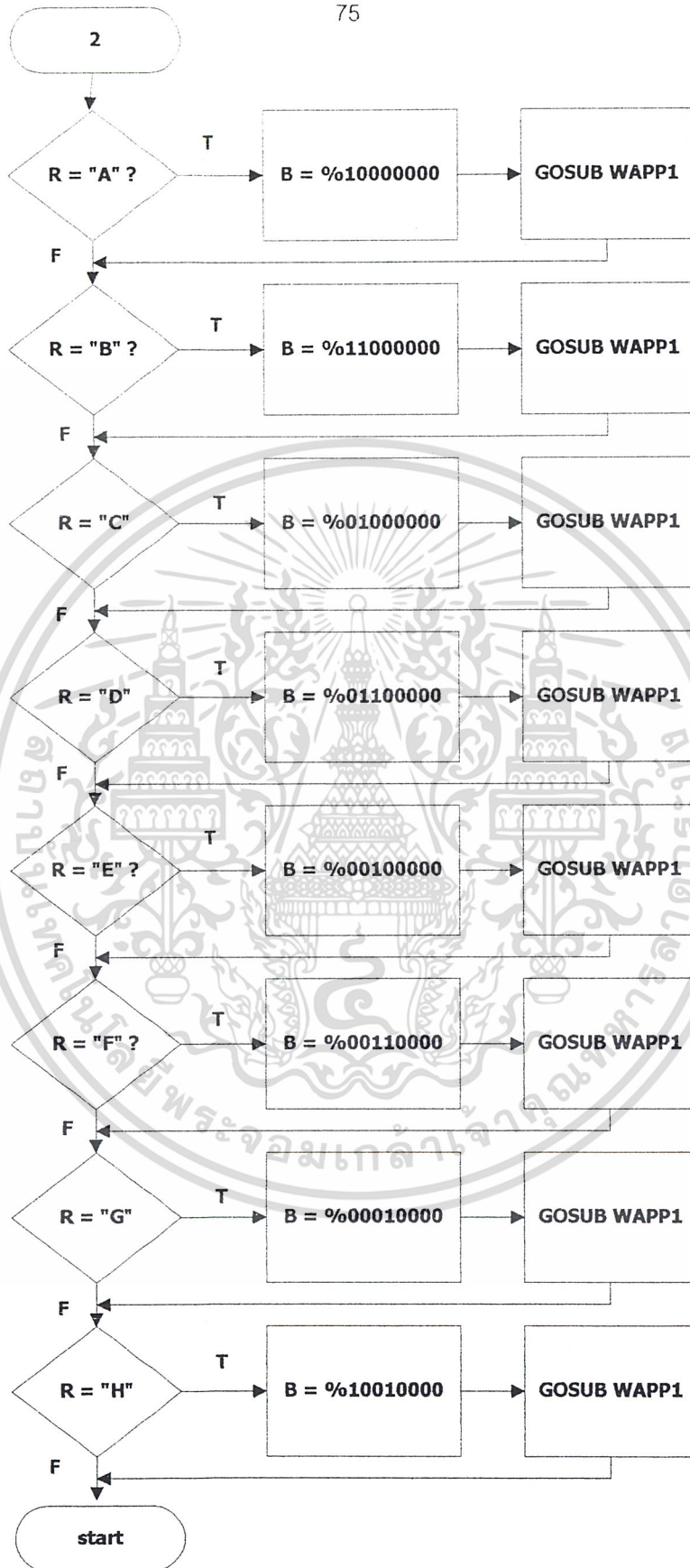


รูปที่ 3.22 โปรแกรมย่อย PRESS UP BUTTON TO STAND

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

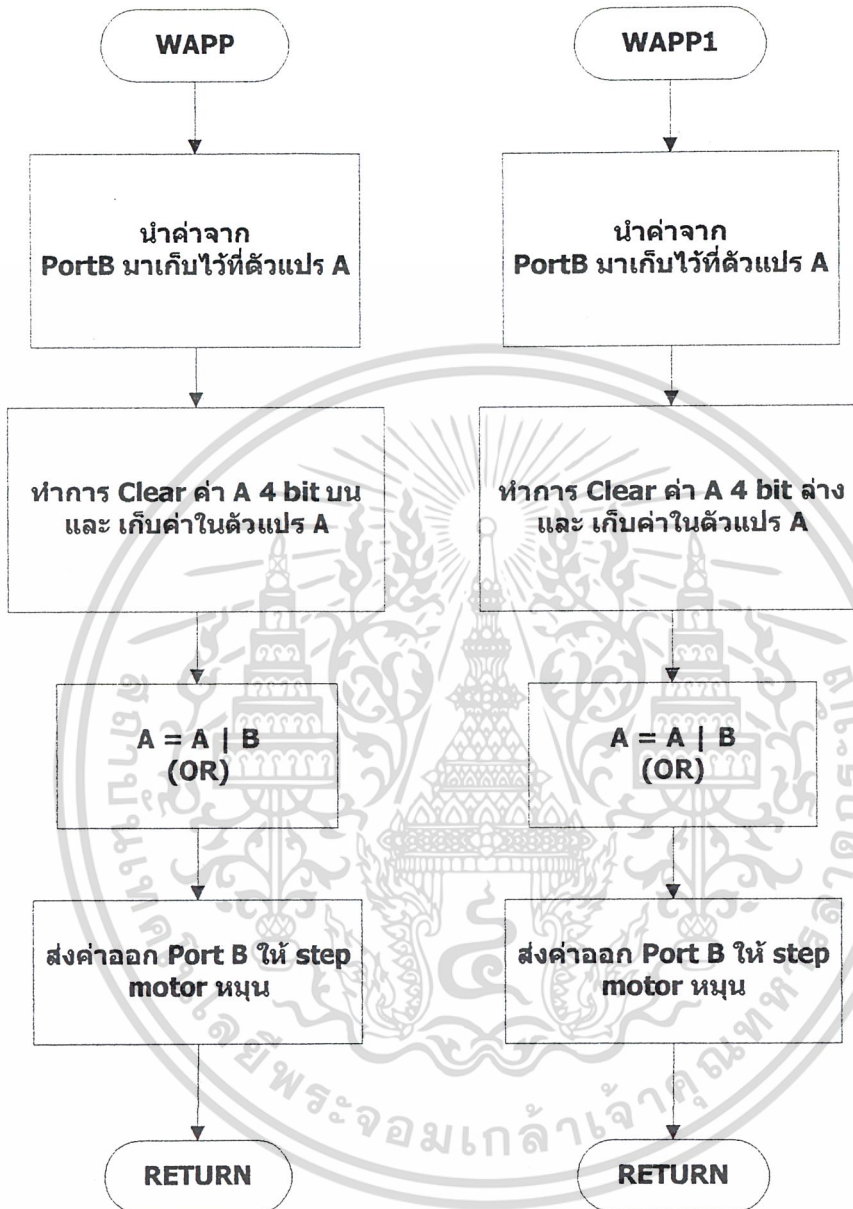


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 2 ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



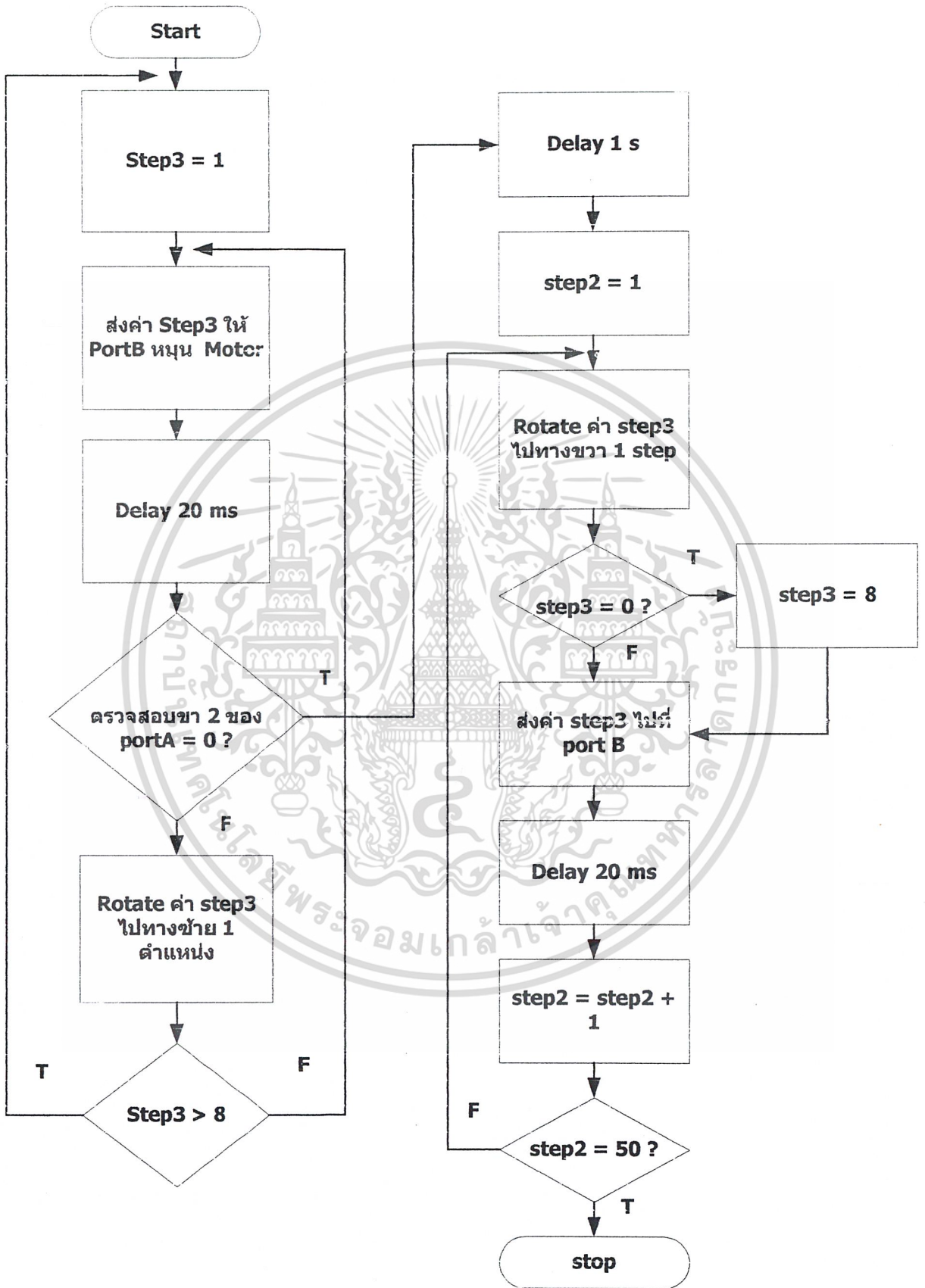
รูปที่ 3.24 โปรแกรมย่อย MICROCONTROLLER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในวงมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 โปรแกรมย่อย MICROCONTROLLER (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารรูปที่ 3.26 โปรแกรมย่อย MICROCONTROLLER (LIMIT SWITCH) ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบคุณสมบัติการทำงาน

4.1 การทดสอบวงจรจ่ายไฟตรง

การทดสอบคุณสมบัติทาง Load Regulation

ในขณะที่กระแสที่ทางออกเปลี่ยนแปลง ค่าของแรงดันไฟตรงที่ทางออก ควรเปลี่ยนแปลงให้น้อยที่สุด เราใช้ค่า โหลดเรกกูเลชัน (Load Regulation) เป็นค่าที่บอกความสามารถในการรักษา ระดับแรงดันของวงจรแรงดันไฟตรงคงที่ของเครื่องจ่ายไฟตรง ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$\% \text{ Load Regulation} = \frac{[V_o (\text{no load}) - V_o (\text{full load})]}{V_o (\text{no load})} * 100 \% \quad \dots(4.1)$$

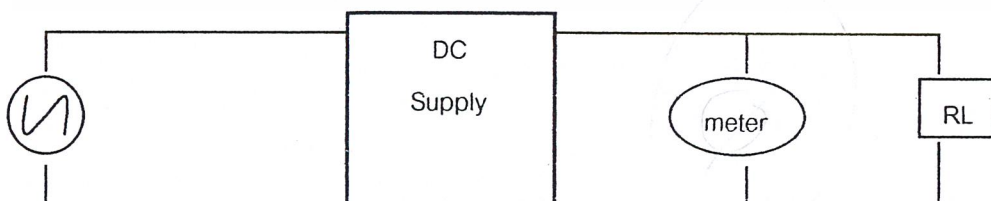
โดยที่ v_m คงที่

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ตัวต้านทานค่าต่างๆ
2. Digital multimeter

วิธีการทดสอบ

1. ต่อวงจรทดสอบตามรูปที่ 4.1 กับแหล่งจ่ายไฟตรง +12 V ยังไม่ต้องต่อ โหลด
2. ต่อโหลดให้กับวงจร โดยเปลี่ยนค่าโหลดตามตารางที่ 4.1 แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ทางออกที่เกิดขึ้น โดยใช้ Digital multimeter
3. ทำการทดสอบแหล่งจ่ายไฟตรง + 5 V ด้วยวิธีเดียวกัน บันทึกผลลงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การทดสอบคุณสมบัติทาง Load Regulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทาง Load Regulation ภาคแรงดัน ไฟตรง + 12 V

$R_L (\Omega)$	No Load	25	% Load Reg. สมการ (4.1)
$V_o (V)$	11.95	11.90	0.42 %
$I_o (A)$	0	0.47	

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทาง Load Regulation ภาคแรงดัน ไฟตรง + 5 V

$R_L (\Omega)$	No Load	5	3.33 (10//10 //10)	% Load Reg. สมการ (4.1)
$V_o (V)$	4.92	4.91	4.87	1.01%
$I_o (A)$	0	0.98	1.62	

4.2 การทดสอบส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

การทดสอบการทำงานในส่วนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทดสอบการควบคุมสเต็ปมอเตอร์โดย PIC16F84 และวงจรขับมอเตอร์เพียงเท่านั้น ทดสอบโดยการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยโปรแกรมด้านล่างนี้ ซึ่งจะควบคุมให้สเต็ปมอเตอร์ทั้งสองของทั้งสองแกนให้หมุนด้วยสเต็ปที่ห่างกัน 0.5 วินาทีไปพร้อม ๆ กันอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่ทำการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่วงจรในส่วนนี้

TRISB = 0

TRISA = 0

PORTA = 0

PORTB = 0

LOOP: PORTB = %00110011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAUSE 500

PORTB = %01100110

PAUSE 500

PORTB = %11001100

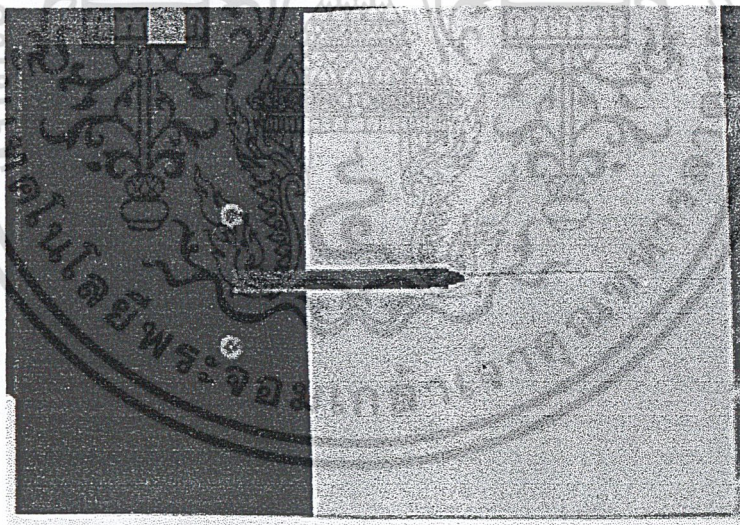
PAUSE 500

PORTB = %10011001

PAUSE 500

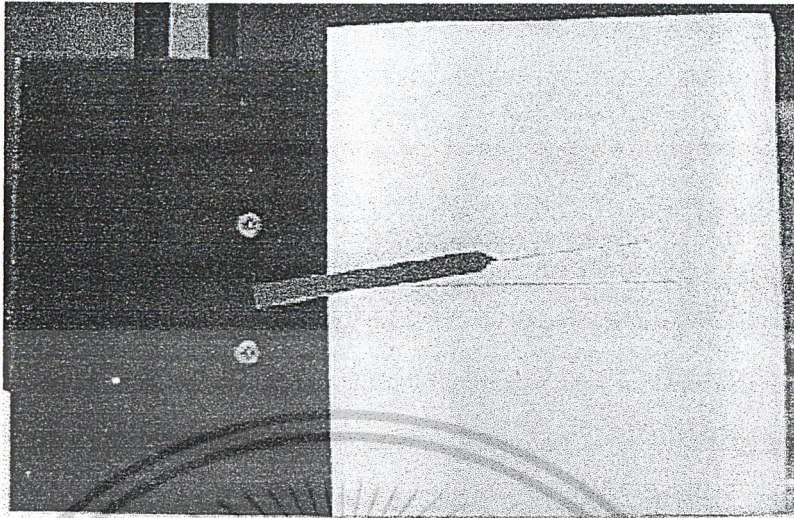
GOTO LOOP

ผลการทดสอบ พบว่า สเต็ปมอเตอร์ทั้งสองชุด สามารถหมุนด้วยสเต็ปที่ห่างกัน 0.5 วินาที
ไปตลอดเวลาที่ทำการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่วงจรในส่วนนี้ได้ตามความต้องการ
จากนั้นได้ทำการวัดมุมในการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองแกนต่อ 1 สเต็ปการหมุนดังรูปการ
ทดลองต่อไปนี้ ซึ่งทดลองวัดค่ามุมการหมุนใน 8 สเต็ปก่อน จึงคำนวณหาค่าที่ต้องการ

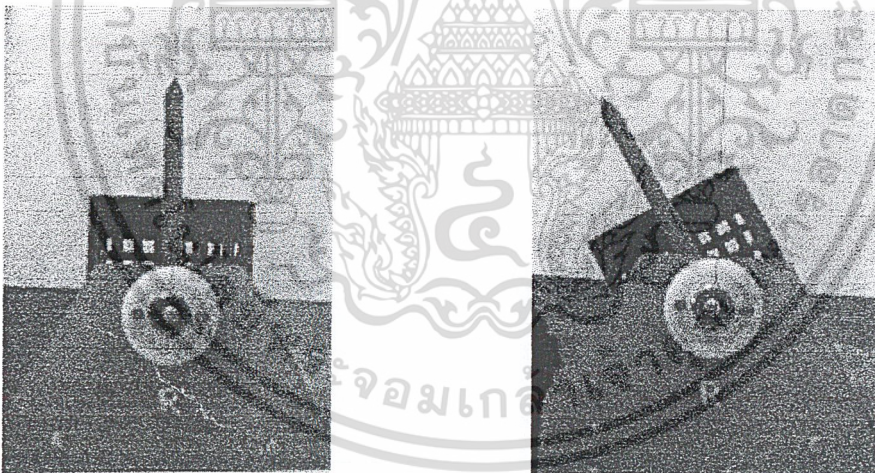


(a) เริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) หลังจากหมุนไป 8 สเต็ป
รูปที่ 4.2 การทดลองวัดมุมการสลับขั้วของมอเตอร์ในแนวแกน X



(a) เริ่มต้น

(b) หลังจากหมุนไป 8 สเต็ป

รูปที่ 4.3 การทดลองวัดมุมการสลับขั้วของมอเตอร์ในแนวแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดมุมการสลับของมอเตอร์

แนวแกนของมอเตอร์	มุมการสลับ (องศาต่อสลับ)
X	0.9
Y	3.75

4.3 การทดสอบการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรม

การทดสอบการทำงานในส่วนนี้เป็นการทดสอบการทำงานของวงจรโดยรวม ที่สามารถทำการควบคุมสลับมอเตอร์ทั้งสองผ่านทางหน้าจอกอมพิวเตอร์ได้ผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยทำการโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยโปรแกรมด้านล่างนี้ ซึ่งมีการทำงาน คือ สลับมอเตอร์ทั้งสองจะหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (มองจากด้านเพลาไปสู่ตัวมอเตอร์) เมื่อได้รับค่า " A " จากคอมพิวเตอร์และแสดงค่าคำว่า " YES " บนหน้าจอในส่วนที่รับค่าจากมอเตอร์ แต่จะหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเมื่อได้รับค่าอื่น ๆ จากคอมพิวเตอร์และแสดงค่าคำว่า " NO " โดยการหมุนในทั้งสองทิศทางนี้จะหมุนไป 4 สลับด้วยสลับที่ห่างกัน 0.5 วินาที

```
INCLUDE "MODEDEFS.BAS"
```

```
TRISB = 0
```

```
R VAR BYTE
```

```
R=0
```

```
PORTB = %00010001
```

```
PAUSE 500
```

```
PORTB = %00100010
```

```
PAUSE 500
```

```
PORTB = %01000100
```

```
PAUSE 500
```

```
PORTB = %10001000
```

```
PAUSE 500
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LOOP: SERIN PORTA.1,T9600,R
      IF R = "A" THEN MOTOR
      IF R <> "A" THEN MOTOR2
GOTO LOOP

```

```

MOTOR:          PORTB = 0
                PORTB = %00010001
                PAUSE 500
                PORTB = %00100010
                PAUSE 500
                PORTB = %01000100
                PAUSE 500
                PORTB = %10001000
                PAUSE 500
                SEROUT PORTA.0,T9600,["Y","E","S"]
                GOTO LOOP

```

```

MOTOR2:        PORTB = 0
                PORTB = %10001000
                PAUSE 500
                PORTB = %01000100
                PAUSE 500
                PORTB = %00100010
                PAUSE 500
                PORTB = %00010001
                PAUSE 500
                SEROUT PORTA.0,T9600,["N","O"]

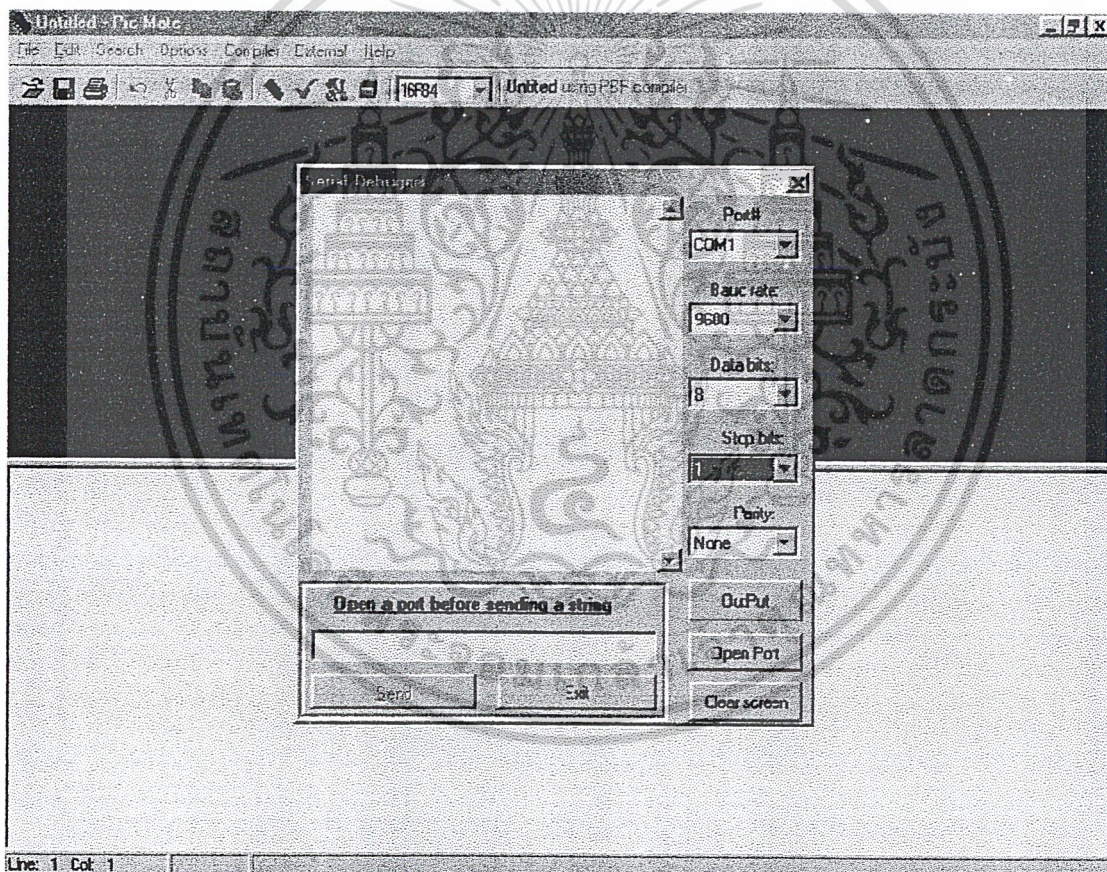
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

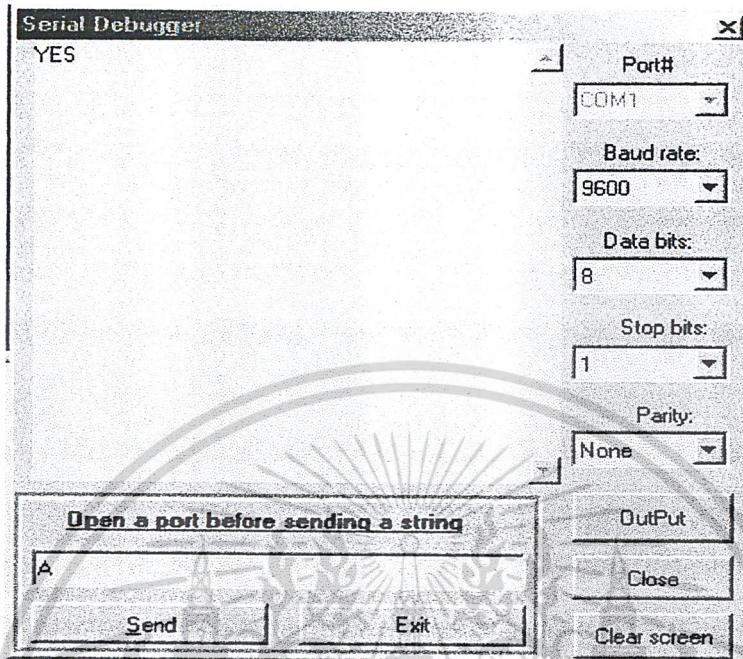
GOTO LOOP

ผลการทดลอง ส่งค่า " A " และ " B "

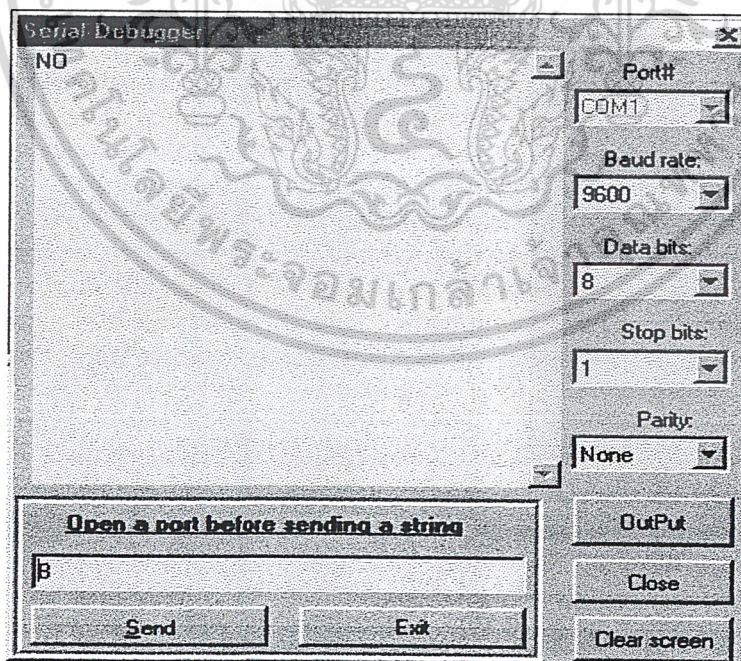
เริ่มต้นจากการเรียกใช้ Program Pic Mate ซึ่งเป็น โปรแกรมสำหรับใช้ในการส่งค่าในการติดต่อแบบอนุกรม แล้วใช้คำสั่ง Compiler → Debugger จะปรากฏหน้าต่างในการทำงาน จากนั้นเลือกฟังก์ชัน OutPut จะมีหน้าต่างในการส่งค่าเพิ่มขึ้นมาในมุมซ้ายล่าง จากนั้นให้กำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆ ในการส่งค่า ดังรูป 4.4 จากนั้นทดลองส่งค่า " A " และ " B " ตามลำดับ แสดงผลในรูปแบบถัดไป ซึ่งพบว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้ตรงตามความต้องการที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.4 การเรียกใช้โปรแกรมในการส่งค่าแบบอนุกรมและการกำหนดค่าต่างๆ ในการส่งค่า



รูปที่ 4.5 การทดลองส่งค่า " A " เพื่อให้สเต็ปมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา 4 สเต็ปและส่งค่ากลับมา



รูปที่ 4.6 การทดลองส่งค่า " B " เพื่อให้สเต็ปมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา 4 สเต็ปและส่งค่ากลับมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบโปรแกรมควบคุม

4.4.1 การทดสอบโปรแกรมในส่วนการหาจุด Centroid และขอบเขตของวัตถุ

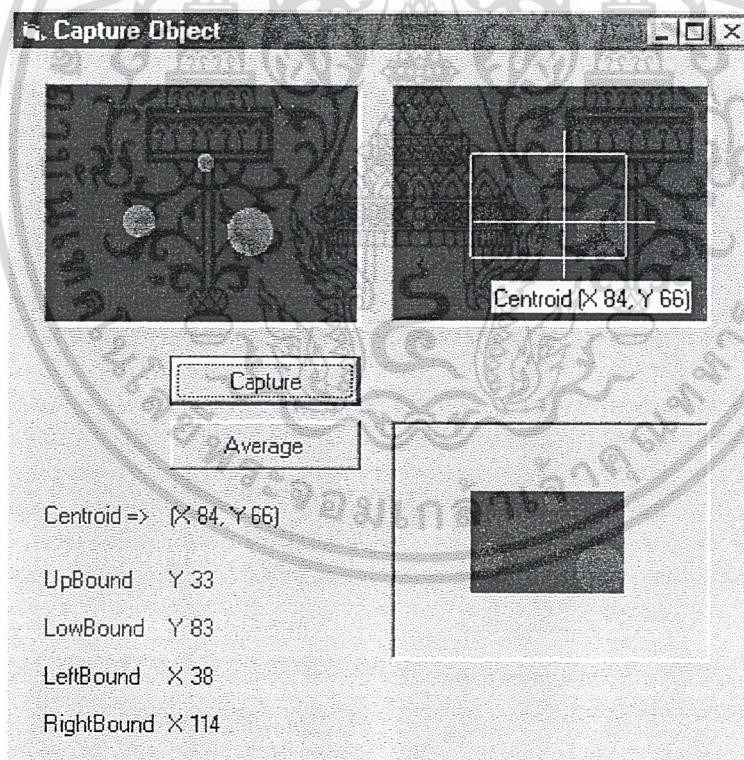
การทดลองในส่วนนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบการทำงานของฟังก์ชัน 2 ส่วน คือ ฟังก์ชัน Find_Centroid และฟังก์ชันการหาขอบเขตของวัตถุ ตามที่ได้ออกแบบการทำงานดังรูปที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ

วิธีการทดสอบ

1. เขียน โปรแกรมแสดงผลฟังก์ชันทั้งสองออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์พร้อมกันด้วย Visual Basic
2. ทำการป้อนภาพหนึ่งที่มีลักษณะต่างกัน 3 รูปแบบ เป็นอินพุต
3. ให้โปรแกรมทำงาน และบันทึกภาพผลการทดลอง

ผลการทดลอง

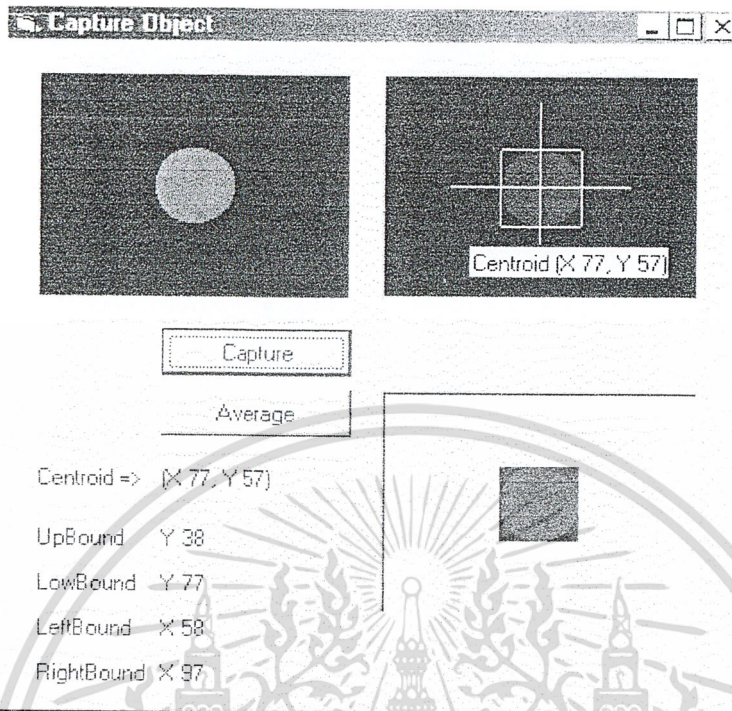
- 1) ผลการทดลองกับภาพวัตถุแบบที่ 1



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบโปรแกรมในส่วนการหาจุด Centroid และขอบเขตของวัตถุแบบที่ 1

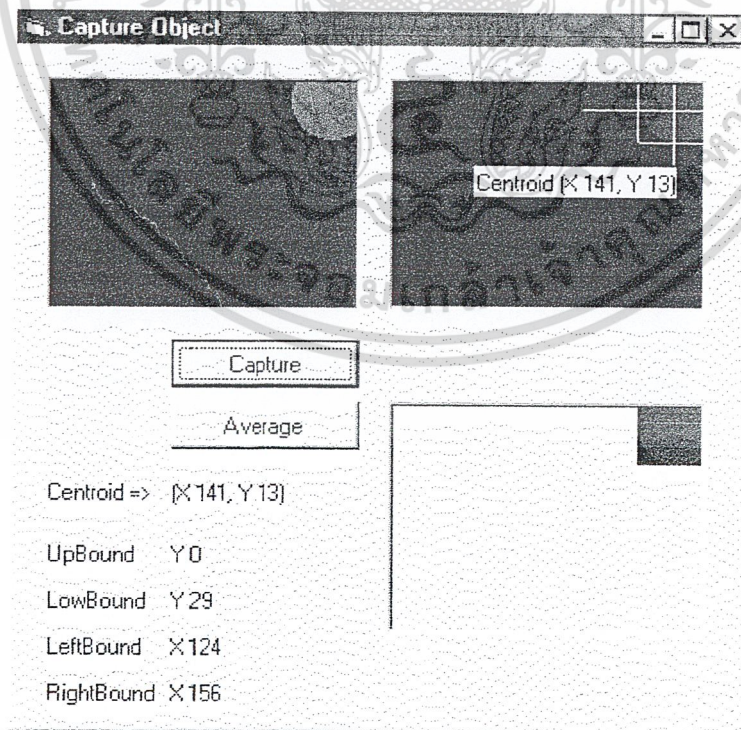
- 2) ผลการทดลองกับภาพวัตถุแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบโปรแกรมในส่วนการหาจุด Centroid และขอบเขตของวัตถุแบบที่ 2

3) ผลการทดลองกับภาพวัตถุแบบที่ 3



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบโปรแกรมในส่วนการหาจุด Centroid และขอบเขตของวัตถุแบบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

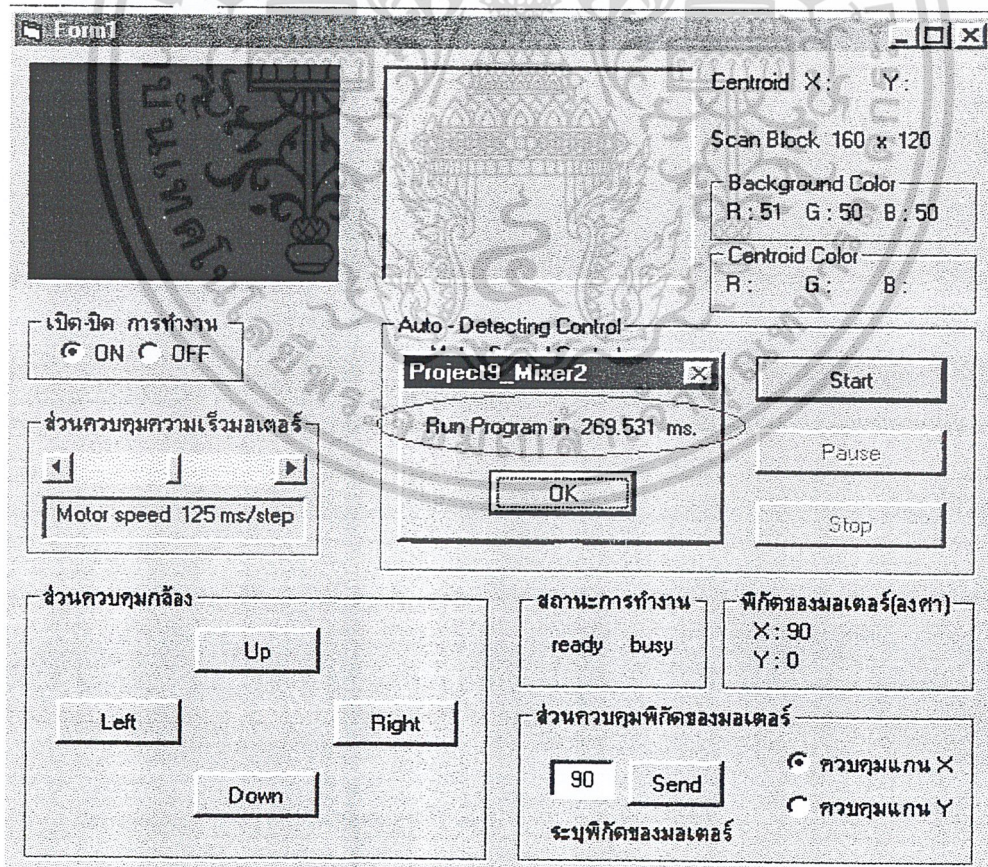
4.4.2 การทดสอบจับเวลาการทำงานของฟังก์ชันต่าง ๆ

การทดลองในส่วนนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบความเร็วในการทำงานของ โปรแกรมสำคัญ 3 ส่วน คือ ฟังก์ชัน Find_Average, ฟังก์ชัน Find_Centroid และฟังก์ชัน Run_Centroid ตามที่ได้ออกแบบการทำงานดังรูปที่ 3.6, 3.10 และ 3.13 ตามลำดับ

วิธีการทดสอบ

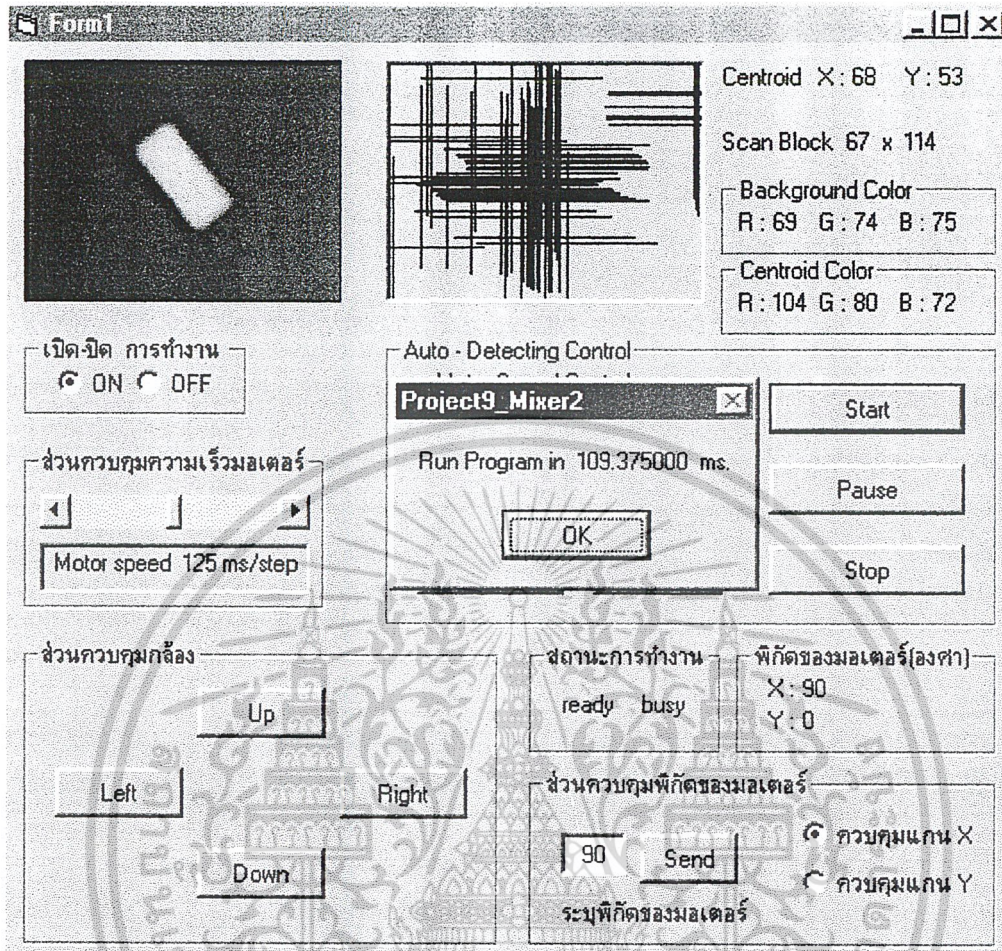
1. เขียนโปรแกรมจับเวลาการทำงานของฟังก์ชันที่ละส่วนออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ด้วย Visual Basic
2. ทำการจับภาพวัตถุที่มีขนาดคงที่สำหรับการจับเวลาฟังก์ชัน Find_Average และฟังก์ชัน Find_Centroid แต่ใช้วัตถุที่มีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาดสำหรับการจับเวลาฟังก์ชัน Run_Centroid
3. ให้โปรแกรมทำงาน 10 ครั้งในแต่ละฟังก์ชันเพื่อหาค่าเฉลี่ย แล้วบันทึกภาพผลการทดลอง และผลการทดลองลงในตารางที่ 4.4 และ 4.5

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการจับเวลาการทำงานของฟังก์ชัน Find_Average (หาพื้นหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการจับเวลาการทำงานของฟังก์ชัน Find_Centroid

ตารางที่ 4.4 ผลการจับเวลาการทำงานของฟังก์ชัน Find_Average และฟังก์ชัน Find_Centroid

ครั้งที่	เวลาการทำงาน (ms)ของฟังก์ชัน	
	Find_Average	Find_Centroid
1	218.750	328.125
2	269.531	328.125
3	269.531	269.531
4	269.531	281.250
5	269.531	269.531
6	218.750	281.250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	273.438	269.531
8	269.531	277.344
9	218.750	281.250
10	281.250	328.125
เฉลี่ย	255.859	291.406

ตารางที่ 4.5 ผลการจับเวลาการทำงานของฟังก์ชัน Run_Centroid ที่ขนาดวัตถุแตกต่างกัน

ครั้งที่	เวลาการทำงาน (ms) ที่ขอบเขตวัตถุ		
	121 × 107	67 × 110	43 × 105
1	222.656	109.375	58.594
2	218.750	109.375	50.781
3	222.656	109.375	58.594
4	218.750	109.375	62.500
5	218.750	109.375	58.594
6	210.938	109.375	50.781
7	222.656	109.375	50.781
8	218.750	109.375	46.875
9	218.750	160.156	50.781
10	218.750	109.375	50.781
เฉลี่ย	219.140	114.453	53.906

4.4.3 การทดสอบการทำงานของโปรแกรมเพื่อติดตามวัตถุที่มีการเคลื่อนที่

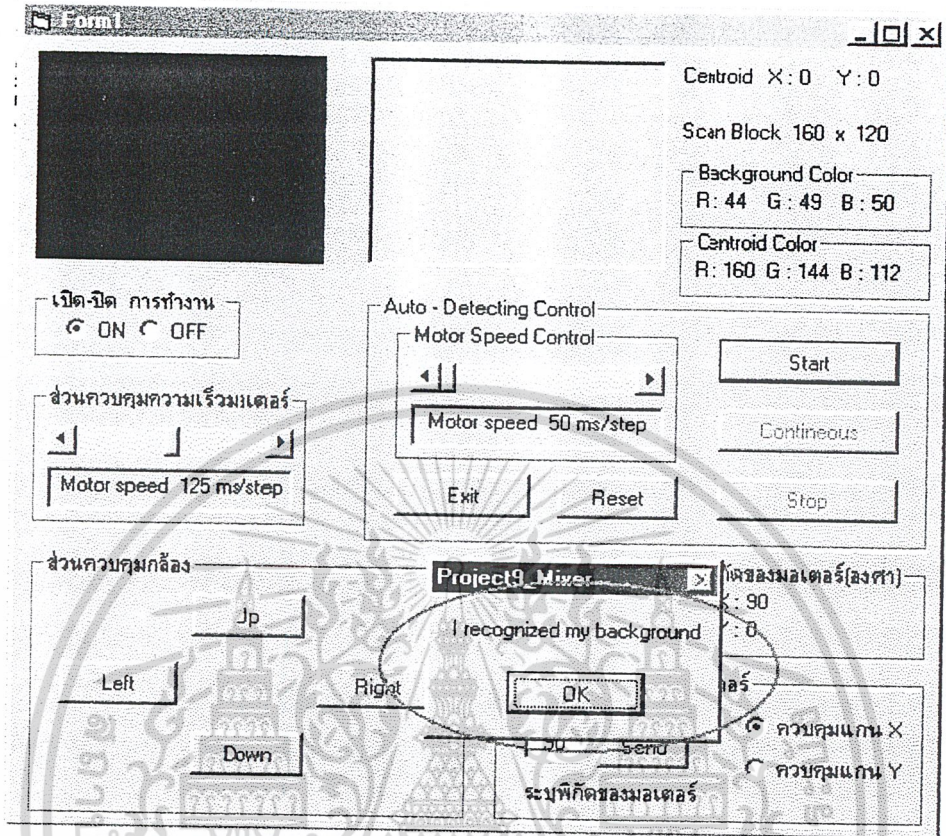
การทดสอบในส่วนนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบการทำงานของโปรแกรมในส่วน Auto tracking ทั้งหมดซึ่งมีการทำงานเป็นไปตามการออกแบบดังรูปที่ 3.3-3.13 ซึ่งประกอบด้วย 5 โปรแกรมย่อย และ 6 ฟังก์ชันการทำงาน สามารถแสดงผลการทดสอบโปรแกรมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

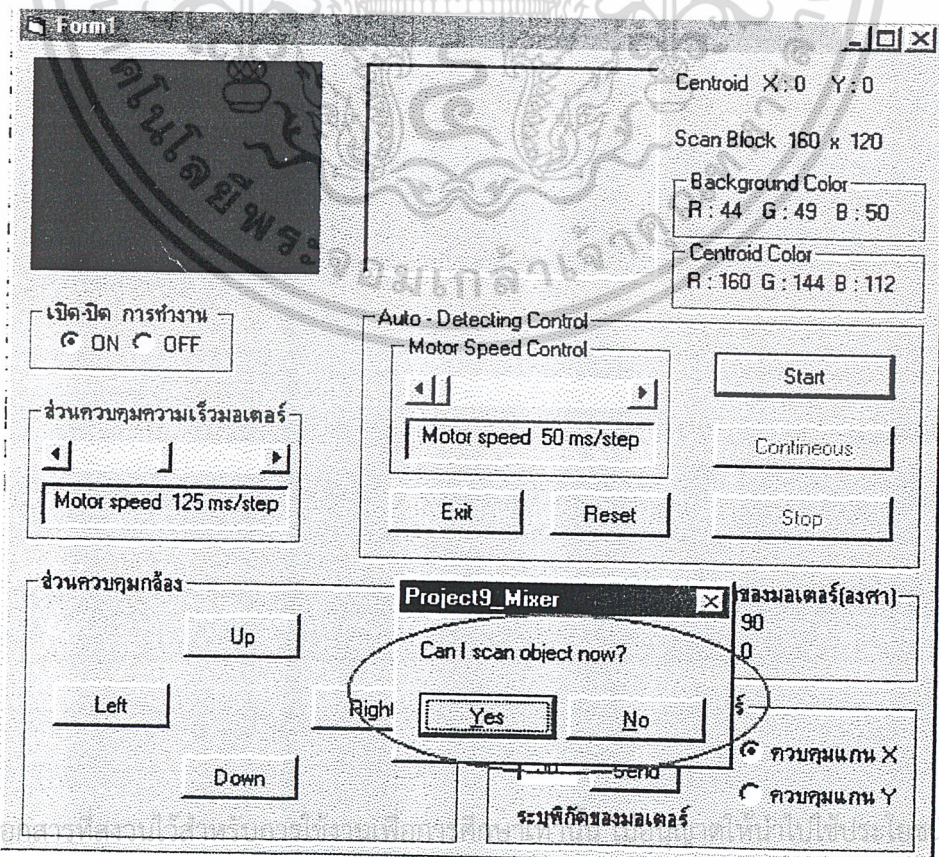
ผลการทดลอง

a) - b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลหรือข้อมูลใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



c) - d)



เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form1

Centroid X: 113 Y: 33

Scan Block 160 x 120

Background Color
R: 67 G: 68 B: 68

Centroid Color
R: G: B:

เปิด-ปิด การทำงาน
 ON OFF

ส่วนควบคุมความเร็วมอเตอร์
Motor speed 125 ms/step

Auto - Detecting Control
Motor Speed Control
Motor Speed 50 ms/step.

Start
Continueous
Exit
Reset
Stop

ส่วนควบคุมกล้อง
Up
Left
Right
Down

สถานะการทำงาน
ready busy

พิกัดของมอเตอร์(องศา)
X: 90
Y: 0

ส่วนควบคุมพิกัดของมอเตอร์
90 Send

ควบคุมแกน X
 ควบคุมแกน Y

ระบุพิกัดของมอเตอร์

e) - f)

Form1

Centroid X: 67 Y: 30

Scan Block 43 x 55

Background Color
R: 56 G: 66 B: 66

Centroid Color
R: G: B:

เปิด-ปิด การทำงาน
 ON OFF

ส่วนควบคุมความเร็วมอเตอร์
Motor speed 125 ms/step

Auto - Detecting Control
Motor Speed Control
Motor Speed 50 ms/step.

Start
Continueous
Exit
Reset
Stop

ส่วนควบคุมกล้อง
Up
Left
Right
Down

สถานะการทำงาน
ready busy

พิกัดของมอเตอร์(องศา)
X: 90
Y: 0

ส่วนควบคุมพิกัดของมอเตอร์
90 Send

ควบคุมแกน X
 ควบคุมแกน Y

ระบุพิกัดของมอเตอร์

รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบโปรแกรมในส่วน Auto Tracking ในขั้นตอนต่าง ๆ

- a) หน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้งานเป็นครั้งแรก
- b) หลังจากกดปุ่ม Start โปรแกรมจะทำการหาค่าสีเฉลี่ยของพื้นหลัง
- c) มีการแสดงข้อความแจ้งการจดจำค่าสีของพื้นหลังแล้ว
- d) มีการถามความต้องการสแกนหาวัตถุจากผู้ใช้
- e) การสแกนพบวัตถุเป็นครั้งแรก และเริ่มการคำนวณหาจุดเซ็นทรอยด์
- f) หลังจากการพบวัตถุครั้งแรกแล้ว จะทำให้พื้นที่การสแกนภาพวัตถุเล็กลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

1. จากการทดสอบคุณสมบัติของวงจรจ่ายไฟตรง ทั้งส่วน + 5 V และ + 12 V ต่างสามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ตามต้องการคือ 1.5 A และ 0.5 A ตามลำดับ โดยที่ทั้งสองวงจรมีคุณสมบัติทางโหลดเรกกูเลชันที่ดีมาก (เมื่อพิจารณาที่การทำงานแบบเต็มสเต็ม) เพราะมีค่าโหลดเรกกูเลชันเมื่อพิจารณาที่ full load ที่ต่ำกว่า 1.5 % นั่นเอง

2. การทดลองสเต็มมอเตอร์ในส่วนของการส่งข้อมูลจาก Microcontroller PIC16F84 ไปควบคุมพบว่า มุมของสเต็มมอเตอร์ในแนวแกน X ขณะทำงานครึ่งสเต็มจะได้ 0.9 องศาต่อสเต็ม ซึ่งป็นมุมที่ละเอียดมากจึ้นกว่าแบบเต็มสเต็มซึ่งทดลองในตอนแรก แต่ปัญหาที่พบคือ ไฟเลี้ยงมอเตอร์จะตกเป็นจังหวะในของการทำงานแบบนี้ทุกครั้งที่มอเตอร์หมุน เป็นเพราะวงจรไฟเลี้ยงที่ออกแบบไว้ตอนเริ่มต้นนั้นเหมาะสมกับการทำงานแบบเต็มสเต็ม ดังนั้นในการทำงานแบบครึ่งสเต็มที่ต้องมีการจ่ายกระแสเพิ่มขึ้น จึงทำให้กระแสโหลดที่ต้องการเกินความสามารถของวงจรไฟเลี้ยงไปเล็กน้อย ในขณะที่มุมของสเต็มมอเตอร์ในแนวแกน Y ขณะทำงานแบบครึ่งสเต็มจะได้ 3.75 องศาต่อสเต็ม ซึ่งเป็นมุมที่ค่อนข้างกว้าง แต่มีปัญหาคือ ขณะที่สเต็มมอเตอร์หมุนขึ้น ในจังหวะที่สเต็มมอเตอร์ทำงานครึ่งสเต็มจะมีค่ามุมที่ผิดพลาดไปจากค่ามุม 3.75 องศาต่อสเต็ม เนื่องจากสเต็มมอเตอร์ไม่มีกำลังพอที่จะหมุนกล็องขึ้นได้ด้วยค่ามุมที่สม่ำเสมอ แต่เมื่อสเต็มมอเตอร์ทำงานแบบเต็มสเต็มจะทำงานได้ถูกต้อง

3. การทดลองในส่วนของการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรม พบว่าสามารถเขียน โปรแกรมควบคุมการทำงานของสเต็มมอเตอร์ได้โดยมีเงื่อนไขในการส่งค่าจากคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic โดยส่งค่าเป็นรหัสแอสกีออกไปเป็นค่าต่างๆ ให้ Microcontroller PIC16F84 รับค่าแล้วไปควบคุมสเต็มมอเตอร์แต่ปัญหาที่พบคือ ไม่สามารถส่งค่าออกไปได้ค่าที่เร็วเท่ากับค่าที่เราต้องการ โดย Timer ของโปรแกรม Visual Basic เนื่องจากโปรแกรมมีขนาดใหญ่มากกว่าต้องทำงานนานกว่า Timer ทำให้ค่าความเร็วที่ได้มีค่าผิดพลาดไปจากค่าที่เราต้องการ

4. การคิด limit switch ทำให้ก๊องอยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นที่เราตั้งไว้เดิมทุกครั้ง ทำให้เราควบคุมก๊องได้ง่าย โดยเราสามารถระบุตำแหน่งของก๊องได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5. จากผลการทดลองในส่วนองวิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง (centroid) เป็นวิธีการที่ง่ายและเหมาะสมในการนำมาใช้ใน โปรแกรม ทำให้เวลาที่ใช้ใน โปรแกรมค่อนข้างน้อย แต่ก็ยังสามารถนำไปพัฒนาวิธีการให้ดีขึ้นได้ง่ายต่อไปในอนาคต

6. จากการสังเกตภาพที่แสดงผลออกมาบนหน้าจอที่เกิดจาก component ที่ได้ download มา (ezvidcap) จะเห็นว่ายังมี delay time อยู่บ้าง ทำให้โดยรวมแล้วยังมี delay time ของระบบควบคุมว่ากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุมอยู่บ้าง ถ้าสามารถที่จะเขียนโปรแกรมให้มัน interface ติดต่อกับกล้องที่ใช้ port USB ได้โดยตรงจะทำให้ระบบดีขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องใช้ความชำนาญในการเขียน โปรแกรมขั้นสูงต่อไป

7. จากผลการทดลอง แสดงการจับเวลาการทำงานของโปรแกรม ในส่วนต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากที่สุดของระบบที่ใช้ image processing คล้ายกับระบบนี้ด้วย ซึ่งความเร็วนี้สามารถพัฒนาให้เร็วขึ้น โดยใช้เทคนิคโปรแกรมขั้นสูง และ Algorithm ในการคำนวณส่วนต่างๆ ควรจะมีความง่ายและประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตาม Algorithm ที่นำมาใช้อยู่นี้ เป็นเพียงแค่ส่วนหนึ่งที่เราคิดว่าน่าจะเหมาะสมกับระบบ ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจสำหรับความเร็วของโปรแกรม ซึ่งทำงานโดย CPU 200 MHz ซึ่งสามารถจะพัฒนาได้ต่อไป

8. ระบบในการตรวจจับวัตถุและพื้นหลังใช้วิธีการนำเอาค่าสีมาใช้ในการคำนวณ ทำให้มีปัญหาในเรื่องของแสงอยู่บ้าง และจำเป็นต้องมี back ground ทำให้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้ แต่เราก็ได้มีการปรับปรุงระบบให้มีข้อจำกัดในส่วนนี้น้อยลง เท่าที่จะทำได้ ถ้ามีการพัฒนาจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้นอย่างมาก

9. สำหรับระยะห่างสูงสุดของวัตถุจากตัวกล้อง พบว่าขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยที่สำคัญ คือ การตั้งค่าพิกเซลในการตรวจสอบการเป็นวัตถุของโปรแกรม ขนาดของจอภาพในการแสดงผล และขนาดของวัตถุจริง

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

PIC16F84A

18-pin Enhanced Flash/EEPROM 8-Bit Microcontroller

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F84A
- Extended voltage range device available (PIC16LF84A)

High Performance RISC CPU Features:

- Only 35 single word instructions to learn
- All instructions single cycle except for program branches which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- 1024 words of program memory
- 68 bytes of data RAM
- 64 bytes of data EEPROM
- 14-bit wide instruction words
- 8-bit wide data bytes
- 15 special function hardware registers
- Eight-level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Four interrupt sources:
 - External RB0/INT pin
 - TMR0 timer overflow
 - PORTB<7:4> interrupt on change
 - Data EEPROM write complete

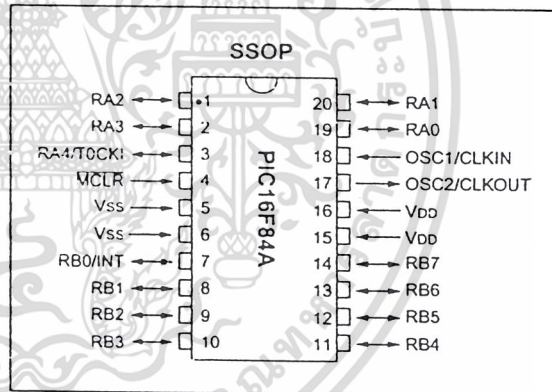
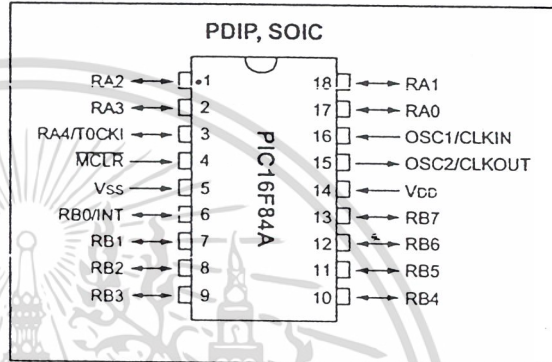
Peripheral Features:

- 13 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
 - 25 mA sink max. per pin
 - 25 mA source max. per pin
- TMR0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler

Special Microcontroller Features:

- 1000 erase/write cycles Enhanced Flash program memory
- 1,000,000 typical erase/write cycles EEPROM data memory
- EEPROM Data Retention > 40 years
- In-Circuit Serial Programming (ICSP™) - via two pins
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT), Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Code-protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options

Pin Diagrams



CMOS Enhanced Flash/EEPROM Technology:

- Low-power, high-speed technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range:
 - Commercial: 2.0V to 5.5V
 - Industrial: 2.0V to 5.5V
- Low power consumption:
 - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 15 µA typical @ 2V, 32 kHz
 - < 0.5 µA typical standby current @ 2V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

PIC16F84A

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device-specific information for the operation of the PIC16F84A device. Additional information may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual, (DS33023), which may be downloaded from the Microchip website. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet, and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

The PIC16F84A belongs to the mid-range family of the PICmicro™ microcontroller devices. A block diagram of the device is shown in Figure 1-1.

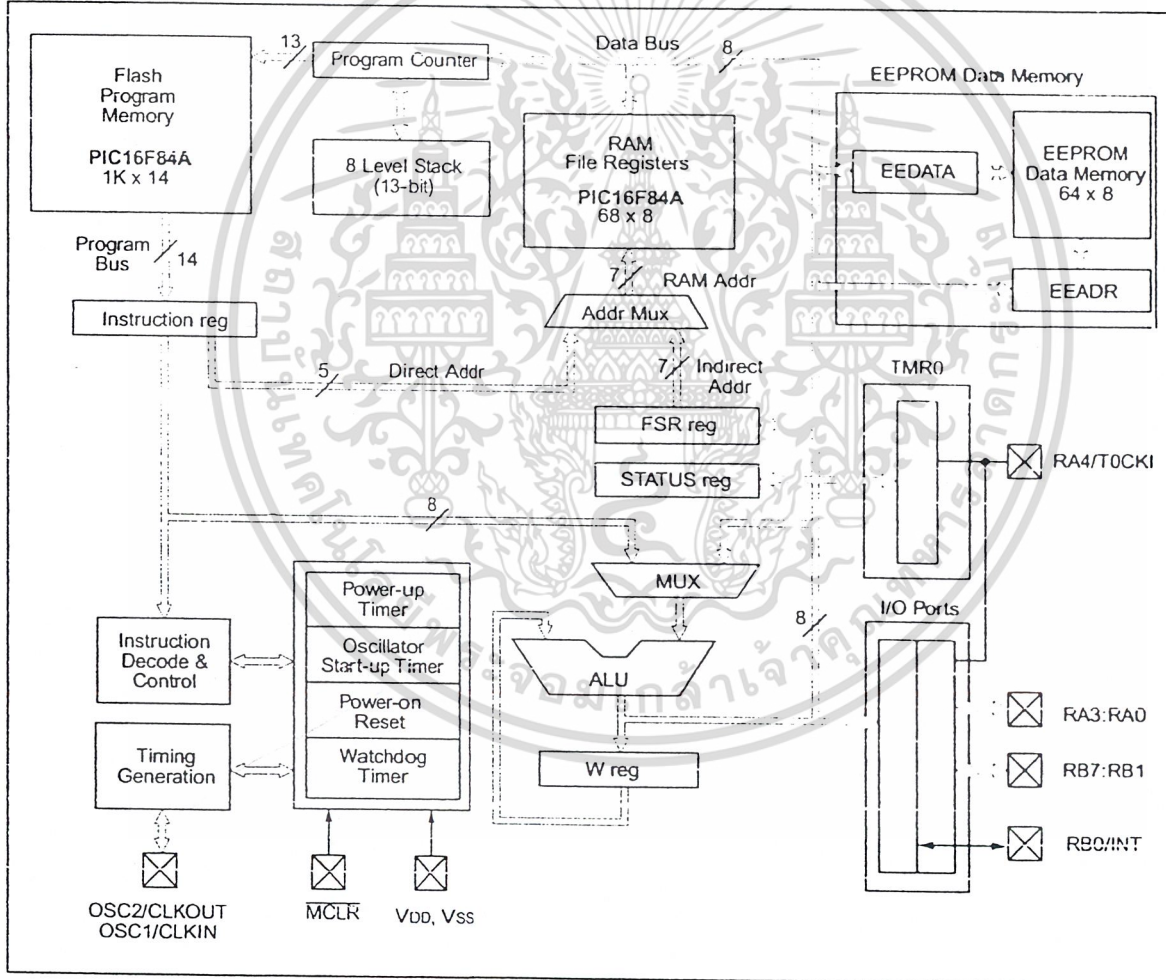
The program memory contains 1K words, which translates to 1024 instructions, since each 14-bit program memory word is the same width as each device instruction. The data memory (RAM) contains 68 bytes. Data EEPROM is 64 bytes.

There are also 13 I/O pins that are user-configured on a pin-to-pin basis. Some pins are multiplexed with other device functions. These functions include:

- External interrupt
- Change on PORTB interrupt
- Timer0 clock input

Table 1-1 details the pinout of the device with descriptions and details for each pin.

FIGURE 1-1: PIC16F84A BLOCK DIAGRAM



PIC16F84A

TABLE 1-1 PIC16F84A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP No.	SOIC No.	SSOP No.	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	16	16	18	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	15	15	19	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR	4	4	4	I/P	ST	Master clear (reset) input/programming voltage input. This pin is an active low reset to the device.
RA0	17	17	19	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. Can also be selected to be the clock input to the TMR0 timer/counter. Output is open drain type.
RA1	18	18	20	I/O	TTL	
RA2	1	1	1	I/O	TTL	
RA3	2	2	2	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	3	3	3	I/O	ST	
RB0/INT	6	6	7	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0/INT can also be selected as an external interrupt pin. Interrupt on change pin. Interrupt on change pin. Interrupt on change pin. Serial programming clock. Interrupt on change pin. Serial programming data.
RB1	7	7	8	I/O	TTL	
RB2	8	8	9	I/O	TTL	
RB3	9	9	10	I/O	TTL	
RB4	10	10	11	I/O	TTL	
RB5	11	11	12	I/O	TTL	
RB6	12	12	13	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RB7	13	13	14	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
Vss	5	5	5,6	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
Vdd	14	14	15,16	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = Input/Output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

2.0 MEMORY ORGANIZATION

There are two memory blocks in the PIC16F84A. These are the program memory and the data memory. Each block has its own bus, so that access to each block can occur during the same oscillator cycle.

The data memory can further be broken down into the general purpose RAM and the Special Function Registers (SFRs). The operation of the SFRs that control the "core" are described here. The SFRs used to control the peripheral modules are described in the section discussing each individual peripheral module.

The data memory area also contains the data EEPROM memory. This memory is not directly mapped into the data memory, but is indirectly mapped. That is, an indirect address pointer specifies the address of the data EEPROM memory to read/write. The 64 bytes of data EEPROM memory have the address range 0h-3Fh. More details on the EEPROM memory can be found in Section 5.0.

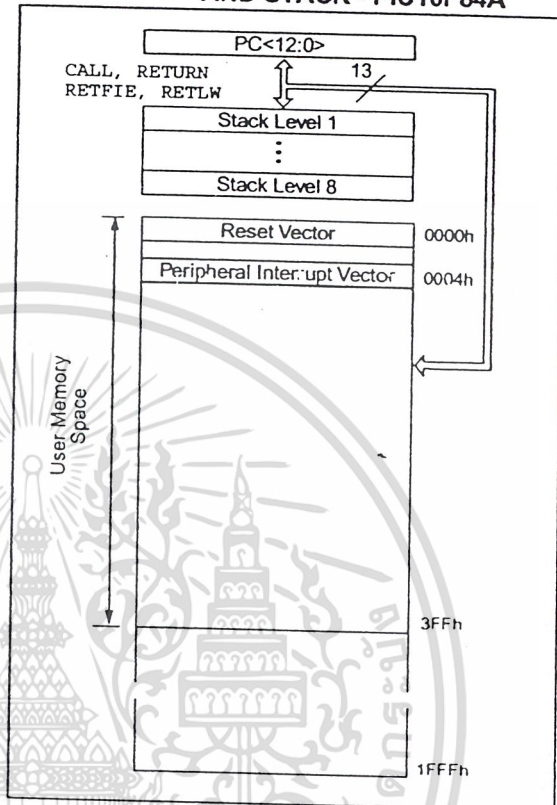
Additional information on device memory may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual, (DS33023).

2.1 Program Memory Organization

The PIC16FXX has a 13-bit program counter capable of addressing an 8K x 14 program memory space. For the PIC16F84A, the first 1K x 14 (0000h-03FFh) are physically implemented (Figure 2-1). Accessing a location above the physically implemented address will cause a wraparound. For example, for locations 20h, 420h, 820h, C20h, 1020h, 1420h, 1820h, and 1C20h will be the same instruction.

The reset vector is at 0000h and the interrupt vector is at 0004h.

FIGURE 2-1: PROGRAM MEMORY MAP AND STACK - PIC16F84A



PIC16F84A

2.2 Data Memory Organization

The data memory is partitioned into two areas. The first is the Special Function Registers (SFR) area, while the second is the General Purpose Registers (GPR) area. The SFRs control the operation of the device.

Portions of data memory are banked. This is for both the SFR area and the GPR area. The GPR area is banked to allow greater than 116 bytes of general purpose RAM. The banked areas of the SFR are for the registers that control the peripheral functions. Banking requires the use of control bits for bank selection. These control bits are located in the STATUS Register. Figure 2-1 shows the data memory map organization.

Instructions MOVWF and MOVF can move values from the W register to any location in the register file ("F"), and vice-versa.

The entire data memory can be accessed either directly using the absolute address of each register file or indirectly through the File Select Register (FSR) (Section 2.4). Indirect addressing uses the present value of the RP0 bit for access into the banked areas of data memory.

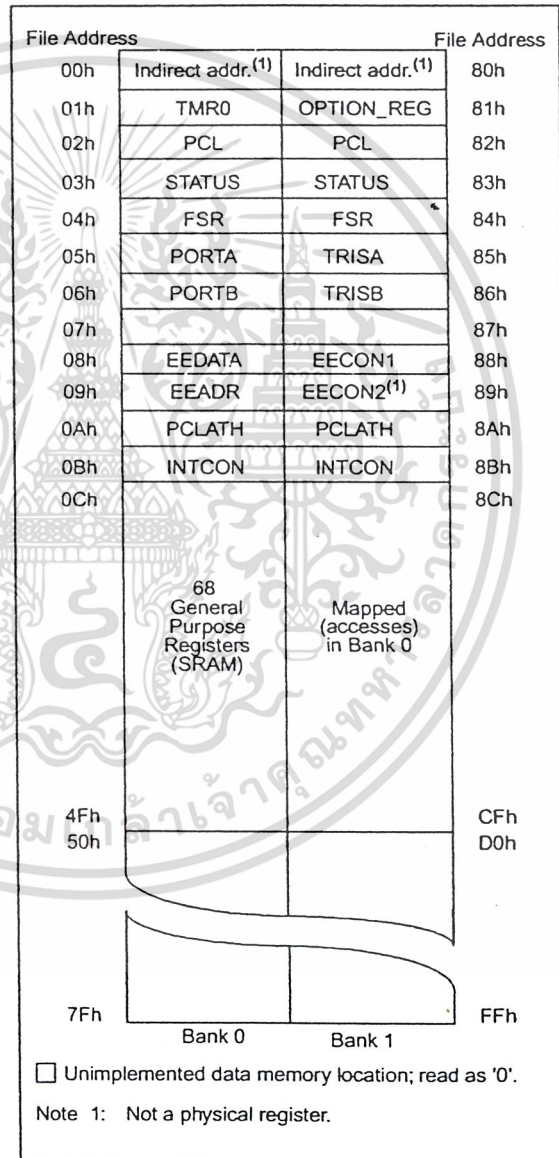
Data memory is partitioned into two banks which contain the general purpose registers and the special function registers. Bank 0 is selected by clearing the RP0 bit (STATUS<5>). Setting the RP0 bit selects Bank 1. Each Bank extends up to 7Fh (128 bytes). The first twelve locations of each Bank are reserved for the Special Function Registers. The remainder are General Purpose Registers implemented as static RAM.

2.2.1 GENERAL PURPOSE REGISTER FILE

Each General Purpose Register (GPR) is 8 bits wide and is accessed either directly or indirectly through the FSR (Section 2.4).

The GPR addresses in bank 1 are mapped to addresses in bank 0. As an example, addressing location 0Ch or 8Ch will access the same GPR.

FIGURE 2-1: REGISTER FILE MAP - PIC16F84A



PIC16F84A

2.2.2 SPECIAL FUNCTION REGISTERS

The Special Function Registers (Figure 2-1 and Table 2-1) are used by the CPU and Peripheral functions to control the device operation. These registers are static RAM.

The special function registers can be classified into two sets, core and peripheral. Those associated with the core functions are described in this section. Those related to the operation of the peripheral features are described in the section for that specific feature.

TABLE 2-1 REGISTER FILE SUMMARY

Addr	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on Power-on Reset	Value on all other resets (Note3)
Bank 0											
00h	INDF	Uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)								----	----
01h	TMR0	8-bit real-time clock/counter								xxxx xxxx	nnnn nnnn
02h	PCL	Low order 8 bits of the Program Counter (PC)								0000 0000	0000 0000
03h	STATUS ⁽²⁾	IRP	RP1	RP0	T \bar{O}	P \bar{D}	Z	DC	C	0001 1xxx	000q qnnn
04h	FSR	Indirect data memory address pointer 0								xxxx xxxx	nnnn nnnn
05h	PORTA ⁽⁴⁾	—	—	—	RA4/T0CKI	RA3	RA2	RA1	RA0	---x xxxx	---n nnnn
06h	PORTB ⁽⁵⁾	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0/INT	xxxx xxxx	nnnn nnnn
07h		Unimplemented location, read as '0'								----	----
08h	EEDATA	EEPROM data register								xxxx xxxx	nnnn nnnn
09h	EEADR	EEPROM address register								xxxx xxxx	nnnn nnnn
0Ah	PCLATH	—	—	—	Write buffer for upper 5 bits of the PC ⁽¹⁾					---c 0000	---0 0000
0Bh	INTCON	GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
Bank 1											
80h	INDF	Uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)								----	----
81h	OPTION_REG	RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111
82h	PCL	Low order 8 bits of Program Counter (PC)								0000 0000	0000 0000
83h	STATUS ⁽²⁾	IRP	RP1	RP0	T \bar{O}	P \bar{D}	Z	DC	C	0001 1xxx	000q qnnn
84h	FSR	Indirect data memory address pointer 0								xxxx xxxx	nnnn nnnn
85h	TRISA	—	—	—	PORTA data direction register					---1 1111	---1 1111
86h	TRISB	PORTB data direction register								1111 1111	1111 1111
87h		Unimplemented location, read as '0'								----	----
88h	EECON1	—	—	—	EEIF	WRERR	WREN	WR	RD	---0 x000	---0 q000
89h	EECON2	EEPROM control register 2 (not a physical register)								----	----
0Ah	PCLATH	—	—	—	Write buffer for upper 5 bits of the PC ⁽¹⁾					---c 0000	---0 0000
0Bh	INTCON	GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u

Legend: x = unknown, u = unchanged. - = unimplemented read as '0', q = value depends on condition.

Note 1: The upper byte of the program counter is not directly accessible. PCLATH is a slave register for PC<12:8>. The contents of PCLATH can be transferred to the upper byte of the program counter, but the contents of PC<12:8> is never transferred to PCLATH.

2: The T \bar{O} and P \bar{D} status bits in the STATUS register are not affected by a MCLR reset.

3: Other (non power-up) resets include: external reset through MCLR and the Watchdog Timer Reset.

4: On any device reset, these pins are configured as inputs.

5: This is the value that will be in the port output latch.

PIC16F84A

2.2.2.1 STATUS REGISTER

The STATUS register contains the arithmetic status of the ALU, the RESET status and the bank select bit for data memory.

As with any register, the STATUS register can be the destination for any instruction. If the STATUS register is the destination for an instruction that affects the Z, DC or C bits, then the write to these three bits is disabled. These bits are set or cleared according to device logic. Furthermore, the \overline{TO} and \overline{PD} bits are not writable. Therefore, the result of an instruction with the STATUS register as destination may be different than intended.

For example, `CLRF STATUS` will clear the upper-three bits and set the Z bit. This leaves the STATUS register as 000u u1uu (where u = unchanged).

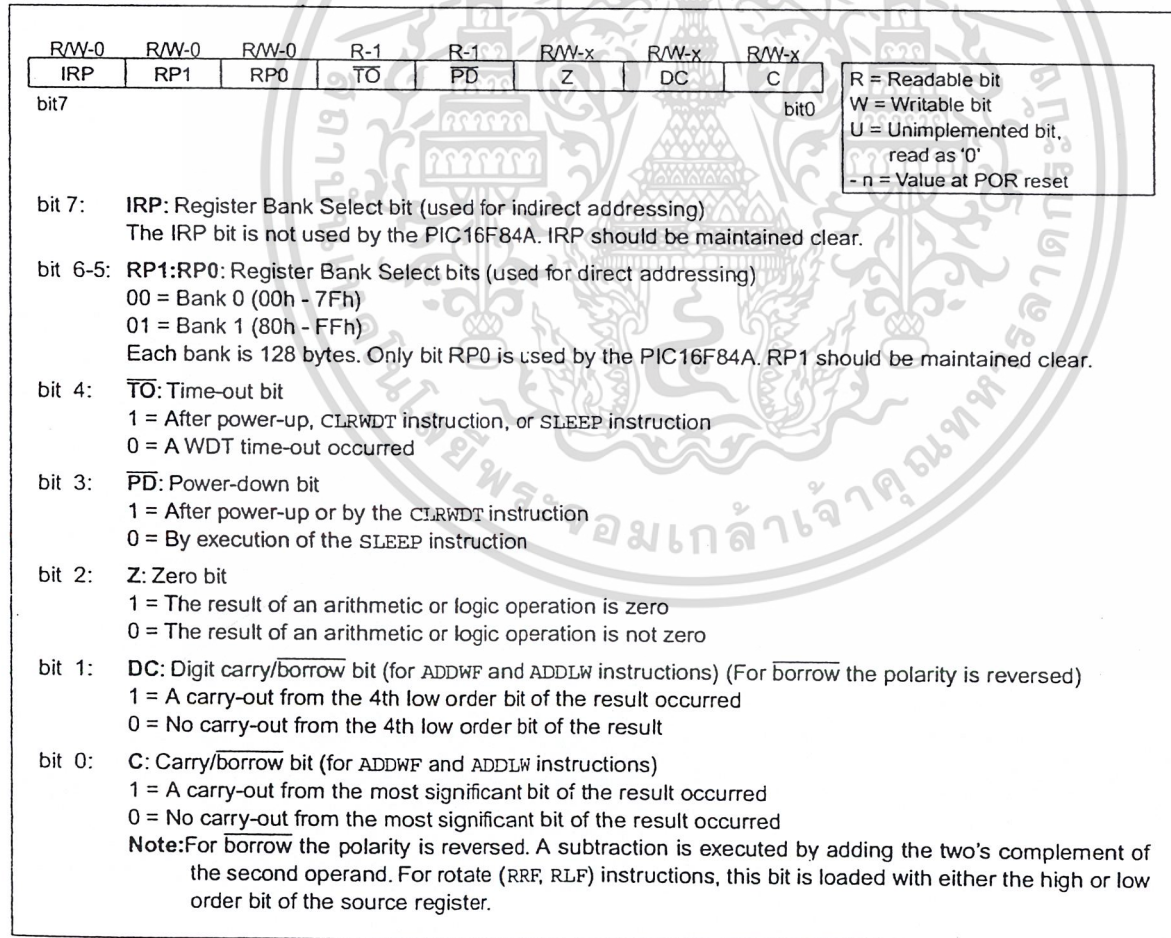
Only the `BCF`, `BSF`, `SWAPF` and `MOVWF` instructions should be used to alter the STATUS register (Table 7-2) because these instructions do not affect any status bit.

Note 1: The IRP and RP1 bits (STATUS<7:6>) are not used by the PIC16F84A and should be programmed as cleared. Use of these bits as general purpose R/W bits is NOT recommended, since this may affect upward compatibility with future products.

Note 2: The C and DC bits operate as a borrow and digit borrow out bit, respectively, in subtraction. See the `SUBLW` and `SUBWF` instructions for examples.

Note 3: When the STATUS register is the destination for an instruction that affects the Z, DC or C bits, then the write to these three bits is disabled. The specified bit(s) will be updated according to device logic

FIGURE 2-1: STATUS REGISTER (ADDRESS 03h, 83h)



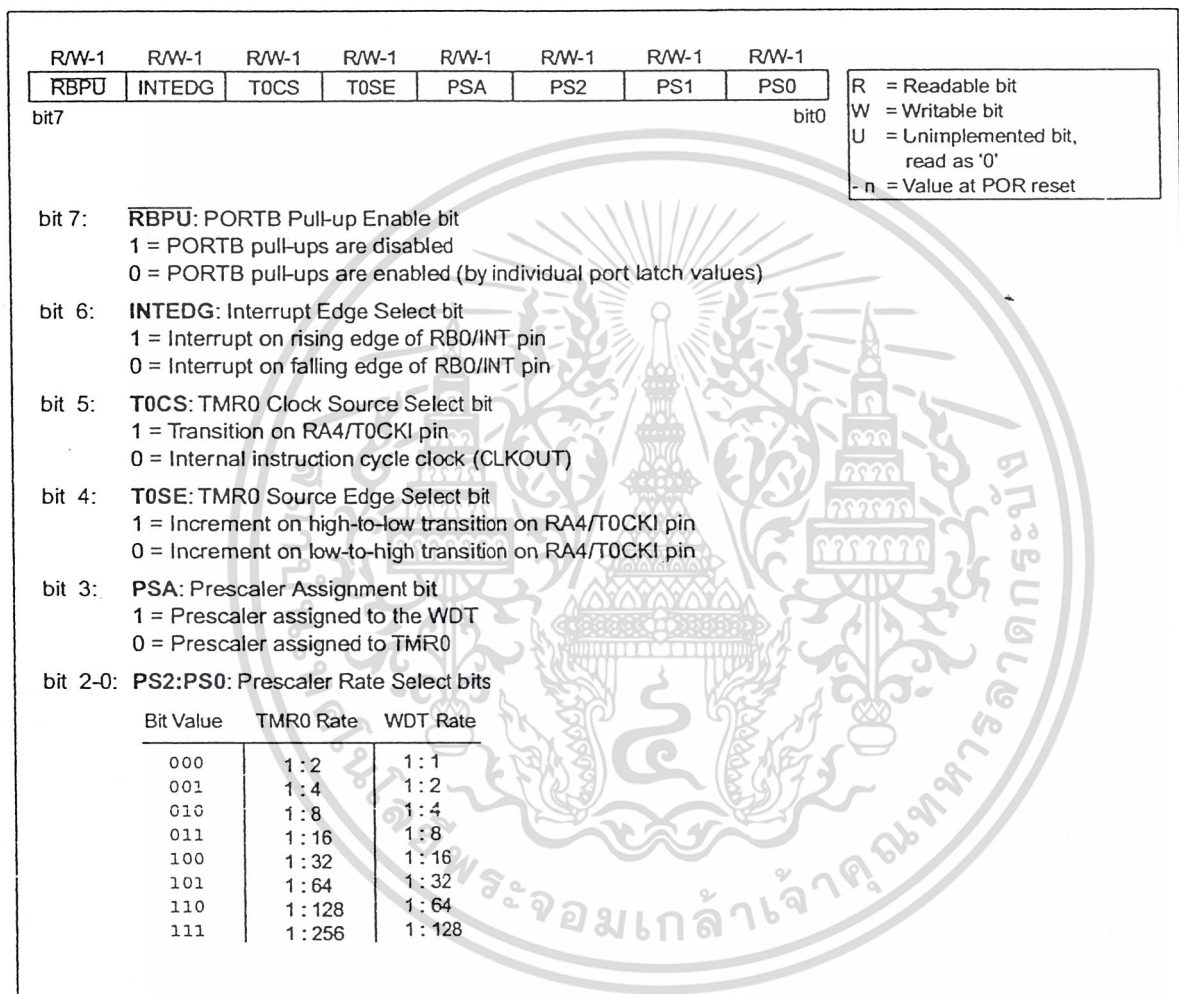
PIC16F84A

2.2.2.2 OPTION_REG REGISTER

The OPTION_REG register is a readable and writable register which contains various control bits to configure the TMR0/WDT prescaler, the external INT interrupt, TMR0, and the weak pull-ups on PORTB.

Note: When the prescaler is assigned to the WDT (PSA = '1'), TMR0 has a 1:1 prescaler assignment.

FIGURE 2-1: OPTION_REG REGISTER (ADDRESS 81h)



PIC16F84A

2.2.2.3 INTCON REGISTER

The INTCON register is a readable and writable register which contains the various enable bits for all interrupt sources.

Note: Interrupt flag bits get set when an interrupt condition occurs regardless of the state of its corresponding enable bit or the global enable bit, GIE (INTCON<7>).

FIGURE 2-1: INTCON REGISTER (ADDRESS 0Bh, 8Bh)

	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x
	GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	RBIF
bit7							bit0

R = Readable bit
 W = Writable bit
 U = Unimplemented bit, read as '0'
 -n = Value at POR reset

bit 7: **GIE:** Global Interrupt Enable bit
 1 = Enables all un-masked interrupts
 0 = Disables all interrupts

Note: For the operation of the interrupt structure, please refer to Section .

bit 6: **EEIE:** EE Write Complete Interrupt Enable bit
 1 = Enables the EE write complete interrupt
 0 = Disables the EE write complete interrupt

bit 5: **TOIE:** TMR0 Overflow Interrupt Enable bit
 1 = Enables the TMR0 interrupt
 0 = Disables the TMR0 interrupt

bit 4: **INTE:** RB0/INT Interrupt Enable bit
 1 = Enables the RB0/INT interrupt
 0 = Disables the RB0/INT interrupt

bit 3: **RBIE:** RB Port Change Interrupt Enable bit
 1 = Enables the RB port change interrupt
 0 = Disables the RB port change interrupt

bit 2: **TOIF:** TMR0 Overflow Interrupt Flag bit
 1 = TMR0 has overflowed (must be cleared in software)
 0 = TMR0 did not overflow

bit 1: **INTF:** RB0/INT Interrupt Flag bit
 1 = The RB0/INT interrupt occurred
 0 = The RB0/INT interrupt did not occur

bit 0: **RBIF:** RB Port Change Interrupt Flag bit
 1 = When at least one of the RB7:RB4 pins changed state (must be cleared in software)
 0 = None of the RB7:RB4 pins have changed state

PIC16F84A

2.3 PCL and PCLATH

The program counter (PC) specifies the address of the instruction to fetch for execution. The PC is 13 bits wide. The low byte is called the PCL register. This register is readable and writable. The high byte is called the PCH register. This register contains the PC<12:8> bits and is not directly readable or writable. All updates to the PCH register go through the PCLATH register.

2.3.1 STACK

The stack allows a combination of up to 8 program calls and interrupts to occur. The stack contains the return address from this branch in program execution.

Midrange devices have an 8 level deep x 13-bit wide hardware stack. The stack space is not part of either program or data space and the stack pointer is not readable or writable. The PC is PUSHed onto the stack when a CALL instruction is executed or an interrupt causes a branch. The stack is POPed in the event of a RETURN, RETLW or a RETFIE instruction execution. PCLATH is not modified when the stack is PUSHed or POPed.

After the stack has been PUSHed eight times, the ninth push overwrites the value that was stored from the first push. The tenth push overwrites the second push (and so on).

2.4 Indirect Addressing; INDF and FSR Registers

The INDF register is not a physical register. Addressing INDF actually addresses the register whose address is contained in the FSR register (FSR is a *pointer*). This is indirect addressing.

EXAMPLE 2-1: INDIRECT ADDRESSING

- Register file 05 contains the value 10h
- Register file 06 contains the value 0Ah
- Load the value 05 into the FSR register
- A read of the INDF register will return the value of 10h
- Increment the value of the FSR register by one (FSR = 06)
- A read of the INDF register now will return the value of 0Ah.

Reading INDF itself indirectly (FSR = 0) will produce 00h. Writing to the INDF register indirectly results in a no-operation (although STATUS bits may be affected).

A simple program to clear RAM locations 20h-2Fh using indirect addressing is shown in Example 2-2.

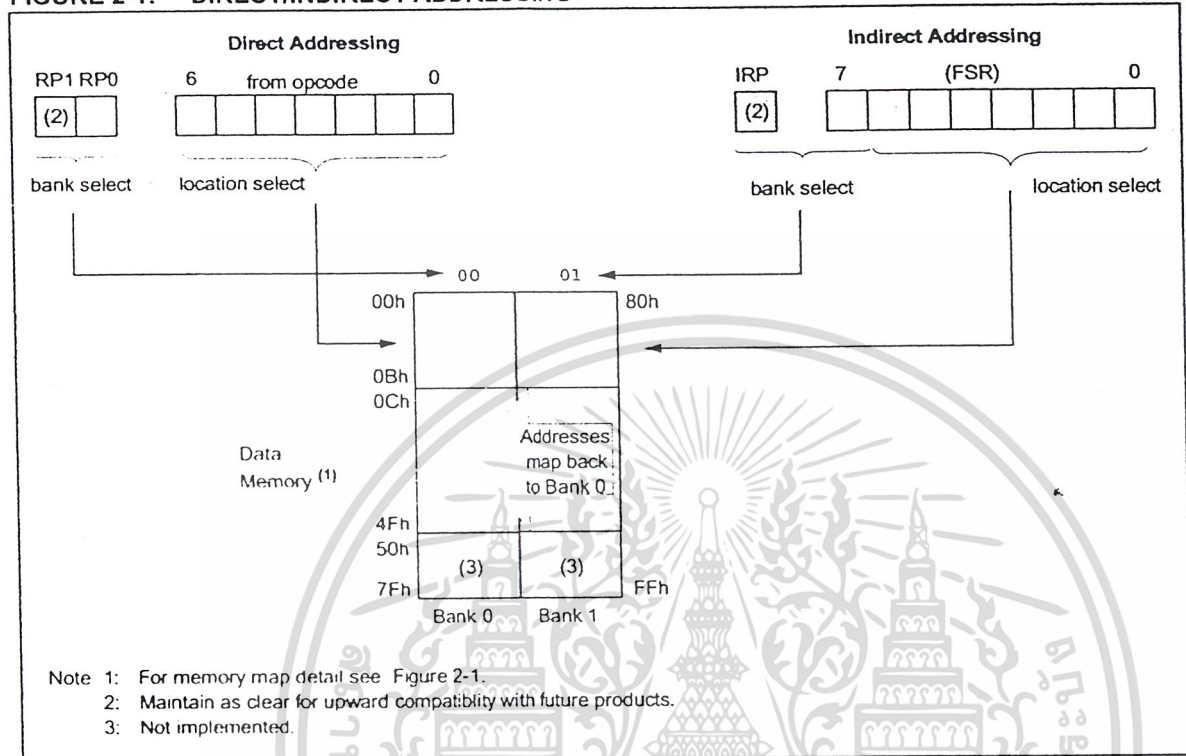
EXAMPLE 2-2: HOW TO CLEAR RAM USING INDIRECT ADDRESSING

```
movlw 0x20 ; initialize pointer
movwf FSR ; to RAM
NEXT   clrf  INDF ; clear INDF register
       incf  FSR ; inc pointer
       btfss FSR,4 ; all done?
       goto NEXT ; NO, clear next
CONTINUE
       : ; YES, continue
```

An effective 9-bit address is obtained by concatenating the 8-bit FSR register and the IRP bit (STATUS<7>), as shown in Figure 2-1. However, IRP is not used in the PIC16F84A.

PIC16F84A

FIGURE 2-1: DIRECT/INDIRECT ADDRESSING



PIC16F84A

FIGURE 3-2: BLOCK DIAGRAM OF PIN RA4

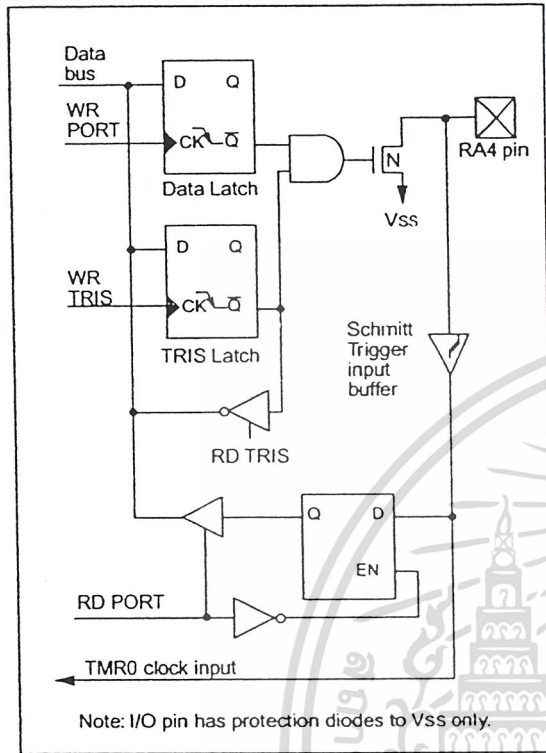


TABLE 3-1 PORTA FUNCTIONS

Name	Bit0	Buffer Type	Function
RA0	bit0	TTL	Input/output
RA1	bit1	TTL	Input/output
RA2	bit2	TTL	Input/output
RA3	bit3	TTL	Input/output
RA4/T0CKI	bit4	ST	Input/output or external clock input for TMR0. Output is open drain type.

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

TABLE 3-2 SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTA

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on Power-on Reset	Value on all other resets
05h	PORTA	—	—	—	RA4/T0CKI	RA3	RA2	RA1	RA0	---x xxxx	---u uuuu
85h	TRISA	—	—	—	TRISA4	TRISA3	TRISA2	TRISA1	TRISA0	---1 1111	---1 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented read as '0'. Shaded cells are unimplemented, read as '0'

PIC16F84A

TABLE 3-3 PORTB FUNCTIONS

Name	Bit	Buffer Type	I/O Consistency Function
RB0/INT	bit0	TTL/ST ⁽¹⁾	Input/output pin or external interrupt input. Internal software programmable weak pull-up.
RB1	bit1	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB2	bit2	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB3	bit3	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB4	bit4	TTL	Input/output pin (with interrupt on change). Internal software programmable weak pull-up.
RB5	bit5	TTL	Input/output pin (with interrupt on change). Internal software programmable weak pull-up.
RB6	bit6	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt on change). Internal software programmable weak pull-up. Serial programming clock.
RB7	bit7	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt on change). Internal software programmable weak pull-up. Serial programming data.

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger.

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.

2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.

TABLE 3-4 SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTB

Addr	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on Power-on Reset	Value on all other resets
06h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0/INT	xxxx xxxx	nnnn nnnn
86h	TRISB	TRISB7	TRISB6	TRISB5	TRISB4	TRISB3	TRISB2	TRISB1	TRISB0	1111 1111	1111 1111
81h	OPTION_REG	RBPU	INTEDG	TOCS	TOSE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111

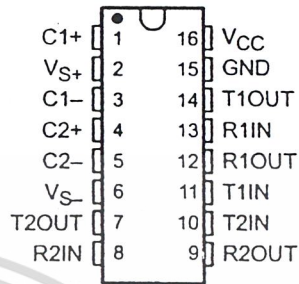
Legend: x = unknown, u = unchanged. Shaded cells are not used by PORTB.

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

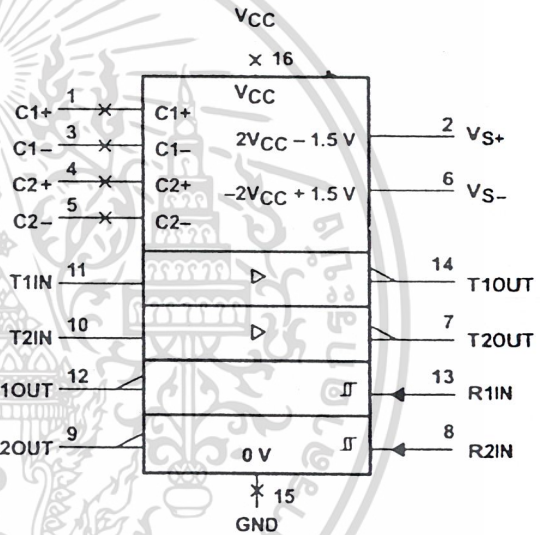
SLLS047G – FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1998

- Operates With Single 5-V Power Supply
- LinBiCMOS™ Process Technology
- Two Drivers and Two Receivers
- ±30-V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- Meets or Exceeds TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Designed to be Interchangeable With Maxim MAX232
- Applications
 - TIA/EIA-232-F
 - Battery-Powered Systems
 - Terminals
 - Modems
 - Computers
- ESD Protection Exceeds 2000 V Per MIL-STD-883, Method 3015
- Package Options Include Plastic Small-Outline (D, DW) Packages and Standard Plastic (N) DIPs

D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



logic symbol†



† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.

description

The MAX232 device is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply EIA-232 voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts EIA-232 inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V and a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ±30-V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into EIA-232 levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

The MAX232 is characterized for operation from 0°C to 70°C. The MAX232I is characterized for operation from -40°C to 85°C.

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGED DEVICES		
	SMALL OUTLINE (D)	SMALL OUTLINE (DW)	PLASTIC DIP (N)
0°C to 70°C	MAX232D†	MAX232DW†	MAX232N
-40°C to 85°C	MAX232ID†	MAX232IDW†	MAX232IN

† This device is available taped and reeled by adding an R to the part number (i.e., MAX232DR).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

LinASIC and LinBiCMOS are trademarks of Texas Instruments Incorporated.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัท TEXAS INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

MAX232, MAX232I

DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

SLLS047G – FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1998

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Input supply voltage range, V_{CC} (see Note 1)	.....	-0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, V_{S+}$	.....	V_{CC} - 0.3$ V to 15 V
Negative output supply voltage range, V_{S-}	.....	-0.3 V to -15 V
Input voltage range, V_I : Driver	.....	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Receiver	± 30 V
Output voltage range, V_O : T1OUT, T2OUT	.....	$V_{S-} - 0.3$ V to $V_{S+} + 0.3$ V
R1OUT, R2OUT	.....	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT	.....	Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package	.....	113°C/W
DW package	.....	105°C/W
N package	.....	78°C/W
Storage temperature range, T_{stg}	.....	-65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	.....	260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51, except for through-hole packages, which use a trace length of zero.

recommended operating conditions

		MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}		4.5	5	5.5	V
High-level input voltage, V_{IH} (T1IN, T2IN)		2			V
Low-level input voltage, V_{IL} (T1IN, T2IN)				0.8	V
Receiver input voltage, R1IN, R2IN				± 30	V
Operating free-air temperature, T_A	MAX232	0		70	°C
	MAX232I	-40		85	

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

SLLS047G – FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1998

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT		
V _{OH}	High-level output voltage	T1OUT, T2OUT	R _L = 3 kΩ to GND		5	7	V	
		R1OUT, R2OUT	I _{OH} = -1 mA		3.5			
V _{OL}	Low-level output voltage‡	T1OUT, T2OUT	R _L = 3 kΩ to GND			-7	V	
		R1OUT, R2OUT	I _{OL} = 3.2 mA			0.4		
V _{IT+}	Receiver positive-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C		1.7	2.4	V	
V _{IT-}	Receiver negative-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C		0.8	1.2	V	
V _{hys}	Input hysteresis voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V		0.2	0.5	1	V
r _i	Receiver input resistance	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5, T _A = 25°C		3	5	7	kΩ
r _o	Output resistance	T1OUT, T2OUT	V _{S+} = V _{S-} = 0, V _O = ±2 V		300			Ω
I _{OS} §	Short-circuit output current	T1OUT, T2OUT	V _{CC} = 5.5 V, V _O = 0		±10			mA
I _{IS}	Short-circuit input current	T1IN, T2IN	V _I = 0			200		μA
I _{CC}	Supply current		V _{CC} = 5.5 V, T _A = 25°C, All outputs open,		8	10		mA

† All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

§ Not more than one output should be shorted at a time.

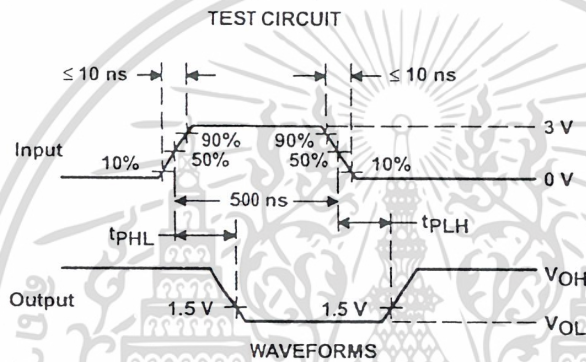
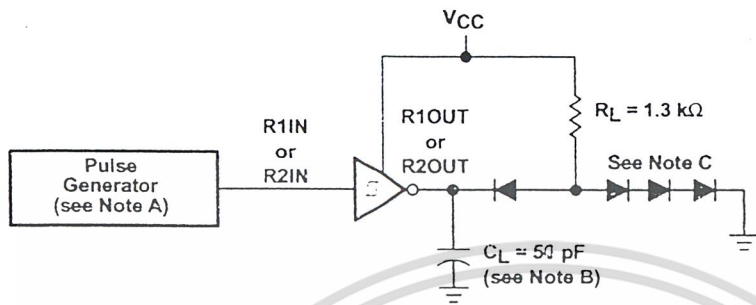
switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t _{PLH(R)}	Receiver propagation delay time, low- to high-level output	See Figure 1		500		ns
t _{PHL(R)}	Receiver propagation delay time, high- to low-level output	See Figure 1		500		ns
SR	Driver slew rate	R _L = 3 kΩ to 7 kΩ, See Figure 2			30	V/μs
SR(tr)	Driver transition region slew rate	See Figure 3		3		V/μs

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

SLLS047G – FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1998

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



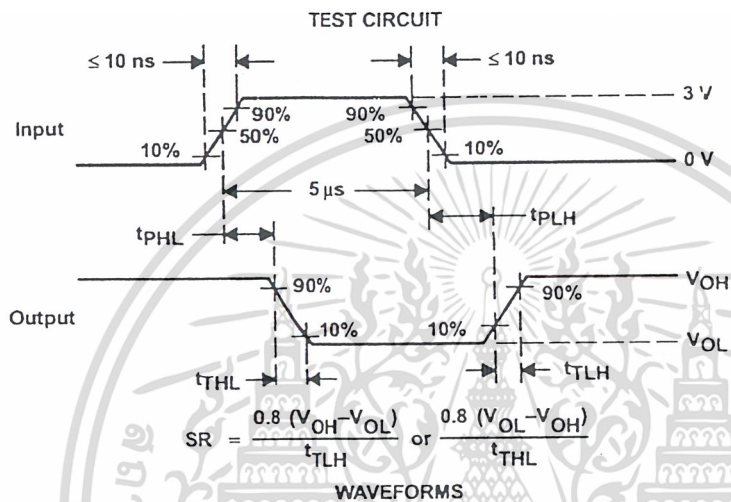
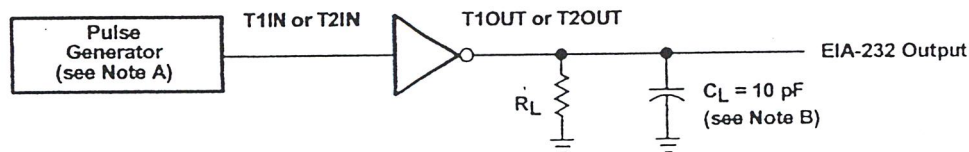
- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_0 = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
 B. C_L includes probe and jig capacitance.
 C. All diodes are 1N3064 or equivalent.

Figure 1. Receiver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements

MAX232, MAX2321 DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

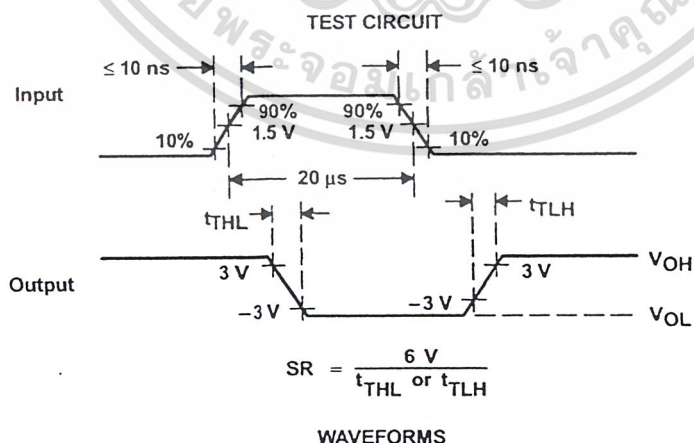
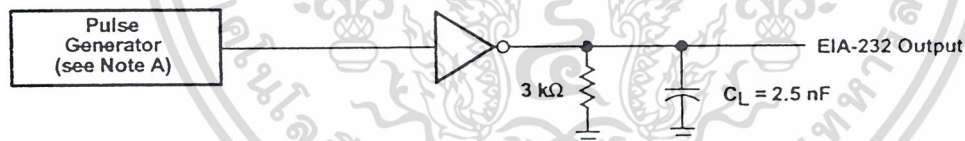
SLLS047G – FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1998

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
B. C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 2. Driver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements (5- μ s input)



NOTE A: The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.

Figure 3. Test Circuit and Waveforms for t_{THL} and t_{TLH} Measurements (20- μ s input)

MAX232, MAX232I
DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

SLLS047G – FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1998

APPLICATION INFORMATION

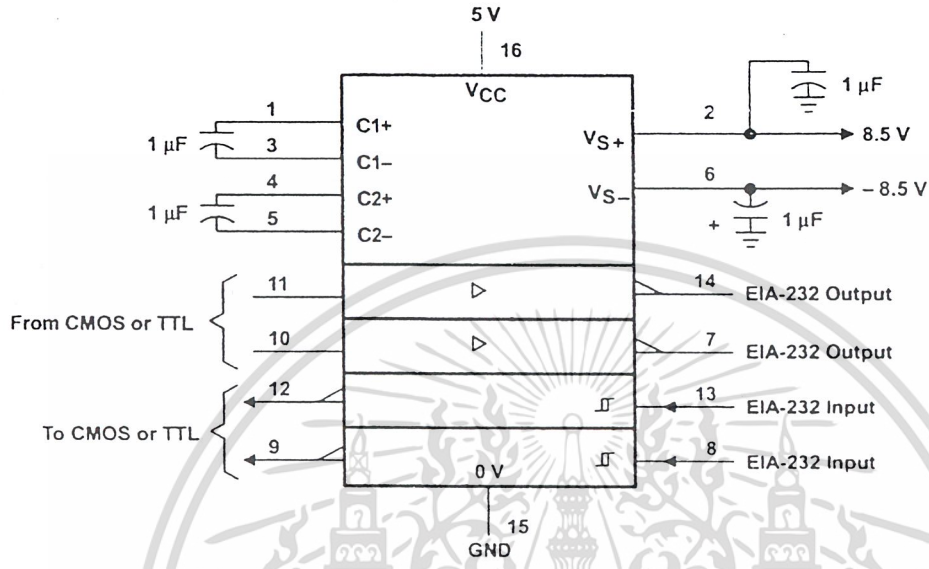
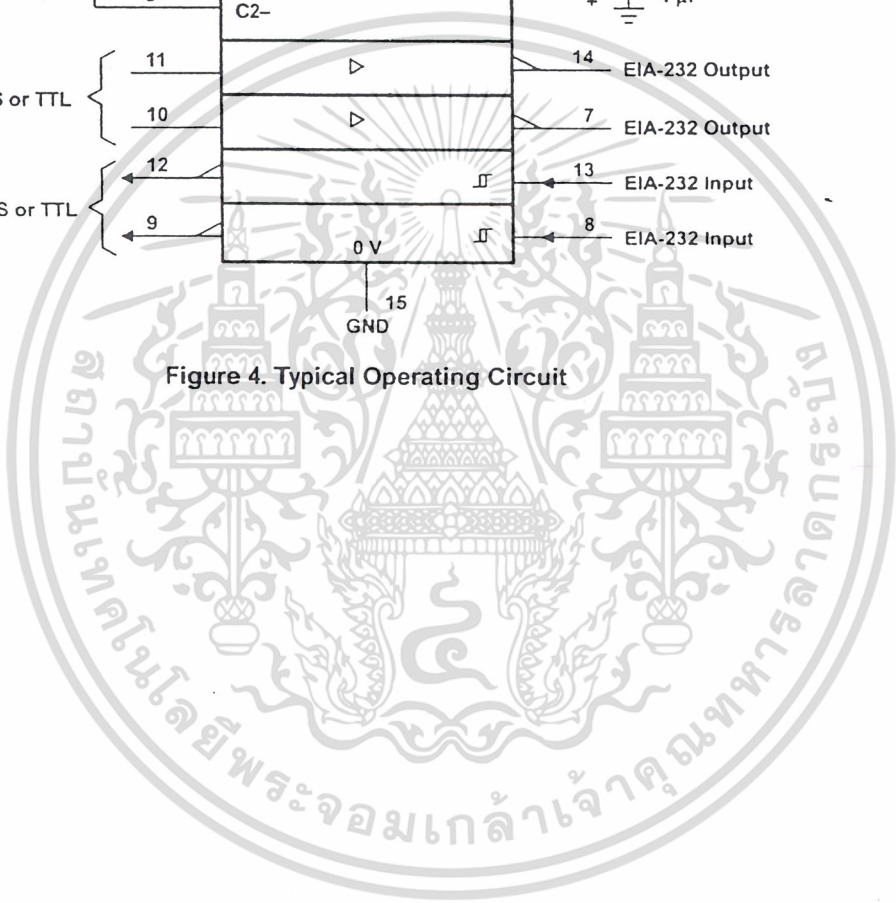


Figure 4. Typical Operating Circuit



IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80 V - 1.5 A QUAD DARLINGTON SWITCHES

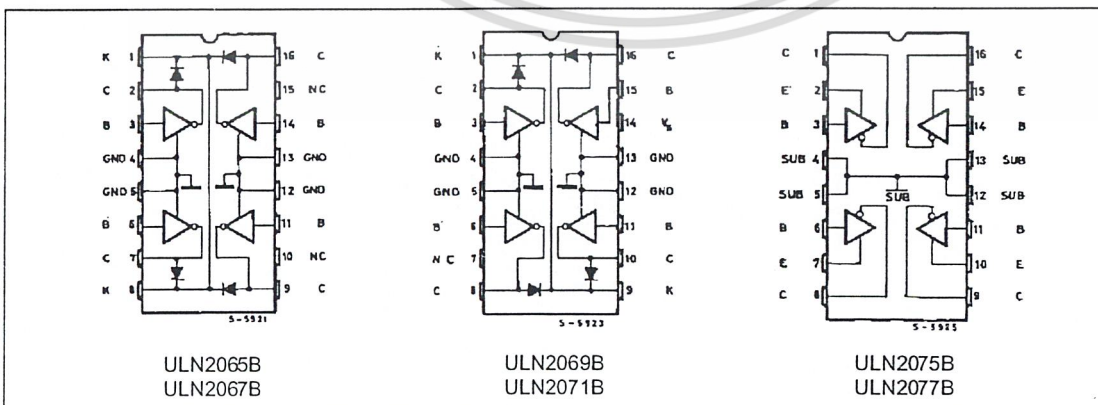
- OUTPUT CURRENT TO 1.5 A EACH DARLINGTON
- MINIMUM BREAKDOWN 80 V
- SUSTAINING VOLTAGE AT LEAST 50 V
- INTEGRAL SUPPRESSION DIODES (ULN2065B, ULN2067B, ULN2069B and ULN2071B)
- ISOLATED DARLINGTON PINOUT (ULN2075B and ULN2077B)
- VERSIONS COMPATIBLE WITH ALL POPULAR LOGIC FAMILIES

DESCRIPTION

Designed to interface logic to a wide variety of high current, high voltage loads, these devices each contain four NPN darlington switches delivering up to 1.5 A with a specified minimum breakdown of 80 V and a sustaining voltage of 50 V. The ULN2065B, ULN2067B, ULN2069B and ULN2071B contain integral suppression diodes for inductive loads and have common emitters; the ULN2075B and ULN2077B feature isolated darlington pinouts and are intended for applications such as emitter follower configurations. Inputs of the ULN2065B, ULN2069B and ULN2075B are compatible with popular 5 V logic families and the ULN2067B, ULN2071B and ULN2077B are compatible with 6-15 VCMOS and PMOS. The ULN2069B and ULN2071B include a predriver stage to provide extragrain, reducing the load on control logic.

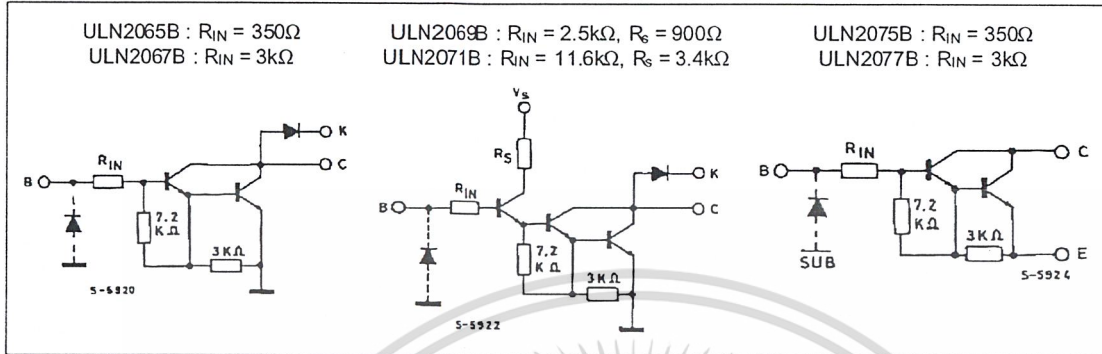


PIN CONNECTIONS AND ORDER CODES



ULN2065B-ULN2067B-ULN2069B-ULN2071B-ULN2075B-ULN2077B

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V _{CEX}	Output Voltage	80	V	
V _{CE(sus)}	Output Sustaining Voltage	50	V	
I _O	Output Current	1.75	A	
V _i	Input Voltage	for ULN2075B - 2077B for ULN2067B - 2071B for ULN2065B - 2069B	60 30 15	V V V
I _i	Input Current	25	mA	
V _s	Supply Voltage	for ULN2069B for ULN2071B	10 20	V V
P _{tot}	Power Dissipation	at T _{pins} = 90 °C at T _{amb} = 70 °C	4.3 1	W W
T _{amb}	Operating Ambient Temperature Range	- 20 to 85	°C	
T _{stg}	Storage Temperature	- 55 to 150	°C	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{amb} = 25°C unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	Fig.
I _{CEX}	Output Leakage Current	V _{CE} = 80V T _{amb} = 25°C T _{amb} = 70°C			100 500	μA μA	1
V _{CE(sus)}	Collector-emitter Sustaining Voltage	I _C = 100mA, V _i = 0.4V	50			V	2
V _{CE(sat)}	Collector-emitter Saturation Voltage	I _C = 500mA I _B = 625μA I _C = 750mA I _B = 935μA I _C = 1A I _B = 1.25mA I _C = 1.25A I _B = 2mA I _C = 1.5A I _B = 2.25mA			1.1 1.2 1.3 1.4 1.5	V V V V V	3 3 3 3 3
I _{i(on)}	Input Current	for ULN2065B and ULN2075B V _i = 2.4V V _i = 3.75V for ULN2067B and ULN2077B V _i = 5V V _i = 12V for ULN2069B V _i = 2.75V V _i = 3.75V for ULN2071B V _i = 5V V _i = 12V	1.4 3.3 0.6 1.7		4.3 9.6 1.8 5.2 5.5 10 4 12.5	mA mA mA mA mA mA mA mA	4 4 4 4 4 4 4 4

ULN2065B-ULN2067B-ULN2069B-ULN2071B-ULN2075B-ULN2077B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^{\circ}C$ unless otherwise specified) (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	Fig.
$V_{i(on)}$	Input Voltage	$V_{CE} = 2V, I_C = 1A$ ULN2065B, ULN2075B ULN2067B, ULN2077B			2	V	5
					6.5	V	5
		$V_{CE} = 2V, I_C = 1.5A$ ULN2065B, ULN2075B ULN2067B, ULN2077B ULN2069B ULN2071B			2.5	V	5
					10	V	5
					2.75	V	5
					5	V	5
I_s	Supply Current	for ULN2069B $I_C = 500mA, V_i = 2.75V$			6	mA	8
		for ULN2071B $I_C = 500mA, V_i = 5V$			4.5	mA	8
t_{PLH}	Turn-on Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$			1	μs	
t_{PHL}	Turn-off Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$			1.5	μs	
I_R	Clamp Diode Leakage Current	for ULN2065B-ULN2067B and ULN2069B-ULN2071B $V_R = 80V$ $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{amb} = 70^{\circ}C$			50 100	μA μA	6
V_F	Clamp Diode Forward Voltage	for ULN2065B-ULN2067B and ULN2069B-ULN2071B $I_F = 1A$ $I_F = 1.5A$			1.75	V	7
					2	V	

- Notes : 1. Input voltage is with reference to the substrate (no connection to any other pins) for the ULN2075B and ULN2077B reference is ground for all other types.
2. Input current may be limited by maximum allowable input voltage.

TEST CIRCUITS

Figure 1.

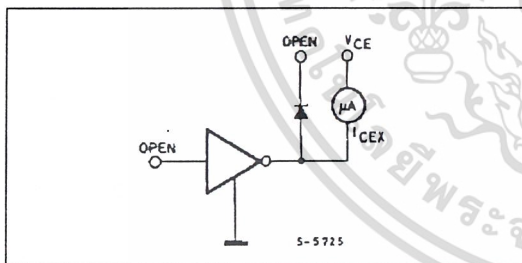


Figure 2.

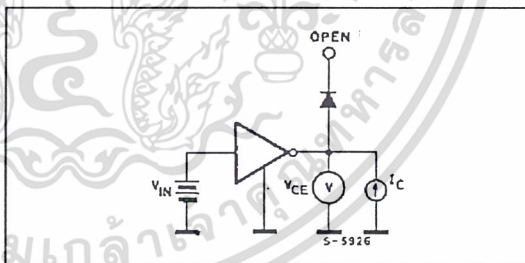


Figure 3.

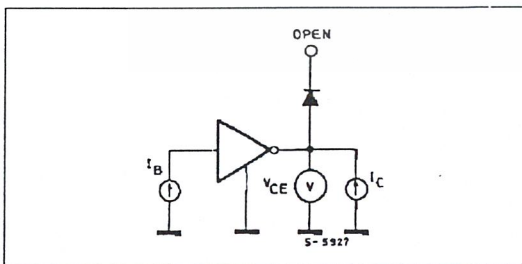


Figure 4.

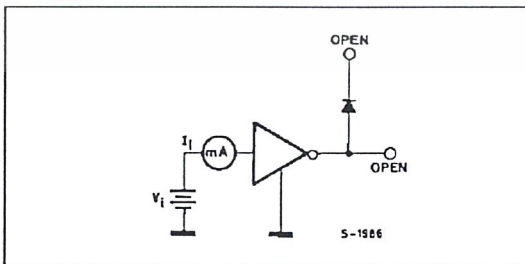


Figure 5.

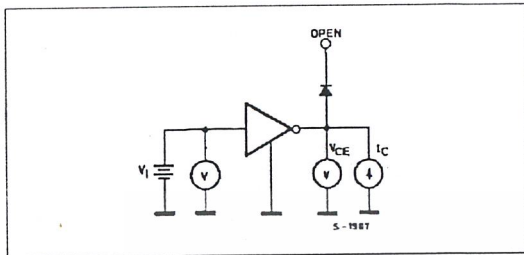


Figure 6.

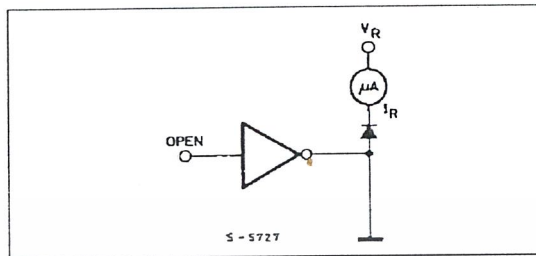


Figure 7.

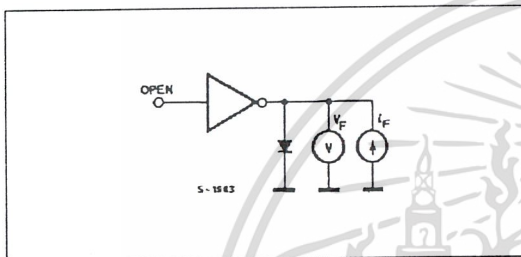


Figure 8.

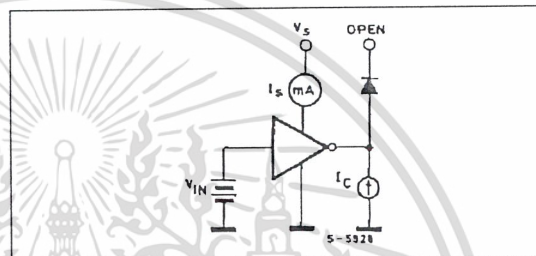


Figure 9 : Input Current as a Function of Input Voltage.

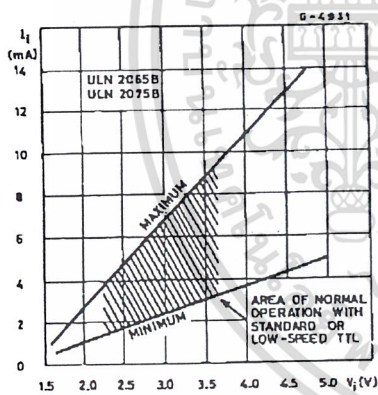


Figure 10 : Input Current as a Function of Input Voltage.

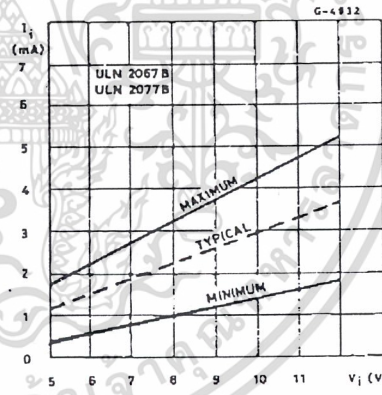
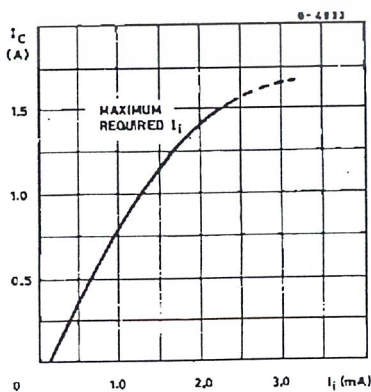


Figure 11 : Collector Current as a Function of Input Current.



L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVER

SLRS008A—SEPTEMBER 1986—REVISED MAY 1990

- 600-mA Output Current Capability Per Driver
- Pulsed Current 1.2-A Per Driver
- Output Clamp Diodes for Inductive Transient Suppression
- Wide Supply Voltage Range 4.5 V to 36 V
- Separate Input-Logic Supply
- Thermal Shutdown
- Internal ESD Protection
- High-Noise-Immunity Inputs
- Functional Replacement for SGS L293D

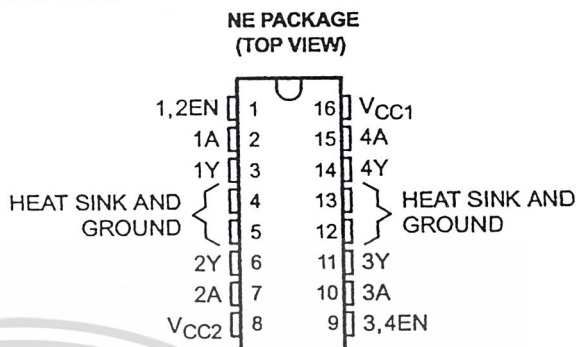
description

The L293D is a quadruple high-current half-H driver designed to provide bidirectional drive currents of up to 600-mA at voltages from 4.5 V to 36 V. It is designed to drive inductive loads such as relays, solenoids, dc and bipolar stepping motors, as well as other high-current/high-voltage loads in positive-supply applications.

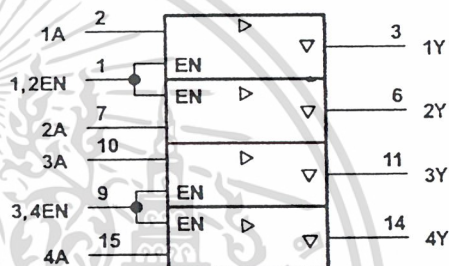
All inputs are TTL-compatible. Each output is a complete totem-pole drive circuit with a Darlington transistor sink and a pseudo-Darlington source. Drivers are enabled in pairs with drivers 1 and 2 enabled by 1,2EN and drivers 3 and 4 enabled by 3,4EN. When an enable input is high, the associated drivers are enabled, and their outputs are active and in phase with their inputs. External high-speed output clamp diodes should be used for inductive transient suppression. When the enable input is low, those drivers are disabled, and their outputs are off and in a high-impedance state. With the proper data inputs, each pair of drivers form a full-H (or bridge) reversible drive suitable for solenoid or motor applications.

A V_{CC1} terminal, separate from V_{CC2} , is provided for the logic inputs to minimize device power dissipation.

The L293D is designed for operation from 0°C to 70°C.

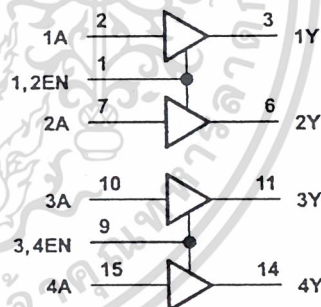


logic symbol†



† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.

logic diagram



FUNCTION TABLE
(each driver)

INPUTS‡		OUTPUT
A	EN	Y
H	H	H
L	H	L
X	L	Z

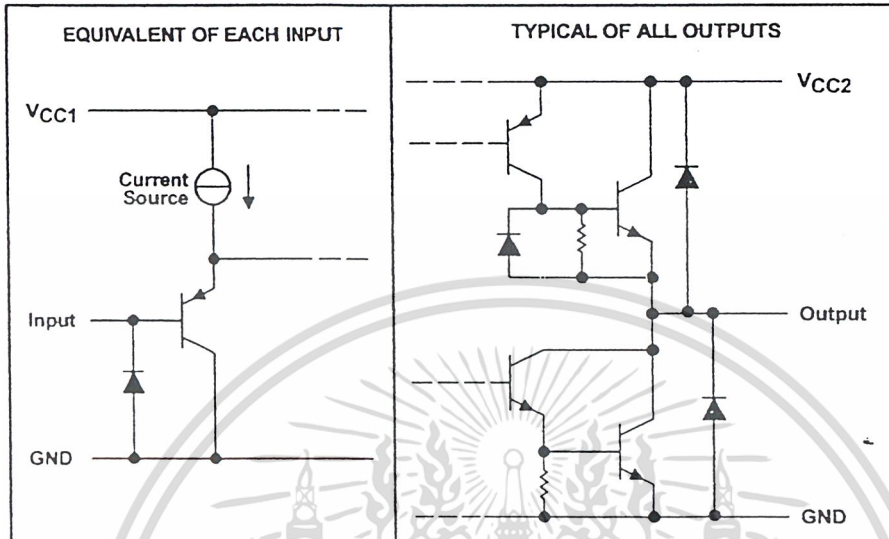
H = high-level, L = low level,
X = irrelevant, Z = high-impedance (off)

‡ In the thermal shutdown mode, the output is in the high-impedance state regardless of the input levels.

L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVER

SLRS008A – SEPTEMBER 1986 – REVISED MAY 1990

schematics of inputs and outputs



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Logic supply voltage range, V_{CC1} (see Note 1)	36 V
Output supply voltage range, V_{CC2}	36 V
Input voltage range, V_I	7 V
Output voltage range, V_O	-3 V to $V_{CC2} + 3$ V
Peak output current (nonrepetitive, $t \leq 100 \mu s$)	± 1.2 A
Continuous output current, I_O	± 600 mA
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Notes 2 and 3)	2075 mW
Continuous total dissipation at 80°C case temperature (see Note 3)	5000 mW
Operating case or virtual junction temperature range, T_J	-40°C to 150°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

- NOTES:
- All voltage values are with respect to the network ground terminal.
 - For operation above 25°C free-air temperature, derate linearly at the rate of 16.6 mW/°C.
 - For operation above 25°C case temperature, derate linearly at the rate of 71.4 mW/°C. Due to variations in individual device electrical characteristics and thermal resistance, the built-in thermal overload protection may be activated at power levels slightly above or below the rated dissipation.

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT
Logic supply voltage, V_{CC1}		4.5	7	V
Output supply voltage, V_{CC2}		V_{CC1}	36	V
High-level input voltage, V_{IH}	$V_{CC1} \leq 7$ V	2.3	V_{CC1}	V
	$V_{CC1} \geq 7$ V	2.3	7	V
Low-level input voltage, V_{IL}		-0.3†	1.5	V
Operating free-air temperature, T_A		0	70	°C

† The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels.

L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVER

SLRS008A – SEPTEMBER 1986 – REVISED MAY 1990

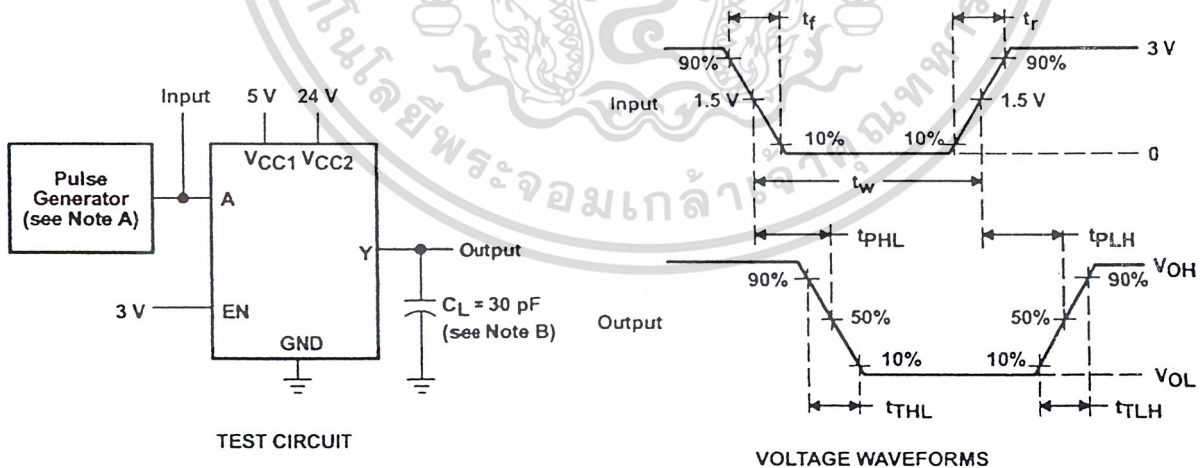
electrical characteristics, $V_{CC1} = 5\text{ V}$, $V_{CC2} = 24\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{OH}	High-level output voltage	$I_{OH} = -0.6\text{ A}$	$V_{CC2} - 1.8$	$V_{CC2} - 1.4$		V
V_{OL}	Low-level output voltage	$I_{OL} = 0.6\text{ A}$		1.2	1.8	V
V_{OKH}	High-level output clamp voltage	$I_{OK} = -0.6\text{ A}$		$V_{CC2} + 1.3$		V
V_{OKL}	Low-level output clamp voltage	$I_{OK} = -0.6\text{ A}$		1.3		V
I_{IH}	High-level input current	A	$V_I = 7\text{ V}$	0.2	100	μA
		EN		0.2	± 10	
I_{IL}	Low-level input current	A	$V_I = 0$	-3	-10	μA
		EN		-2	-100	
I_{CC1}	Logic supply current	$I_O = 0$	All outputs at high level	13	22	mA
			All outputs at low level	35	60	
			All outputs at high impedance	8	24	
I_{CC2}	Output supply current	$I_O = 0$	All outputs at high level	14	24	mA
			All outputs at low level	2	6	
			All outputs at high impedance	2	4	

switching characteristics, $V_{CC1} = 5\text{ V}$, $V_{CC2} = 24\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output from A input		800		ns
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output from A input		400		ns
t_{TLH}	Transition time, low-to-high-level output	$C_L = 30\text{ pF}$. See Figure 1.	300		ns
t_{THL}	Transition time, high-to-low-level output		300		ns

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: $t_r \leq 10\text{ ns}$, $t_f \leq 10\text{ ns}$, $t_w = 10\text{ }\mu\text{s}$, $\text{PRR} = 5\text{ kHz}$, $Z_0 = 50\text{ }\Omega$
 B. C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 1. Test Circuit and Voltage Waveforms

L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVER

SLRS008A – SEPTEMBER 1986 – REVISED MAY 1990

APPLICATION INFORMATION

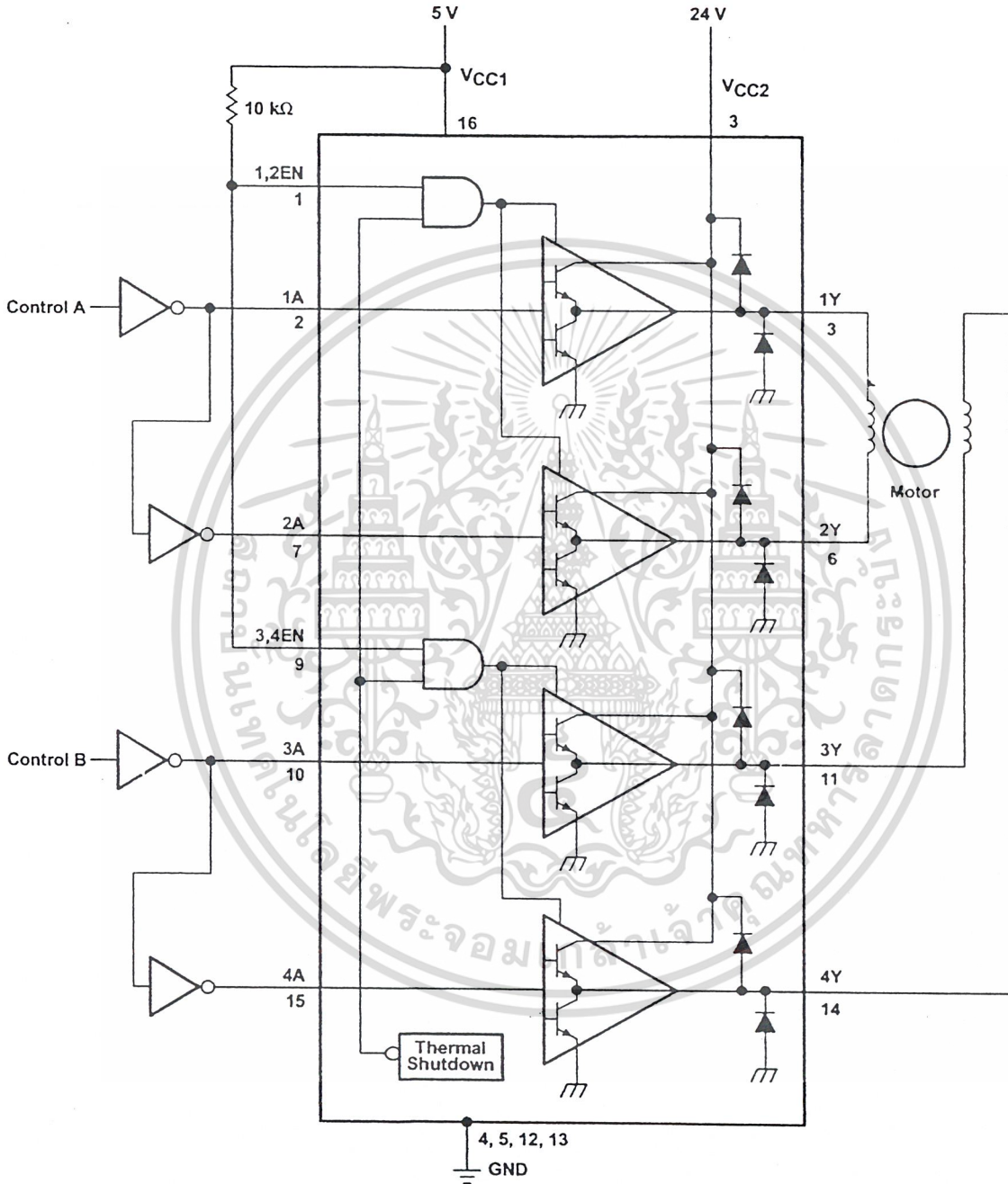


Figure 2. Two-Phase Motor Driver

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Three-Terminal Positive Voltage Regulators

These voltage regulators are monolithic integrated circuits designed as fixed-voltage regulators for a wide variety of applications including local, on-card regulation. These regulators employ internal current limiting, thermal shutdown, and safe-area compensation. With adequate heatsinking they can deliver output currents in excess of 1.0 A. Although designed primarily as a fixed voltage regulator, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

- Output Current in Excess of 1.0 A
- No External Components Required
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Output Voltage Offered in 2% and 4% Tolerance
- Available in Surface Mount D²PAK and Standard 3-Lead Transistor Packages

DEVICE TYPENOMINAL OUTPUT VOLTAGE

MC7805	5.0 V	MC7812	12 V
MC7806	6.0 V	MC7815	15 V
MC7808	8.0 V	MC7818	18 V
MC7809	9.0 V	MC7824	24 V

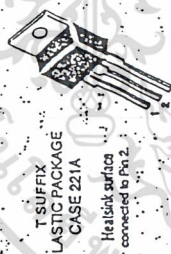
ORDERING INFORMATION

Device	Output Voltage Tolerance	Operating Temperature Range	Package
MC78XXACT	2%	T _J = 0° to +125°C	Insertion Mount
MC78XXCD2T			Surface Mount
MC78XXCT			Insertion Mount
MC78XXCD2T	4%	T _J = -40° to +125°C	Surface Mount
MC78XXBT			Insertion Mount
MC78XXBD2T			Surface Mount

XX Indicates nominal voltage.

MC7800 Series

THREE-TERMINAL POSITIVE FIXED VOLTAGE REGULATORS SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



T SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 221A

Heat sink surface connected to Pin 2.



D²T SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 936 (D²PAK)

Heat sink surface (shown as terminal 4 in case outline drawing) is connected to Pin 2.

STANDARD APPLICATION



A common ground is required between the input and the output voltages. The input voltage must remain typically 2.0 V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.

XX, These two digits of the type number indicate nominal voltage.

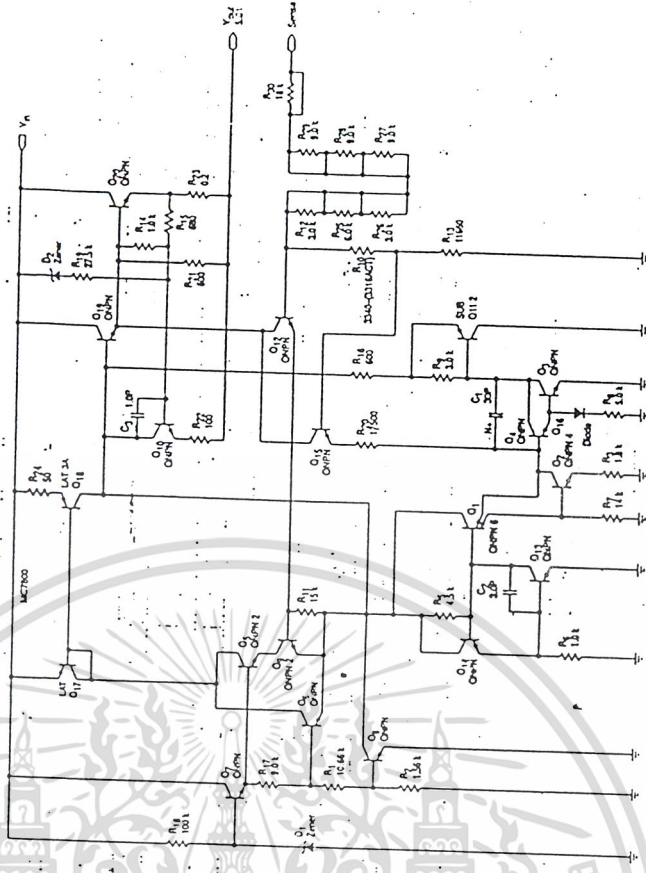
• C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power source filter.

• C_o is not needed for stability; however, it does improve transient response. Values of less than 0.1 µF could cause instability.

MINIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (5.0 - 18 V)	V _I	35	Vdc
Power Dissipation Case 221A			
T _A = 25°C	P _D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	R _{θJA}	65	°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Case	R _{θJC}	5.0	°C/W
Case 936 (D ² PAK)			
T _A = 25°C	P _D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	R _{θJA}	See Figure 13	°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Case	R _{θJC}	5.0	°C/W
Storage Junction Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C
Operating Junction Temperature	T _J	+150	°C

Representative Schematic Diagram



This device contains 22 active transistors.

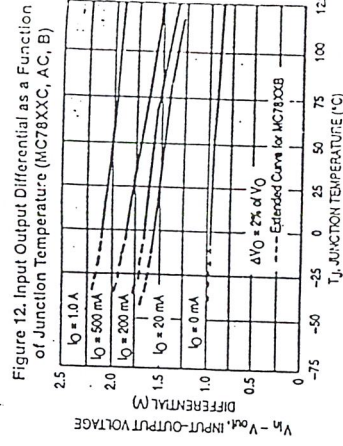
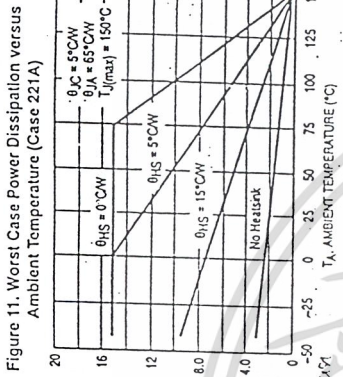
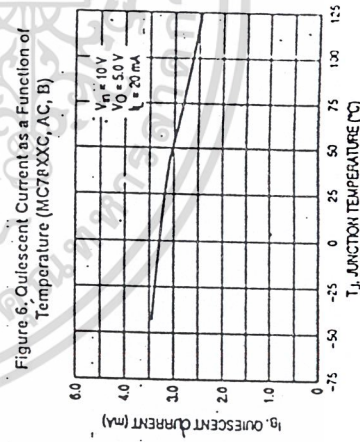
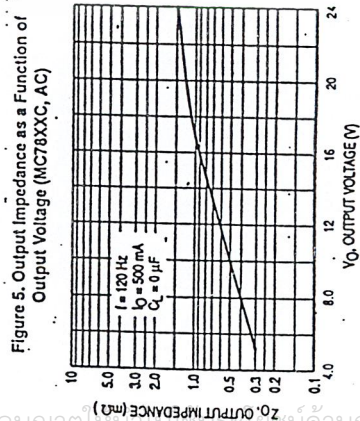
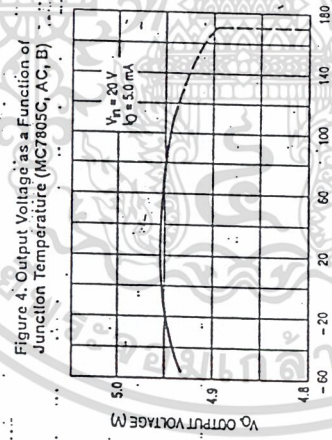
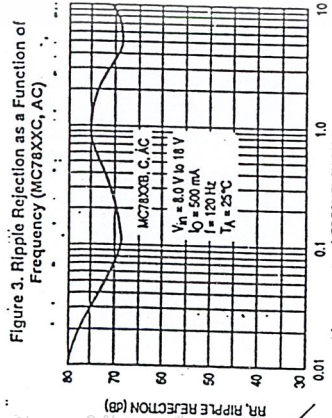
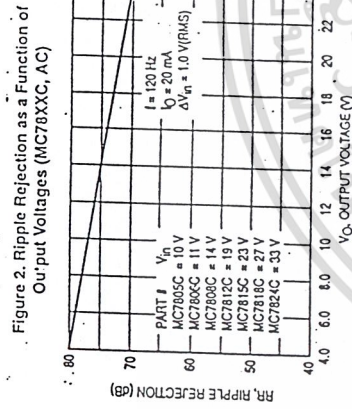
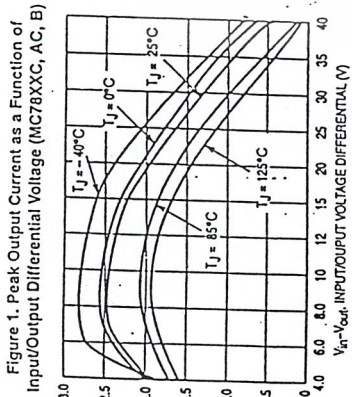
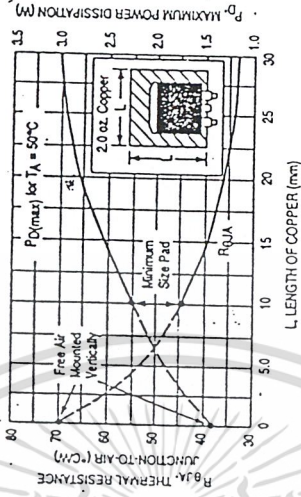


Figure 13. D²PAK Thermal Resistance and Maximum Power Dissipation versus P.C.B. Copper Length



DEFINITIONS

Line Regulation - The change in output voltage for a change in the input voltage. The measurement is made under conditions of low dissipation or by using pulse techniques such that the average chip temperature is not significantly affected.

Load Regulation - The change in output voltage for a change in load current at constant chip temperature.

Maximum Power Dissipation - The maximum total device dissipation for which the regulator will operate within specifications.

Quiescent Current - That part of the input current that is not delivered to the load.

Output Noise Voltage - The rms AC voltage at the output, with constant load and no input ripple, measured over a specified frequency range.

Long Term Stability - Output voltage stability under accelerated life test conditions with the maximum rated voltage listed in the devices' electrical characteristics and maximum power dissipation.

ตารางที่ 1 โวลเตจเรกูเลเตอร์ชนิดจ่ายแรงดันคงที่ (เรียงค่าตามกระแสเอาต์พุต)

Device	Output voltage (typ) (V)	Temperature*	Line regulation (max) (mV)	Load regulation (max) (mV)	Ripple rejection (min) (dB)	Quiescent current (mA)	Input voltage range (V)	Dropout Voltage (typ) (V)
Fixed positive 100 mA								
78L26	2.6	C	100	50	43	5.5	4.8 to 35	2.2
78L05	5.0	C	150	60	41	5.5	7.2 to 35	2.2
78L62	6.2	C	175	80	40	5.5	8.4 to 35	2.2
78L82	8.2	C	175	80	39	5.5	10.4 to 35	2.2
78L09	9.0	C	168	90	38	5.5	11.2 to 35	2.2
78L12	12	C	250	100	37	6.0	14.2 to 35	2.2
78L15	15	C	300	150	34	6.0	17.2 to 35	2.2
78L18	18	C	300	170	33	6.0	20.2 to 40	2.2
78L24	24	C	300	200	31	6.0	26.2 to 40	2.2
Fixed Positive 500 mA								
78M05	5.0	M	50	50	62	6.0	8.0 to 35	2.5
78M05	5.0	C	100	100	62	6.0	7.5 to 35	2.5
78M06	6.0	M	60	60	59	6.0	9.0 to 35	2.5
78M06	6.0	C	100	120	59	6.0	8.5 to 35	2.5
78M08	8.0	M	60	80	56	6.0	11 to 35	2.5
78M08	8.0	C	100	160	56	6.0	10.5 to 35	2.5
78M12	12	M	50	120	55	6.0	15 to 35	2.5
78M15	15	M	60	150	54	6.0	18 to 35	2.5
78M15	15	C	100	300	54	6.0	17.5 to 35	2.5
78M20	20	M	50	200	53	6.0	23 to 40	2.5
78M20	20	C	100	400	53	6.0	22.5 to 40	2.5
78M24	24	M	60	240	50	6.0	27 to 40	2.5
78M24	24	C	100	480	50	6.0	26.5 to 40	2.5
Fixed negative 500 mA								
79M05	-5.0	M	50	100	54	2.0	-7.5 to -35	2.5
79M05	-5.0	C	50	100	54	2.0	-7.3 to -35	2.3
79M06	-6.0	M	60	120	54	2.0	-8.5 to -35	2.5
79M06	-6.0	C	60	120	54	2.0	-8.3 to -35	2.3
79M08	-8.0	M	80	160	54	2.0	-10.5 to -35	2.5
79M08	-8.0	C	80	160	54	2.0	-10.3 to -35	2.3
79M12	-12	M	80	240	54	3.0	-14.5 to -35	2.5
79M12	-12	C	80	240	54	3.0	-14.3 to -35	2.3
79M15	-15	M	80	240	54	3.0	-17.5 to -35	2.5
79M15	-15	C	80	240	54	3.0	-17.3 to -35	2.3
79M20	-20	M	80	300	54	3.5	-22.5 to -40	2.5
79M20	-20	C	80	300	54	3.5	-22.3 to -40	2.3
79M24	-24	M	80	300	54	3.5	-26.5 to -40	2.5
79M24	-24	C	80	300	54	3.5	-26.3 to -40	2.3
Fixed negative 3.0 A								
LM145	-5.0	M	15	75	66	2.0	-20	2.8
LM345	-5.0	C	25	100	66	3.0	-20	2.8
Fixed positive 1.0 A								
7805	5.0	M	50	50	68	6.0	8.0 to 35	3.0
7805	5.0	C	100	100	62	8.0	7.5 to 35	2.5
LM309	5.0	C	50	100	10	10	7.0 to 35	2.0
LM309	5.0	M	50	100	10	10	7.0 to 35	2.0
7806	6.0	M	60	60	65	6.0	9.0 to 35	3.0
7806	6.0	C	120	120	59	8.0	8.5 to 35	2.5
7808	8.0	M	80	80	62	6.0	11 to 35	3.0
7808	8.0	C	150	150	56	8.0	10.5 to 35	2.5
7805	8.5	M	85	85	60	6.0	11.5 to 35	3.0
7805	8.5	C	170	170	54	8.0	11 to 35	2.5
7812	12	M	120	120	61	6.0	15 to 35	3.0
7812	12	C	240	240	55	8.0	14.5 to 35	2.5
7815	15	M	150	150	60	6.0	18 to 35	3.0
7815	15	C	300	300	54	8.0	17.5 to 35	2.5
7818	18	M	180	180	59	6.0	21 to 35	3.0
7818	18	C	350	360	53	8.0	20.5 to 35	2.5
7824	24	M	240	240	56	6.0	27 to 40	3.0
7824	24	C	480	480	50	8.0	26.5 to 40	2.5
Fixed negative 1.0 A								
7905	-5.0	M	50	50	54	2.0	-7.8 to -35	2.8
7905	-5.0	C	100	100	54	2.0	-7.3 to -35	2.3
7906	-6.0	M	60	60	54	2.0	-8.8 to -35	2.8
7906	-6.0	C	120	120	54	2.0	-8.3 to -35	2.3
7908	-8.0	M	80	80	54	2.0	-10.8 to -35	2.8
7908	-8.0	C	150	150	54	2.0	-10.2 to -35	2.3
7912	-12	M	120	120	54	3.0	-14.8 to -35	2.8
7912	-12	C	240	240	54	3.0	-14.3 to -35	2.3
7915	-15	M	150	150	54	3.0	-17.8 to -35	2.8
7915	-15	C	300	300	54	3.0	-17.3 to -35	2.3
7918	-18	M	180	180	54	3.0	-20.8 to -35	2.8
7918	-18	C	350	360	54	3.0	-20.3 to -35	2.3
7924	-24	M	240	240	54	3.0	-26.8 to -40	2.8
7924	-24	C	480	480	54	3.0	-26.3 to -40	2.3
Fixed positive 2.0 A								
UA78CB	13.8	C	150	150	50	8.0	17 to 25	2.5
Fixed positive 3.0 A								
LM123	5.0	M	25	100	....	20	7.5 to 20	2.5
LM223	5.0	M	25	100	....	20	7.5 to 20	2.5
LM323	5.0	C	25	100	....	20	7.5 to 20	2.5
Fixed positive 5.0 A								
78H05	5.0	C,M	120	50	10	10	8.5 to 25	3.5
78H05A	5.0	C,M	25	50	60	10	7.8 to 25	2.5
78H12	12	C	....	120	60	10	15.5 to 25	3.5
78H15	15	C	30	30	10	10	18.5 to 25	3.5

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากฝ่ายวิชาการ
 ไม่ว่าการตีพิมพ์ฉบับนี้เป็นการให้สัตยาบันหรือการรับรองใดๆ จะต้องมีแจ้งไปยังกองบรรณาธิการก่อนการนำไปใช้

ตารางที่ 2 โวลเตจเรกูเลเตอร์ชนิดปรับค่าแรงดันได้ (เรียงค่าตามกระแสเอาต์พุต)

Device	Output current (mA)	Output voltage range (V)	Temperature*	Line regulation (%V)	Load regulation (%V)	Ripple rejection (dB)	Quiescent current (mA)	Input voltage range (V)	Dropout voltage (V)
Positive adjustable									
LM105	12	4.5 to 30	M	0.06	0.1	1.0	2.0	8.5 to 50	3.0
LM305	12	4.5 to 30	C	0.06	0.1	1.0	2.0	8.5 to 40	3.0
LM376	25	5.0 to 37	C	0.1	0.5	1.0	2.5	9.0 to 40	3.0
LM305A	45	4.5 to 40	C	0.06	0.4	....	2.0	8.5 to 50	3.0
LM723	150	2.0 to 37	M	0.3	0.15	58	3.5	9.5 to 40	3.0
LM723	150	2.0 to 37	C	0.5	0.2	58	4.0	9.5 to 40	3.0
78MG	500	5.0 to 30	M	1.0	1.0	62	5.0	7.5 to 40	3.0
78MG	500	5.0 to 30	C	1.0	1.0	62	5.0	7.5 to 40	2.5
78G	1000	5.0 to 30	M	1.0	1.0	68	5.0	7.5 to 40	2.5
78G	1000	5.0 to 30	C	1.0	1.0	62	5.0	7.5 to 40	3.0
LM117	1500	1.2 to 37	M	0.01	0.1	66	10.0	3 to 40	1.5
LM317	1500	1.2 to 37	C	0.01	0.1	66	10.0	3 to 40	1.5
LM150	3000	1.2 to 33	M	0.01	0.3	66	5.0	35	2.2
LM350	3000	1.2 to 33	C	0.03	0.5	66	10.0	35	2.2
LM138	5000	1.2 to 32	M	0.01	0.3	60	5.0	35	2.6
LM338	5000	1.2 to 32	C	0.03	0.5	60	10.0	35	2.6
78HG	5000	5.0 to 24	C	1.0	1.0	60	10.0	8.5 to 25	3.5
LM196	10,000	1.25 to 15	M	0.01	1.0	60	10.0	20	3.5
LM396	10,000	1.25 to 15	C	0.02	1.0	60	10.0	20	2.75
Negative adjustable									
LM104	25	-0.15 to -40	M	0.1	5 mV	1.0	5.0	-8.0 to -50	2.0
LM304	25	0.035 to -30	C	0.1	5 mV	1.0	5.0	-8.0 to -40	2.0
79MG	500	-2.25 to -30	M	1.0	1.0	50	2.5	-7.0 to -30	2.5
79MG	500	-2.23 to -30	C	1.0	1.0	50	2.5	-7.0 to -30	2.3
79G	1000	-2.23 to -30	M	1.0	2.0	50	2.0	-7.0 to -40	2.8
79G	1000	-2.23 to -30	C	1.0	2.0	50	2.0	-7.0 to -40	2.3
LM137	1500	-1.2 to 37	M	0.02	1.0	66	3.0	-40	1.8
LM137	1500	-1.2 to 37	C	0.04	1.0	66	6.0	-40	1.8
79GH	5000	-2.25 to -24	C,M	1.0	1.0	50	5.0	-7.0 to -40	2.0

*Operating junction temperature range : C = commercial range, 0°C to + 125°C

M = extended military, -55°C to 150°C

ตารางที่ 3 โวลเตจเรกูเลเตอร์ชนิดพิเศษที่ใช้เฉพาะงาน

Device	Function	Input voltage range (V)	Output voltage range (V)	Output current max (A)	Line regulation (%)	Load regulation (%)	Quiescent current (mA)	Ripple rejection (dB)	Dropout voltage (V)
LM325	Dual polarity tracking	±30 V	±15 V	100 mA	0.06	0.06	8	66	2.0
LM326	Dual polarity tracking	±30 V	±12 V	100 mA	0.06	0.06	8	66	2.0
LM2930	Low dropout regulator	26 V	5 V	150 mA	0.2	1	1	66	0.6
LM2931	Low dropout regulator	26 V	3 to 24V	150 mA	0.2	1	1	66	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทสงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้เฉพาะงานเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การโฆษณา การเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัท หรือการนำข้อมูลไปใช้ในการฟ้องร้องดำเนินคดีในศาลโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัท

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีก็เพราะได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้รับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และแนวทางการแก้ไขปัญหาค่าง ๆ จากอาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา ตลอดจนเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลืออยู่เสมอ คงนั้นผู้จัดทำจึงขอขอบคุณทุก ๆ ท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในความสำเร็จครั้งนี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. กฤษณา โจเย็น , " เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม " , บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนส์ จำกัด , กทม.
2. รศ.ดร.กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ , " เอกสารประกอบการสอนวิชา Digital Image Processing " , ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2544 , ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ชนะธิป รักชลธิ์ , " ไมโครสเตป สเตปมอเตอร์ คอนโทรลเลอร์ " , ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2528
4. ปริญญา ไคววิธ , เศรษฐา อายุเจริญดี , " Image Processing program for shootin score calculation " , ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2542
5. ผศ.ประภากร สุวรรณะ , " เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ 2 " , ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2542 , ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. ภูริชัช แทนมณี , ภูษิต มุ่งมานะกิจ , มนตรี จูดีพร , " ระบบกล้องวีดิโอวงจรปิดติดตามวัตถุอัตโนมัติ " , ภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้